

면광원 램프 및 이를 이용한 조명 기기의 효율 특성 연구

(Flat Fluorescent Lamp(FFL) and Analysis of Optical Efficiency of FFL Lighting)

박종리* · 임성규

(Jong-Lee Park · Sung-Kyoo Lim)

요 약

LCD(liquid crystal display) TV용 백라이트의 광원으로서 면광원이 개발되었으며, 이를 이용한 조명 기기를 제작 및 평가하였다. 면광원은 유리성형을 통하여 채널을 형성하였으며 채널의 모양을 최적화하여 면광원을 이용한 조명 기기의 효율을 향상시킬 수 있었다. 본 논문에서는 특히 현재 주로 사용되고 있는 형광등과의 비교 평가를 통하여 조명용 면광원의 광 효율 및 조도 특성에 관한 성능을 평가하였다. 채널의 구조가 최적화된 면광원을 이용하여 제작된 32"형 조명 기기의 광 효율은 72.7[lm/W]이었다.

Abstract

A flat fluorescent lamp (FFL) developed as a light source for LCD TV backlight was used as a light source for general lighting application and its electro-optical characteristics were measured and evaluated. The channels of FFL were formed from a flat glass at high temperature by using a mold. The performance of FFL with lighting fixture was shown to improve by optimizing the channel profile of FFL. In this paper, the brightness efficiency of FFL with lighting fixture was evaluated and compared with that of the hot cathode fluorescent lamp (HCFL), the major light source for general lighting. The optical efficiency of FFL with fixture was shown to be 72.7[lm/W].

Key Words : Flat Fluorescent Lamp, Backlight, Channel Profile, Brightness Uniformity

1. 서 론

현재 조명 시장은 가정용, 산업용, 상업용 등 대부분의 분야에서 형광등과 백열등이 여전히 압도적인

점유율을 자랑하고 있다. 그 동안 양 제품은 발광효율, 수명, 연색성 등 성능의 지속적인 향상을 통해 많은 부분 개선이 이루어졌지만, 이제 어느 정도 한계에 도달했다는 평가다. 시장의 복합적인 요구사항을 충족시키기 위해서는 예를 들어, 기존 제품의 성능 한계를 훌쩍 뛰어넘어 친환경적이면서 월등한 수명을 갖는 태생부터 다른 획기적인 신기술의 출현이 요구되고 있는 것이다[1].

* 주저자 : 단국대학교 전자컴퓨터공학과 대학원
Tel : 041-550-3542, Fax : 041-552-1998

E-mail : parkjl@dankook.ac.kr
접수일자 : 2007년 6월 15일
1차심사 : 2007년 6월 21일
심사완료 : 2007년 7월 26일

이러한 추세를 반영해 최근 새로운 광원 기술 개발을 둘러싼 움직임이 활발해지고 있다. 기술 개발 속도가 빨라지면서 신기술의 침투는 물론 조명 시장에서의 주력 제품의 교체 가능성까지 점쳐지고 있다. 기술별로는 면광원, LED(Light Emitting Diode), PLS(Plasma Lighting System), CNT(Carbon Nano Tube) 램프 등이 주도권 확보를 놓고 경쟁할 것으로 예상된다.

이에 LCD TV의 광원으로 개발된 면광원 램프는 높은 광 효율과 긴 수명 그리고 디자인 측면에서도 강점을 보이고 있으므로 차세대 조명 시장을 선점할 것으로 예상된다. 그림 1에는 조명용으로 개발된 면광원 램프를 보여주고 있다.

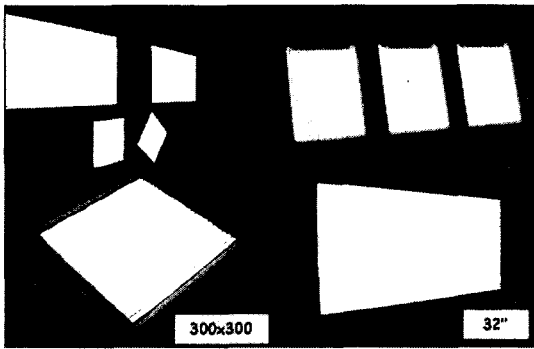


그림 1. 일반 조명용 면광원 램프
Fig. 1. Various FFL

현재 면광원은 램프의 구조, 방전 채널의 구조 그리고 방전의 방식에 따라서 여러 가지 형태로 개발되고 있으나, 생산 가격, 수명 및 광효율 등을 고려할 때에 금형을 이용하여 유리를 성형한 후 방전 공간을 구획하는 방식이 가장 적합한 방식이다[2-3]. 또한 금형을 이용하여 방전 공간의 형상을 제작하므로 원하는 모양의 램프 채널 형상을 제작할 수 있다. 면광원 채널 형상의 설계를 통하여 조명기기의 광 효율을 향상시킬 수 있으므로 면광원에서의 채널 형상은 조명 기기의 광 효율을 결정하는 주요 요소이다. 본 연구에서는 이러한 면광원을 이용하여 조명기기를 제작하고, 현재 주로 사용되고 있는 형광등과의 비교 평가를 통하여 면광원을 이용한 조명기기의 광 효율을 평가하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 면광원 램프

그림 2에서는 면광원의 방전 원리를 보여주고 있다. 면광원의 기본적인 방전 원리는 현재 LCD TV의 광원으로 사용되고 있는 CCFL 및 EEFL과 비슷하다. 면광원의 양단에 위치하고 있는 외부 전극에 전계를 가하면 면광원 내부에 전자가 형성되고, 더욱 높은 전계를 가할수록 이 전자는 면광원의 내부에서 가속하게 된다. 이 가속된 전자가 면광원 내부의 수은원자를 여기시키고 여기된 수은 원자는 약 254[nm]의 자외선을 방출한다. 이 자외선이 면광원 램프의 성형 유리 및 하판 유리 내부에 도포되어 있는 형광체를 여기시켜 가시광선을 발생한다.

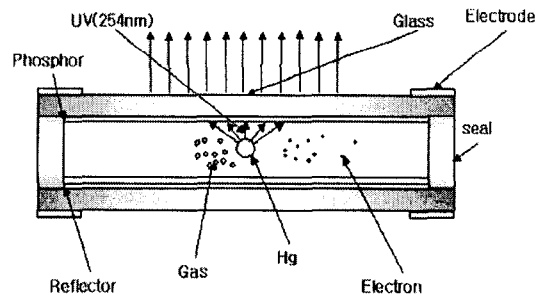


그림 2. 면광원 램프의 방전 원리
Fig. 2. Emission of light from FFL

이와 같은 방전 Mechanism을 구현하기 위하여 면광원은 그림 3과 같은 구조를 갖는다. 면광원은 서로 봉착된 성형 유리와 하판 유리 내벽에 형광물질이 도포되어 있으며, 램프 양단에 외부 전극이 부착되어 있고, 수십 Torr의 혼합 가스와 정량의 수은이 봉입되어 있다.

면광원은 그림 4와 같은 과정을 통하여 제작된다. 면광원의 제작 과정은 상판공정, 하판공정, 그리고 조립 공정으로 구분된다. 상판공정에서는 면광원이 원하는 채널 형상을 형성하기 위하여 유리를 성형한 후에 면광원의 방전 시에 발생하는 자외선이 램프의 외부로 방출되는 것을 차단하기 위하여 채널 형상 전면에 보호막을 입히고 방전 자외선을 가시광선으

로 전환시키기 위한 형광체 막을 채널형상 전면에도포한다[4-6]. 하판공정에서는 면광원의 휘도 향상을 위하여 채널 형상 배면에 반사 층을 형성하고 방전 자외선을 가시광선으로 전환시키기 위한 형광체 막을 입힌 후에 상/하판을 봉착 시켜주는 역할을 하는 실링재를 도포한다[7-9]. 이러한 방법으로 제작된 상/하판에 코팅되어 있는 보호막, 형광체 및 실링재 등을 유리에 소성 시킨 후에 양 판을 정렬하여 접합 시킨다. 봉착된 유리에 존재하는 잔류 불순 가스를 제거하고 진공 배기한 후 방전 가스 및 수은을 주입하며, 각 종 주입구를 최종 봉합한다. 그 후에 면광원을 구동하기 위한 회로인 인버터를 전기적으로 연결시켜 줌으로써 면광원 램프에 전계를 공급하기 위한 외부 전극을 형성하고 최종 제품의 크기에 맞도록 원하는 크기로 유리를 절단한다. 이렇게 제작된 면광원의 방전 특성을 안정화하기 위한 Aging 공정을 거친 후에 면광원의 외관 상태, 성능 및 전기적, 광학적 특성을 판단하여 제작을 완료한다[10-12].

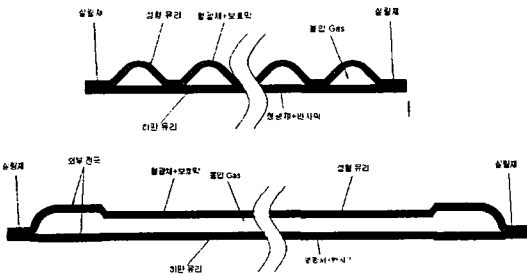


그림 3. 면광원 램프의 구조
Fig. 3. FFL's Structure

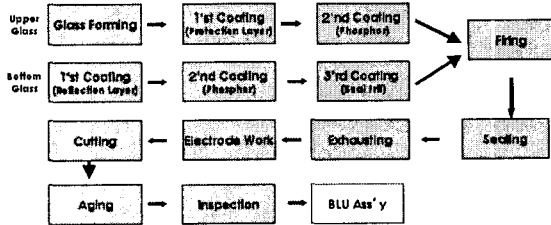


그림 4. 면광원 램프의 제작 과정
Fig. 4. FFL manufacturing process

2.2 면광원 램프의 특징

면광원이 조명용 램프로써 갖는 특징은 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

첫째, 면광원은 램프 자체가 면이 발광하는 면광원 램프라는 점이다. 면광원을 조명용으로 사용하게 되면 직접 조명과 간접 조명의 역할을 동시에 수행할 수 있게 된다. 면광원은 빛이 부드러워서 눈부심이 적고 온화한 분위기를 얻을 수 있다는 특징을 가지고 있다. 선진국뿐만 아니라 우리나라에서도 편안한 조명을 선호하는 사람들의 숫자가 늘어감에 따라 조명에 대한 인식이 새로워지고 있다. 앞으로의 조명은 조명자체의 영역을 넘어서서 건강한 실내 공간을 조성하는 필수적인 요소로 자리매김하고 있다. 이제 현대인들은 눈에 피로감을 주는 강한 조명보다는 점차 눈을 편안하게 해서 몸과 정신의 피로를 풀어주는 조명 방식으로 나아갈 것이며 면광원은 이에 적합한 광원이다.

둘째, 면광원은 두께가 약 4[mm]의 얇은 광원이므로 단순하면서도 고급스러운 형태의 조명 연출이 가능하다. 앞으로는 조명을 통해 자유로운 디자인 구현뿐만 아니라 다양한 분위기의 연출도 중요해 질 것이다. 그러므로 조명기기는 더욱 소형화, 슬림화될 것이며 이런 추세에 면광원은 적합한 광원이다. 면광원은 천장이 낮고 좁은 곳에 높이감과 공간감을 주기 위해 사용할 수 있으며, 용량이 큰 전구들을 많이 사용하지 않아도 최고의 조명 효과를 낼 수 있다.

셋째, 면광원은 장수명의 램프이다. 면광원은 LCD TV의 광원으로 사용할 정도로 긴 수명을 자랑하고 있으므로 일반 조명용으로 사용하게 될 경우 램프를 교체하여야 하는 수고스러움을 없앨 수 있다. 또한 램프 폐기로 인한 환경오염 및 처리 비용을 근본적으로 방지할 수 있게 된다.

2.3 면광원을 이용한 조명 기기의 광 효율 측정 방법

본 논문에서는 최적의 채널 형상을 갖는 면광원을 설계한 후 이 면광원을 이용하여 조명기기를 제작하였다. 조명기기의 효율은 면광원을 이용하여 빛을

확산시켜 주는 역할을 하는 확산판을 이용하여 확산판을 투과하여 나온 빛은 바라보는 방향에 관계없이 모든 방향으로의 휘도가 동일한 Lambertian 확산분포를 이루도록 구성한 후 2D 휘도측정기를 사용하여 확산면 전체의 평균휘도를 측정하여 광 효율을 산출하였다. 2D 휘도 측정기는 393,216(768*512) Point를 한번에 측정하여 면 전체의 평균 휘도를 산출할 수 있다. 광 효율을 측정하기 위한 소비전력은 광원을 구동하기 위한 회로에 투입되는 입력 전력을 기준으로 산출하였다. 그림 5에서는 본 논문에서 광 효율을 측정하기 위한 실험 개략도를 보여주고 있다.

완전 확산면에서 광속 발산도 M과 휘도 L 사이에는 $M=\pi L$ 의 관계가 성립한다. 광속 발산도 M일 때 면적 A에서 방출되는 총 광속은 $\Phi_A=MA=\pi LA$ 가 된다. 광속 Φ_A 를 만들어 내기 위하여 P의 소비전력이 사용되었을 경우 광 효율 η 는 식 (1)에 의하여 산출할 수 있다[13].

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

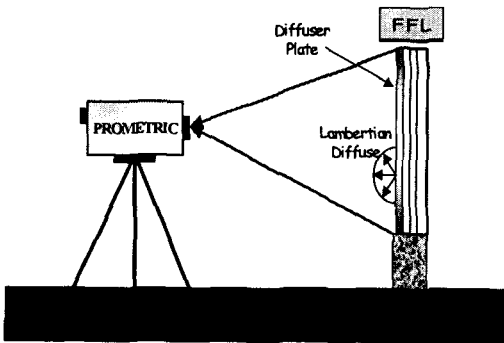


그림 5. 광 효율 측정 실험 개략도
Fig. 5. Outline for FFL efficiency measurement

3. 결과 및 고찰

3.1 면광원의 설계 및 제작

형광체에서 발생하는 빛의 형태는 면광원의 채널 형상에 의하여 결정된다. 본 논문에서는 면광원의 채널 형상을 광 Simulation을 이용하여 설계하였다. 본 논문에서 사용된 광 Simulation Program은 미국

의 BRO(Breault Research Organization)의 ASAP (Advanced Systems Analysis Program)을 이용하였다[14-15].

본 논문에서는 기전에 제작된 면광원 램프 및 그 자재의 광 특성을 수집한 후 광 Simulation을 이용하여 실제의 광 특성과 Simulation과의 광 특성을 비교 분석하여 최종적으로 면광원 램프의 채널 형상을 설계 및 제작하였다. 그림 6에서는 기전에 제작된 면광원 램프의 휘도 균일도와 Simulation 결과를 비교한 그래프를 보여주고 있다. 상호 간의 휘도 균일도가 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 그림 6에서 보여주는 면광원 램프는 채널 구조가 최적화되어 있지 않으므로 14.4[%]의 휘도 균일도를 나타내고 있다.

기전에 제작된 면광원 램프의 광 특성 수집을 통하여 최적 휘도 균일도를 갖는 채널의 형상을 설계할 수 있었다. 여러 형태의 채널의 형상을 광 Simulation을 이용하여 설계한 결과 채널의 형태는 휘도 균일도가 가장 좋은 타원형 구조를 사용하였고, 채널의 높이는 휘도와 휘도 균일도를 고려하여 4.4[mm]로 하였다. 채널과 채널 사이의 실링 폭은 금형으로 제작 가능한 최소 길이인 1.4[mm]로 하였다.

그림 7은 설계된 면광원 램프의 광 분포에 대한 Simulation 결과를 보여주고 있다. 최종적으로 면광원 램프의 휘도 균일도에 기인하는 요소들을 Optical Simulation을 통하여 휘도 균일도 83.7[%]의 최적의 휘도 균일도를 갖는 면광원 램프의 채널 형상을 설계할 수 있었다[16].

이와 같이 최적의 휘도 균일도를 갖는 채널 형상을 이용하여 32" LCD TV의 Backlight에 적합한 면광원 램프를 제작하였다. 본 논문에서는 면광원 램프가 일반 조명으로 사용할 경우의 특성을 HCFL과 비교 평가하였다. 그러나 LCD TV용 면광원 램프의 색온도는 약 10,000[K]로 HCFL과 동등한 평가가 불가하다. 동일한 평가를 위하여 선정된 HCFL의 색온도와 동일한 6,500[K] 색온도가 표현될 수 있도록 면광원 램프의 형광체의 조성비를 변화시켜 제작하였다.

면광원 램프 및 이를 이용한 조명 기기의 효율 특성 연구

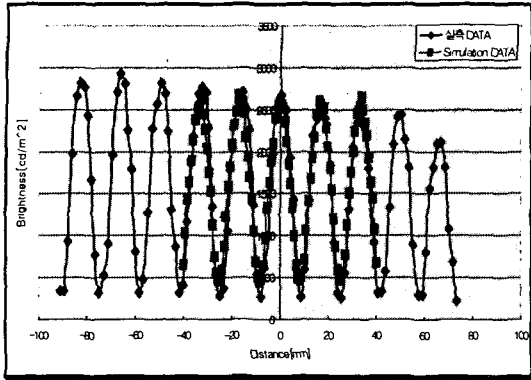


그림 6. 기전 면광원의 휘도 균일도
Fig. 6. Luminance uniformity of FFL

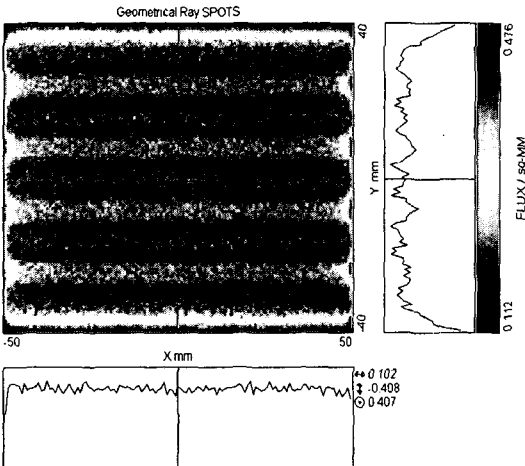


그림 7. 최적 설계된 면광원의 휘도 분포
Fig. 7. Luminance distribution of designed FFL

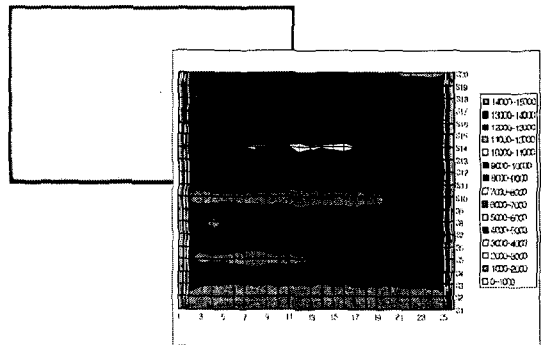
3.2 조명 기기의 광 효율 측정

면광원을 이용한 조명기기의 광 효율을 산출하기 위하여 2D 휘도 측정기를 이용하여 발광 면적 전체의 평균 휘도를 측정하여 산출하였다. 그림 8에서는 2D 휘도 측정기를 이용하여 면광원을 이용한 조명기와 HCFL을 이용한 조명기기의 평균 휘도를 측정된 자료를 보여주고 있다. 32"의 면광원을 이용한 조명기기의 경우 발광 면적 0.28[m²]에서 8,671[cd/m²]의 평균휘도가 측정되었다. 이 때에 면광원을 구동하기 위한 인버터에 입력되는 소비 전력이 104.9 [W]이다.

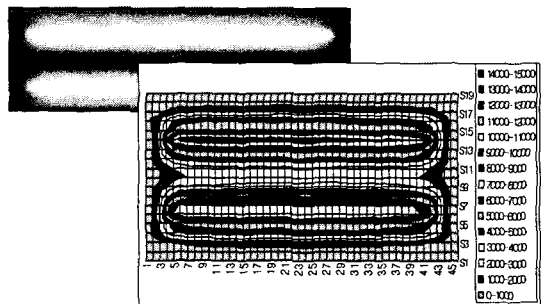
이와 같이 측정된 결과들을 식 (1)을 이용하여 조명기기의 광 효율을 산출할 수 있으며, 그 결과는 72.7[lm/W]이다. Table 1에는 면광원을 이용한 조명기기의 광 효율 산출 결과를 정리하였다. 이러한 실험 결과를 통하여 면광원의 조명기기의 광 효율을 측정 할 수 있었다.

표 1. 조명기기의 광 효율
Table 1. Optical efficiency of FFL with fixture

Items	FFL
Size[m²]	0.28(0.7x0.4[m])
Power Consumption [W]	104.9
Brightness[cd/m²]	8,671
Efficiency [lm/W]	72.7 ($\frac{8,671 \times 0.28 \times \pi}{104.9}$)



(a) 면광원 조명기기의 면 휘도 측정 결과



(b) HCFL 조명기기의 면 휘도 측정 결과

그림 8. 조명기기의 휘도 측정
Fig. 8. FFL luminance measurement

3.3 조명 기기의 조도 측정

앞에서 설계된 면광원과 제작된 조명기기를 이용하여 조명기에서 방출된 빛의 조도를 측정할 수 있다[17]. 면광원이 HCFL과 비교하여 어느 정도의 조명기기로서의 특성을 보여주는지를 평가하기 위하여 현재 주로 사용하고 있는 HCFL과 비교하여 평가하였다. 그림 9에서는 면광원 조명기기의 조도를 평가하기 위한 실험 개략도를 보여주고 있다. 조명기기로부터 2,500[mm]되는 지점에 조도계(Minolta, T-10)를 위치하여 조도를 측정하였으며, 광원에 의한 배광 특성을 파악하기 위하여 조명기기의 수직이 되는 지점으로부터 500[mm] 간격으로 조도를 측정하였다. HCFL을 이용한 조명기기는 32W급 HCFL 4ea로 구성된 조명기기를 사용하였으며 면광원 조명

기기의 조도 측정 방법과 같은 방법으로 측정하였다. 그림 10는 면광원과 HCFL의 조도 측정 결과를 분석한 그래프이다. 면광원 조명기기의 경우 HCFL과 비교하여 동등한 조도 분포를 나타내고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 면광원 및 면광원을 이용한 조명기기의 특성에 대하여 연구하였다. 면광원의 채널 형상은 Optical Simulation을 통하여 설계하였다. 특히 면광원 조명기기의 발광 면적에 대한 평균 휘도를 측정한 결과를 바탕으로 면광원 조명기기의 광 효율을 산출하였으며 72.7[lm/W]의 광 효율을 얻을 수 있었다. 또한 면광원과 HCFL을 이용한 조명기기의 조도를 비교 평가함으로써 현재 조명기기로의 적용의 가능성을 가늠할 수 있었다.

References

- (1) Jang I Hwa, "The Trends of Futures's Lighting", LG Weekly Economy, pp. 21-25, 2005. 11.
- (2) Jeong Wook Hur, Jong Lee Park, Hwan Woong Lee and Sung Kyoo Lim, "External Electrode Fluorescent Lamp, Back Light Unit using the External Electrode Fluorescent Lamp, LCD Back Light Equipment using the Back Light Unit and Driving Device Thereof", Patent Number : US2004/0232853, 2004.
- (3) Mark D. Winsor, "Stamped Metal Fluorescent Lamp and Method for Making", Patent Number : US5,509,841, 1996.
- (4) Yoon Jae Doo, "System for producing upper plates of flat fluorescent lamp", Patent Number:US2006 0059951, 2006.
- (5) Park Hae Il, Byun Jin Seob and Lee Sang Yu, "Surface Light Source and Method for Manufacturing Thereof and Liquid Crystal Display Device using the same", Patent Number : KR2005-0039910, 2005.
- (6) Kim Chung Soo and Cho Nam Kwon, "Method of Applying Fluorescent Material to Integrated Plat Fluorescent Lamp for Back Light of a Liquid Crystal Display Device", Patent Number : KR 0413827, 2003.
- (7) Kim Joong Hyun, Ha Hae Soo, Lee Sang Yu and Cho Seog Hyun, "Surface light source device and liquid crystal display device having the same", Patent Number : US20050207139, 2005. 9.
- (8) Cho Seog Hyun, Moon Jocho, Kim Dongjo, Jeong Sunho, Jung Kyeong Taek, Ha Hae Soo, "Method for treating surface of phosphor", Patent Number : US20060078735, 2006.
- (9) Yoon Jae Doo, Lee Hwan Woong, Hur Jeong Wook, Kim Chung Soo, Cho Do Young and Park Jong Lee, "Flat type fluorescent lamp", Patent Number :

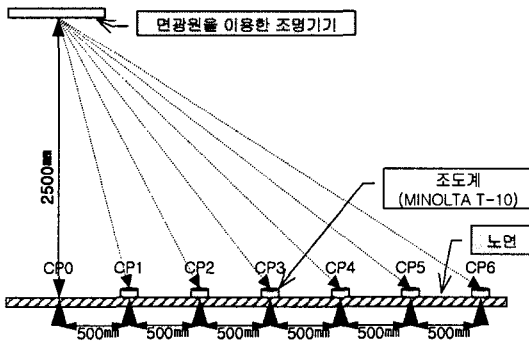


그림 9. 조도 측정 실험 개략도
Fig. 9. Outline for measurement experiment of illumination

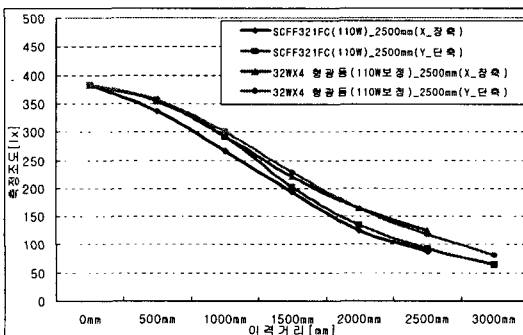


그림 10. 조도 측정 결과
Fig. 10. Measurement of illumination

면광원 램프 및 이를 이용한 조명 기기의 효율 특성 연구

KR0653532, 2006. 11.

- [10] Ko Jae Hyeon, Cho Seog Hyun and Lee Ki Yeon, "Surface Light Source Device", Patent Number : KR2005-0092152, 2005. 9.
- [11] