

Luminance Properties and Electrical Properties by Applied Frequency of External Electrode Fluorescent Lamp(EEFL)

李成眞^{*} · 李鐘燦^{*} · 朴魯竣^{**} · 朴大熙^{***}
 (Seong-Jin Lee · Jong-Chan Lee · Noh-Joon Park · Dae-Hee Park)

Abstract - The recent TFT-LCD Trend that is done large size gradually. As size of monitor great, though problem happens, it is that consumer's request which it makes monitor combined TV function. Minotor and TV are no difference externally greatly, but define difference happens as for backlight. An external electrode fluorescent lamp (EEFL) has an advantage of a long lifetime in the early stages of the study on plasma discharge, interest in the lamp continues. Researches on the operation of external electrode fluorescent lamps have focused mainly on its use of a type of high frequency (MHz). By performing high Luminance using a square wave operation method with the low frequency below 100kHz, which is applied to a narrowed tube type lamp that has several mm of lamp diameter, EEFL presented the possibility of using it as a light source for back-lights. However, because EEFL generates plasma using wall charges, which considers the impedance characteristics of glass based on the structural principle in discharge, it can be significantly affected by frequency. Thus, this study verified the change in the characteristics of electromagnetic fields according to the change in frequency through a Maxwell electromagnetic field simulation and examined the relationship between the change in the EEFL frequency and Luminance by measuring the optical characteristics.

Key Words : External Electrode Fluorescent Lamp, LCD, BLU, Frequency

1. 서 론

LCD 산업은 노트북 및 모니터에서 중형 TV 산업으로 급속하게 성장하고 있다. 현재 LCD 백라이트의 광원은 냉음극 형광램프(CCFL : Cold Cathode Fluorescent Lamp)를 많이 사용하고 있다. 하지만 CCFL은 형광램프 내부에 실린 더형의 전극이 설치되어 플라즈마에 의한 전극열화 문제점을 가지고 있다. 또한 직류 구동을 하기 때문에 램프 한 개 당 한 개의 인버터가 필요하며 Multi-Lamp 백라이트에는 한계를 가지고 있다. 그래서 최근 LCD 백라이트에 사용하기 위한 여러 광원의 연구가 활발히 진행되고 있다[1, 11].

외부전극 형광램프(EEFL : External Electrode Fluorescent Lamp)는 방전 공간 내부에 전극이 없어 CCFL에 비해 전극 열화에 유리한 장점을 지니고 있다. EEFL은 유리관 양끝 외부에 설치된 외부전극의 용량성 결합에 의하여 발광하는 형태이기 때문에, 전극이 플라즈마에 직접 노출되는 것을 방지할 수 있다. 또한 구조가 간단하며 제조가 용이하여 EEFL에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[9-11].

EEFL은 다수의 램프에 한 개의 인버터만 필요하기 때문에 Multi-Lamp 백라이트에 적합한 구조이다. 이런 EEFL은

기존의 경우 고주파를 이용하여 구동하였으나, EMI, EMC의 문제로 인하여 저주파에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1, 2]. 이러한 시점에서 LCD 백라이트의 새로운 광원으로 외부전극 형광램프가 주목받고 있다.

그러나 저주파에 대한 연구가 활발히 이루어짐에도 불구하고 EEFL은 방전 구조 원리상 벽전하에 의해 플라즈마가 형성되기 때문에 램프 자체의 임피던스의 영향력이 고려되어야 한다. 특히, 주파수에 따라 그 특성이 크게 달라진다. 뿐만 아니라 자기 방전에 의한 동기화의 영향으로 주파수에 따라 내부 방전 전압이 낮게 전달될 수 있다[4, 6, 7, 9].

따라서 본 논문은 주파수에 따른 EEFL의 방전 특성을 확인하기 위한 것이며, Maxwell 전자계 시뮬레이션을 통해 주파수 변화에 따른 전자계 특성 변화를 확인하였다. 또한 주파수에 변화에 따른 전기적 특성과 휘도특성을 확인하여 주파수와 방전특성과의 의존성을 확인하였다.

