

냉음극 및 외부전극 형광램프의 방전 특성

조광섭** · 이대흥* · 이주영* · 송혁수* · 길도현* · 구재환* · 최은하* · 김상범** · 김봉수**
김준길** · 조미령** · 황명근** · 김영욱** · 김명문*** · 고준식*** · 이응원*** · 양순철***

*광운대학교 전자물리학과, 전자공학부†, 서울시 노원구 월계동 447-1

** (재)한국조명기술연구소, 서울시 마포구 합정동 355-24

***목포대학교, 물리학과, 전남 무안군 청계면 (534-729)

(논문접수일 : 2004년 10월 22일)

Discharge Characteristics of the Cold Cathode and External Electrode Fluorescent Lamps

Guangsup Cho** · Dae H. Lee* · Joo Y. Lee* · Hyuck S. Song* · Doh H. Gill* · Je H. Koo* · Eun H. Choi*
· Sang B. Kim* · Bong S. Kim* · June G. Kang** · Mee R. Cho** · Myung G. Hwang** · Young Y. Kim** ·

Myung M. Kim*** · June S. Kim*** · Ung W. Lee*** · Soon C. Yang***

*Department of Electrophysics, Department of Electronic Engineering†, Kwangwoon University, 447-1 Wollgye-Dong,
Nowon-Gu, Seoul 139-701, Korea

**Korea Institute of Lighting Technology, 355-24, Hapjong-dong, Mapo-gu, Seoul Korea

***Department of Physics, Mokpo National University, Muan-Guun, Chungye, Chonnam.

(Received October 22, 2004)

요 약

전극 양단에 안정 콘덴서(Ballast Contenser)를 부착한 냉음극 형광램프와 외관전극의 용량성 결합으로 동작되는 외부전극 형광램프의 전류-전압 방전특성을 조사하였다. 냉음극 형광램프의 전극 양단에 인가되는 전압과 전류의 특성은 전압의 증가로 암전류 영역과 타운젠트 점화방전을 거쳐서 음극 강하를 통한 전형적인 글로우 방전을 보여준다. 안정 콘덴서에 인가되는 전압을 포함한 전류-전압은 안정 콘덴서에 인가되는 전압이 상대적으로 크기 때문에 냉음극 강하가 나타나지 않고, 글로우 방전 영역에서 전압의 증가에 따라서 전류가 증가한다. 외부전극 자체가 캐패시터인 외부전극 형광램프에서의 전류-전압은 안정 콘덴서를 포함한 냉음극 형광램프와 동일한 특성을 보여준다. 따라서 외부전극 형광램프는 동작 전압에서 글로우 방전의 특성을 갖으며, 외부전극 자체가 안정 콘덴서의 기능을 한다.

주제어 : 방전, 형광램프, 냉음극, 외부전극, 전류-전압 특성

Abstract

The characteristics of current and voltage in a basic discharge experiment are investigated for a cold cathode fluorescent lamp with ballast capacitors attached at both ends of lamp and for a capacitive coupled external electrode fluorescent lamp. In the current-voltage characteristics for a cold cathode fluorescent lamp except ballast capacitors, it is

shown that the typical glow discharge with the cathode fall follows after the dark current and Townsend firing discharge. However, in the characteristics for a cold cathode fluorescent lamp including ballast capacitors, the current increases as the voltage increases in the glow discharge region without representing a cathode fall since the most voltage is loaded at two capacitors. The characteristics for the external electrode fluorescent lamp shows the same as that of the cold cathode fluorescent lamp in the respect of glow discharge characters, and the external electrode itself roles the ballast capacitor.

Key Words : discharge, fluorescent lamps, cold cathode, external electrode, I-V characteristics

1. 서 론

환경이 수 mm인 냉음극 형광램프(CCFL: Cold Cathode Fluorescent Lamp)는 LCD 백라이트의 광원으로 널리 사용하고 있다. 최근에는 외부전극 형광램프(EEFL: External Electrode Fluorescent Lamp)가 개발되어 LCD-TV용 광원으로 채용되기에 이르렀다.

일반적으로 CCFL은 DC-AC 인버터(inverter)의 트랜스포머(transformer)를 통하여 교류 전압을 인가하여 구동한다. 이때 CCFL의 한쪽 전극에는 안정 캐패시터(ballast capacitor)를 부착하여 고 전압을 인가하고, 다른 쪽 전극은 트랜스포머의 2차측 코일과 연결하여 접지한다. 그러나 CCFL의 길이가 길거나 다수 개를 사용할 때는 CCFL 양단에 각각 안정 캐패시터를 부착하여 구동한다. 이러한 안정 캐패시터는 CCFL의 전류의 급격한 상승을 방지하기 위하여 부착하며, 안정 캐패시터를 부착하지 않고 구동할 수가 없다. 따라서 CCFL의 관내에 흐르는 전류량을 제어하기 위하여 CCFL의 어느 한쪽 전극에 안정 캐패시터나 안정 저항(ballast resistor)를 부착하여 램프에 흐르는 전류량을 제어한다. 그러나 교류형 전원으로 CCFL을 구동하는 경우는 안정 저항 자체의 전력 손실이 매우 크므로 안정 캐패시터를 사용하는 것이 일반적이다.

외관전극 형광램프(EEFL; External Electrode Fluorescent Lamp)는 플라즈마 방전연구 초창기부터 장수명의 관점에서 대두되었으며 [1,2]. 이러한 램프는 주로 고주파(MHz)에 의한 구동이 연구되었다. 그 이유는 저주파에 의한 구동으로는 고휘도를 얻을 수 없었기 때문이었다. 최근까지도 LCD 백라이트용 광원으로 세관형 램프에 대하여 수 MHz의 고주파 구동으로 고휘도를 보고하였다 [3,4]. 이러

한 고주파 구동 방식은 전자기파의 방사 문제뿐만 아니라, 고주파 발생 장치의 소형화가 불가능하여 LCD 백라이트용 광원으로 채용되기 어렵다. 그러나 최근에 이러한 세관형 EEFL을 100 kHz 이하의 저주파에 의한 구동으로 고휘도를 달성하였다 [5,6]. 특히, EEFL은 다수 개를 병렬 연결하여 하나의 인버터로 구동이 용이하여 직하형 백라이트 광원으로의 가능성을 보였으며 [6-8]. 최근에는 19인치, 26인치 및 32인치의 LCD-TV에 적용되기에 이르렀다.

외관전극 형광램프는 방전 공간 내부에 전극이 없으며, 유리관 양끝 외부에 설치된 외관전극의 용량성 결합에 의하여 작동된다. 냉음극 형광램프는 방전관 내부의 양 끝에 설치된 금속전극을 통하여 직접 전극으로 전류가 흐르는 직류형 방전인 반면에, 외관전극 형광램프는 방전관 내부의 양끝에 하전 입자가 쌓여서 플라즈마 전류가 방전관 내에 교차적으로 흐르는 교류형 방전이다. 즉, 외관전극 램프는 외관전극과 유리관벽이 자체적으로 캐패시터 역할을 하는 전기 용량성 결합 방전관(capacitive coupled discharge lamp)이며 유전층 장벽에 쌓이는 벽전하의 교번에 의한 방전을 특징으로 한다.

본 연구는 CCFL과 같은 내부 전극을 통하여 직접 전류가 흐르는 DC형 방전과 EEFL과 같이 전기 용량성 결합에 의하여 방전관 내부에서 전하가 교차되는 형태로 전류가 흐르는 AC형 방전의 차이점을 이해하기 위한 것이다. 특히, CCFL의 동작은 정상 글로우 방전(normal glow discharge)으로 이해하고 있으나, EEFL은 아직까지도 방전 특성이 명확하게 규명되지 않았다. 일반적으로 CCFL의 전류-전압 특성은 전압의 증가로 암전류 영역을 거쳐 다운젼트 점화 방전에서 전류가 상승하고, 곧바로 램프전압이 음극 강하(cathode fall)에 의하여 램프전압이 떨어지고, 관

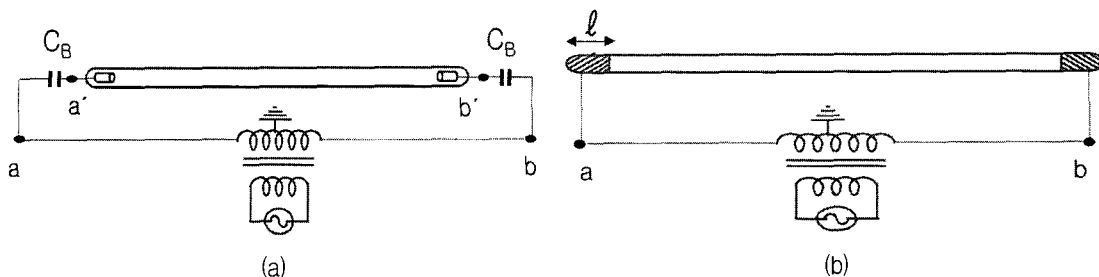


Figure 1. Schematic drawings of the experiment circuits with the CCFL having two ballast capacitors in (a) and with the EEFL of the external electrode length l in (b).

전압이 일정하게 유지되는 가운데 전류가 상승한다. 이것은 전형적인 글로우 방전(glow discharge)의 과정이다 [9]. 그러나 EEFL의 전류-전압 특성에서는 음극강하 현상이 나타나지 않기 때문에 동작 전압에서 글로우 방전의 여부를 명확하게 설명하기 어렵다. 이러한 CCFL과 EEFL의 방전 특성 이해를 위하여 전류-전압과 휘도의 특성을 실험을 통하여 조사하고, 안정 콘덴서에 대응하는 외부전극의 길이에 대한 전류-전압 및 휘도 특성을 비교 분석한다.

2. CCFL과 EEFL의 특성실험

본 연구에서는 그림 1(a)와 같이 CCFL의 전극 양단에 동일한 크기의 캐패시터(C_B)를 부착하여 구동한다. CCFL의 종래 구동방법은 전극 한쪽은 캐패시터를 부착하고 다른쪽은 접지하여 구동하는 것이 일반적이다. 그러나 램프의 길이가 길거나 다수 개의 램프를 병렬 연결하여 구동하는 경우는 본 연구에서 제시하는 그림 1(a)와 같이 CCFL 양단에 동일한 크기의 캐패시터를 부착하여 구동하는 것이 효과적이다. 이와 같이 종래의 CCFL의 구동에 있어서, 어느 한쪽은 접지하고 다른 한 쪽은 고 전압을 인가하면, 고 전압이 인가되는 부분이 먼저 발광하고, 고 전압이 인가된 전극 부분이 상대적으로 쉽게 손상된다. 그러나 CCFL 양단에 캐패시터를 부착하고 동일한 크기의 전압을 인가하면, 방전 개시 점에서 램프 양끝이 동시에 발광하여 보다 안정된 방전을 얻는다. 그림 1(b)는 유리관 양단의 외부전극과 유리관벽이 캐패시터의 역할을 하는 EEFL의 구동 회로이다.

