

LCD 배면광원용 무수은 형광램프의 전기 · 광학적 특성

Electro-Optical Characterization of Hg-Free Fluorescent Lamps for LCD Backlight

이순석*, 임성규**

선문대학교 신소재과학과*, 단국대학교 전자공학과**

Soonseok Lee(leess@sunmoon.ac.kr)*, Sungkyoo Lim(limsk@dankook.ac.kr)**

요약

LCD의 배면광원으로 활용될 무수은 형광램프를 제작한 다음, 전기·광학적 특성을 평가하였다. PDP 형광체, nitro-cellulose 및 n-butyl acetate를 혼합하여 유리관 내부에 얼룩 없이 균일하게 코팅하였다. 550 °C에서 20 분 동안 소성하였고, 가스혼합장치를 이용하여 10^{-6} torr까지 배기시킨 다음 방전가스를 주입하여 형광램프를 완성시켰다. 형광체 두께 및 유리관 직경 등을 변화시켜 제작, 평가한 결과 이들 변수들에 대하여 최적의 값을 찾아 낼 수 있었다. 또한 Ne + Xe 방전가스를 주입하여 제작된 형광램프에 75 kHz의 정현파 전압을 공급시킨 결과 휘도 6,270 cd/m², 발광효율 13 lm/W를 얻었다.

■ 중심어 : | LCD | 배면광원 | 형광램프 | 방전 및 방전가스 |

Abstract

Hg-free fluorescent lamps were fabricated and electro-optical characterization were measured for using LCD backlight. PDP phosphors, nitro-cellulose and n-butyl acetate were mixed and coated uniformly in glass tube without stain. The glass tubes were sintered at 550 °C for 20 minutes, vacuumed to 10^{-6} torr and supplied discharge gas by using a gas mixture. After various experiment about phosphors thickness and inner diameter of glass tube, the appropriate phosphors thickness and inner diameter of glass tube were obtained. The luminance and luminous efficiency of manufactured fluorescent lamps with Ne + Xe discharge gas were 6,270 cd/m², 13 lm/W under 75 kHz sinusoidal wave voltage, respectively.

■ keyword : | LCD | Backlight | Fluorescent Lamp | Discharge and Discharge Gas |

1. 서론

현재 LCD(liquid crystal display, 액정 디스플레이), PDP(plasma display panel), ELD(electroluminescent display) 및 FED(field emission display) 등과 같은 여러 종류의 평판디스플레이가 이용 또는 개발 중에 있으며, 이 중에서 액정 디스플레이는 기존의 브라운관(cathode ray tube, CRT)을 대체할 수 있는 표시장치로

인식되고 있어 크게 주목받고 있다. 액정 디스플레이는 액정에 인가한 전압에 따라 액정 방향자가 변화되면서 배면광원(backlight)을 통과시키거나 차단시켜 디스플레이로 사용될 수 있는 것이다. 이 액정 디스플레이의 최대 특징은 다른 표시장치와는 달리 스스로 발광하지 않는다는 점이다. 이 비발광특성으로 인해 LCD는 반드시 배면광원이 필요하며, 배면광원에 따라 저소비전력, 선명한 색을 재현해 낼 수 있다[1][2].

* 본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-02)의 지원으로 수행되었습니다.

접수번호 : #061010-002

접수일자 : 2008년 10월 10일

심사완료일 : 2008년 11월 28일

교신저자 : 이순석, e-mail : leess@sunmoon.ac.kr

Back light unit(BLU)는 배면광원, 반사판, 도광판, 확산판 및 프리즘 등의 광 제어부품들로 구성되며, 이들을 조합하여 표시화면에 균일한 밝기의 면광원을 얻을 수 있다. 배면광원에는 냉음극형광램프(cold cathode fluorescent lamp, CCFL), EL(electro-luminescence) 및 LED(light emitting diode) 등이 있으나, CCFL을 주로 사용한다. CCFL은 휘도, 효율 및 수명 등이 우수하여 BLU 광원으로 사용되고 있지만, 방전가스로 수은이 이용되고 있어 환경규제의 강화로 향후 다른 광원으로 대체되어야만 한다. 따라서 LCD의 또 다른 배면광원으로 무수은 형광램프에 관한 연구[3][4], 외부전극 형광램프(external electrode fluorescent lamp, EEFL)에 대한 연구[5], LED에 관한 연구[6], 면광원에 대한 연구[7] 및 형광램프용 인버터에 관한 연구[8] 등이 활발히 진행되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 수은을 첨가하지 않은 새로운 방전가스를 이용한 형광램프를 제작하고, 평가하고자 한다. 형광체 페이스트 제작조건, 유리관 내경 등을 여러 가지로 달리하여 형광램프를 제작하였고, 제작된 형광램프에 대해서는 방전가스를 주입하여 전기·광학적 특성을 평가하였다.

