

주파수 변화에 따른 무수은 평판 형광 램프의 특성

이명호¹, 임기조¹, 임민수², 이문주²
¹충북대학교 전기공학과, ²(주) EMD

Characteristic of Mercury free Flat fluorescent Lamp as Driving frequency

Myoung-Ho Lee¹, Kee-Joe Lim¹, Min-Su Lim², Mun-Ju Lee²
¹Department of Electric Engineering Chungbuk Uni., ²EMD Co. Ltd.

Abstract - 본 논문은 무수은 평판 형광램프의 구동원리를 해석하기 위하여 주파수 변화에 따른 벽전하와 벽전압 특성이 방전특성에 미치는 영향을 연구 하였다. 펄스폭 9[μs], 300[μs]의 전압 상승 시간을 갖는 펄스파로 방전시켰다. 벽전하, 정전용량, 벽전압의 전기적 특성은 인가된 전압, 전류 파형으로 부터 계산 하였다. 이때 구동 주파수는 20[kHz]에서 40[kHz]까지 변화 시키면서 방전 전후의 정전용량 및 Q-V특성 곡선을 해석 하였다. 주파수가 증가 하면서 전극간의 정전용량 C_p , 방전공간상의 정전용량 C_0 는 큰 변화를 보이지 않았으나 방전공간과 전극사이의 정전용량 $2C_g$ 는 증가하는 경향을 보였다. 또한 주파수가 증가하면서 방전개시 전압은 감소하였으며 효율은 감소하는 경향을 보였다.

고, 유전체는 캐패시터 역할을 하여 방전 전류를 제한 하며, 벽전하(wall charge)를 형성한다. 이 벽전하는 다음 방전의 구동전압을 낮추거나 펄스의 전압 하강 시 2차 발광을 유도함으로써 발광효율을 증가시키는 등의 중요한 역할을 하기 때문에 벽전하의 거동에 대한 이해가 중요하다. 따라서 본 논문에서는 램프 동작 시 주파수를 20[kHz]에서 40[kHz]까지 변화를 시키면서 측정된 전압-전류 관계로부터 V-Q 곡선을 이용하여 벽전하 및 등가회로를 산출하며, 휘도 및 전력으로 효율을 산출 하였다.

1. 서 론

최근 LCD(liquid crystal display)를 대면적화 하여 TV로 응용하고자 시도되고 있고 대면적 LCD-TV 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 그 동안의 노력으로 LCD-TV에 관한 많은 기술과제가 해결되고 있으나 백라이트에 대한 대안은 아직도 해결하지 못하고 있는 실정이다. 대면적 LCD-TV의 백라이트로서 성능상의 요구조건은 정보표시 화면의 휘도가 500[cd/m²] 이상 이어야 하고, 균일도도 높아야 하며, 수명도 현재 컴퓨터 모니터나 소형 LCD-TV에 사용되는 CCFL의 수명인 23만시간 보다 긴 장 수명이 요구된다.¹⁾ 이 밖에도 저소비 전력형, 저가격형, 친환경성이 요구된다. 이러한 요구 조건을 고려하여 대면적 LCD-TV 백라이트로 고려되고 있는 방안은 CCFL의 배치방식 변경, LED(light emitting diode), EEFL(external electrode fluorescent lamp), CNT(carbon nano tube), FFL(Flat fluorescent lamp) 등이다.²⁾ 이 중 FFL은 유전체 장벽 방전(dielectric barrier discharge)형으로 장수명을 확보할 수 있으며 평판 유리관을 발광면으로 사용하기 때문에 휘도의 균일도가 높은 장점이 있다.³⁾ 또한, 방전가스로 수은이 아닌 불활성 가스(Xe)를 사용하기 때문에 친환경적이고 고휘도를 얻을 수 있는 구조이다. 기존의 백라이트에서 사용하고 있는 여러 장의 광학 슈트를 감소시킬 수 있어서 저가격화도 가능하여 LCD-TV용 백라이트는 FFL 방식이 가장 좋은 대안중의 하나로 인식되어 FFL의 성능개선이 국내외적으로 활발히 추진되고 있다.^{4,5)} 그러나 FFL은 고가의 구성 재료와 복잡한 제조 공정으로 가격이 높고, 발열량이 비교적 높으며 효율 등 성능개선이 필요하다. 이러한 특성 중 효율을 높이기 위해서 전극 설계, 구동조건, 램프의 재료 선정 등의 최적화가 필요하다. 따라서 여러 가지 조건 중 전기적인 특성을 파악하는 것이 선행되어야 하며 미소방전 현상을 명확하게 규명할 필요가 있다. 변광원에서 전극과 방전공간은 유전체에 의해 분리되

2. 본 론

2.1 평판 형광램프 제작 및 실험

그림 1은 실험에 사용된 평판램프의 패널 구조이다. 전면부에 형광체층을 배치하며, 후면부는 백색반사판을 배치하고, 그 위에 전극을 평면 배치하며, 전극간의 절연을 위해 유전체층을 그 위에 도포한 후, 상기 유전체층 위에 형광체층을 배치하여 후면부를 구성한다. 상기 전면부와 후면부를 지지대와 스페이서를 사이에 두고 접합한 후 미리 형성한 홀(hole)에 가스를 주입하기 위하여 로터리와 터보 펌프를 사용하여 10⁻⁶[Torr]의 고진공 상태로 만든 후 Xe 가스를 주입하고 유리기판(Pellet)을 사용하여 봉합하였다. 이렇게 제작된 패널은 환경 스트레스(온도)를 가하고 동시에 전압을 인가하여, 점등 동작 상태에서 일정시간 에이징하고 육안 검사에 의해 품질을 검사한다.

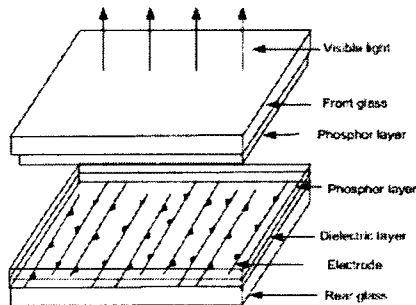


그림 1. 무수은 평판램프의 구조
 Fig. 1 Structure of Flat Fluorescent lamp

이렇게 완료된 평판형광 램프의 전기적 및 광학적 특성을 평가하였고 전기적 특성은 Tektronix의 오실로스코프를 이용하였으며 광학적 특성은 Minolta의 CS-1000을 이용하여 측정하였다. 이러한 구조의 램프에 그림 2와 같은 파형을 인가하면 교류 방전에 의해 자외선을 발생시키고 그 자외선이 형광체를 발광시켜 가시광선을 얻는 구조로 되어 있다.

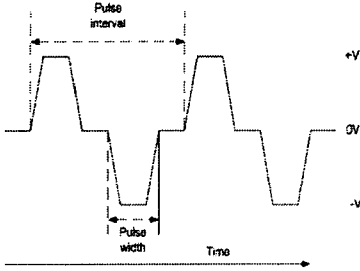


그림2 인가된 전압의 파형
Fig.2. Waveform of driving pulse

2.2 평판 형광램프의 등가회로 분석

그림 3은 구동전압, 방전전류 및 광에 대한 구동 파형이다. 평판 형광램프의 두 전극에 그림 2와 같은 파형의 전압을 인가하였을 때 방전개시전압(V_i)을 넘으면 면광원이 방전을 하면서 발광하게 된다. 전류파형은 두개의 피크로 이루어지며 첫 번째 피크는 변위전류이고, 두 번째 피크는 가스방전에 의한 방전전류이다. 그림 4는 평판 형광램프의 기본 구조와 방전 전의 전기적 등가회로 및 방전 후의 전기적 등가회로이다.⁶⁾ 벽전하를 측정하기 위해 세운 전기적 모델은 다음의 3가지 정전용량의 조합으로 나타낼 수 있다.

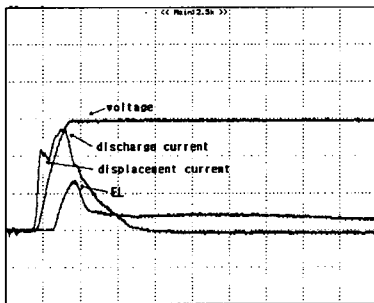


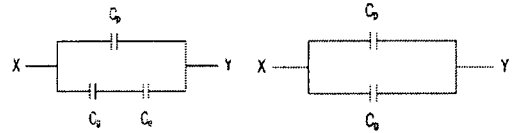
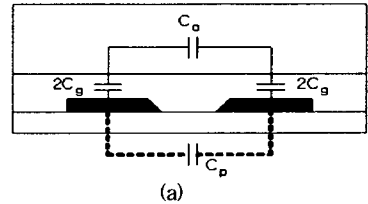
그림. 3 평판 형광램프의 방전 동안의 전압, 전류, 광 특성
Fig 3.11 Oscillogram of voltage, current, el during a FFL discharge

전극과 전극사이의 고체 유전체가 갖는 정전용량인 캐패시턴스 C_g 가 있고, 방전 가스인 유전체의 정전용량인 캐패시터 C_g , 방전공간의 갭 캐패시터 C_o 로 구분된다. 방전 발생전에는 두 전극간에 직렬연결의 C_g , C_o 가 C_p 와 병렬 연결 상태(그림 b)이나 방전이 개시되면 C_o 는 없어지고

C_g 와 C_p 가 병렬 연결된 상태(그림 c)가 된다. 양 전극간 V의 전압을 인가 시 C_g 및 C_o 에 걸리는 전압 V_o , V_g 는 각각 그림(b)에서

$$V_o = \frac{C_g}{C_g + C_o} V \quad V_g = \frac{C_o}{C_g + C_o} V$$

나타낼 수 있다. 따라서 큰 C_g 값을 선택함으로써 외부에서 가해지는 전압을 가스에 유효하게 가하여 줄 수 있다. 즉, 방전 가스에 배분되는 전압을 증가시켜 방전을 쉽게 일으키도록 할 필요가 있다. 전극 사이의 C_p 는 방전과 무관하고 전력손실을 가져오므로 가능한 줄여야 한다.



(b) Before discharge (c) After discharge

그림 4. FFL의 등가회로(a) 및 방전 전(b) 후(c)의 등가회로
Fig 4. Equivalent circuit of FFL (a)cross-sectional view of FFL (b) before and (c) after surface discharge

2.3 평판 형광램프 특성

그림 5는 주파수 변화에 따른 전류 파형을 보이고 있다. 전류 파형은 두개의 피크로 이루어지며 첫 번째 피크는 용량성 변위전류(displacement current)이고, 두 번째 피크는 가스방전에 의한 방전전류(discharge current)를 보이고 있다. 주파수의 증가에 따라 방전 peak가 커지는 경향을 보이고 있으며 변위전류와 방전전류 모두 증가하는 경향을 보이고 있다.

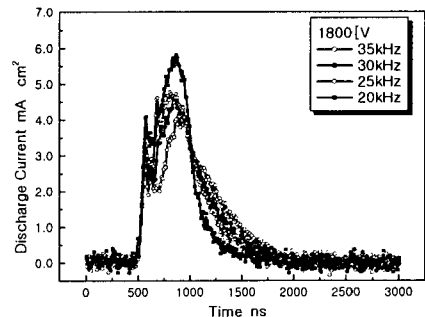


그림 5.주파수 변화에 따른 전류 파형
Fig 5. Current waveform as frequency

그림 6은 방전개시전압 및 방전유지전압을 보이고 있다. 주파수가 증가하면서 방전개시 전압 및 유지전압은 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 특성은 주파수가 증가할수록 방전이 발생하는 빈도도 비례하여 증가하게 된다. 한 번의 방전과 다음 방전 사이의 시간이 감소하게 되면 그 전 상태의 방전에 의하여 생성되어 있는 하전입자나 준 안전 상태의 입자들이 많이 남아 있기 때문이다.

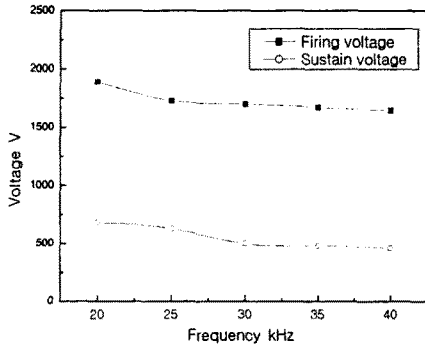


그림 6. 주파수 변화에 따른 방전 개시 및 유지전압
Fig 6. Firing voltage and sustain voltage as frequency

그림 7은 전류파형을 시간 적분하여 충전 및 방전전하량을 얻은 후, 최종적으로 전압과 전하량 그래프 Q-V Lissajous 그래프를 얻는다.

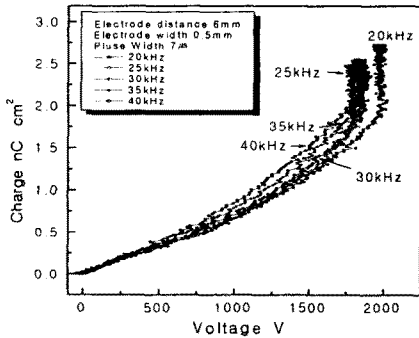


그림 6. 주파수 변화에 따른 Q-V특성 곡선
Fig 6. Q-V characteristics curves for FFL as frequency

Q-V 그래프에서 첫 번째 기울기는 방전 전의 변위전류에 의한 충전 기울기를 나타내고, 두 번째 기울기는 방전이 진행되는 동안의 정전용량의 합으로써 나타난다. Q-V 곡선으로 얻은 각각의 정전용량인 C_0 , C_p , C_g 및 마진 관계식을 이용하여 3가지 정전용량 및 벽전하, 벽전압을 구할 수 있다. 마진관계식이 의미하는 바는 최소 방전 전압에 벽전하에 의한 벽전압과 유전층에 걸리는 전압의 합이 방전개시 전압을 만족하기 때문에 방전을 유지할 수 있음을 나타내는 식이라 할 수 있다. Q_w 는 방전시 방전전류의 적분을 통하여 얻을 수 있다.⁷⁾ 결과적으로 주파수를 20[kHz]에서 40[kHz]로 증가시키면 이 때 방전전의 캐패시턴스는 각각 0.49[pF]/cm², 0.46[pF]/cm², 0.43[pF]/cm², 0.40[pF]/cm², 0.35[pF]/cm²의 값을 보이고 있다.

며 방전 후는 각각 29[pF]/cm², 25.5[pF]/cm², 23[pF]/cm², 20.5[pF]/cm², 17.3 [pF]/cm²의 값으로 감소하였다.

그림 7은 주파수에 따른 벽전하로 20[kHz]에서 40[kHz]로 주파수가 증가하면서 600[pF]/cm²에서 420[pF]/cm²으로 감소하며 벽전압은 870[V]에서 770[V]으로 감소하는 값을 보이고 있다. 주파수가 증가하면서 벽전하는 감소하는 경향을 보이며 벽전압 역시 약간 감소하는 경향을 보이고 있다.

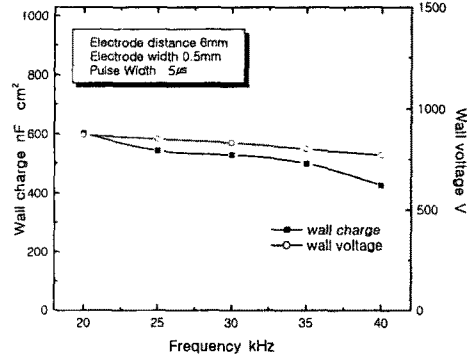


그림 7. 주파수 변화에 따른 전하량 및 벽전압
Fig 7. Charge and wall voltage accumulated on dielectric surface as frequency

그림 8은 전압마진 관계식과 Q-V특성 곡선을 이용해 계산한 3가지 정전용량을 보이고 있다. 주파수가 증가하면서 C_p , C_0 값은 큰 변화를 보이지 않으나 C_g 의 값은 주파수가 증가함에 따라 43[pF]/cm²에서 12[pF]/cm²으로 감소하는 특성을 보인다.

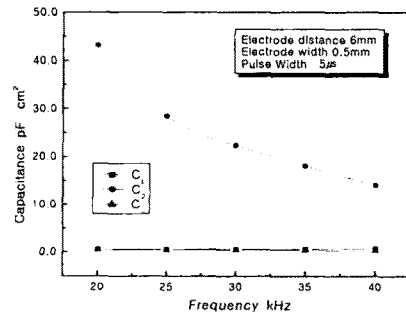


그림 8. 주파수 변화에 따른 정전용량
Fig 8. Capacitances C_0 , C_p and C_g per FFL as the frequency

그림 9는 주파수 변화에 따른 휘도 특성을 보이고 있다. 주파수가 증가하면서 휘도 값은 증가하는데 이는 방전의 횟수가 증가하므로 휘도 값이 증가한다고 볼 수 있다.

