

구형파로 구동되는 외관전극 형광램프의 휘도 및 효율 특성

조태승 · 김영미 · 권남옥 · 김성중 · 강준길 · 최은하 · 조광섭†

광운대학교 전자물리학과, 서울시 노원구 월계동 447-1
(논문접수일 : 2001년 10월 30일)

Characteristics of Luminance and Efficiency for External Electrode Fluorescent Lamps Driven by Square Pulses

Tae S. Cho, Young M. Kim, Nam O. Kyun, Sung J. Kim, June G. Kang, Eun H. Choi, and Guangsup Cho†

*Charged Particle Beam and Plasma Laboratory, Department of Electrophysics, Kwangwoon University,
447-1 Wollgye-Dong, Nowon-Gu, Seoul 139-701, Korea
(Received October 30, 2001)*

요 약

외관 전극의 용량성 결합에 의하여 동작되는 형광램프의 특성을 조사하였다. 외관전극 형광램프는 10 mA 이하의 저전류와 약 1.5 kV의 고전압으로 구동된다. 구동 주파수 100 kHz 이하의 구형파 구동에 의하여 효율 40 lm/W 의 20,000~30,000 cd/m²의 고휘도를 실현하였다. 외관전극의 길이가 길수록 휘도와 효율이 증가하지만, 전극 길이가 3 cm 이상에서 그 증가율이 둔화된다.

Abstract

Characteristic properties of fluorescent lamps operated by capacitively-coupled external electrodes have been investigated. External electrode fluorescent lamps (EEFLs) are typically operated at low currents less than 10 mA, and high voltages of about 1.5 kV. Luminance of up to 20,000 cd/m² with efficiency of above 40 lm/W is achieved in EEFLs driven by square pulses of the frequency lower than 100 kHz. It is also found that the brightness and efficiency of external electrode fluorescent lamps depend on the electrode length whose optimum length is about 3 cm.

1. 서 론

외경이 수 mm인 세관의 형광램프가 액정표시(LCD: liquid crystal display) 장치의 백라이트 광원으로 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 세관형은 주로 방전관 양끝의 내부에 실린더형의 금속전극이 설치된 냉음극 형광램프(CCFL: cold cathode fluorescent lamp)가 사용된다. 노트북용 LCD 백라이트 및 모니터와 TV용 LCD 백라이트에 이르기까지 점차 화면의 대형화 추세와 함께 세관형 형광램프의 수요가 증대되고 있다. 이러한 LCD 백라이트에서는 램프의

설치방식에 따라서 '사이드 라이트 방식(side lighting)'과 '직하형 방식(direct lighting)'이 있다. 이러한 냉음극 형광램프는 고전류(10 mA) 및 저전압(1 kV 이하)으로 동작하여 20,000 cd/m² 이상의 고휘도 및 30 lm/W 이상의 효율을 갖고, 3만 시간의 수명을 갖는다. LCD의 수요가 증대되고 있는 현실에서 새로운 형태의 형광램프의 출현이 절실하다.

외관전극 형광램프(EEFL: external electrode fluorescent lamp)는 장수명의 관점에서 주목을 받고 있다. 이는 전극이 방전 공간 내부에 없으며, 유리관 양끝 외부에 설치된 외관전극의 용량성 결합에 의하여 작동

† E-mail : gscho@litholab1.kwangwoon.ac.kr

된다. 따라서 냉음극 형광램프가 내부의 금속전극이 방전 플라즈마에 노출되어 직접 전류가 흐르는 직류형 방전인 반면에, 외관전극 형광램프는 방전관 내부의 양 끝에 하전 입자가 쌓여서 플라즈마 전류가 방전관 내에 교차적으로 흐르는 교류형 방전이다. 따라서 외관전극 램프는 전극이 직접 플라즈마와 상호 작용을 피할 수 있어서 수명에 유리하다. 그리고 전극이 외부에 설치되므로 램프의 제작이 매우 간편하다. 그 외에도 외관전극 형광램프를 직하형으로 배치하여 백라이트로 구성하는 경우는 다수의 램프를 병렬 연결하여 구동이 가능하다는 장점이 있어 최근에 LCD 백라이트용 광원으로 연구되고 있다 [1-3].