2. 이론 및 실험 방법

2.1 이론적 배경

그림 1은 세관형 유리관 양 끝단에 메탈 파우더를 액화시켜 전극을 설치한 EEFL이다. 전극에 전압을 인가하면 유전체(유리관)에 의해 유리관 내벽에 벽전하가 충전된다. 이러한 벽전하에 의해 유리관 양끝단에 전위차가 발생하는데 이것은 반대쪽 전극의 방향으로 이동하여 내부에 전류가 발생하게 된다. 이러한 하전입자의 거동이 유리관 내부의 가스를 이온화시켜 플라즈마를 발생하게 된다[11].

† 교신저자, 學生會員 : 圓光大 電子材料學科 碩士課程
 E-mail : hardes@wonkwang.ac.kr

* 正 會 員 : 금호전기(주) 선임연구원 · 工博

** 正 會 員 : 圓光大 電氣電子및情報工學部 講義教授 · 工博

*** 終身會員 : 圓光大 電氣電子및情報工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2006年 9月 1日

最終完了 : 2006年 12月 12日

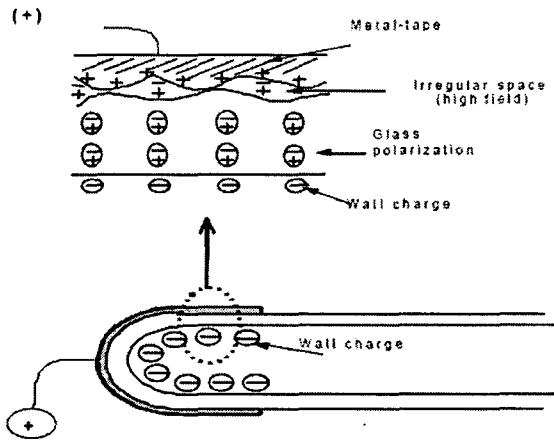


그림 1 Metal 전극을 형성시킨 EEFL
Fig. 1 EEFL after metal electrode coating

EEFL은 커패시터와 같은 방식으로 양 전극에 전압을 인가하여 전극 사이에 있는 가스를 이온화시켜 플라즈마를 형성하는 방법이다. 인가하는 전력 RF-Power를 주로 이용하는데 등가회로로 표현하면 그림 2와 같다. 전극에 해당하는 부분에 시스 캐패시턴스 ($C_{sh}=C_{sh1}+C_{sh2}$)와 시스저항 ($R_{sh}=R_{sh1}+R_{sh2}$)이 있으며 플라즈마 벌브 저항 (R_p)이 직렬로 연결되어 있다. 이때 전자에 의한 전력은 플라즈마 bulk 저항에 의한 것으로 $P_e=1/2V_p \cdot I$ 처럼 쓸 수 있으며 V_p 는 플라즈마 발생 전압이다. 이온에 의한 전력은 시스 저항 (R_{sh})에 의한 것으로 $P_i=1/2R_{sh} \cdot I^2$ 처럼 쓸 수 있다. 이 식을 정리하면

$$P_i = \frac{1}{2} (V_p \cdot I + R_{sh} \cdot I^2) \quad (1)$$

이것은 약전리 플라즈마의 에너지균형과 이온화의 정의에 의한 것이며 R_{sh} 는 식 (2)와 같다[3].

$$R_{sh} = (\sqrt{2})^{5/2} \left(\frac{5}{3 \epsilon_0 A} \right)^{3/2} \cdot \left(\frac{2k}{\sqrt{3} of P_g} \right) \frac{\sqrt{I}}{\omega^{5/2}} \quad (2)$$

여기서, I 는 RF 전류, ω 는 구동주파수, A 는 전극면적, P_g 는 가스압력, k ($\equiv 103.75m^3 Pa^{1/2}/V^{1/2}S$)는 이동도이다.

즉, 구동주파수의 증가는 R_{sh} 의 감소로 인하여 벌브 내 전압을 증가시키고 전자 활동을 활성화시킨다. 이로 인해 램프내 하전입자의 거동을 증가시켜 플라즈마 형성을 도와주는 역할을 한다.

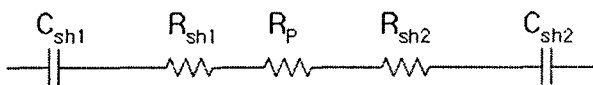


그림 2 등가회로로 표현한 EEFL
Fig. 2 Equivalent circuit

플라즈마가 형성된 후, 전압이 유지되는 구간에서는 전류는 서서히 감소하게 된다. 전압이 하강하는 시점에서 전류는 위상이 바뀌어서 다시 흐르게 되는데 이는 관 벽에 축적된 벽전하에 의해서 흐르게 되는 것으로 자가 방전 전류라고 한다. 이러한 방식의 방전은 용량성 결합 교류형 방전 (Capacitively Coupled Alternative Discharge)이라고 한다 [12]. CCFL은 방전관 내부의 양 끝에 설치된 금속전극이 전자를 방출하여 전류가 흐르는 직류형 방전인 반면에, EEFL은 방전관 내부의 양끝에 벽전하가 쌓여서 플라즈마 전류가 방전관 내에 교차적으로 흐르는 교류형 방전이다[1, 2].

2.2 시료 및 실험방법

전자계 시뮬레이션에 사용된 EEFL은 그림 3과 같은 형태이며, 이에 대한 전자계 특성을 확인하였다. 전자계 평가용 소프트웨어로는 Ansoft사의 Maxwell 2D 3D EM Field Simulator를 사용하였다. Maxwell 2D 3D EM Field Simulator는 인가전원에 따른 전자계를 수치적 해석에 의해 ICP(Inductive Coupled Plasma) 등 전자계 해석에 사용되어진다[10]. 램프의 총길이는 986 mm이며 외경은 8.0 mm이다. 전극은 전도성이 6.1×10^7 s/m의 Ag를 사용하여 26 mm로 입력되었다. 이외의 영역에서는 비투사율이 1, 도전율이 0인 공기로 입력하여 실행하였다. 입력 전압은 1500 V, 주파수는 20~60 kHz로 10 kHz 단위로 변화하여 시뮬레이션을 시행하였다.

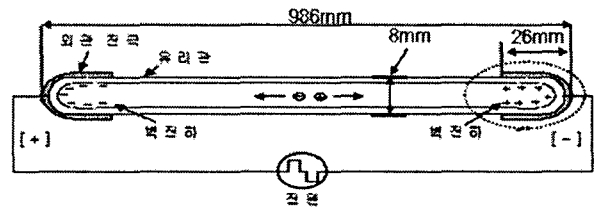


그림 3 EEFL 및 단면도
Fig. 3 EEFL Cross section diagram

휘도 특성을 실험하기위해 전자계 시뮬레이션에서 사용한 램프와 동일한 크기의 유리관을 사용하였다. 유리관 양 끝에 Cu+Ag의 재질을 갖는 전극을 도포하였으며 가스압력은 (Ar:Ne=97:3) : 80 Torr로 제작하였다.

EEFL의 휘도 특성을 확인하기 위하여 그림 4와 같이 구성하였다. PSD 4000 파워서플라이를 사용하여 RF-Power를 공급하였으며 Duty rate는 45%로 고정하여 실험하였다.

휘도는 Minolta LS-100 휘도계를 사용하여 1시간의 Ageing을 거쳐 실험하였다. 휘도 측정 포인트는 램프 중심을 기준으로 전극까지 5포인트를 지정하여 평균값을 적용하였다. 램프와 휘도계의 거리는 close-up lens를 사용하여 5cm에서 측정하였다.

또한 전기적 특성을 통해 자기 방전 특성을 확인하기위해 Tektronic 오실로스코프 TPS-2014를 이용하여 전압, 전류 파형을 확인하였으며 전압 프루브 PS210, 전류 프루브 A622를 사용하였다.

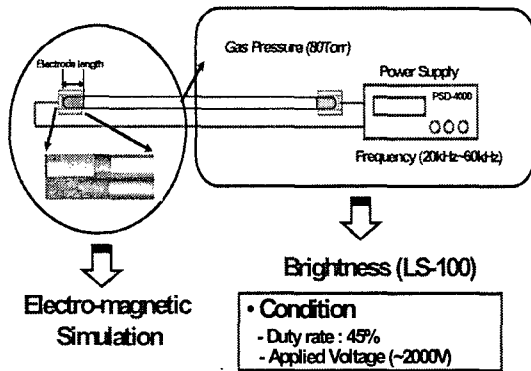


그림 4 EEFL의 광학특성 측정 구성도
 Fig. 4 Measuring equipments for optical characteristic measurement of EEFL

2.3 결과 및 고찰

그림 5는 EEFL의 전자계 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. EEFL의 전극은 램프 끝부분에 위치하며, 전류를 인가함에 따라 유리관벽 내부에 벽전하가 형성된다. 그림 5에서 보는 바와 같이 전극이 존재하는 영역에서는 전자계 분포가 동일하게 유지되고 전극에서 멀어짐에 따라 전계가 1.5173×10^{-12} V/m에서 7.5863×10^{-14} V/m로 감소하는 특성을 확인하였다. 이것은 전극이 존재하는 영역에는 동일한 분포의 전계가 형성되며 전극의 길이가 증가하면 전계 또한 증가하는 것을 나타낸다. 이러한 전계의 증가는 플라즈마 활성화에 공급되는 에너지를 증가시킨다. 즉, 전계의 증가는 휘도의 상승을 의미한다[2].

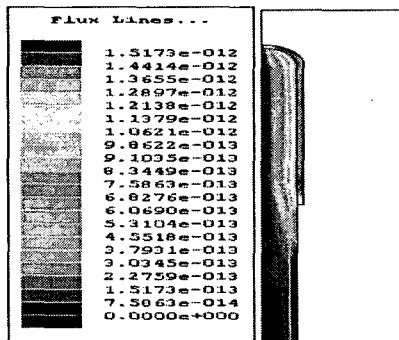


그림 5 전자계 시뮬레이션의 외부전극 주위에 형성된 전계
 Fig. 5 Electric field formed surround external electrode by electromagnetic simulation

그림 6은 EEFL의 전극 부분의 자계세기 분포도를 나타낸 시뮬레이션 결과이다. 입력주파수가 증가함에 따라 자계 세기가 점차적으로 증가함을 확인하였다. 전극 부분에 자계가 집중되었으며 전극 길이 λ 의 1/3 지점(전극의 8.7 mm 부분 : 그림 6의 15.7 mm 부분)에 자계강도가 0.6 A/m^2 로 가장 강하게 나타났다. 즉, 1/3 지점에 자계가 집중되는 것을 확인하였다. EEFL은 전극에 충전된 벽전하의 양에 의해 플라즈마 증감이 결정된다. 즉, 전계를 강하게 공급하면 플라즈마 생성에 용이하다. 하지만 자계가 집중되어 필름 현상을 발생시킨다[2, 9].

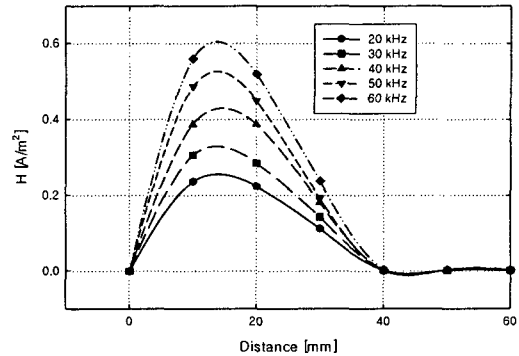


그림 6 전자계 시뮬레이션의 자계세기분포
 Fig. 6 Distribution of magnetic field by electromagnetic simulation

그림 7은 시뮬레이션에서 사용한 EEFL과 동일한 크기의 램프의 휘도특성 그래프이다. 인가 주파수는 20 kHz에서 60 kHz까지 10 kHz 단위로 변화하고, 전압을 800 V에서 2000V까지 100 V 단위로 변화시켜 실험하였다. 주파수가 증가함에 따라 방전이 발생하는 빈도가 증가하여 전체적인 휘도는 증가됨을 확인하였다. 하지만, 전압이 증가함에 따라 휘도가 포화되는 현상을 확인하였다. 또한 주파수의 증가에 따라 휘도의 증가분도 점차 작아짐을 확인하였다. 전압이 증가함에 따라 휘도가 포화되는 현상은 일정한 면적의 전극에 벽전하의 충전이 포화되는 현상 때문이다[9].

구동주파수의 증가는 식(2)에서의 R_{sh} 의 감소로 인하여 식(1)에서의 벌브 내 전압을 증가시키고 전자 활동을 활성화시킨다. 이로 인해 램프 내 하전입자의 거동을 증가시켜 플라즈마 형성을 도와주는 역할을 한다[3].

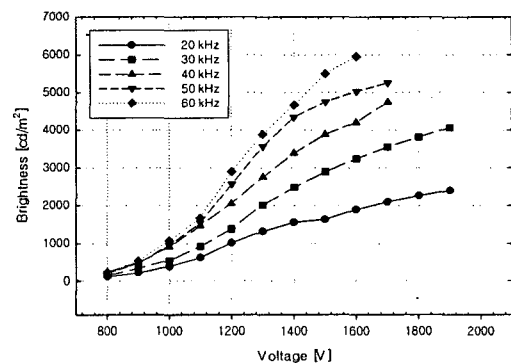


그림 7 EEFL의 주파수별 휘도특성
 Fig. 7 Luminance characteristics of EEFL by frequency

그림 8은 동일한 조건의 EEFL 8개를 평균 구조물에 장착하여 주파수를 20 kHz에서 60 kHz까지 10 kHz 단위로 변화하고 전압을 800 V에서 2000 V까지 100V 단위로 변화시켜 측정된 휘도 특성 그래프이다. 전압의 증가에 따라 휘도는 일정한 기울기로 증가하다가 포화되는 것을 확인하였고, 주파수의 경우도 휘도특성이 증가되는 것을 확인하였고, 주파수의 증가에 따라 휘도의 증가분도 점차 작아짐을 확인하였다. 이러한 휘도특성을 그림 7에서 보는 바와 같이 단일램프의 휘도특성과 동일함을 확인하였다.

또한 주파수의 증가에 따른 휘도의 증가분이 점차 작아지는 것은 EEFL의 자기방전 특성 때문인데 특정한 성분 전압에 대하여 자기 방전 동기화 주파수가 존재함을 확인하였고, 이러한 자기 방전 동기화는 주파수 변화함에 따라 동기 지연과 잔류전류를 발생하여 그림 10과 같이 최대의 휘도와 효율을 갖는 것을 확인하였다.

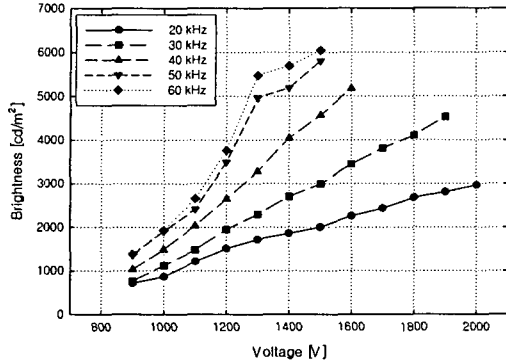
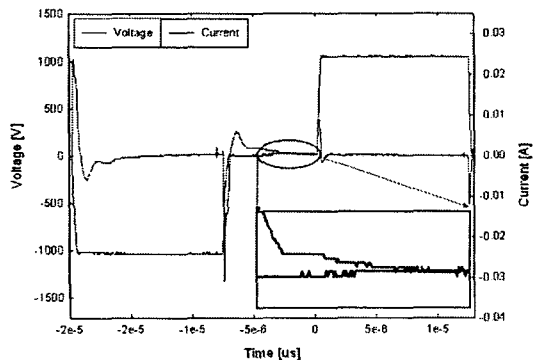
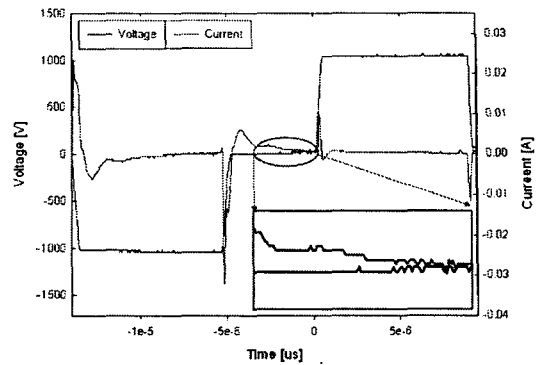


그림 8 Multi-EEFL의 주파수별 휘도특성
Fig. 8 Luminance characteristics of multi-EEFL by frequency

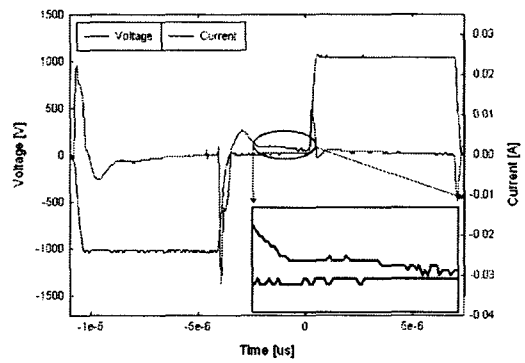
그림 9는 주파수 변화에 따른 자기 방전 동기화에 대한 전압 및 전류의 오실로스코프 파형이다. 구동 전압을 구형파의 방전 유지 DC 성분 전압을 약 1000 V로 일정한 값을 유지하고 주파수를 변화하여 얻은 파형이다. 그림 9(a)~(c)는 주파수가 각각 25, 35, 45 kHz 일 때 그림이다. 그림 9(a)와 같이 구동 주파수가 25 kHz일때, 전압 유지 시간이 전류가 흐르는 시간보다 길어진다. 따라서 전류가 흐르지 않고 동기 지연 시간이 생기게 된다. 이러한 동기 지연시간 동안 램프 내부의 플라즈마는 서서히 소멸되므로 다음 주기에서 전압 인가에 따른 방전에 불리한 영향을 초래한다. 그림 9(b)는 전압의 상승점이나 하강점에서 전류의 흐름이 바뀌는 동기화된 전압과 전류 파형이다. 그림 9(c)는 주파수가 45 kHz로서 전압 유지시간이 짧아지는 경우이다. 전류가 미처 0으로 되지 않고, 잔류 전류가 흐르는 시간에 전압이 상승하거나 하강하여 전류의 흐르는 방향이 강제로 전환된다. 이때는 잔류 전류에 따른 벽전하를 충분히 쌓는 시간이 없기 때문에 벽전하에 의한 자체방전이 불리하게 된다[1, 3, 12].



(a) 25kHz



(b) 35kHz



(c) 45kHz

그림 9 구동 전압 변화에 따른 자기방전 동기화 전압 및 전류의 오실로스코프 파형

Fig. 9 V-I Wave form of Self-Discharge Synchronized

그림 10은 그림 9와 같이 주파수 변화에 따른 자기 방전 동기화에 대한 휘도와 효율의 변화이다. 주파수가 35 kHz일 때, 동기화에 따른 최대 휘도와 효율을 보여준다. 주파수 증가에 따라 휘도와 효율이 증가하고, 주파수가 35 kHz 이상에서는 오히려 효율이 감소한다. 효율 감소의 원인은 전류량 증가에 의해 전력이 증가하는데 전력 증가분에 비해 휘도가 일정하기 때문이다. 휘도가 일정한 이유는 전력증가에 따라 과전류에 의해 소모되는 전력이 증가하여 휘도의 상승을 기대하기 어렵기 때문이다[1].

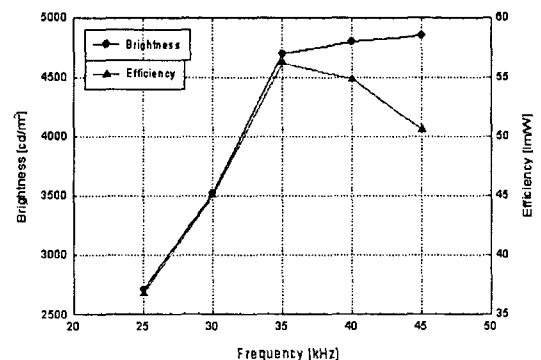


그림 10 휘도와 효율의 구동 주파수와의 관계>
Fig. 10 Luminance, Efficiency Property by Applied Frequency

3. 결 론

본문본 논문은 주파수에 변화에 따른 EEFL의 전기적 특성과 휘도특성을 확인하기 위하여 Maxwell 전자계 시뮬레이션을 통해 주파수 변화에 따른 전자계 특성 변화를 확인하였다. 전자계 시뮬레이션결과를 통하여 주파수와 전자계와의 의존성을 확인하였으며 또한, 주파수와 휘도와의 의존성을 예상하였다. 전자계 시뮬레이션에서 주파수가 증가함에 따라 전자계 증가를 나타냈으며 이것은 실제 실험에서 휘도의 증가로 나타났고 주파수에 의한 전자계 증가는 휘도의 증가임을 알 수 있었다.

하지만 주파수의 증가에 따라 휘도는 점차 포화되었으며 휘도의 증가분이 점차 작아지는 것을 확인할 수 있었는데, 이것은 EEFL의 자기방전 특성 때문이며 특정한 성분 전압에 대하여 자기 방전 동기화 주파수가 존재함을 알 수 있었다. 이러한 자기 방전 동기화는 주파수가 변화함에 따라 동기연과 잔류전류가 발생하여 최대의 휘도와 효율을 갖는 것을 알 수 있었다.

향후 주파수 변화에 따른 광스펙트럼 분석을 통하여 EEFL의 특성을 향상시킬 수 있는 연구를 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업(I-2004-0-074-0-00)의 지원을 받아 이루어진 논문입니다. 이번 연구를 지원해 주신 분들에게 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 권남욱, 김영미, 김성중, 조태승, 최은하, 조광섭, 김봉수, 천장호, 강준길, "외관전극 형광램프 백라이트의 자기방전 동기화 구동", 새물리, 46, 277~282, 2002.
- [2] 조태승, 김영미, 권남욱, 김성중, 강준길, 최은하, 조광섭, "외관전극 형광램프의 전극 길이 효과" 새물리, 44, 42~47, 2002.
- [3] C. Bencking, J. Appl. Phys. 68, 1, 1990.
- [4] T. S. Cho, Y. M. Kim, N. O. Kwon, S. J. Kim, J. G. Kang, E. H. Choi and G. S. cho, Jpn. J. Appl. Phys. 41, part 2, No. 3B, p.L355, 2002.
- [5] J. J. Thomson, Philosophical Magazine, 32, 32, 1891.
- [6] G. I. Babat, J. IEE, 94, Pt. 3, p.27, 1947.
- [7] Cho T S et., J. Appl. Phys. 41L355, 2002.
- [8] 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, Preceedings of the 21st International Display Research Conference in conjunction with 8th International Display Workshop, p.625, 2001.

- [9] Guangsop Cho, Jooyoung Lee, Deaheung Lee, Jehuan Koo, Eunha Choi, Bongsoo Kim, Sanghun Lee, Minsoon Pak, Junegill Kang and John P Verboncoeur, "Pinhole formation in capacitively coupled external electrode fluorescent lamps", J. Phys. D: Appl. Phys. 37 2863 - 2867, 2004.
- [10] Vikram Singh, John Holland, "Modeling and Experimental studies of a Transformer Coupled Plasma(TCPTM) Source design for Large area plasma processing, IEEE TRANSACTION ON PLASMA SCIENCE, Vol. 24, No. 1, 1996.
- [11] 김성중, "고휘도, 고효율 EEFL Backlight에 대한 연구" 광운대학교 석사학위청구논문, 2002.
- [12] 조성구, "LCLCD 백라이트를 위한 멀티램프 구동용 압전 인버터 설계", 전남대학교 석사학위청구논문, 2005.

저 자 소 개



이 성 진 (李 成 眞)

1979년 3월 25일생. 2005년 원광대 공대 전기전자및정보공학부 졸업(학사). 2005년~현재 동대 대학원 전자재료공학과 석사과정

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : hardes@wonkwang.ac.kr



이 종 찬 (李 鐘 爍)

1972년 8월 13일생. 1997년 원광대 공대 전자재료공학과 졸업. 1999년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업. 2003년 동대 대학원 졸업(공학박사). 2003년~2004년 UTD Univ. Post-Doc.. 2004년~2005년 Ehime Univ. Post-Doc.. 2005년~현재 금호전기(주) 부설연구소 선임연구원.

Tel : 031-329-7740

Fax : 031-329-7705

E-mail : chaos@kumho.khe.co.kr



박노준 (朴魯竣)

1968년 5월 21일생. 1993년 원광대 전자공학과 졸업. 1995년 동대 대학원 전자공학과 졸업. 2004년 동대 대학원 전자공학과 졸업(공학). 1995년 8월~현재 원광대학교 전기·전자 및 정보공학부 강의교수 및 전기응용신기술연구센터 행정실장

Tel : 063-850-7023

Fax : 063-850-7022

E-mail : njpark@wonkwang.ac.kr



박대희 (朴大熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동대 대학원 전기공학과 졸업. 1989년 일본 오사카대학교 대학원 졸업(공학). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1991년~현재 원광대학교 전기·전자 및 정보공학부 교수. 2004년~현재 원광대학교 전기응용신기술 연구센터장.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr