

LCD 백라이트용 Xe계 플라즈마 평판 램프의 구동 전압 Pulse의 조건에 따른 방전 특성 연구

권은미 · 김혁환 · 이원종[†]
한국과학기술원 재료공학과

Discharge Characteristics of Xe Plasma Flat Lamp for LCD Backlight According to Operating Voltage Pulse

Eun-Mi Kwon, Hyuk-Hwan Kim and Won-Jong Lee[†]
Department of Material Science and Engineering, KAIST, Taejeon 305-701

(2003년 3월 14일 받음, 2003년 4월 15일 최종수정본 받음)

Abstract Conventional backlight for liquid crystal display (LCD) uses mercury which leads to environmental pollution. In this study, characteristics of AC coplanar type mercury-free plasma flat lamp have been studied. Pollution-free Xe-He is adopted as a discharge gas system. Since the Xe gas has a lower efficiency in generating vacuum ultraviolet (VUV) than mercury, the improvement of luminance and luminous efficiency in the Xe gas system is very important. The electrode, dielectric, and phosphor layers constituting lamp are formed on the bottom glass by the screen printing method. The effects of pulse shape, on-time, and pulse frequency on the luminance and luminous efficiency have been examined. For Xe(5%)-He gas, the lamp exhibits higher efficiency with sharper pulse shape, higher peak voltage, and shorter pulse on-time (up to 2 μ s). Higher efficiency and lower consumption of power were obtained at 30 kHz than at 60 kHz. The collision of ion to bottom electrodes is a dominant factor to raise the lamp temperature. Therefore the high voltage and low current discharge system is necessary for reduction of the lamp temperature as well as for enhancement of the luminous efficiency.

Key words backlight, coplanar type, Xe plasma

1. 서 론

LCD(liquid crystal display)는 자체 발광이 불가능하여 백라이트(backlight)를 이용한 수광형 디스플레이의 형태로 사용되고 있으며 LCD 백라이트로는 주로 수은 플라즈마로부터 발생하는 자외선을 이용한 냉음극관(CCFL, cold cathode fluorescent lamp)이 사용되고 있다.

수은은 인체에 해로우며, 환경오염 측면에서 많은 문제를 가지고 있는 물질로서 최근 대두되고 있는 환경 규제의 대상 물질이다. 따라서 기존의 수은 여기 방식의 램프는 조만간 외국(특히 유럽)의 수입규제로 수출의 제한을 받거나 폐기물 수거에 대한 비용을 지불해야 할 것으로 예상된다. 이에 대비하여 최근에는 LCD 백라이트에 사용되는 수은의 양을 줄이거나 또는 Xe과 같은 불활성 기체를 사용하여 방전을 일으키는 연구가 수행되고 있다.¹⁻⁴⁾ 수은 플라즈마를 사용하는 램프의 경우 점등 후 특정 온도까지 가열되어야 정상적인 휘도를 발하게 된다. 이에 반해 Xe과 같은 불활성 기체를 사용할 경우 온도와 무관하게 기체 방전에 의한 발광을 얻을 수 있는

장점이 있다. 그러나, Xe과 같은 불활성 기체는 수은에 비해 발광효율이 낮다는 단점이 있어 무수은 평판 램프의 휘도와 효율을 높이는 연구가 필요하다.

현재 일반적으로 사용되고 있는 CCFL 백라이트는 CCFL을 LCD 패널의 가장자리에 위치시키고 반사판, 도광판, 확산필름, 프리즘필름을 놓아 휘도의 균일성을 확보하고 있다. 그러나 이 경우 빛의 손실이 많아지는 문제점을 가지며 최근 들어 디스플레이 패널이 대형화됨에 따라 이 문제는 더욱 심각해지고 있어 기존의 CCFL 백라이트 방식으로는 원하는 휘도를 얻는 것이 어려워지고 있다. 이를 해결하기 위해 여러 개의 CCFL을 병렬로 연결하여 사용하는 직하형 방식 및 반사판, 도광판, 확산필름의 특성 개선에 대한 연구가 수행되고 있다. 하지만, LCD의 대형화 추세에서 휘도 확보를 위해서는 궁극적으로 평판 램프의 개발이 필요하다.

평판 램프에 적용할 수 있는 여러 방식 중 AC 면방전형 방식(coplanar type)은 방전이 일어나는 전극 부분을 한쪽 면으로 모으고 그 위에 유전층을 도포한 후, 형광체를 반대면에 위치시켜 방전 시 이온충격으로 인한 형광체 열화를 최소화 할 수 있으며 스크린 프린팅과 같은 비교적 간단한 방법으로 제작할 수 있다. 또한 전극

[†]E-Mail : lwj@mail.kaist.ac.kr

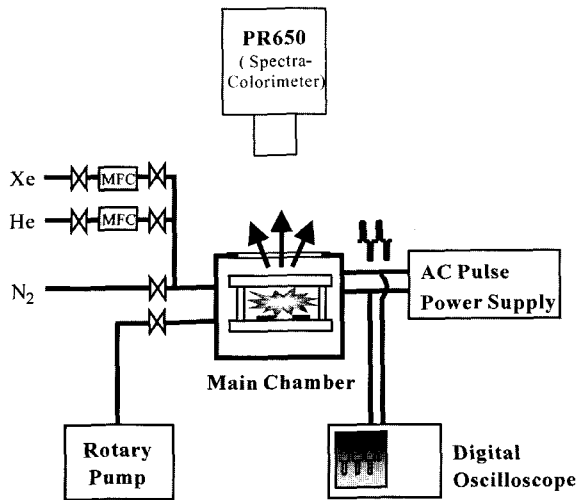


Fig. 1. Schematic diagram of the system for the study of Xe plasma flat lamp.

사이의 간격의 조절이 자유로워서 최적의 방전효율을 얻을 수 있는 전극 설계가 가능하다.

본 연구에서는 면방전형의 직선 전극에 플라즈마를 고정할 수 있는 tip을 첨가하고 직선 전극과 tip이 있는 전극을 교대로 평행하게 배치한 전극 구조에서⁵⁾ 방전 기체의 조성과 압력, 그리고 입력파에 따른 Xe계 플라즈마의 특성을 파악하고자 하였다.

2. 실험 방법

Xe계 플라즈마 평판 램프의 방전 특성을 연구하기 위해서 Fig. 1의 장치를 사용하였다. 챔버(chamber) 상부에는 두께 20 mm의 quartz window를 사용하여 챔버 내에서 방출되는 빛이 투과될 수 있도록 하였다. 형광체로부터 발생하는 가시광선은 휘도 측정기(PR650 Spectra Colorimeter™)를 통해 측정되었다. 방전 기체는 Xe, He를 사용하였으며 capacitance manometer를 사용하여 압력을 측정하였다. Xe는 방전 중 147, 150, 173 nm의 진공자외선을 발생시켜 형광체의 여기원으로서 사용되며, He는 방전 개시 전압을 낮추고 방전을 안정화시키는 완충기체(buffer gas)로 사용된다. 램프의 구동 시, AC pulse 전원 장치를 사용하였으며 주파수는 30, 60 kHz, on-time은 2~30 μ s 범위에서 변화시켰다. 전원 장치의 출력 단자에 전압 프로브(probe)와 전류 프로브를 연결하고 고해상도 오실로스코프를 통해 램프의 방전상태를 관찰하였다. 열전대가 램프의 아래 면과 접촉되어 방전 동안 램프 하판의 온도변화를 측정할 수 있도록 하였다. 챔버와 로터리 펌프는 main valve와 metering valve를 통해 연결되어 있으며 metering valve를 사용하여 실험 중의 압력을 미세 조절하였다.

램프의 하판은 130 mm×130 mm×3 mm soda-lime glass를 아세톤으로 세척한 후 그 위에 전극, 유전체, 형광체를 차례로 스크린 프린팅 법으로 형성시켜 제작하였

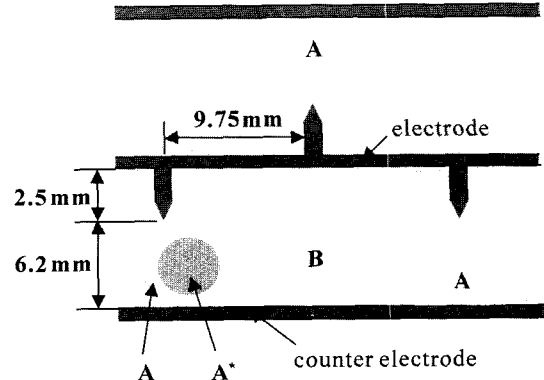


Fig. 2. Magnified view of some parts of sample. Region A is the area between the tip and the counter electrode where glow discharge are generated profusely. Region B is the area between parallel electrodes. Region A* is the boundary area between region A and region B.

다. 전극은 Fig. 2의 형상으로 스크린 프린팅 법으로 형성 후 500°C에서 열처리하였다. 열처리 후의 전극의 비저항은 $2.27 \times 10^6 \Omega\text{cm}$ 이었고 두께는 6 μm 이었다. 유전체는 스크린 프린팅 후 520°C에서 열처리하였다. 열처리 후의 유전상수는 12.3이었고 두께는 40 μm 이다. 기체 방전으로부터 방출된 Xe계 진공 자외선으로부터 가시광선을 방출시키기 위해 형광체를 하부 기판에 도포하였다. 단, 전극 상부에는 형광체가 기체 방전에 미치는 영향을 배제하기 위하여 형광체를 도포하지 않았다. 본 실험에 사용된 형광체는 진공 자외선에 반응하는 Red: (Y,Gd) $\text{BO}_3:\text{Eu}^{3+}$, Green: (Ba,Sr) $\text{Al}_{11}\text{O}_{19}:\text{Mn}^{2+}$, Blue: $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{3+}$ 이었으며 그 혼합비는 R:G:B=40 wt% : 23 wt% : 37 wt%이었다. 하판에 도포된 형광체의 두께가 십 수 μm 이상인 경우, 형광체로부터 발생하는 가시광선의 세기는 형광체 막의 두께에 그다지 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. Fig. 2의 형상에서 tip 부분을 A 영역, tip과 tip 사이를 B 영역이라 하였으며, A와 B 사이의 경계 영역을 A* 영역으로 설정하였다. 휘도 측정 시에는 A와 A* 영역을 측정하였으며, 측정된 휘도를 램프 전체 휘도라 가정하고 이때의 소모전력으로부터 광효율을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 입력 pulse 형태의 효과

전원 장치로부터 발생하는 pulse의 모양에 따른 방전 특성의 차이를 살펴보았다. Fig. 3에 Xe(20%)-He 기체에서 압력이 60 Torr, 입력 주파수 30 kHz, pulse의 on-time이 5 μs 일 때, Type I과 Type II의 두 전원 장치로부터의 전압, 전류 및 전력 파형을 나타내었다. 전원 장치에 표시되는 출력 전압을 RMS 600 V로 설정 후, Type I의 실제 출력 전압 파형을 살펴보면 on-time 초기 peak 전압값이 600 V에 미치지 못하며 on-time 중간에 약 600 V로 서서히 증가하다가 다시 서서히 감소하여 off-time

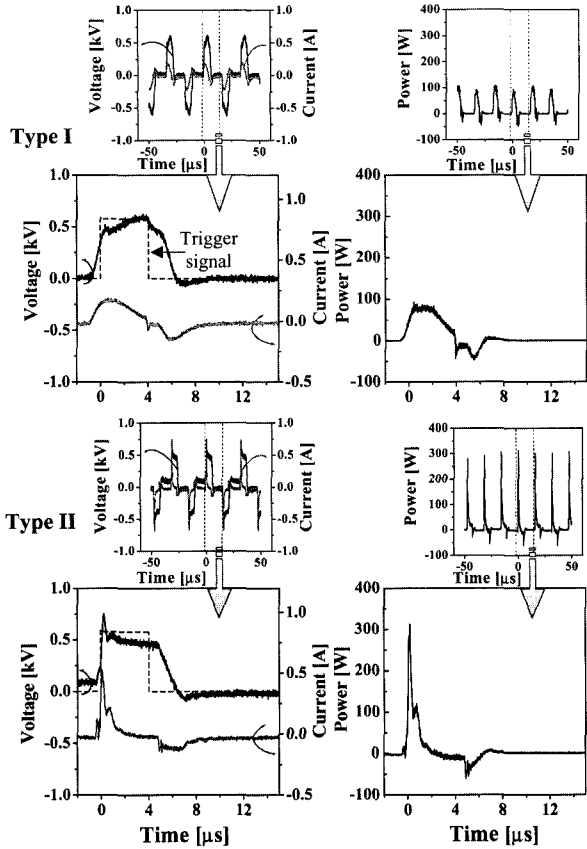


Fig. 3. Voltage, current, and power wave forms of the Type I and II power supplies at 60 Torr for Xe(20%)-He gas system. Input pulse conditions : $V = 600$ V, $f = 30$ kHz, on-time = $5 \mu s$.

에 이른다. 전류 파형을 살펴보면 전압이 인가되면 방전 전류가 흐른 후 0 A로 감소하였다가 전압이 off 되면서 유전체에 충전되어 있던 전하들이 이동하여 반대방향으로 변위 전류(displacement current)가 흐른다. 이 때, 방전 전류의 peak 값은 약 0.2 A이다. 반면 Type II의 실제 출력 전압 파형은 on-time 초기에 입력 전압 600 V 보다 높은 750 V의 peak 값을 보인 후 급격히 감소하여 600 V에서 400 V 사이의 전압을 유지하다가 off-time에 이른다. 전류 파형 역시 전압 인가 시, 전극을 덮고 있는 유전체에 충전되는 변위 전류 peak과 높은 크기의 방전 전류 peak이 나타나고 약 $2 \mu s$ 후 0 A에 이르며 전압이 off 되면서 반대 방향으로 변위 전류가 흐른다. 이 경우의 방전 전류 peak 값은 약 0.5-0.6 A이다. Type I은 전원 장치에 표시되는 전압보다 낮은 전압을 방전 기체에 공급하며 전류는 on-time 동안에 계속 흐른다. 반면 Type II는 전원 장치에 표시되는 전압과 비슷한 전압 값을 방전 기체에 공급하며 Type I에 비해 on-time 초기 짧은 시간동안 높은 값의 전류가 흐른다.

Type I의 전력 파형을 살펴보면 방전 초기 100 W 정도의 peak 값을 보이고 있으며 on-time $5 \mu s$ 동안 50 W의 FWHM(full width half maximum)을 가지는 반면, Type II의 경우 방전 초기 300 W의 peak 값을 보이고 있으며 on-time $5 \mu s$ 보다 짧은 시간 동안 25 W 정도의

FWHM을 가지고 있었다. 즉 Type I은 pulse의 on-time 내내 전력을 소비하고 있는 반면 Type II는 방전 초기에만 큰 소비전력을 갖는다. Type I과 Type II의 방전 효율을 구해보면 전원 장치에 표시된 전력 중 Type I이 78%, Type II가 89%를 방전에 소비하여 Type II가 더 높은 방전효율을 보였다. 이는 Type II의 전압 파형에서 초기 높은 전위차가 기체에 인가되어 이때 효율적으로 방전이 이루어지기 때문이라고 생각된다. 이후 모든 실험은 방전 효율이 더 높은 Type II를 이용하여 방전 실험을 수행하였다.

3.2. 기체의 압력과 조성에 따른 방전 특성

플라즈마 평판 램프의 방전 기체로 진공자외선 발생원인 Xe 기체에 He 등의 페닝 기체를 혼합하여 사용하였다. 형광체의 발광효율은 기체의 방전 특성에 의해서 결정되므로 기체의 압력과 조성에 따른 플라즈마 방전 특성을 알아보았다.

Fig. 4은 Xe-He 방전 기체의 압력을 20 Torr에서 140 Torr까지 변화시키고 Xe 함량을 0%에서 20%까지 변화시켰을 때의 방전개시전압(V_F)과 최소방전유지전압(V_S)의 변화를 보여주고 있다. V_F 는 모든 A 영역에 플라즈마가 발생할 때로 정의하였으며, V_S 는 전압 강하 중 A 영역의 13%가 소멸할 때로 정의하였다. 이는 평판형 전극을

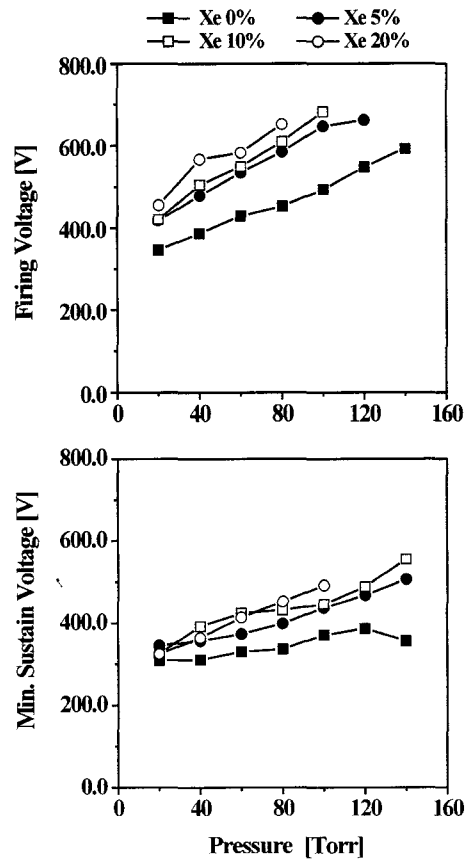


Fig. 4. Firing voltage (V_F) and minimum sustain voltage (V_S) as a function of gas pressure and Xe concentration. Input pulse conditions : $f = 30$ kHz, on-time = $4 \mu s$.

제조할 때 제조 시 나타날 수 있는 전극 간격 및 유전체 두께의 불균일로 인해 전압이 강하되면서 일부에서 방전이 소멸되는 효과를 고려한 것이다. 입력파의 구동 주파수는 30 kHz, on-time은 4 μ s이었다. 압력의 증가에 따라 V_F 와 V_S 가 증가하였으며 Xe 함량이 증가할수록 V_F 와 V_S 가 증가하였다. 이는 압력이 증가할수록 전자와 기체 원자 간의 충돌 확률이 증가하여 전자가 기체 이온화에 필요한 에너지를 얻기 어려워지기 때문이다. 또한, Xe의 이온화 에너지는 12.13 eV로 He의 24.59 eV보다 작지만, Xe의 electron momentum transfer cross-section이 He보다 더 커서 Xe의 경우 전자는 더 큰 충돌 주파수를 가진다.⁶⁾ 따라서 기체내의 Xe 함량이 증가할수록 전자가 기체 이온화에 필요한 에너지를 획득하기 어려워져서 V_F 와 V_S 가 높아지게 된다. V_F 와 V_S 가 증가하면 방전시 흐르는 전류가 증가하게 되며 따라서 소비 전력도 증가하게 된다.

방전 기체의 압력과 조성에 따른 플라즈마 발광 특성을 조사하였다. 낮은 압력에서는 tip과 직선 전극 사이의 모든 A, B 영역에서 플라즈마가 균일하게 발생하지만, 압력이 증가함에 따라 tip과 가장 가까운 부분에 플라즈마가 집중되어 A 영역의 삼각형 모양의 면적이 감소하고 A 영역 중심부의 휘도가 증가한다. 압력이 더 증가하면 A 영역의 플라즈마 집중 현상 외에도 B 영역에서도 일부 집중된 선 형태의 플라즈마가 발생한다. 이러한 A 영역 및 B 영역에서의 플라즈마의 집중 현상은 Xe 함량이 증가할수록 더 낮은 압력에서도 뚜렷하게 나타난다. Xe의 함량이 증가하거나 압력이 증가하는 경우, tip과 상대 전극 간의 최단 거리에서 발생한 플라즈마가 주변으로 잘 확산되지 못하고 이는 결국 플라즈마를 선 형태로 제한하는 것으로 판단된다. 따라서 A 영역도 tip 부분으로 좁아지게 된다. Fig. 5에 압력 및 Xe 함량의 증가에 따른 플라즈마 및 발광 영역의 변화를 개략적으로 나타내었다.

3.3. 입력 전압, pulse의 on-time, 압력에 따른 방전 및 휘도 특성

기체의 조성을 Xe(5%)-He로 하고 주파수를 30 kHz로 고정시킨 후 전원 장치의 trigger 신호 on-time을 2, 4,

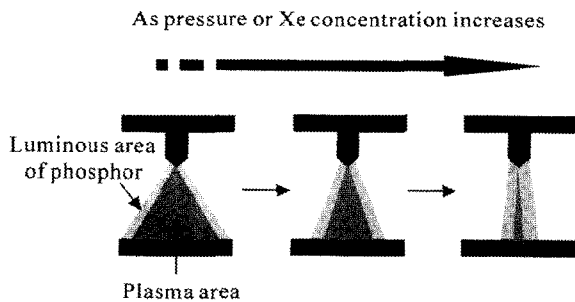


Fig. 5. Schematic diagram of the variations of luminous area and plasma shape with increasing gas pressure and Xe concentration.

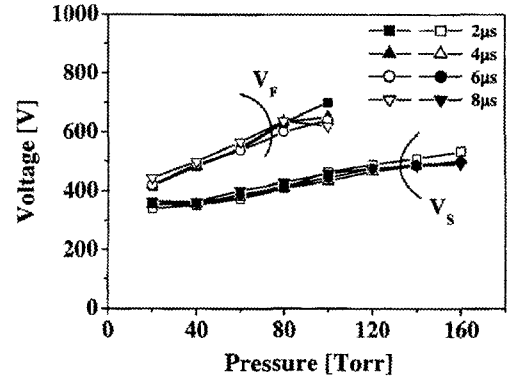


Fig. 6. V_F and V_S as a function of gas pressure and pulse on-time for Xe(5%)-He gas system. Input pulse conditions : $f=30$ kHz.

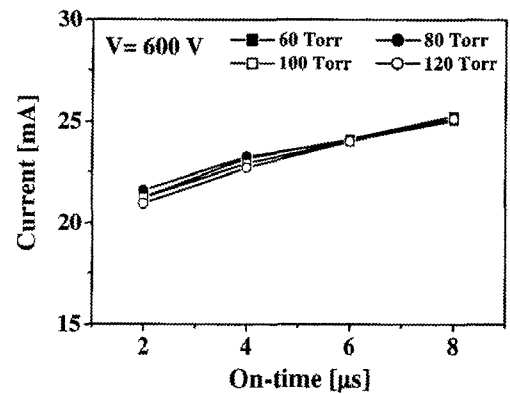


Fig. 7. Output current as a function of gas pressure and pulse on-time for Xe(5%)-He gas system. Input pulse conditions : $V=600$ V, $f=30$ kHz.

6, 8 μ s로 변화시키면서 V_F 와 V_S 휘도를 측정하였다.

Fig. 6에 입력파의 on-time 및 압력 변화에 따른 V_F 와 V_S 의 변화를 나타내었다. 동일한 압력 하에서는 V_F 와 V_S 가 입력파의 on-time에 거의 영향을 받지 않고 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 V_F 가 초기 방전이 일어날 수 있도록 전극의 양단에 가해지는 전위 차이에 의존할 뿐, 전위 차이를 유지하는 시간과는 무관함을 의미하며, 벽전하의 형성이 대부분 2 μ s 이내에 이루어져서 V_S 또한 on-time에 크게 영향 받지 않는 것으로 생각된다.

Fig. 7에 방전유지전압을 600 V로 일정하게 가하였을 때 on-time에 따른 전류 변화를 나타내었다. 압력 범위는 60~120 Torr이다. 입력파의 on-time이 2 μ s와 4 μ s에서는 압력에 따라 약간의 전류값(0.5 mA 미만)에 차이가 나긴 하였지만, 전체적으로 보면 일정한 입력 전압 하에서는 압력에 따른 전류값의 변화는 거의 없다고 볼 수 있다. 입력파의 on-time이 2 μ s에서 8 μ s로 증가함에 따라 전류의 평균값은 약 21 mA에서 25 mA로 약 20% 증가하였다.

이러한 on-time에 따른 전류의 차이는 Fig. 8의 전원 장치의 출력단자로부터의 파형을 통해 알 수 있다. 압력이 60 Torr일 때 30 kHz의 절반인 17 μ s 동안의 전압, 전류 파형을 나타내었다. 전압이 음의 값을 가지는 부분

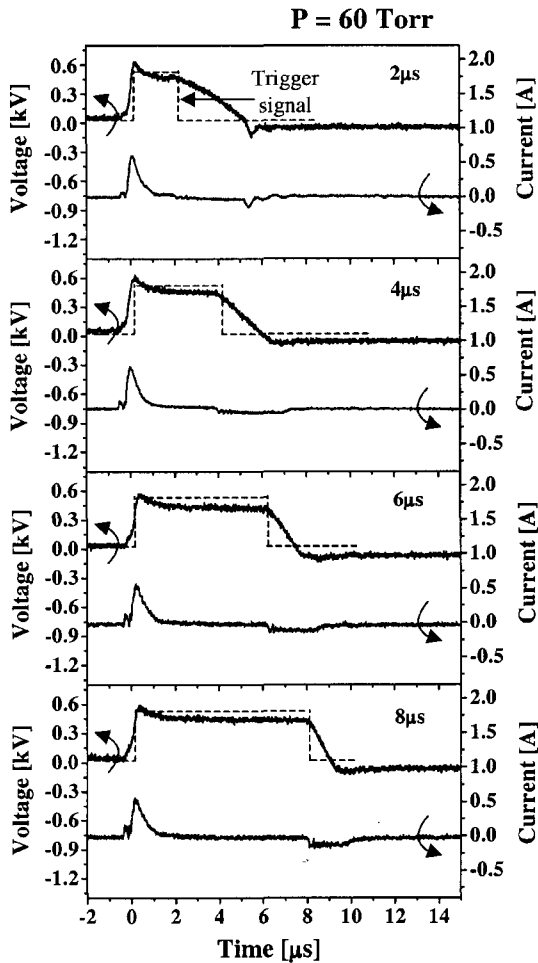


Fig. 8. Variation of voltage and current wave forms with pulse on-time for Xe(5%)-He gas system at P=60 Torr. Input pulse condition : V=600 V.

은 양의 부분과 대칭이므로 이 부분은 생략하였다. 전압 파형은 on-time 초기 600 V 정도의 peak 전압을 가지며 off-time 이후 감소한다. 전류 파형은 on-time 초기에 변위전류와 방전전류의 peak을 보이고 있으며, 이들은 on-time이 2 μs에서 8 μs로 증가하여도 폭과 높이가 크게 변화하지 않았다. 방전은 on-time이 시작되면 그때의 peak 값이 V_F 이상으로 주어질 때 이루어지고 이후 전자와 이온이 유전체에 쌓이게 되어 이로 인해 방전이 멈추게 된다. 그러나 방전이 멈추었다 하더라도 방전 공간에는 전자와 이온들이 남아있게 되고 이 입자들은 on-time 동안 주어지는 일정한 전위차에 의해 유전체에 계속적으로 쌓이게 된다.⁷⁾ 따라서 on-time이 길어지면 유전체에 쌓이는 전하량이 증가하고 이로 인해 전류값도 약간씩 증가하게 된다.

입력전압, on-time 및 압력에 따른 휘도와 광효율을 조사하였다. 휘도 측정부는 Fig. 2에서의 A 영역과 A* 영역이다. Fig. 9 및 10에 60~120 Torr 범위의 기체 압력에서 입력 전압을 500 V에서 700 V로 변화시키면서 휘도 및 광효율을 측정하여 나타내었다. 120 Torr에서는 V_S 가 500 V 근처이기 때문에 일부 영역이 소멸되어 500 V

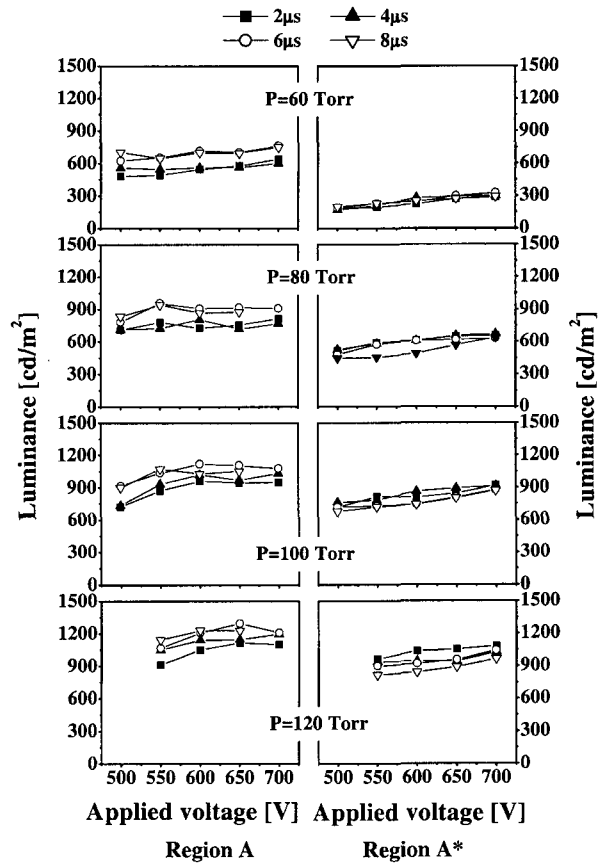


Fig. 9. Luminances of the region A and region A* for various pressure and on-time conditions as a function of applied voltage for Xe(5%)-He gas system. Input pulse condition : f=30 kHz.

에서는 휘도를 측정하지 않았다.

전압에 따른 휘도 변화를 살펴보면 입력 전압이 500 V에서 700 V로 증가할 때, A 영역의 경우 약 17%, A* 영역의 경우 약 33% 정도의 휘도 증가 경향을 보였다. 광효율은 입력 전압이 증가할수록 A, A* 영역 모두에서 상당히 감소하는 경향을 보였다. 압력에 따른 휘도 변화를 보면 압력이 60 Torr에서 120 Torr로 증가함에 따라 A 영역에서는 약 600 cd/m²에서 1200 cd/m²으로 100%, A* 영역에서는 평균 250 cd/m²에서 950 cd/m²로 약 280%의 휘도 증가를 보였다. 광효율은 압력이 증가할수록 A, A* 영역 모두에서 증가하는 경향을 보이고 있다. on-time에 따른 휘도 변화는 on-time이 2 μs에서 8 μs로 증가함에 따라 A 영역의 경우 약 21%의 휘도 증가를, A* 영역의 경우 약 -13.4%의 휘도 감소를 보였다. 이때, 광효율은 A 영역의 경우 on-time과 무관하게 거의 일정한 값을 보였으며, A* 영역의 경우 on-time이 증가할수록 광효율이 떨어짐을 관찰할 수가 있었다.

입력 전압이 증가하면 방전기체의 이온화율이 증가하여 전자밀도가 높아지게 되어 전류가 증가한다.²⁾ 이는 Xe의 여기 반응을 증가시켜 휘도를 증가시키지만, 입력 전압의 증가는 Xe의 여기보다 이온화를 더욱 활발히 일으키므로 광효율은 도리어 감소하게 된다. 그리고 압력이

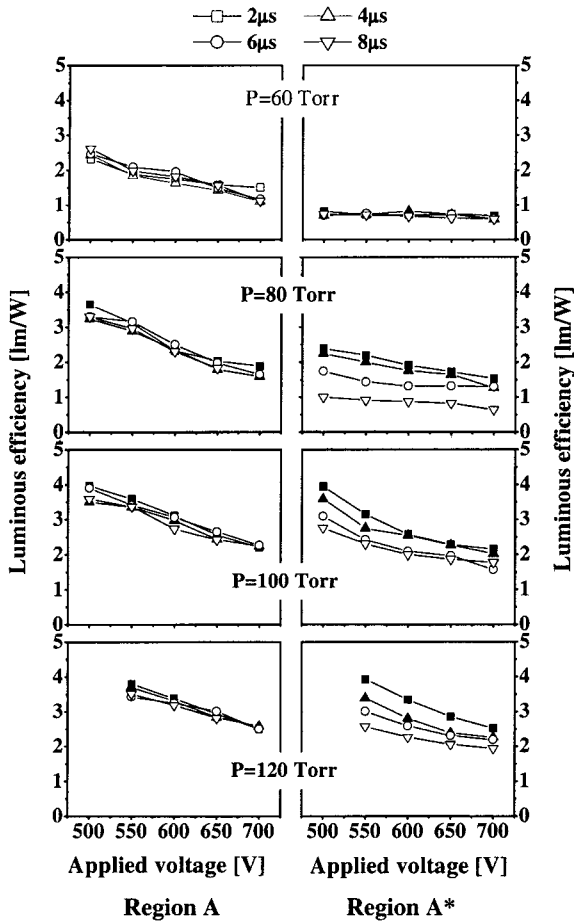


Fig. 10. Luminous efficiencies of the region A and region A* for various pressure and on-time conditions as a function of applied voltage for Xe(5%)-He gas system. Input pulse condition : $f = 30$ kHz.

증가하게 되면, 전자와 기체 원자간의 충돌 확률이 증가하여 Xe의 여기 반응이 매우 활발해지고, 이는 휘도 및 광효율을 증가시킨다.

입력파의 on-time이 증가하면 휘도의 차이는 크지 않은 반면 전류의 증가로 인하여 전력 소모가 커지게 되고 광효율은 감소하게 된다. 그리고, 입력파의 전압 및 on-time이 증가하면 tip의 전방부분인 A 영역으로 플라즈마가 집중이 됨을 관찰할 수 있었다. 이는 대부분의 전력은 A 영역의 플라즈마에 의해 소모됨을 의미하며, 이때, A 영역의 면적은 감소하게 되고 A와 A* 영역의 휘도는 더욱 차이가 나게 된다. 이러한 플라즈마 집중 현상에 의하여 A 영역의 휘도는 on-time 증가에 따라 증가를 하지만, A* 영역의 휘도는 도리어 감소하는 현상이 나타난다. on-time 증가에 의한 플라즈마 집중 현상은 다음과 같이 설명될 수 있다. on-time 동안 가해지는 전계에 의해 벽전하가 쌓이는데 전계가 집중이 되는 tip과 tip과 마주하고 있는 직선 전극 부분에 다른 부분보다 더 많은 양의 벽전하가 쌓이게 된다. 이때 반대 극성의 전계가 주워지면 tip 부분이 다른 부분보다 쉽게 방전이 일어나고 따라서 on-time이 긴 조건에서 플라즈마의 집중현상이 강하게 나타나는 것으로 생각할 수 있다.

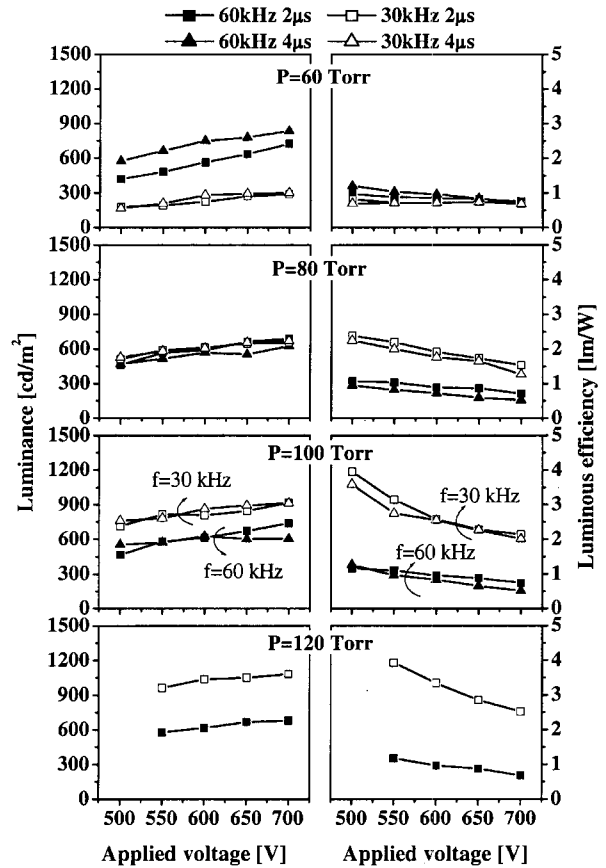


Fig. 11. Effects of frequency on the luminance and luminous efficiency for various pressure and on-time conditions as a function of applied voltage for Xe(5%)-He gas system.

3.4. pulse의 주파수에 따른 방전 및 휘도 특성

플라즈마 내의 이온이나 전자는 입력파에 반응하여 극성에 따라 이동하게 된다. 이때 주파수가 느려 이온이나 전자가 이동하기에 충분한 시간을 가지는 경우가 있으며 주파수가 빨라 전자보다 무거운 이온이 이동하기에 충분한 시간을 가지지 못하는 경우가 있다. 따라서 입력파의 주파수에 따라 플라즈마 내의 이온이나 전자의 거동이 달라지게 되는데 이를 알아보기 위해 입력파의 on-time은 2 μs와 4 μs일 때 주파수 30 kHz와 60 kHz에서의 휘도와 광효율을 비교해보았다. 기체의 조성은 Xe(5%)-He이다.

Fig. 11에 입력파의 주파수를 30 kHz와 60 kHz로 한 경우 A* 영역의 휘도와 광효율을 나타내었다. 입력파의 주파수가 30 kHz인 경우 휘도와 광효율은 blank로 표시하고 60 kHz인 경우 solid로 표시하였다. 압력이 60 Torr에서 120 Torr로 증가함에 따라 30 kHz의 경우, 휘도는 200 cd/m²에서 1000 cd/m²로 증가하였으나, 60 kHz에서는 400~800 cd/m² 정도의 휘도를 유지하며 큰 변화를 보이지 않았다. 따라서, 60 Torr에서는 60 kHz의 경우가 더 높은 휘도를 보이지만, 압력이 증가할수록 역전되어 120 Torr에서는 30 kHz의 경우가 더 높은 휘도를 보이고 있다.

이때의 광효율을 살펴보면, 60 Torr에서는 60 kHz는 30 kHz와 비교해 휘도는 2~3배정도 높았으나 광효율은 약 1 lm/W 정도로 거의 차이가 나지 않았다. 60 kHz에서의

광효율은 압력에 따라 큰 변화가 없이 약 1 lm/W의 낮은 값을 유지하였으며, 반면 30 kHz에서는 압력 증가에 따라 광효율이 증가하여 120 Torr에서는 입력 전압에 따라 2.5~4 lm/W의 값을 보였다. 입력파의 주파수가 증가하면 앞에서의 입력 전압 및 on-time이 증가하는 경우와 마찬가지로 A 영역의 플라즈마가 선 형태로 tip 부근에 집중되는 현상이 나타났다. 이러한 플라즈마의 집중 현상은 B 영역 일부에서도 발생하였다. 입력파의 주파수 증가에 따른 pulse와 pulse간의 off-time 감소는 이전 pulse에서 생성된 이온, 전자, 여기된 입자들이 off-time 동안 많이 소멸되지 않고 방전 공간 내에 잔류하여 다음번 pulse가 가해질 때 방전이 쉽게 일어나도록 만든다. 이는 전기장의 크기가 가장 큰 전극 tip 끝과 상대 전극 간의 최단 경로에서 플라즈마를 쉽게 생성시켜 전기장의 부분적 왜곡을 일으켜 플라즈마를 선 형태로 만드는 것으로 판단된다. 플라즈마의 집중 현상이 심한 경우, 입력 전력 증가에 따라 A 영역의 면적이 감소하게 되며, 휘도 증가는 주로 A 영역의 중심부에서 나타난다. 이때, A* 영역의 휘도를 측정하면, A 영역에서 만큼의 큰 휘도 증가의 효과가 나타나지 않게 된다. 따라서, 60 kHz의 경우, 플라즈마 집중 현상에 의하여 A* 영역의 휘도 증가가 30 kHz에 비해 거의 일어나지 않았다.

Fig. 12에 30 kHz와 60 kHz에서의 입력 전압에 따른 전류를 나타내었다. Fig. 7에서 나타난 바와 같이 동일한 입력 전압이 가해질 경우 압력에 따른 전류 변화는 거의 발생하지 않았다. 그리고, 입력파의 주파수가 증가할수록 동일 입력전압에 대한 전류 및 입력전압 변화에

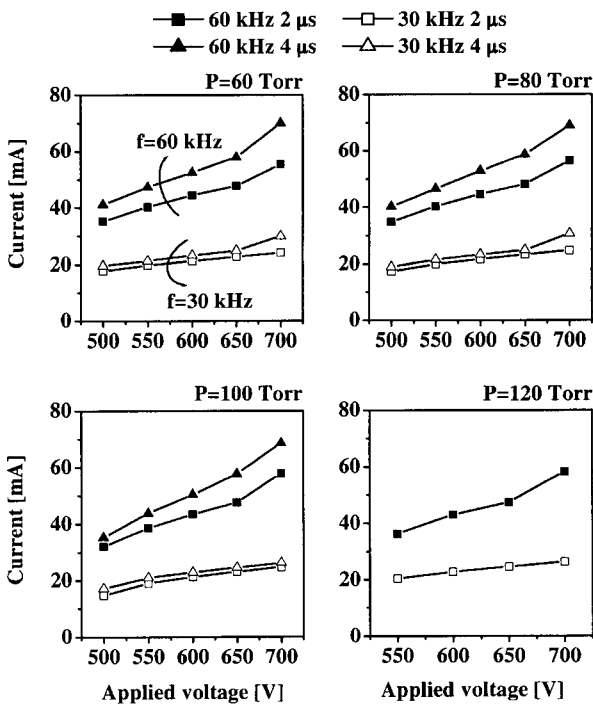


Fig. 12. Current for various pressure conditions as a function of applied voltage, pulse on-time, and frequency for Xe(5%)-He gas system.

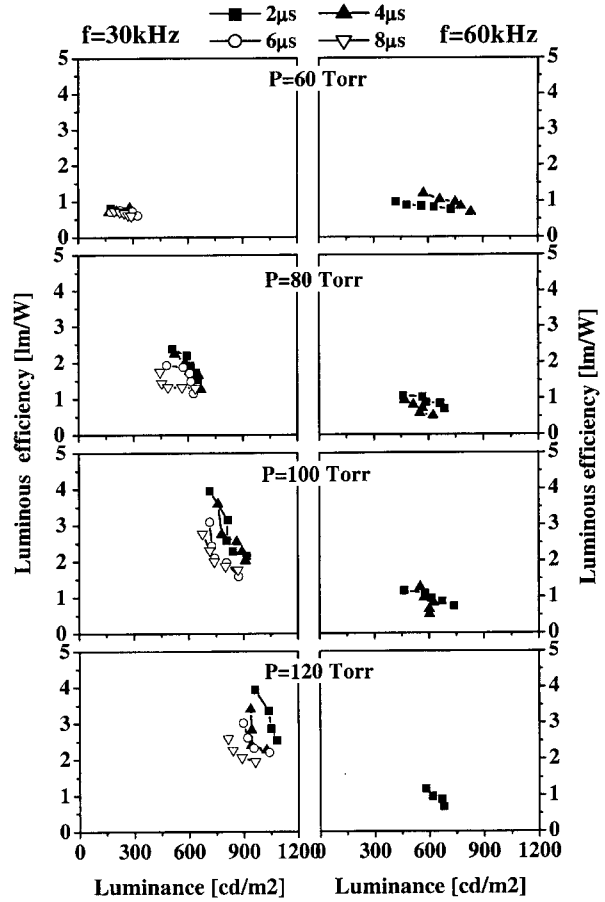


Fig. 13. Luminous efficiency as a function of luminance at $f = 30 \text{ kHz}$ and $f = 60 \text{ kHz}$ for Xe(5%)-He gas system.

대한 전류의 변화량이 더욱 크게 나타났으며, 입력파의 on-time이 증가할 경우, 60 kHz에서 30 kHz에서보다 전류의 증가가 더욱 크게 나타났다. 이는 주파수 증가 및 on-time 증가에 따른 off-time의 감소로 인하여 이전 pulse에 의한 방전 시 생성된 이온이나 전자, 준안정 상태의 입자들이 충분히 소멸되지 않은 상태에서 다시 방전이 일어나 플라즈마 내의 전자나 이온의 양이 더욱 크게 증가하는 것으로 판단된다. 이러한 효과로 인하여 60 kHz의 경우, 30 kHz보다 더 큰 전류가 흐르게 되고 on-time에 대한 전류 차이가 증가하게 된다.

Fig. 13에 30 kHz와 60 kHz에서의 휘도와 광효율을 나타내었다. 입력 전압을 450 V에서 700 V까지 증가시키며 그 때의 휘도를 측정하고 광효율을 계산하였다. 30 kHz에서는 압력이 증가할수록 휘도와 광효율이 증가하는 경향을 나타냈다. 그리고, 압력이 증가하면 on-time에 따른 차이가 뚜렷하게 나타나 120 Torr에서는 2 μs에서 가장 높은 휘도와 광효율을 가지고 8 μs에서 가장 낮은 휘도와 광효율을 가지고 있었다. 60 kHz에서는 압력이 증가해도 휘도와 광효율의 변화가 거의 없으며 60 Torr를 제외하고는 모두 30 kHz의 경우보다 낮은 휘도와 광효율이 나타났다. 이는 60 kHz의 경우 전류 증가에 따른 전력 증가로 인해 광효율이 현저하게 낮아졌기 때문이다.

4. 결 론

LCD 백라이트용으로 응용될 Xe-He계 플라즈마 평판 램프의 방전 특성을 연구하기 위해 스크린 프린팅 법을 사용하여 soda-lime glass에 전극, 유전체, 형광체를 차례로 형성시켜 AC 면방전형 램프를 제작하였다. 그리고, 다양한 방전 기체의 조성과 압력에 따른 방전 특성과 램프를 구동하는 입력 pulse의 조건(pulse 모양, on-time, 주파수)에 따른 방전 특성을 조사하였다.

Xe-He계 방전 기체에서 Xe 함량이 증가하고, 압력이 증가할수록 휘도 및 발광효율이 증가하였다. 그러나 이는 방전개시전압과 방전유지전압을 증가시키므로, 높은 전압을 가할 수 있는 전원 장치의 개발과 고전압에서도 파괴되지 않도록 양질의 두꺼운 유전체 형성이 요구된다. 램프를 구동하는 전원 장치의 파형에 의해서도 휘도와 광효율이 영향을 받았다. pulse의 on-time 시작 시 높은 peak 전압을 갖는 pulse 형태가 더 높은 휘도와 광효율 특성을 보였으며 pulse의 on-time에 따라 휘도 차이는 크지 않으나 on-time이 짧을수록 높은 광효율을 보였다. pulse의 주파수가 클수록 방전시 흐르는 전류가 증가하여 방전효율이 낮아졌으며 램프의 온도가 지나치게 상승하는 문제가 나타났다. 따라서 pulse의 on-time은 가능한

짧게 해야 하며 이에 적당한 주파수를 찾아야 한다. 본 연구에서 수행한 실험 변수 범위에서는 on-time 2 μ s, 주파수 30 kHz의 조건에서 우수한 방전 특성을 보였다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2001-041-E00504)

참 고 문 헌

1. T. Shiga, S. Mikoshiba and F. L. Curzon, Rev. Sci. Instrum., **69**(9), 3426 (1998).
2. T. Shiga, S. Mikochiba and S. Shinada, Electron. Comm. Jpn., **84**(8), 55 (2001).
3. M. Jinno, H. Kurokawa and M. Aono, Jpn. J. Appl. Phys., **38**(7B), 4608 (1999).
4. M. Jinno, H. Kurokawa and M. Aono, Jpn. J. Appl. Phys., **38**(7B), 4618 (1999).
5. M. Ilmer, R. Lecheler, H. Schweizer and M. Seibold, in 2000 SID International Symposium Digest of Technical Papers (Long Beach, CA, May 2000). p.931.
6. [On-line] <http://www.siglo-kinema.com/database>
7. J. J. Ko, Y. G. Kim, D. I. Kim, C. W. Lee, G. S. Cho and E. H. Choi, Jpn. J. Appl. Phys., **39**(5A), 2825 (2000).