이러한 외관전극 형광램프는 플라즈마 방전을 연구하는 초창기부터 고주파(MHz) 에 의한 구동이 연구되었다. 그 이유는 저주파에 의한 구동으로는 고휘도를 얻을 수 없었기 때문이었다. 최근까지도 백라이트용 광원으로서 세관형 램프에 대하여 수 MHz의 고주파 구동으로 고휘도를 보고하였다 [4,5]. 이러한 고주파 구동 방식은 전자기파의 방사를 차단하는 문제뿐만이 아니라, 고주파 발생 장치의 소형화가 불가능하여 백라이트로 채용하는데는 상당한 어려움이 있다.

그러나 최근에 램프 직경이 수 mm인 세관형 램프에서는 100 kHz 이하의 저주파에 의한 구형파의 구동으로 고휘도를 달성하였다. 그리하여 EEFL이 백라이트 광원으로의 가능성을 보였다 [1-3].

본 연구는 EEFL에 대한 100 kHz 이하의 저주파에 의한 구동 특성을 조사하는 것이다. EEFL의 기초 구동 특성으로 동작 전압과 전류의 크기, 그리고 구동 주파수의 등의 휘도 및 효율과의 관계를 알아본다. 특히, 외관전극의 길이에 따른 램프의 발광 특성을 조사한다.

2. 램프 구조 및 작동

그림 1에 EEFL의 램프 구조와 하전 입자의 동작에 대한 개념을 나타내었다. 본 실험에서 사용하는 방전 램프는 LCD 백라이트의 대각길이 17인치용이다. 외경이 2.6 mm이고 두께 0.3 mm인 길이 355 mm의 보로실리케이트 유리관을 사용한다. 유리관 내벽은

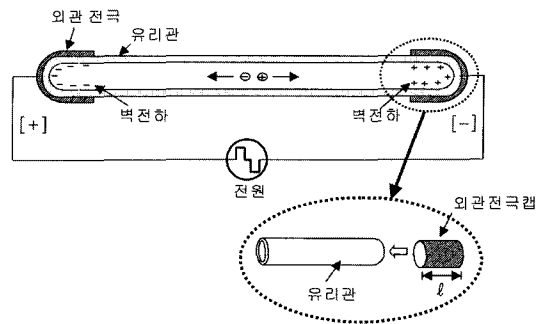


Fig. 1. Schematic drawings of an EEFL with the external electrode length l .

RGB의 삼원색 발광 형광체를 코팅한다. 방전 기체는 97%의 네온과 3%의 아르곤의 혼합기체를 80 Torr의 압력으로 주입하여 미량의 수은을 넣고 유리관 양끝을 봉입한다. 양끝의 유리관에 구리 재질의 외관 전극을 캡(cap)형으로 설치한다. 외관 전극의 길이는 l 이다. 그림 1에서 유리관 양끝의 전극에 전압을 인가하면 방전관에 플라즈마가 형성되고 이온과 전자가 각각 양끝의 전극 부분의 유리관 내벽에 벽전하가 쌓인다. 이러한 벽전하는 전원의 극이 바뀌면 이들의 벽전하가 상호 반대 방향으로 움직여서 방전관에 전류가 흐르고 벽전하가 양끝 전극에 교체되어 쌓인다. 이러한 방식의 방전을 용량성 결합 교류형 방전(capacitively coupled alternative discharge)이라고 한다. 이와 같이 유전층에 의하여 직접 하전 입자가 직접 전극으로 흐르지 않고 벽전하가 전극 부분의 유전층에 교차로 쌓이는 방식의 교류형 방전은 플라즈마 디스플레이 패널에서의 방전 형태이다.

일반적으로 CCFL과 같은 직류형 방전은 LC-공진형 인버터가 출력하는 정현파(sinusoidal wave) 구동을 한다. CCFL을 구형파(square wave)로 구동하면 과도 전류가 흐르므로 별도의 조치가 필요하다. 반면에 EEFL은 정현파와 구형파로 공히 구동된다. 그러나 EEFL과 같은 교류형 방전은 구형파 구동이 고휘도와 고효율의 측면에서 유리함은 이미 밝혀졌다 [1]. 따라서 본 연구에서는 EEFL의 구형파 구동에 대한 특성을 알아본다. EEFL의 기초 발광 특성으로서 전류 및 전압 특성과 휘도와 효율을 조사한다. 본 연구에서는 100 kHz 이하의 구동 주파수에 국한한다. 특히, EEFL의 전극 형태와 관련하여 전

극 길이에 따른 방전 특성을 조사한다. 전극의 길이는 비발광 영역과 관련하여 램프의 구조상 백라이트의 광원으로서 실장의 측면에서 중요한 변수이다.

그림 2는 스위칭 인버터의 구형파로 구동되는 EEFL의 오실로스코프 신호들이다. 그림 2(i)는 구동 전압의 파형이다. 주파수 50 kHz이고 듀티 30%인 전압 파형의 링잉(ringing)으로 인하여 펄스와 초기에 오버슈팅의 특성을 갖는다. 전압의 상승 시간은 약 1 μ s이며, 피크 전압이 약 2 kV인 구형파의 DC 성분 전압의 세기(V₀)는 1.5 kV이다. 그림 2(ii)와 (iii)은 각각 전류 파형과 광출력 신호이다. 이들 전류와 광출력은 전압 파형의 상승부와 하강부에서 각각 나타난다. 전압 상승부에서 나타나는 전류와 광출력은 주방전(main discharge)에 의한 것이고, 전압 하강시에 나타나는 것은 자체 방전(self-discharge)에 해당한다. 자체 방전은 방전관 양끝에 과도하게 쌓인 벽전하가 전압의 하강으로 벽전하 사이의 자체 전기력에 의한 방전이다. 자체 방전은 유전층 장벽 교류 방전(dielectric barrier AC discharge)에서 일반적으로 나타나는 것으로서, 외부 전원을 인가하여 발생하는 주방전 이후에 외부 인가전압이 하강하는 동안에 벽전하 사이의 자체 전기에 의하여 방전되고, 따라서 자체방전 전류는 주방전 전류의 방향과 반대 방향으로 흐른다. 이러한 자체 방전 시의 광출력은 주방전 시의 광출력보다 다소 작다. 그러나 하나의

전압 펄스에 대하여 2회의 방전에 의한 2회의 광출력은 EEFL의 발광효율을 높여주는 원인이 된다.

3. 결과 및 논의

EEFL의 기초 램프 특성으로서 발광 휘도와 램프 효율은 램프의 동작 전압과 전류, 그리고 구동 주파수 등의 변수들과 관계된다. 특히 외관전극의 길이에 따른 발광 특성도 중요하다.

구형파 구동에 의한 EEFL의 고효율은 저전류 및 고전압 동작의 가능성에 있다. 즉, 저전류 동작은 발열량을 최소화하여 램프의 효율 증대가 기대된다. 그 외에도 구형파에 의한 자체 방전으로 인한 이중 방전은 발광 휘도를 높여주고 동시에 효율의 증대를 가져올 것으로 기대된다.

3.1 램프 동작 기초 특성

외관 전극 길이가 2 cm인 램프에 대하여, 구동 주파수 40, 60, 80 (kHz)의 각각에 대한 전류-전압 및 휘도-효율의 관계를 그림 3에 나타내었다.

그림 3(a)는 100 kHz 이하의 구동 주파수에서 동작하는 전류와 전압의 관계이다. 전류와 전압은 선형적 관계이다. 즉, 전압의 상승으로 전류가 증가하는 특성을 갖는다. 이는 CCFL과 같은 직류형 방전에서 나타나는 타운젠트 방전의 특성인 네거티브 저항 영역이 없다. 즉, EEFL과 같은 유전층에 의한 교류형 방전에서는 음극 강하(cathode fall) 현상이 뚜렷하게 나타나지 않는다는 것을 보여준다.

그림과 같이 구동 전압 0.75~2.0 kV의 영역에서 램프에 흐르는 전류의 세기는 3.0~9.0 mA이며, 이때의 휘도는 5,000~30,000 cd/m²를 나타낸다. 주파수 40 kHz에서 60 kHz로 클수록 동일 전압에서 고전류가 흐른다. 그러나 60 kHz와 80 kHz를 비교하면, 동일한 크기의 전압에 대하여 주파수 큰 80 kHz에서 전류의 양은 작지만 램프의 발광 휘도는 오히려 크다. 이는 방전 효율과 관계되는 최적의 주파수가 존재한다는 것을 의미한다.

그림 3(b)는 램프에 공급되는 전력과 휘도의 관계이다. 공급 전력에 비례하여 휘도가 증가한다. 40 kHz에서 80 kHz의 고주파 구동일수록 고휘도를 낸다.

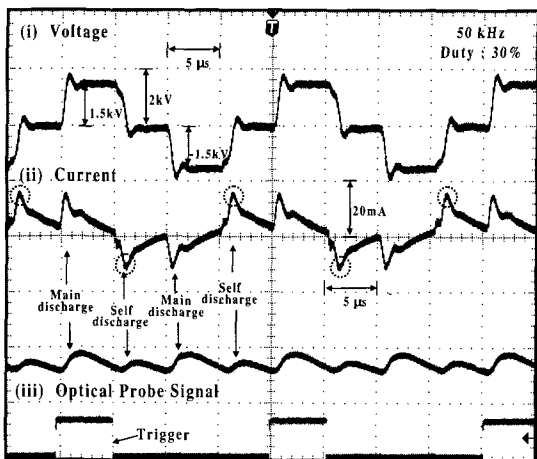


Fig. 2. Oscilloscope signals of electrical (i) voltage, (ii) current, and (iii) optical probe pulses for the EEFL.

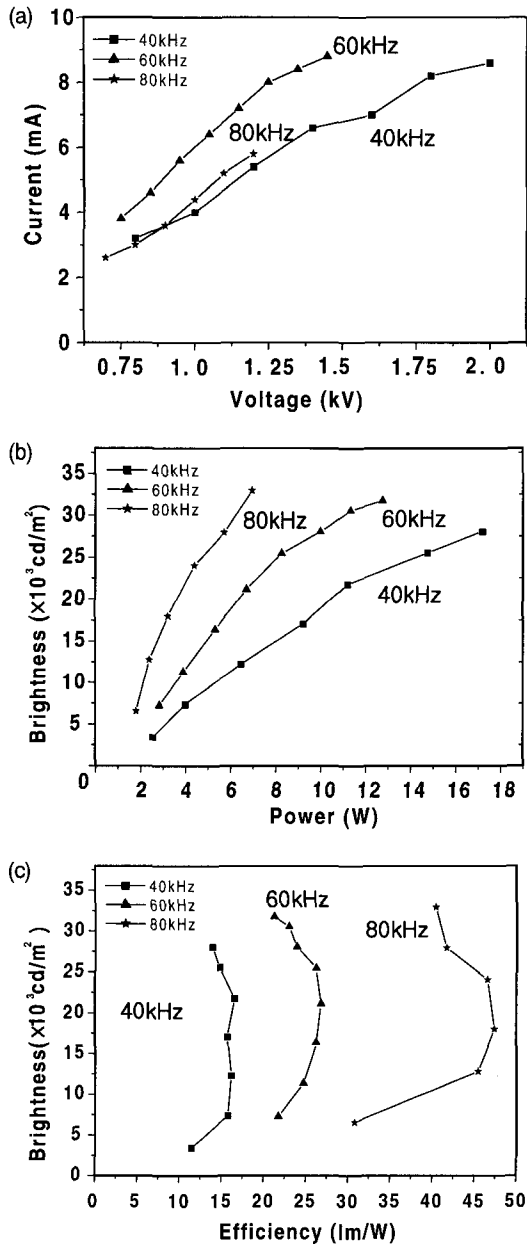


Fig. 3. Plots of (a) current versus voltage, (b) luminance versus input power, and (c) luminance versus efficiency for EEFLs with the driving frequencies are 40, 60, 80 (kHz). The electrode length is $l=2$ cm.

20,000 cd/m²의 휘도를 얻기 위하여, 40 kHz에서는 약 12 W의 전력이 소모되며, 60 kHz 구동에서는 약 7 W가 소모되고, 그리고 80 kHz의 구동에서는 약 4 W

의 전력이 필요하다.

그림 3(c)는 휘도와 효율의 관계이다. 고주파에서 고효율을 나타낸다. 40 kHz에서 램프의 효율은 15 lm/W 이고, 60 kHz에서 25 lm/W, 그리고 80 kHz에서는 45 lm/W의 고효율을 보여준다.

3.2 외관전극의 길이

EEFL에서 외관전극은 비발광 영역이므로 전극의 길이는 백라이트의 광원으로 사용할 때의 실장 측면에서 중요한 변수이다. 전극의 길이가 작을수록 비발광 영역이 작기 때문에 실장의 측면에서 유리하다. 그러나 전극의 길이가 램프의 발광 특성에 영향을 미치므로 적당한 전극 길이를 결정하여야 한다.

램프의 전극 길이, $l=1, 2, 3, 4, 5$ (cm)에 따른 각각의 휘도를 그림 4에 나타내었다. 구동 주파수는 60 kHz이다. 그림 4(a)는 공급 전력(W)에 대한 휘도이며, 그림 4(b)는 휘도와 효율의 관계이다. 실험결과에 의하면, 주어진 공급전력에 대하여 전극의 길이가 길수록 휘도가 증가하고 효율도 커진다. 즉, 전극의 길이가 짧은 경우는 발광 휘도와 효율이 낮고, 전극의 길이가 길수록 휘도 및 효율이 유리하다. 그림 4의 실험은 램프의 동작 전압을 1.0 kV에서 최대 2 kV까지 전압을 증가하면서 측정한 휘도이다. 최대 동작 전압 2 kV에 대하여, 전극의 길이가 1 cm일 때는 최대 휘도가 약 20,000 cd/m²이고, 2 cm 일 때의 최대 휘도는 약 30,000 cd/m²이며, 전극이 3 cm 이상에서는 최대 휘도가 약 35,000 cd/m²을 얻는다.

그림 4의 전극 길이에 대한 램프의 발광 특성에서 전극의 길이가 3 cm 이상에서는 휘도와 효율의 증가 비율이 다소 포화되는 경향을 보인다. 따라서 전극의 길이가 길면 램프의 비발광 영역이 커지므로 대개 2~3 cm의 전극 길이가 적당함을 알 수 있다.

전극의 길이가 휘도 및 효율에 미치는 영향은 방전관 내부의 전극부분에 쌓이는 벽전하의 양과 관계가 있을 것이다. 전극의 길이가 짧으면, 벽전하가 쌓이는 영역이 작아서 플라즈마 발생량이 작으므로 발광 휘도가 낮다. 즉, 전극의 길이에 비례하여 벽전하의 양이 관계되는 것으로 해석된다. 즉, 전극의 길이가 길수록 벽전하가 많이 쌓이고 방전관 내에

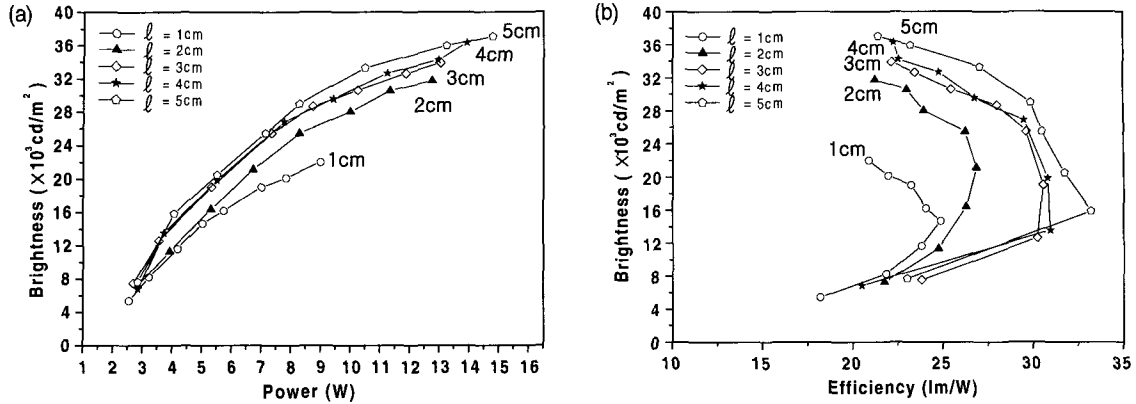


Fig. 4. Plots of (a) luminance versus input power and (b) luminance versus efficiency for EEFL electrode lengths, $l = 1, 2, 3, 4$ and 5 (cm) with the driving frequency 60 kHz.

생성되는 플라즈마의 양이 증대된다. 그러나 전극의 길이가 특정한 길이 이상에서는 벽전하의 양이 포화되는 것으로 해석된다.

4. 결 론

스위칭 인버터에 의한 100 kHz 이하의 저주파 구동으로 EEFL의 고휘도와 고효율을 달성하였다. 길이가 355 mm이고 직경이 2.6 mm인 세관의 형광 램프의 양단의 관외에 전극을 설치하고 구형파에 의한 구동으로 $20,000 \sim 30,000$ cd/m^2 의 휘도를 얻었다. 구동 전압은 대개 $1.0 \sim 2.0$ kV이고, 전류는 $4.0 \sim 8.0$ mA이다. 구동 주파수가 클수록 휘도와 효율이 증가하는 경향을 갖는다. 특히, 외관전극의 길이에 대한 발광 특성을 조사하였다. 전극의 길이가 길수록 휘도와 효율이 증가하지만, 전극 길이가 3 cm 이상일 때는 휘도와 효율의 증가율이 둔화된다. 따라서 백라이트의 광원으로 채용시의 실장을 고려할 때, 전극의 길이가 짧을수록 램프의 비발광 영역이 작으므로 휘도와 효율의 증가율이 둔화되는 적절한 전극의 길이를 선택하는 것이 중요하다. 본 연구에서의 전극 길이에 대한 휘도 효율의 특성 실험 결과 $2 \sim 3$ cm 정도의 전극 길이를 선택하는 것이 적당하다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 기초연구프로그램(No. 2000-1-111 00-003-3)에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] D. G. Joh, D. H. Gill, H. S. Kim, Y. G. Kim, J. J. Ko, D. I. Kim, C. W. Lee, Y. H. Seo, E. H. Choi, G. S. Cho, The Sixth Asian Symposium on Information display & Exhibition Proceedings, ASID'00, Xi'an, P. R. China, Oct. 18-21, pp. 470-474 (2000).
- [2] H. Kim, D. Joh, Y. Kim, J. Ko, D. Kim, C. Lee, E. Choi, G. Cho, B. Hong, H. Sohn, and B. Yu, Society for Information Display, 2001 International Symposium, Digest of Technical Papers, **32**, 687 (2001).
- [3] N. Kwon, Y. Kim, H. Kim, S. Kim, D. Gill, T. Cho, Y. Kim, J. Ko, E. Choi, G. Cho, B. Hong, H. Sohn, and B. Yu, Proceedings of the 21st International Display Research Conference in conjunction with the 8th International Display Workshops, Nagoya, Japan, pp. 625-628 (2001).
- [4] T. Shiga, K. Hashimoto, Y. Baba, S. Mikoshiba, S. Takaku, 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).
- [5] 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).