

論文2000-37TE-3-2

홀름한 휘도 균일도를 갖는 LCD 후면 광원용 평판 형광램프 (Flat Fluorescent Lamp with Good Uniformity for LCD Back-Light)

權純錫*, 尹吉重**

(Soon-Seok Kwon and Geel-Joong Yoon)

요 약

본 논문은 가스의 방전 현상으로부터 발생하는 자외선을 이용하는 평판 형광 램프의 주파수 특성에 대하여 연구하였다. 램프는 절연층, 형광층, 가스층으로 구성된다. 램프의 특성에서 불꽃 전압과 휘도 균일 전압은 주파수의 증가에 따라 감소하였다. 이것은 가스 갭내에서의 공간 전하 효과로 설명이 가능하였다. FFL의 휘도는 700Vrms, 80 kHz의 구동 조건에서 2700cd/m² 을 얻었으며, 최대 휘도 효율은 5 lm/W를 보였다.

Abstract

In this paper, the frequency characteristics of flat fluorescent lamp(FFL) using ultraviolet generated from gas discharge are studied. The lamp is a simple structure with insulator layer, phosphor layer, and gas gap(1.1 mm). The firing voltage and uniform voltage was decreased with increasing the frequency. It was considered that this tendency was resulted from the space charge effect due to Xe and Ar positive ions trapped in gas gap. Luminance in FFL using Xe as discharge gas was shown 2700 cd/m² in operation (700 Vrms, 80 kHz). Hence, the maximum luminous efficiency was 5 lm/W.

I. 서 론

액정 디스플레이(LCD; Liquid Crystal Display)의 후면 광원(back-light)로 가스 방전 현상을 이용한 평판 형광 램프(FFL; Flat Fluorescent Lamp)가 주목받고 있다^[1,2,3].

현재, LCD의 후면 광원으로 냉음극관형 램프(CCFL; Cold Cathode Fluorescent Lamp)가 배치된

도광판 방식이 널리 이용되고 있다. 그러나 이와 같은 도광판 방식에서는 표시 면적이 증가하면 CCFL을 복수 배치하게 되어 휘도의 저하와 소비 전력의 증가, 효율을 저하, 열화등의 문제점이 발생할 수 있다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 고휘도 면발광체의 특징을 갖는 FFL이 주목을 받고 있다.

FFL은 M. Anandan 등에 의해서 우주선에 사용되고 있는 AM-LCD 후면 광원에 적용하고자 연구가 진행되었으며, 중량이 810 g, 두께는 12 mm, 휘도는 1000 cd/m², 소비 전력은 10 W의 결과를 보고하였다^[4]. D. Ketchum 등이 1992년에 방전 가스로서 Ar+Hg를 사용하고 1000 Vrms, 50 kHz 동작 조건에서 소비 전력은 4.5 W, 최대 휘도는 700 cd/m², 휘도 균일도(uniformity) 85%, 효율 5 lm/W의 결과를 보고하였다^[5]. 그 후, Hg+Ar 방전 가스를 사용하여 광확산기가 불필요한 10,000 cd/m²의 휘도를 갖고 90

* 正會員, 忠北大學校 電氣工學科
(Dept. of Elec. Eng., Chungbuk National University)

** 正會員, 大德大學 電氣電子系列
(Group-Dept. of Electrical and Electronics, Taedok College)

接受日字:1999年10月13日, 수정완료일:2000年3月17日

%의 균일도를 갖는 개선된 FFL이 T. Shiga, K. Igarashi 등에 의하여 보고되다^[15]. 그러나, 위에서 기술한 FFL에 관련된 연구 결과는 고휘도(10,000 cd/m²), 균일도 90%를 갖는 우수한 면발광체를 실현하였지만 자외선광 방사원으로 내환경성을 고려하지 않은 Hg이 혼합된 가스를 사용하여 평판형 광원을 실현하였다는 단점을 갖고 있으며, 전기적 특성 및 광학적 특성에 대한 이론적 고찰이 부족하다.