II. 실험 및 측정

무수은 형광램프는 수은을 방전가스로 사용하지 못하므로 새로운 방전가스를 찾아야만 한다. 화학적으로 안정되지 못한 가스를 사용하게 되면, 방전 중에 분해될 수도 있고 형광체와 반응할 수도 있어 시간이 지나면서 형광램프의 발광 특성이 변하게 된다. 이런 이유로 본 연구에서는 화학적으로 안정한 주기율표상의 B 족 원소들을 방전 가스로 사용하였다. 방전 가스가 결정되면 방전 중에 방출되는 특정 자외선을 입력받아 가시광선을 방출시키는 형광체를 선정하여야 한다. 현재 PDP에서도 He, Ne 및 Xe 등의 B 족 원소를 방전가스로 활용하고 있기 때문에 본 연구에서도 PDP 형광체로 이용되고 있는 Toshiba사의 적색(SPD-B94A), 녹색(SPD-B92A) 및 청색(SPD-B90A) 형광체들을 사용하였다.

전극 사이의 간격이 25 cm 되도록 유리관을 절단하였다. 유리관 내부에 먼지 등 이물질들이 들어 있으면 형광체 페이스트 코팅 중에 형광체 얼룩이 발생하기 때문에 유리관 내부를 알코올로 세척한 후 건조기에서 120 °C, 10 분 동안 건조시켰다. 형광체가 유리관에 견고히 코팅되어 있지 않을 경우에는 이동, 충격 또는 동작 중에 형광체가 유리관 내면으로 떨어질 경우도 있다. 본 연구에서는 유리관에 형광체를 견고히 코팅하기 위하여 PDP 형광체 외에 nitro-cellulose, n-butyl acetate 용액을 사용하였고, 이들을 마노에서 10 분 동안 혼합하였다. 최적의 형광체 두께를 찾아내기 위하여 일정한 양의 n-butyl acetate 용액에 혼합하는 형광체 양을 변화시켜 코팅하였다. 우선 동일한 무게의 적색, 녹색 및 청색 형광체를 혼합하고 여기에 nitro-cellulose를 1.25 % 첨가하였다. 그리고 형광체 페이스트 중에서 형광체 무게가 44 %, 47 %, 51 %, 56 %, 61 % 및 67 % 되도록 n-butyl acetate 용액을 혼합하여 형광체 페이스트를 만들었다. 혼합된 형광체 페이스트는 325 mesh의 체로 거른 다음 유리관 내면에 코팅하였다. 유리관을 수직으로 세운 다음 위에서 형광체 페이스트를 부어 자연스럽게 흘러내리도록 하였다. 형광체 페이스트가 유리관 밖으로 배출되면 유리관 상부에서 약한 바람을 주입시켜 건조하였다. 형광체 페이스트를 체로 거르고 강제적으로 약한 바람을 주입하여 건조시킬 경우에는 때때로 관찰되던 형광체 얼룩이 제거되었고 균일하게 코팅할 수 있었다. 형광체 페이스트가 건조된 유리관은 [그림 1]과 같이 프로그램된 소성로에 넣고 550 °C에서 20 분 동안 소성하였다. 중간의 350 °C는 디바인딩하는 단계로 형광체 페이스트에 포함된 nitro-cellulose를 태워버려 순수한 형광체만 유리관에 코팅하기 위함이다.

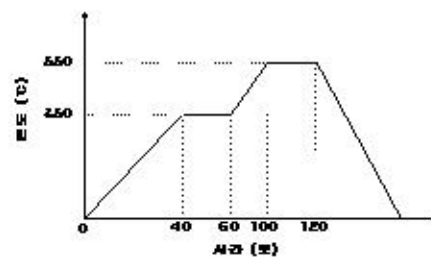


그림 1. 형광체 소성 온도

형광체 코팅이 완료된 유리관은 가스혼합장치에 연결하여 1.0×10^{-6} torr까지 배기시킨 다음, Ar, Ne 또는 Xe 방전가스를 주입하였다.

형광램프의 전기적 특성인 전압, 전류 및 발광효율을 측정하기 위해서 형광 램프에 직렬로 감지저항(R_s) 10 Ω 를 연결하였다. 형광램프의 방전 임피던스가 100 k Ω 정도이며 이와 비교하여 매우 작은 감지저항을 직렬로 연결하게 되면 공급전압 대부분은 형광램프에 인가시키면서도 형광램프에 흐르는 전류를 쉽게 계산할 수 있기 때문이다. [그림 2]는 전기적 특성을 측정하기 위한 회로이다. 오실로스코프를 이용하여 감지저항 FS 전압과 형광 램프 전압을 측정하였다. 형광 램프에 인가된 전압(VFL)은 1000:1 고전압 probe(Tektronix, P6015 A)를 사용해서 오실로스코프(Tektronix, TDS 340A)에 연결하여 측정하였고, 휘도는 휘도계(Mindta, CS-100A)를 사용하였다. 형광램프는 전기 에너지를 빛 에너지로 변환하는 소자이다. 특성이 좋은 형광램프는 전기 에너지를 100 % 빛 에너지로 전환되는 것으로 말할 수 있으며, 형광램프의 발광효율은 식 (1)로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta[\text{lm/W}] &= \frac{\text{단위면적당 소비전력}}{\text{단위면적당 소비전력}} \times \text{휘도} & (1) \\ &= \frac{\pi \times \text{휘도}}{r \times V} \\ &= \frac{2\pi r \times d}{r \times V} \end{aligned}$$

여기서 I , V , r 및 d 는 각각 형광램프의 전류, 전압, 반지름 및 길이이다. 식 (1)에서 소비전력은 전류와 전압의 곱으로 되어 있으나, 실질적으로는 전류, 전압의 위상 차이 때문에 1 주기에 대해 전류와 전압을 곱하고 평균을 취하여야만 정확한 소비전력이 계산된다.

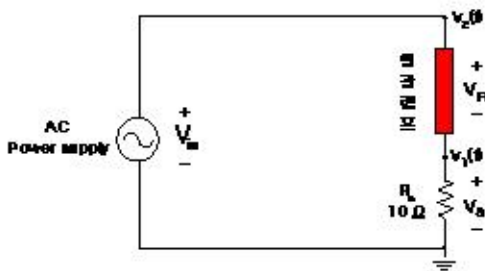
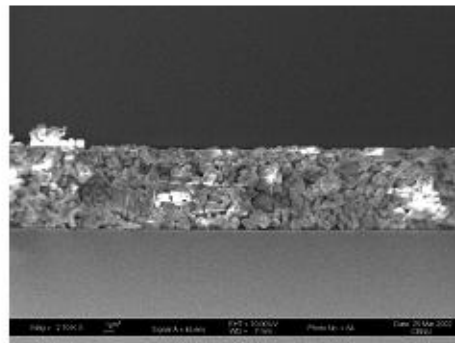