본 실험에서 사용하는 방전 램프는 외경이 2.6 mm 이고 두께 0.3 mm인 길이 376 mm의 보로실리케이트 유리관이다. 유리관 내벽은 RGB의 삼원색 발광 형광체를 코팅한다. 방전 기체는 97%의 네온과 3%의 아르곤의 혼합기체를 80 Torr의 압력으로 주입하여 미량의 수은을 넣고 유리관 양끝을 봉입된다. 본 연구에서 CCFL과 EEFL은 전극의 유무를 제외하고 동일한 조건이다. CCFL은 그림 1(a)와 같이 램프 양단에 동일한 크기의 캐패시터 C_B 를 부착한다. 그림 1(b)의 EEFL은 양끝의 유리관에 알루미늄 재질의 외관 전극을 테이핑(taping) 방식으로 설치한다. 외관 전극의 길이는 l 이다.

본 연구에서의 램프 구동용 인버터는 그림 2와 같은 다중 진동자(multi-vibrator) 인버터를 사용한다. 다중 진동자 인버터는 자력식 발진을 특징으로 하며, 트랜스 1차측 구동은 반파 정류된 정현파 형태이고 2차측은 정현파 형태를 갖는다. 이 인버터는 좌우 대칭으로 배치된 스위칭 소자(FET)와 중간탭을

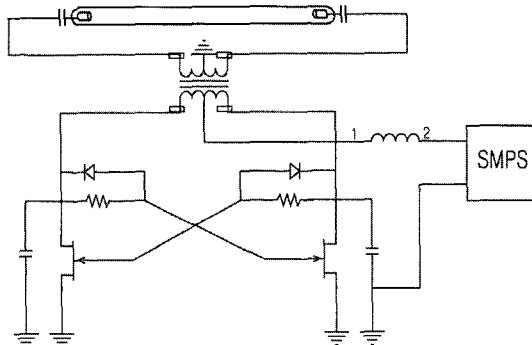


Figure 2. Schematic circuit of the multi-vibrator inverter for the operation of CCFL and EEFL.

갖는 트랜스, 초크코일, 콘덴서로 구성된다. 초크 코일을 통한 전원은 트랜스 1차를 거쳐 각각의 콘덴서에 충전 혹은 방전의 역할을 담당한다. 이때 두 능동 소자의 스위칭을 위해 컬렉터 혹은 드레인 전압은 다이오드 및 병렬로 연결된 저항을 통하여 게이트를 ON/OFF 하게 된다. 스위칭 형태의 대칭적 구동으로 인하여 출력 파형은 초크 코일과 콘덴서의 공진형으로 정현파의 전류 공진을 가지며 따라서 2차측에 고압을 발생하도록 한다.

발전 주파수는 초크 코일 및 트랜스 1차의 L 성분과 EEFL 혹은 CCFL의 부하 용량성과 합성된 C 값에 의하여 결정되며 이때 부하 전류의 증가 필요성에 따라 C 값을 증가시켜 충방전 전류를 공급하도록 한다. 이때 C의 증가는 발전 주파수의 하락을 야기 시키므로 이에 대응하는 초크의 L 값과 트랜스 1차의 권선수를 선택하여야 한다.

본 연구의 인버터는 EEFL 혹은 CCFL 램프 다수 개를 병렬로 연결하여 구동 시에 양호한 효율로 동작한다. 그림 3은 다중 진동자 인버터를 사용하여 그림 1의 램프 구동에 따른 오실로스코프 파형이다. 그림 3-(i)에서 전압은 그림 1에서 점 a 혹은 b의 전압으로서 V_a 혹은 V_b 에 해당한다. 구동 파형에서 전압(i)과 전류(ii)의 위상차는 약 $\frac{\pi}{2}$ 이다. 이는 자려식 발에서 CCFL의 양단의 캐패시터와 EEFL의 자체 전기용량에 의한 것이

다. 그림 3-(iii)에서 광신호의 피크치는 전류의 피크치와 일치하는 것이 특징이다.

3. 실험결과 및 논의

그림 4는 CCFL(그림 4(a))과 EEFL(그림 4(b))의 I-V 특성 곡선이다. CCFL은 그림 1(a)와 같이 양단에 안정 캐패시터(Ballast Capacitor) C_B 를 부착하였다. 그림 4(a)에서 CCFL의 양단 캐패시터(C_B)를 포함한 전압 V_{ab} (그림 1(a)에서 a와 b사이의 전압)와 캐패시터를 포함하지 않는 전압 $V_{a'b'}$ (그림 1(a)에서 a'과 b' 사이의 전압)를 각각 나타내었다. CCFL의 양단에 부착하는 C_B 는 22, 37, 47, 66 pF이다. 그림 4(a)에서 관전류와 CCFL 양단전압의 특성인 $I-V_{a'b'}$ 는 방전관 내부에 설치된 금속 전극을 통하여 전류가 직접 흐르는 직류형 방전의 전형적인 형태이다. 즉, 초기의 암전류(dark current)영역, Townsend 방전, 그리고 불꽃방전(glow discharge)영역이 명확하게 나타나 있다. 점화 전압은 약 1 kV이고, Townsend 방전 이후 음극 강하에 의한 음성 저항(negative resistance)의 영역을 거쳐서 정상 불꽃 방전(normal glow discharge) 영역에서 약 600 V의 전압이 유지된다. 반면에 CCFL 양단의 안전 캐패시터 C_B 를 포함한 전압 V_{ab} 에 대한 $I-V_{ab}$ 특성은 암전류는 점화전압 직전까지 $I-V_{a'b'}$ 과 거의 겹치고, 점화 전압 1 kV에서 전류량이 급격하게 증가하며, 이후 전압 증가에 따라서 전류가 증가한다.

그림 4(a)의 $I-V_{ab}$ 와 $I-V_{a'b'}$ 의 특성에서 특기 사항은 (i) 암전류 영역은 서로 겹쳐있으며, (ii) C_B 의 값이 클수록 전류량이 크며, 그리고 (iii) 타운젠트 방전 이후에 C_B 를 포함한 전압은 전류와 함께 증가한다. 이와 같은 특기 사항은 C_B 와 직렬방식으로 연결된 방전관 자체의 전기용량 변화로부터 이해될 수 있다. (i)에서 암전류 영역이 겹치는 것은 C_B 에 인가되는 전압은 CCFL 양단 전압에 비하여 거의 무시된다는 것이다. 즉, 저 전류 영역에서 안정기의 C_B 와 램프 자체의 전기용량 C_L 의 직렬 연결을 고려하면, C_B 에는 전압이 거의 인가되지 않고 C_L 에 대부분의 전압이 인가된다는 것이다. 이는 $C_B \gg C_L$ 의 조건에서 가능하며, 이러한 경우는 매우 적은 양의 플라즈마가 발생하는 방전초기에 램프 양단 전극간의 간격이 매우 크므로 램프 자체의 전기용량 C_L 은 매우 적은 값을 갖기 때문이다.

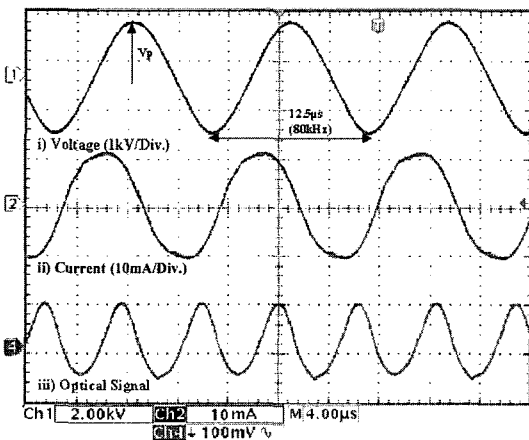


Figure 3. Oscilloscope signals of the electrical voltage (i) and current (ii), and optical probe pulses (iii) operating with the multi-vibrator inverter.

따라서 암전류 영역에서 $V_{ab} = V_{a'b'}$ 이며, $I-V_{ab}$ 와 $I-V_{a'b'}$ 는 겹치게 된다. 그러나 타운젠트 방전(방전 전압 약 1 kV) 이후 많은 양의 플라즈마가 발생하는 normal glow 영역에 이르면, 음극 강하(cathode fall)과 함께 'plasma sheath'의 형성으로 방전관 자체의 전압 $V_{a'b'}$ 는 약 600 V를 유지하게 되고, Ballast Capacitor C_B 를 포함한 전체 전압 V_{ab} 는 방전관 자체 전압 $V_{a'b'} \sim 600$ V와 두 개의 캐패시터 C_B 에 걸리는 전압이 된다. 두개의 C_B 에 걸리는 전압은 음극 강하(cathode fall) 전압(약 400 V) 이상으로서 전류의 증가와 함께 증가한다. 따라서 정상방전 시의 CCFL의 구동 전압이 1,200 V인 경우에, 램프 양단 전압($V_{a'b'}$)이 약 600 V이고, 안정 캐패시터에도 약 600 V의 전압이 인가되는 셈이다. 특히, C_B 가 큰 경우에 타운젠트 방전시의 전류 증가량이 크고, 정상 방전에서도 C_B 가 크면 전류량이 큰 이유는 동일 전압에서 충전 전하가 C_B 에 비례하여 커지는 것으로 이해된다.

그림 4(b)는 EEFL에서 전극의 길이는 각각 $l=15, 20, 25$ mm 이다. I-V 특성은 CCFL의 특성인 그림 4(a)의 C_B 를 포함한 전압인 $I-V_{ab}$ 와 같은 특성을 보인다. 암전류 영역을 거쳐서, 점화전압은 CCFL의 점화전압과 같은 값인 약 1 kV이며, 타운젠트 방전에서 전류가 급격히 증가한다. 또한 타운젠트 방전 이후 전압의 증가에 따라서 전류가 증가하며, 이는

그림 4(a)의 $I-V_{ab}$ 와 동일하며, 이로부터 이 영역을 정상 방전(normal glow)영역으로 해석된다. 전압 증가에 따른 전류의 증가율은 전극 길이가 길수록 크다. 또한, 전극 길이가 크면 전류량도 크다. 이와 같이 EEFL의 점화 전압은 CCFL과 거의 동일하며, CCFL의 안정 캐패시터 C_B 는 EEFL의 전극 길이에 대응된다. 따라서 EEFL은 그 특성이 CCFL과 동일하다는 것을 나타내고 있다. 그림 5는 CCFL과 EEFL의 관전류에 대한 휘도 곡선이다. 그림 4(a)에서 CCFL의 발광은 C_B 가 작을수록 점화전압에서 전류의 증가율이 작고, C_B 가 클수록 전류의 증가율이 크다. C_B 가 22 pF이면, 직렬 연결된 램프 자체에 인가되는 전압이 상대적으로 작아져서 충분한 전류가 흐르지 못하고, 휘도의 상승도 적다. 따라서 전압이 낮으면 저전류에 의한 저 휘도에서 전압 상승으로 전류가 커지면서 휘도가 증가하고 점차 휘도가 포화된다. C_B 가 66 pF로 커지면, 램프 자체에 인가되는 전압도 커져서 관전류가 급격하게 커진다. 이때에는 저 휘도 구현이 어렵고, 급격하게 휘도가 높아져서 전류가 10.7 mA에서 40,000 cd/m²의 휘도이고, 그 이상의 전류 증가에도 휘도의 변화 없이 포화된다. 전압이 더 커져서 전류가 17.5 mA로 증가하면 램프가 극히 불안정하고 급기야 전극부분이 녹아버린다. 또한 C_B 가 매우 커지면, 전류의 증가도

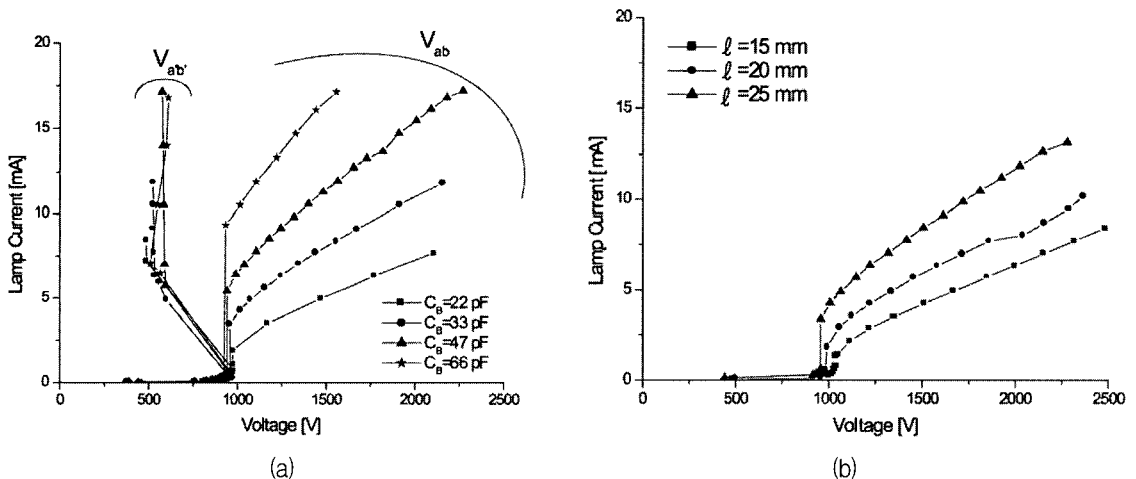


Figure 4. Plots of current versus voltage in CCFL (a) and in EEFL (b). In (a) the voltages of $V_{a'b'}$ and V_{ab} are the measured values between a' and b' , a and b noted in Fig. 1(a) according to the ballast capacitors, $C_B=22, 33, 47, 66$ (pF), respectively. In (b) the voltage is between a and b shown in Fig. 1(b) with the external electrode of length $l=15, 20, 25$ (mm).

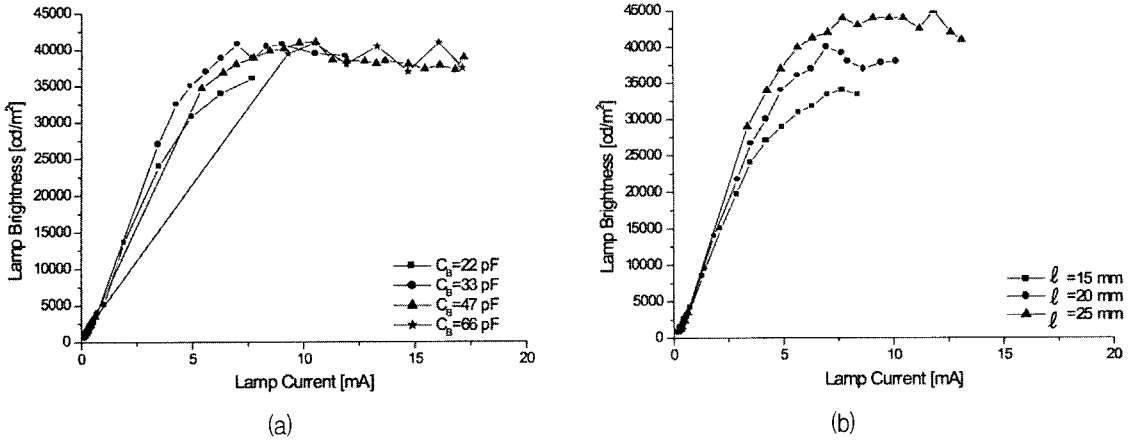


Figure 5. Plots of brightness versus current in CCFL (a) and in EEFL (b).

매우 커지므로 더 이상 안정 캐패시터의 기능을 상실하여, 전류량이 매우 커지고 휘도도 곧 바로 포화된다. 따라서 CCFL이 10,000 cd/m²의 낮은 휘도에서 40,000 cd/m² 포화점의 고휘도에 이르기까지 연속적으로 안정된 휘도를 얻기 위한 안정 캐패시터의 값의 범위는 33 pF~47 pF이 바람직하다.

그림 5(a)에서 C_B가 클수록 전류량이 커지는 이유는 CCFL 자체의 전기용량(C_B)과 직렬 연결된 C_B의 회로에서 C_B가 크면 램프 자체에 인가되는 전압이 상대적으로 더 커져서 더 큰 관전류가 흐르게 되기 때문이다. 이는 그림 4(a)의 결과에서 설명된 바와 같다. 그림 5(b)는 EEFL의 관전류에 대한 휘도이다. CCFL과 마찬가지로 전극 길이가 길수록 휘도가 높다. 이는 CCFL의 C_B값이 EEFL의 전극 길이 l에 해당하기 때문이다. 전극 길이 l이 길면 전기용량이 크고, 방전관 내부에 인가되는 전압도 커져서 관전류도 커진다. 따라서 전극 길이가 길어지면, 관전류 증가에 따라서 휘도가 증가하면서 포화된다. 그런데 그림 5(b)에서 전극의 길이가 길수록 포화 휘도는 커진다. 전극 길이가 l=15, 20, 25 (mm)일 때, 각각의 포화 휘도는 33,000, 37,000, 42,000 (cd/m²)과 같이 증가한다. 그러나 전극의 길이가 25 mm 이상으로 긴 경우는 더 이상 포화 휘도가 커지지 않으며, 전극 길이가 길어지더라도 전극 길이 25 mm일 때와 거의 동일한 포화 휘도를 갖는다. 전극 길이와 휘도 포화에 대한 이러한 경향은 외부전극 형광램프의 휘도 특성 연구에서 이미 보고 되었다

[5,10]. 한편 CCFL에서 C_B 값과 휘도 포화의 경향도 EEFL과 유사하다. 즉, 그림 5(a)에서도 C_B가 22 pF 일 때는 33 pF 이상일 때의 포화 휘도보다 작다. 또한 그림 5(a)에는 나타나지 않았지만 C_B가 22 pF보다 작으면, 포화 휘도는 더욱 작은 경향을 갖는다. 따라서 EEFL의 전극 길이가 25 mm 이상에서는 포화 휘도가 더 이상 커지지 않는다. 이는 CCFL에서 C_B가 33 pF 이상에서 포화 휘도가 더 이상 커지지 않는 경향과 같다. 또한 EEFL에서 전극 길이가 25 mm 이하일 때, 전극 길이가 짧으며 포화 휘도가 작고, 이는 CCFL에서 C_B가 33 pF 이하에서 포화 휘도가 작은 경향과 같다.

그림 4(b)와 그림 5(b)에서 EEFL의 특성은 양단에 캐패시터를 포함한 CCFL과 동일한 특성을 갖는다. 즉, EEFL의 외부전극 자체가 안전 캐패시터의 기능을 한다. 암전류에서 약한 발광을 하고, CCFL과 동일한 점화 전압인 1 kV에서 타운젠트 방전인 전류량이 순간적으로 증가하고 휘도도 증가하는 2차 발광의 형태를 보인다. 그러나 EEFL은 외부전극 자체가 캐패시터이므로 타운젠트 방전 이후 전압-전류의 음성 저항 특성은 나타나지 않는다. 2차 발광의 점화 전압에서 전류량의 증가는 외부전극의 길이에 따라서 달라진다. 외부전극의 길이가 길수록 점화 전압에서의 전류 상승과 휘도 변화가 커진다. 또한 외부전극이 길수록 램프 전류량이 크고 휘도의 상승률도 커진다. 일반적으로 램프 전류와 입력 전력의 증가로 휘도가 증가하며 최고 휘도치에

서 포화된다. 외부전극의 길이가 길수록 휘도의 최고치는 증가한다. 외부전극의 길이 15 mm~25 mm에 대하여, 최고 휘도는 $35,000 \text{ cd/m}^2 \sim 45,000 \text{ cd/m}^2$ 을 갖는다. 최고 휘도에서의 램프 전류는 7 mA~12 mA이며, 입력 전력은 9 W~13.5 W이다. 따라서 EEFL 구동을 위한 한계치는 최고 휘도에 도달하는 휘도인 램프 전류와 입력전력이다.

CCFL에 한계치 이상의 고전류를 흘리면, 양단의 전극부분에 고열 발생과 함께 녹아서 램프가 파손된다. EEFL의 경우는 포화 휘도 이상의 고전류에서 외부전극 표면에 작은 구멍(핀홀)이 발생하여 램프의 기능이 상실된다. 이러한 핀홀의 직경은 대개 0.3 mm의 크기이며, 외부전극 표면의 유리면에 구멍을 형성하고, 유리관 내부의 플라즈마가 전극표면으로 분출한 흔적이 나타난다. 핀홀이 발생하는 전류는 전극길이가 25 mm이면 13.5 mA이고, 전극길이가 15 mm이면 약 8.3 mA에서 핀홀이 발생한다. EEFL의 구동에서 입력 전력과 램프 전류를 휘도 최고치 이상으로 증가하면 EEFL의 외부전극에 핀홀(pin-hole)이 발생하여 램프는 꺼진다. 핀홀의 발생점은 외부전극의 길이에 따라서 다소 차이가 있다. 외부전극의 길이가 15 mm이면, 램프전류 8.3 mA와 입력 전력 13.4 W에서 핀홀이 발생한다. 외부전극의 길이가 25 mm로 길어지면 램프 전류 13.5 mA와 입력 전력 15.3 W에서 핀홀이 발생한다. 이와 같이 전극 양단에 캐패시터를 부착하는 CCFL과 일정한 길이의 외부전극을 갖는 EEFL은 등가회로의 특성을 보인다. CCFL은 안전 캐패시터 용량이 클수록 동일한 인가 전압에 대하여 전류량이 크다. 즉, C_B 가 클수록 구동전압은 낮아진다. 그러나 램프 휘도의 연속성을 위하여 최대의 C_B 값에 존재한다. C_B 값이 작으면 최고의 휘도를 얻지 못한다. 따라서 최고의 휘도값과 휘도의 연속성을 위하여 적절한 C_B 값의 영역이 있다. 본 실험에서는 33 pF~47 pF이 적당하다. 또한 CCFL은 포화 휘도 15 mA 이상의 전류에서 장시간 동작하면 전극부분에 고열이 발생하여 전극이 손상된다. EEFL도 전극의 길이가 길수록 구동전압은 낮고 동일한 전압에서 전류량이 크다. 또한 전극 길이가 길수록 포화 휘도의 값이 크다. 따라서 EEFL의 외부전극의 길이는 CCFL의 안전 캐패시터와 등가적인 휘도의 특성을 갖는다.

4. 결 론

양단에 안정 캐패시터를 부착한 냉음극 형광램프와 외부전극 자체의 전기 용량성 결합(capacitive coupled)에 의한 외부전극 형광램프의 I-V특성 실험을 통하여 이들 램프들의 방전 특성을 조사하였다. 그 결과 EEFL의 외부전극 자체가 CCFL의 안정 캐패시터에 대응하고, EEFL은 CCFL과 동일한 방전 특성을 갖는다는 결론을 얻는다. 즉, EEFL은 방전초기의 암전류(dark current) 영역을 거쳐서 타운젠트(Townsend) 방전 이후에 정상 방전(Normal Glow)에 도달한다. 특히, EEFL의 경우에 타운젠트 방전 이후 음극강하(cathode fall)에 의하여 음저항(negative resistance) 영역이 나타나지 않는 것은 외부전극 자체의 캐패시터에 인가되는 전압이 크기 때문임을 CCFL과의 비교 실험에서 잘 나타난다.

CCFL의 전류-전압 특성에서 램프 양단 전압은 전형적인 직류형 방전관의 타운젠트(Townsend discharge) 방전의 I-V 특성을 보인다. 즉, 램프 전압의 초기 상승으로 램프 전류는 증가하며(암전류에 의한 약한 발광), 점화 전압 약 1 kV에서 전류량이 급격하게 증가하여 음성 저항(negative resistance)의 특성을 나타낸다. 이후 인버터의 입력 전압의 증가에 대하여 램프 양단 전압은 약 600 V로 유지되며, 전류량이 증가하는 정상 불꽃 방전(normal glow discharge) 영역을 보여준다. 한편, 안전 캐패시터를 포함한 전압은 암전류 이후 점화 전압에서 급격하게 전류가 상승하고, 이후 음성 저항의 영역이 없이 전압 증가에 따라서 전류도 증가한다. 한편, CCFL은 안전 캐패시터의 크기에 따라서 방전 특성이 달라진다. CCFL의 양단에 부착하는 캐패시터의 크기가 작으면, 전류량이 작고, 전압 상승에 대하여 램프 전류와 휘도가 연속적으로 상승한다. 그러나 C_B 가 클수록 전압 상승에 따른 램프 전류와 휘도의 상승률도 증가한다. C_B 가 상당히 크면, 점화전압에서 전류량이 급격하게 증가하여 곧바로 최고 휘도에 도달하고, 이후 전압 상승에 대하여 불안정한 방전을 보인다. 즉, C_B 가 크면 램프 전류와 휘도의 조절이 어렵다. 따라서 인가전압에 따라서 램프 전류와 휘도의 안정적인 조정을 위하여 C_B 값의 범위가 존재하며, 본 실험의 램프 관경 2.6 mm, 램프 길이 376

mm의 CCFL에서 양단에 부착하는 C_B 값은 33 pF에서 47 pF이 적당하다. C_B 값이 22 pF보다 작으면 인가전압의 상승에 따른 전류와 휘도의 증가가 완만하지만, 최고 휘도 값이 작아진다. C_B 가 66 pF 이상에서는 전압의 상승으로 곧바로 최고 휘도치에 도달하고 전류와 휘도의 조정이 매우 어렵다.

EEFL의 I-V 특성은 양단에 캐패시터를 포함한 CCFL과 동일한 특성을 갖는다. 암전류에서 약한 발광을 하고, CCFL과 동일한 점화 전압에서 전류량이 약간 증가하여 휘도도 증가하는 2차 발광을 보인다. 그러나 CCFL의 램프 양단의 전압-전류와 같은 음성 저항은 나타나지 않는다. 2차 발광의 점화 전압에서 전류량의 증가는 외부전극의 길이에 따라서 달라진다. 외부전극의 길이가 길수록 점화 전압에서의 전류 상승과 휘도 변화가 커진다. 또한 외부전극이 길수록 램프 전류량이 크고 휘도의 상승률도 커진다. 일반적으로 램프 전류와 입력 전력의 증가로 휘도가 증가하며 최고 휘도 값에서 포화된다. 외부전극의 길이가 길수록 휘도의 최고치는 증가한다. 결론적으로 EEFL은 양단에 캐패시터를 부착한 CCFL과 등가회로의 특성을 갖는다. 따라서 EEFL은 CCFL과 마찬가지로 동작 전압에서 전형적인 글로우 방전 특성을 갖는다. 즉, 전원 전압을 증가하면, 초기에 작은 전류인 암전류가 흐른다. 전원 전압을 더 올려서 점화 전압(약 1 kV)에서 전류량이 급격히 증가하는 타운젠트 방전 영역을 갖는다. 암전류에서 타운젠트 방전에 이르기 까지 캐패시터에 인가되는 전압은 관전압에 비하여 매우 작아서 무시되는데, 이는 방전 초기 단계에는 램프 자체의 전기용량이 상대적으로 매우 작기 때문이다. 타운젠트 영역에서 다시 전원 전압을 증가하면, 관전압은 오히려 줄어들며, 이것이 음극강하이며 글로우 방전 영역에 이르게 된다. 그러나 이때 캐패시터에 인가되는 전압은 관전압보다 더욱 증가하게 된다. 따라서 글로우 방전 시에는 램프 자체에 걸리는 전압은 600 V 정도로 거의 일정하고, 전원 전압의 대부분이 캐패시터에 인가되어서 관 전류량이 증가하게 된다. EEFL의 경우도 램프의 방전 공간 내부에는 음극강하가 존재하며, 글로우 방전으로 이해할 수 있다. 다만 외부전극 자체의 캐패시터에 더 많은 전압이 인가되므로 외부전극을 포함하는 전류-전압

특성 곡선에는 음극 강하와 같은 특성을 볼 수 없는 것이다. 즉, EEFL의 외부전극과 유리관의 전기적인 용량은 CCFL에 부착한 캐패시터에 해당한다. 캐패시터가 클수록 낮은 전압에서 고 휘도를 얻을 수 있다. 그러나 캐패시터가 크면, 저 휘도에서 불안정하여 저 휘도의 구현이 어렵기 때문에 캐패시터의 크기와 외부전극의 길이에는 램프의 안정적인 동작을 위하여 한계가 주어진다.

감사의 글

본 논문은 2003년도 광운대학교 연구년의 지원에 의하여 수행되었으며, 또한 이 논문의 일부는 목포대학교 2004년도 연구비의 지원에 의하여 수행되었음을 감사드립니다.

References

- [1] J. J. Thomson, *Philosophical Magazine* **32**, 445 (1891); N. Tesla, *Electrical Engineer* **7**, 549 (1891).
- [2] G. I. Babat, *J. IEEE*, **94**, 27 (1947).
- [3] T. Shiga, K. Hashimoto, Y. Baba, S. Mikoshiba, S. Takaku, and S. Nishiyama, *The Sixth Asian Symposium on Information display & Exhibition Proceedings, ASID'00, Xi'an, P. R. China, Oct. 18-21, pp. 165-169 (2000).*
- [4] Y. Baba, M. Izuka, T. Shiga, S. Mikoshiba, and S. Nishiyama, *Society for Information Display, 2001 International Symposium, Digest of Technical Papers*, **32**, 290 (2001).
- [5] Tae S. Cho and Guangsup Cho, *Japn. J. Appl. Phys.* **41**, 7518 (2002).
- [6] Tae S. Cho, Nam O. Kwon, and Guangsup Cho, *IEEE Trans. on Plasma Science* **30**, 2005 (2002).
- [7] Guangsup Cho, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36**, 2526 (2003).
- [8] Guangsup Cho and John P. Vervoncoeur, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **37**, 2863 (2004).

- [9] G. F. Weston, *Cold Cathode Glow Discharge Tubes*, Chapter 1, p. 2, ILIFFE Books Ltd., 1968.
- [10] Kiseung Hong, Jeongwook Hur, and Sungkyoo Lim, Proceedings of the 2nd. International Display Manufacturing Conference (IDMC 2002), 389, (2002).