본 연구에서는 FFL은 방전 가스로서 내환경성을 고려하여 불활성 가스인 Xe 및 Ar 가스를 이용하고 인쇄 기법에 의한 고휘도 면발광체 제조 공정을 개발하여 시험 제작한 램프의 전기적 특성 및 광학적 특성을 측정하여 이론적 고찰을 하는데 목적을 두었다. Xe 및 Ar의 방전에서 방출되는 자외선광을 효율적으로 이용하고자 PDP(plasma display panel)에 이용되는 형광체를 사용하였으며 형광체의 흡수 및 발광 스펙트럼 등을 측정하고 인쇄 기법에 의한 제작 방법을 확립하였다. 또한, 제작된 FFL의 전기적 특성을 고찰하기 위하여 주파수 변화에 대한 전압-전류, 방전 개시 전압을 측정하였다. 이들 특성 측정으로부터 Xe 및 Ar의 가스 압력과 인가 주파수에 따른 전기적 특성을 비교 검토하였다. 그리고, 광학적 특성을 비교 고찰하기 위하여 휘도 균일 전압, 휘도, 효율을 전기적 특성과 마찬가지로 주파수 의존성을 측정하였다.

II. 실험방법

FFL은 전면 및 후면 유리, 배면 전극층, 유전층 및 형광층으로 구성하였다. 전면 유리는 전극으로 사용하기 위하여 20 Ωcm의 비저항을 갖는 ITO 유리를 사용하였으며, 후면 유리는 sodalime 유리를 사용하였다. 배면 전극은 반사율이 좋은 Ag 페이스트를 사용하였으며, 3×4 cm²의 크기로 인쇄한 후 온도 조절이 정확한 전기로에서 10분에 5 °C씩 상승시키고 560 °C에서 30분 동안 유지시켜 소결하였다. 유전층은 유전율(55)이 높은 BaTiO₃와 결합제가 혼합된 페이스트를 인쇄하여 30 μm로 하였으며 건조, 소성 방법 및 크기는 배면 전극과 동일하게 하였다. 형광층은 PDP용 형광체와 결합제가 혼합된 페이스트를 인쇄하여 전면과 후면에 각각 10 μm, 30 μm의 두께가 되도록 하였으며 인쇄 면적은 3×4 cm²으로 하였다. Ag 전극, 유전층 및 형광층이 인쇄된 후면 유리와 형광층이 인쇄된 전면 유리

의 결합은 액상의 frit 유리를 사용하였으며, 1.1 mm의 두께를 갖는 가스 방전층을 형성하였다. 그리고 가스를 주입하기 위하여 로터리 펌프를 사용하여 10-3 Torr의 진공 상태로 만든 후 순도 99.99%, 99.999%의 Xe와 Ar 가스를 주입하여 80 Torr가 되도록 하고 봉합하였다. 이와 같이 제작된 램프의 특성을 측정하기 위하여 그림 1과 같이 측정 장비를 구성하였다.

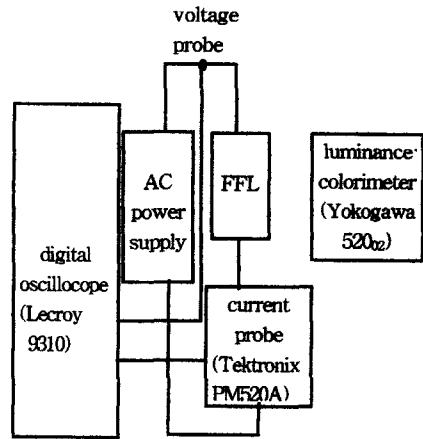


그림 1. 전기적 및 광학적 특성 측정을 위한 구성도
Fig. 1. Block diagram of measurement for electrical and optical characteristics.

그림에서 전원은 universal source(HP3245A), high speed power amplifier(ME4015) 및 고주파 특성이 우수한 페라이트 변압기를 혼합하여 구성하였다. 램프의 주파수 특성을 고찰하기 위하여 가스 압력 80 Torr를 갖는 램프에 30 kHz부터 80 kHz까지 주파수를 변화시키면서 방전 개시 전압 특성, 방전 유지 전압 특성, 휘도 균일 전압 특성, 휘도 특성 및 효율 특성을 측정하였다. 효율(η)의 계산은 식 (1)^[1]을 이용하여 구하였다.

$$\eta = \frac{\pi SL}{P} \quad (1)$$

여기서, S는 램프의 발광 면적이고, L은 휘도, P는 램프에 공급된 전력이다.