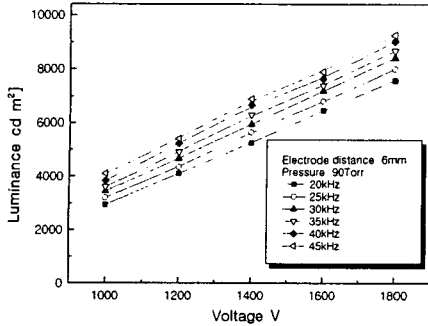


그림 9. 주파수 변화에 따른 휘도 특성
Fig 9. Luminance characteristics as frequency

그림 10은 주파수 변화에 따른 효율 특성을 보이고 있다. 주파수의 증가함에 따라 효율은 큰 폭으로 감소하는 특성을 보이고 있다. 휘도의 증가 측면으로 보면 주파수가 증가하는 것이 큰 이점이 될 수 있다. 그러나 휘도의 증가폭에 비해 소비전력이 크게 증가하기 때문에 효율은 감소한다. 즉, 효율은 주파수의 증가에 따라 감소하는 폭이 크기 때문에 제한된 전극의 면광원은 낮은 주파수의 선택이 중요하다. 그러나 면광원에서는 단순히 효율이 높다는 이유로 낮은 주파수를 선택할 수만은 없다. 즉, 적용하는 용도에 따라 또는 수명측면에서는 주파수를 높여야 할 경우가 있다.

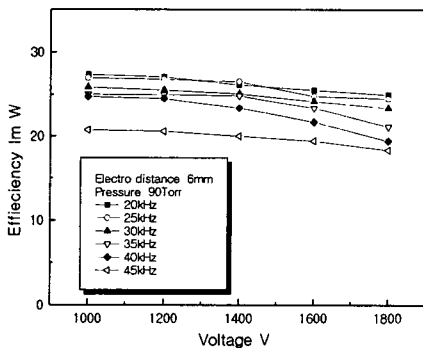


그림 10. 주파수 변화에 따른 효율 특성
Fig 10. Efficiency characteristics as frequency

3. 결 론

본 논문에서는 구동 주파수 변화에 따른 무수은 평판 램프의 전기적인 특성을 해석 하였다. 실험을 위해 9inch 패널을 제작 하였으며 펄스파로 방전을 시켰다. FFL의 등가회로를 해석하기 위해 방전 개시전압과 유지전압을 측정하였고 주파수 변화에 따른 전류파형을 측정 하여 전류파형을 시간 적분하여 충전 및 방전전하량을 얻은 후, 최종적으로 전압과 전하량 그래프 Q-V Lissajous 그래프를 얻었다. 전압 마진관계식과 Q-V 특성곡선을 이용하여 등가회로상의 3가지 정전용량 값을 계산 하였다. 주파수가 증가하면서 유전체 표면에 축적되는 벽전하는 $600[\text{pF}/\text{cm}^2]$ 에서 $420[\text{pF}/\text{cm}^2]$ 으로 감소 하였다. 주파수가 증가하면서 C_0 , C_p 의 값은 큰 변화를 보이지 않았으며 C_0 의 값은 주파수가 증가함에 따라 $43[\text{pF}/\text{cm}^2]$ 에서 $12[\text{pF}/\text{cm}^2]$ 으로 감소하는 특성을 보였다. 또한, 벽전압은 $870[\text{V}]$ 에서 $770[\text{V}]$ 으로 감소하였다. 이러한 벽전하 및 벽전압을 계산을 통해 구동 조건의 최

적화 및 구동 파형에 이용할 수 있다. 주파수가 증가하면서 휘도 값은 증가하는 경향을 보였으나 휘도의 증가량 보다 전력 소모가 증가하여 효율은 감소하는 경향을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1]. 박해일 외 “대형 액정 디스플레이(LCD TV의 백라이트 광원 개발 동향” 한국 정보디스플레이학회지 제 5권 제 5호, pp. 13-18, 2004
- [2]. 박성목 외 “국내외 광원분야의 신기술 동향” 조명,전기설비학회지. 제 18 권 제1호, pp. 4-9, 2004
- [3]. 김근배 외 “디스플레이공학 II” 청범출판사. 2000
- [4]. Rich Hicks, *et al.*, “Flat Fluorescent Lamp Technology for LCD’s” IEEE pp. 630-635, 1994
- [5]. Jack C. Jang, *et al.*, “New flat type fluorescent lamp military LCD backlight” SPIE Vol. 2734, pp. 277-282, 1992
- [6]. Eun-Ha Choi, *et al* “Influence of Driving Frequency on the S system Parameter in Surface Discharge of AC Plasma Display Panels” Jpn.J. Appl. Phys. Vol. 38, pp 6073-6076, 1999
- [7]. Eun-ha Choi, *et. al* “Influence of Sustaining Pulse-Width on Electro-Luminous Efficiency in AC Plasma Display Panels”Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 pp.4176-4180, 2000