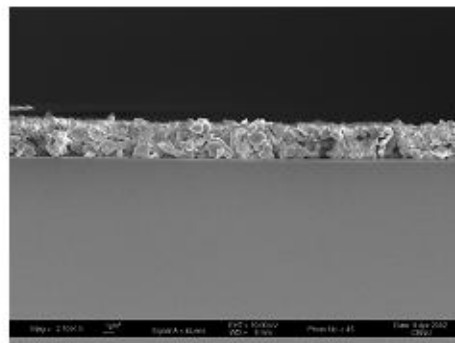
그림 2. 전기적 특성 측정회로

III. 결과 및 검토

[그림 3]은 유리관 내면에 코팅된 형광체의 단면 SEM(scanning electron microscope) 사진이다. 형광체 페이스트는 형광체, nitro cellulose 및 n butyl acetate 용액을 혼합하여 제작하였기 때문에 이들 비율을 여러 가지로 달리하면 코팅된 형광체 두께를 정확히 조절할 수 있다. 형광체 무게 비율을 44 ~ 67 %까지 증가시키면서 유리관 내면에 코팅하고 SEM으로 측정한 결과 형광체 두께는 3.2 ~ 25 μm 까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다. [그림 3(a)]와 [그림 3(b)]는 형광체 비율을 각각 51 %, 44 % 혼합하였을 때의 단면 SEM 사진으로 그 두께는 각각 8 μm , 3.2 μm 를 나타내고 있다. 또한 형광체가 유리관에 균일한 두께로 견고하게 코팅되어 쉽게 떨어지지 않았다.



(a) 형광체가 51 %일 때의 단면사진



(b) 형광체가 44 %일 때의 단면사진

그림 3. 형광체 코팅 단면 SEM 사진

[그림 4]는 제작된 형광램프에 75 kHz의 정현파 전압을 공급한 후, 발광하는 모습이다. 매우 밝은 백색 빛을 보여주고 있다. 이때의 방전가스와 유리관 내경은 각각 Ar 3 torr 및 4.8 mm이었다.



그림 4. 무수은 형광램프의 발광

[그림 5]는 형광체 두께에 따른 휘도의 변화이다. 최적의 형광체 두께를 찾아내기 위해서 나머지 변수들은 모두 일정하게 하였다. 우선 내경이 4.8 mm인 유리관을 사용하였으며, 방전가스로는 8 족 원소인 Ar을 3 torr로 일정하게 주입시켰다. 75 kHz의 전원을 형광램프에 공급하였을 때 공급 전압의 크기에 따라 휘도가 증가하는 모습을 보여주고 있다. 유리관 내부의 형광체 두께는 형광램프의 휘도에 지대한 영향을 미친다. 형광체 두께가 얇을 경우에는 방전가스에 의해 생성된 많은 자외선 에너지를 형광체가 모두 이용할 수 없는 상태가 될 수 있으며, 형광체 두께가 필요 이상으로 두꺼울 경우에는 형광체 내부에서 발생된 가시광선이 형광체를 뚫고 유리관 밖으로 방출되는 양이 줄어들기 때문이다. 그림 5는 형광체 두께가 8 μm 일 때 가장 밝음을 나타낸다. 형광체 두께가 8 μm 보다 작은 3.2 μm 에서나, 8 μm 보다 큰 20 μm , 25 μm 에서 모두 휘도가 감소하였다. 8 μm 두께의 최대 휘도는 1340 V에서 1950 cd/m^2 를 나타내었다.

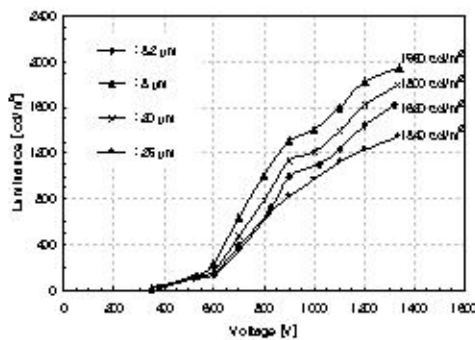


그림 5. 형광체 두께에 따른 휘도 변화

[그림 6]은 유리관 내경에 따른 휘도의 변화를 나타낸다. 유리관 내경은 각각 4.8 mm, 3.3 mm 및 0.8 mm이고, 형광체 두께는 8 μm 였으며 방전가스로 Ar만을 3 torr 주입하였다. 유리관 내경이 작을수록 큰 전압에서 방전이 시작되었고, 전압의 크기에 따른 휘도는 급격히 증가하는 것을 보여주고 있다. 유리관 내경이 0.8 mm인 형광램프에서 최대 휘도를 얻을 수 있었으며, 1260 V에서 2350 cd/m^2 를 나타낸다. 유리관 내경이 4.8 mm인 경우 초기의 방전전압은 작지만 휘도의 증가가 완만함을 알 수 있다.

방전 가스는 형광램프 휘도에 지대한 영향을 미친다. 방전 가스로 Ar, Ne 또는 Xe를 주입하게 되면 이들 방전가스의 압력, 비율에 따라 휘도가 매우 심하게 변화하였다. [그림 7]은 유리관 내경이 0.8 mm인 방전관내에 Ne 6.8 torr에 소량의 Xe 가스를 주입시켰을 때의 휘도 변화이다. 2 가지 이상을 방전가스로 주입하게 되면 페닝 효과에 의하여 방전전압이 감소하고 휘도가 증가하기 때문이다. 형광 램프로부터의 발광 빛은 Ne 가스에 의한 오렌지 빛이 혼합된 백색이었고, CIE 색좌표는 (0.43, 0.28)였다. [그림 7]에서 휘도는 인가전압의 크기에 비례하여 증가하였으며, 최대 전압 1100 V에서 6270 cd/m^2 를 나타내었다.

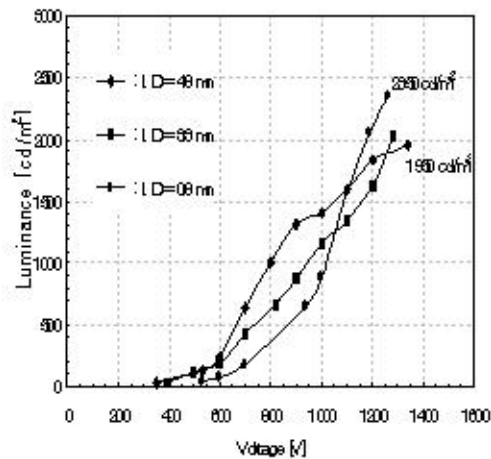


그림 6. 유리관 내경에 따른 휘도 변화

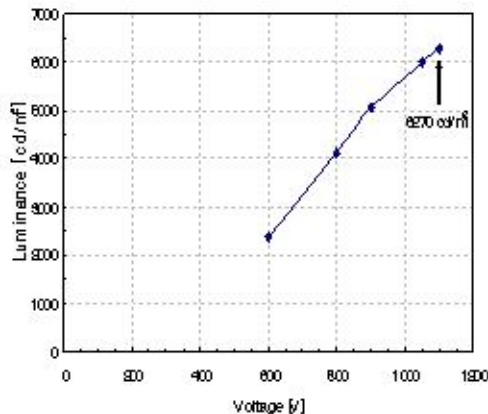


그림 7. Ne+Xe 방전가스에서의 휘도 변화

[그림 8]은 Ne에 소량의 Xe를 주입하고, 실효전압 1100 V를 공급하였을 때의 시간 변화에 따른 공급전압과 전류의 변화를 나타내고 있다. 실선은 75 kHz의 공급전압을 나타낸 것이고, 점선은 이때 흐르는 전류를 나타내고 있다. 정현파 전압이 증가하면서 전류가 급격히 증가하였다가 다시 감소함을 보여주고 있어, 전압 인가 후 곧바로 방전이 개시되고 플라즈마가 형성됨을 알 수 있다. 또한 공급전압 초기에 양의 전압 방향으로 급격한 전류가 흐르다가, 곧바로 반대 방향의 전류가 흐르는 등 복잡한 양상을 보여주고 있다. 방전 최대전류가 흐르는 시점의 임피던스는 전류와 인가전압을 알면 쉽게 계산할 수 있다. 즉, [그림 8]에서 -4.3 usec에 흐르는 전류와 인가전압은 각각 7.8 mA, 980 V이며 이로부터 임피던스를 계산하면 약 120 k Ω 이 된다. 방전 시에 방출되는 가시광선은 플라즈마 내의 여기된 Ne이나 Xe이 기저상태로 내려가면서 자외선을 방출하고 코팅된 형광체가 이 자외선을 입력받아 방출하는 것이다. 전력효율 계산을 위한 소비전력은 방전전류가 [그림 8]과 같이 복잡한 양상을 보여주고 있기 때문에 1 주기 각각의 시간에서 전압과 전류를 곱하여 적분한 다음, 1 주기로 나누어서 계산하였다. Ne + Xe(소량)을 방전가스로 사용한 형광램프에 대하여 발광효율을 측정 계산한 결과, 13 lm/W의 발광효율을 얻었다.

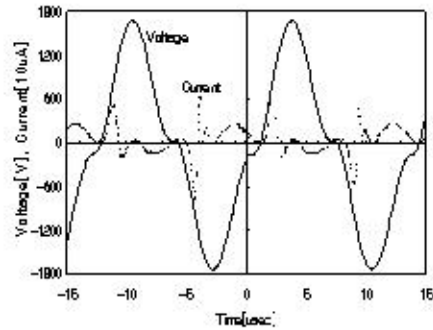


그림 8. 정현파 공급 전압과 흐르는 전류

IV. 결론

현재 LCD 배면광원으로 사용하고 있는 CCFL은 효율, 휘도 등에서 우수한 특성을 나타내고 있지만 환경규제의 대상이 되는 수은을 사용하고 있어 향후 다른 광원으로 교체되어야만 한다. 이에 본 연구에서는 Ar, Ne 및 Xe를 방전가스로 사용하고 PDP 형광체를 사용한 무수은 형광램프를 제작하고 발광특성을 측정하였다. PDP 형광체, nitro-cellulose 및 n-butyl acetate를 혼합하여 유리관 내부에 형광체 얼룩 없이 코팅하였다. 550 °C에서 20 분 동안 소성하였고, 가스혼합장치를 이용하여 10^{-6} torr까지 배기시킨 다음 방전가스를 주입하여 형광램프를 완성시켰다. Ar 3 torr를 주입하고 형광체 두께와 유리관 내경을 변화시켜가면서 휘도를 측정한 결과 각각 8 μ m와 0.8 mm에서 최대 휘도를 얻었다. Ne + Xe 방전가스를 주입하고 75 kHz의 정현파 전압을 공급시킨 결과 휘도 6270 cd/m², 색좌표 (0.43, 0.28) 및 발광효율 13 lm/W를 얻었다.

참고 문헌

- [1] H. Yamashita and T. Terada, "Cold-cathode fluorescent lamps for LCD back-lighting," Proceedings of the 5th IDW, Kobe Japan.

- pp.351-354, 1998.
- [2] H. Noguchi, "A high-efficiency cold cathode fluorescent lamp for a backlighting unit," SID '98 Digest, Anaheim Convention Center USA, pp.243-246, May 1998.
- [3] J. Y. Choi and G. S. Jung, "Mercury-free, 1Binch class flat fluorescent lamp with good uniformity," Proceedings of the 1st IDMC, Seoul Korea, pp.231-232, Sep. 2000.
- [4] H. Noguchi and H. Yano, "A mercury-free cold cathode fluorescent lamp for LCD backlighting," SID '00 digest, California USA, pp.935-937, May 2000.
- [5] 여인선, "무전극 방전의 원리와 방전등에의 응용", 조명 전기설비학회지, 제6권 제3호, 1992.
- [6] K. Y. Ban, D. Y. Lee, M. J. Lee, C. J. Han, and J. I. Han, "Development of new heat dissipated material in metal core PCB for LED backlight," Proceedings of the IMD/IDMC 2006, Daegu Korea, pp.1432-1435, Aug. 2006.
- [7] J. Hur, C. Kim, and S. Lim, "Design of start voltage waveform for driving flat fluorescent lamp(FFL) LCD backlight," Proceedings of the IMD/IDMC 2006, Daegu Korea, pp.1725-1728, Aug. 2006.
- [8] 허정욱, LCD용 backlight 구동을 위한 고전력 교류 인버터의 설계 및 제작, 단국대학교 석사학위논문, 2000.
- [9] 김근배, 김상국, 권오경, 김지홍, 양홍근, 유계수, 박창배, 한기웅, 디스플레이 공학, 청범출판사, 2000.

지자 소개

이 순 석(Soonseok Lee)

정회원



- 1999년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 신소재과학과 객원교수

<관심분야> : 평판디스플레이 및 디스플레이 소자의 특성평가

임 성 규(Sungkyoo Lim)

정회원



- 1993년 6월 : 오레곤 주립대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1982년 2월 ~ 현재 : 단국대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : 평판디스플레이 및 BLU