III. 실험 결과 및 고찰

방전 개시 전압의 압력 의존성에 관련된 실험 결과는 충분하며 파선의 법칙^[6]으로 설명되고 있다. 그러나,

방전 개시 전압의 주파수 의존성에 관한 실험 결과는 충분하지 못하므로 본 연구에서 이에 대한 실험을 수행하였고, 그 결과는 그림 2이다. 그림 2는 주파수 변화에 대한 방전 개시 전압의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 주파수가 증가하면 방전 개시 전압은 점점 감소하는 경향을 보이고 있으며, Xe 가스가 Ar 가스보다 주파수 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다.

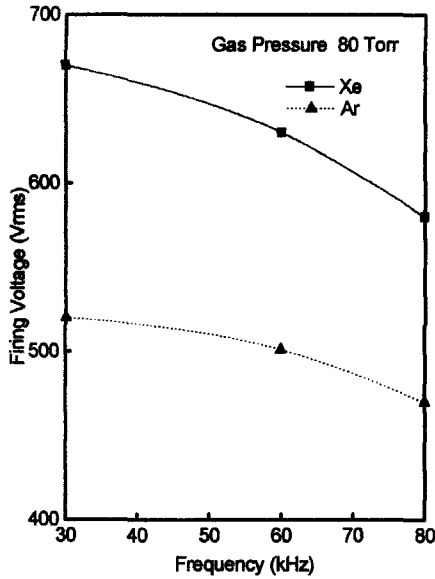


그림 2. 주파수 함수에 따른 불꽃 전압 특성
Fig. 2. Firing voltage characteristics as a function of frequency.

Xe의 방전 개시 전압이 Ar의 방전 개시 전압 보다 높게 나타나는 것은 평균 자유 행정으로 이해가 가능하다. 즉, 동일한 압력에서 Xe의 평균 자유 행정이 Ar의 평균 자유 행정 보다 짧다⁷⁾. 따라서, Xe이 Ar보다 전자가 짧은 평균 자유 행정 중에 중성 원자를 전리시킬 수 있는 충분한 에너지의 증가가 어렵기 때문에 방전 개시 전압이 높게 나타난 것이다. 그리고 동일한 압력에서 주파수가 높아짐에 따라 방전 개시 전압이 감소하는 것은 저주파 영역에서의 고전계에서는 가스 갭 중에 생성된 전자와 정이온은 반주기 동안에 양극 및 음극에 도달하지만 고주파 영역에 이르면 상대적으로 느린 이동도를 갖는 정이온이 음극에 도달하지 못하게 되어 음극 근처에 공간 전하를 형성하게 되는 것에 기인된 것으로 사료된다.

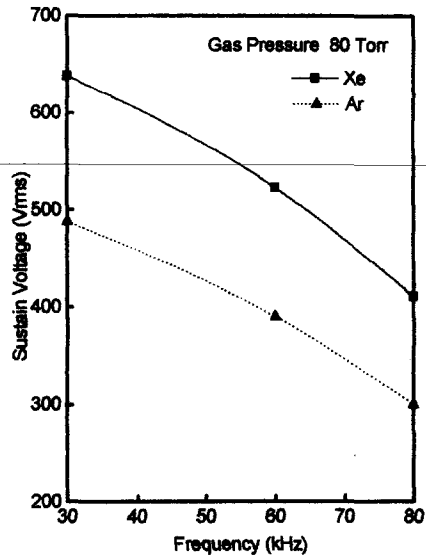


그림 3. 주파수 함수에 따른 유지 전압
Fig. 3. Sustain voltage as a function of frequency.

그림 3은 방전 유지 전압의 주파수 의존성을 실험한 결과이다. 방전 유지 전압은 방전 개시 후 전압을 감소시켜도 방전이 지속되는 최저 전압을 의미하며 방전 개시 전압보다 낮다. 방전 유지 전압의 주파수 의존성의 변화 경향은 방전 개시 전압의 그것과 유사하다. 이와 같은 경향은 방전 개시 전압의 주파수 의존성과 동일하게 생각할 수 있으며, 정이온이 반주기 동안에 이동할 수 있는 최대 거리는 식(2)^[2]와 같이 표현할 수 있다.

$$L_{\max} = \int_0^{\frac{1}{2f}} k \frac{V}{d} \sin 2\pi f t dt = \frac{kV}{\pi f d} \quad (2)$$

여기서, L_{\max} 는 방전 공간내에서 정이온이 이동하는 최대 거리이며, k 는 정이온의 이동도, V 는 인가 전압, d 는 전극간 거리이다. 식으로부터 주파수가 높아질수록 L_{\max} 는 작아지고 L_{\max} 가 d 보다 작아지면 정이온은 가스 갭 중에 공간 전하로 존재하게 되고 주파수가 높아질수록 가스 갭 중의 정이온에 의한 공간 전하량은 증가한다. 이들 공간 전하는 음극 근처에 위치하여 음극과 공간 전하 영역 사이의 전계를 인가 전계보다 강화시키는 역할을 하게 되며 방전 유지 전압은 저하한다.

그림 4는 주파수 변화에 대한 휘도 균일 전압 특성을 보인 것이다. 휘도 균일 전압은 휘도의 균일도가

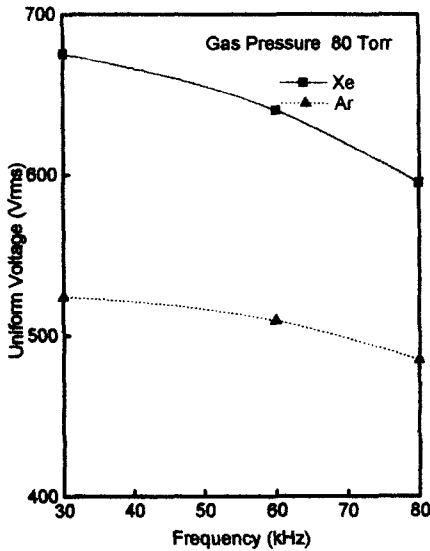


그림 4. 주파수 함수에 따른 휘도 균일 전압 특성
Fig. 4. Luminance uniformity voltage characteristics as a function frequency.

90%가 되는 최소의 전압이며, 실용적으로 매우 중요한 특성치이다. 그림에서 보면 이 전압은 방전 개시 전압보다 높고 그와 동일한 경향을 보였고, Xe 가스를 사용했을 때 휘도 균일 전압 감소는 Ar보다 큰 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 T.Shiga 등^[1]에 의해서 Hg+Ar 혼합 가스를 이용한 실험 결과와 동일한 경향을 나타내고 방전 개시 전압 특성과 동일한 공간 전하 효과로 설명이 가능하다.

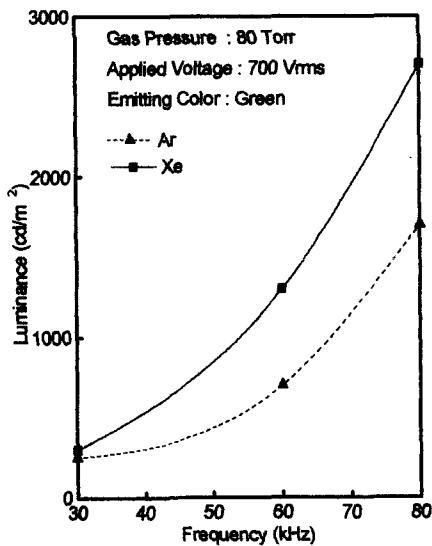


그림 5. FFL의 휘도 특성
Fig. 5. Luminance characteristics of FFL.

그림 5는 휘도의 주파수 의존성을 보여주고 있다. Xe와 Ar을 사용한 FFL에 700 Vrms, 80 kHz를 인가하였을 때 2700 cd/m², 1700 cd/m²의 휘도를 보이고 있다. 이 결과는 T. Shiga 등에 의해서 발표된 2000~10,400 cd/m²의 범위에 속하는 것이다. FFL은 기본적으로 가스 방전에서 비롯되는 자외선을 이용하고 있다. 즉, 가스 방전에서 비롯되는 자외선이 증가하는 것은 자외선 형광체를 여기시키는 여기원의 증가를 의미한다. 가스의 방전 개시 후 인가 전압 및 주파수를 증가시키면 전자가 갖게 되는 에너지의 증가에 의해서 증성원자와 충돌 전리하는 기회가 증가하게 되고 방사되는 자외선은 증가하게 되어 휘도는 증가한다. Xe을 방전 가스로 사용한 것이 Ar을 사용한 것보다 휘도 특성이 우수한 것은 Xe의 자외선(147 nm) 방사 효율이 Ar보다 높은 것에 기인된 것으로 생각된다. 그림 6은 700 Vrms, 80 kHz의 구동 조건에서 FFL을 구동하였을 때 96 %의 휘도 균일도를 갖는 발광 사진이다.

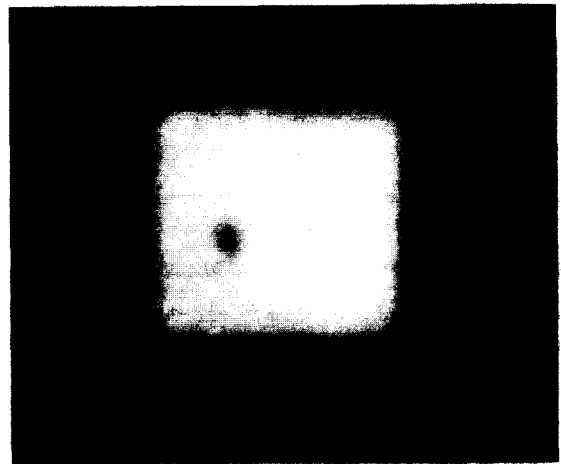


그림 6. FFL의 발광 사진
Fig. 6. Photo of FFL with blue emission color.

그림 7은 주파수 변화에 대한 효율을 나타낸 것이다. 효율은 식(1)에 의해서 구하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 주파수가 증가함에 따라 효율은 증가하는 경향을 보였으며, Xe이 Ar보다 높은 효율 특성을 보였다.

이와 같은 경향을 보이는 것은 자외선광 방사 효율의 변화에 기인된 것으로 생각할 수 있으며, 구동 주파수의 증가에 따른 효율 상승 현상은 일반 형광등에서도 관측된 사실이다. 또한 자외선광 방사는 Ar 보다 Xe의 경우가 효율이 높은 것은 다음과 같이 생각된다.

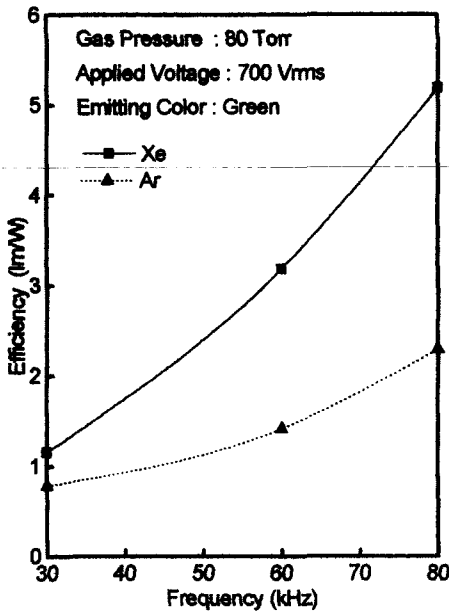


그림 7. 주파수 함수에 따른 휘도 효율
Fig. 7. Luminance efficiency as a function of frequency.

우선 준안정 전압의 차이를 들 수 있다. Xe은 8.32 eV, Ar은 11.5 eV로서 Xe의 준안정 전압이 낮다. 이것은 Xe이 Ar보다 쉽게 준안정 상태로 여기됨을 의미한다. 또한, 준안정 여기 상태에서 기저 상태로 천이하면서 방출되는 광파장은 147 nm(Xe), 108 nm(Ar)인데 본 연구에서 사용된 PDP용 형광체는 142 nm의 흡수 파장에서 발광 효율이 높기 때문에 Xe 가스를 사용한 경우가 효율이 높은 것으로 생각된다. 한편, 주파수의 증가에 따라 Xe의 경우 발광 효율 증가가 Ar의 경우보다 두드러지고 있다. Xe+이온이 Ar+이온보다 무겁기 때문에 이동도가 낮다. 따라서, 식(2)에 의하면 Xe의 경우가 같은 주파수에서 L_{max} 가 작고, 보다 낮은 주파수에서 정이온은 음극에 이르지 못하고 공간 전하로 존재하게 되며, 음극 전계를 증가시켜 전자 방출을 용이하게 한다. 결국, 주파수에 따른 효율 증가의 차이는 정이온에 의한 공간 전하의 효과의 차이로 설명할 수 있을 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 내환경성을 고려하여 방전 가스로서 불활성 가스인 Xe과 Ar을 사용하여 고휘도 면발광체

인 FFL에 관련된 여러 가지 특성 중에서 방전 개시 전압, 방전 유지 전압, 휘도 균일 전압, 휘도 및 효율에 미치는 주파수 특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인가 주파수 변화에 따른 전기적 및 광학적 특성의 변화는 방전 공간내에서 발생된 정이온의 이동도에 기인되어 형성되는 공간 전하의 변화 때문으로 고찰하였다.

(2) 내환경성을 고려하여 방전 가스로서 Xe과 Ar을 사용하여, 최고 2700 cd/m^2 휘도를 얻었다.

(3) 평판 형광 램프에서 중요한 특성치인 휘도 균일도는 96 %의 높은 값을 얻었다.

본 논문에서 얻은 고휘도 및 높은 휘도 균일도를 갖는 FFL을 CCFL 및 분산형 EL 대신 LCD의 후면 광원으로 사용하면 CCFL의 복수 배치에 따른 휘도 저하, 소비 전력의 증가, 효율 저하, 열화 및 저휘도 등의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 생각되며 선명한 표시를 나타내는 LCD를 용이하게 실현할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, FFL은 최대 $10,000 \text{ cd/m}^2$ 이상의 휘도를 얻을 수 있으므로(혼합 가스) 평판형 조명용으로도 기대된다.

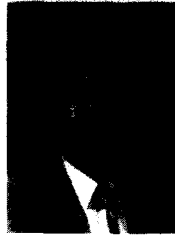
참 고 문 헌

- [1] T.Shiga, K.Igarashi, S. Mikoshiba, S. Shinda, Euro Display '96, pp. 233-236, 1996.
- [2] Munisamy Anandam and Douglas Ketchum, IEEE Trans. Electron Device, pp.1327-1330, vol. 39, 1992.
- [3] K. Hinotani, S. Kishimoto, and K. Terada, Inconf. Rec. 1988 Int.Display Reserach Conf., 1989.
- [4] Munisamy Anandam and Douglas Ketchum, IEEE Trans. Electron Device, pp. 504-510, vol, 30, 1994.
- [5] M.Anadan, D. Ketchum, J.Brain,W.N. Carr, Japan Display '92.
- [6] 전춘생, 방전·고전압공학, 동명사, 1995
- [7] 鳳 誠三郎, 關口 忠, 河野 照哉, 電離氣體論, 日本電氣學會

저 자 소 개

權 純 錫(正會員)

1991년 2월 대전산업대 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 2월 충북대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1999년 1월 충북대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1994년 3월~2000년 3월 대전산업대, 충북대학교, 우송공대 강사. 주관심분야 : 평판 디스플레이, 반도체 재료, 유전 재료 등



尹 吉 重(正會員)

1956년 3월 1일생. 1980. 2. 명지대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1982. 2. 명지대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1994. 8. 명지대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1990. 3~현재. 대덕대학

전기전자계열 조교수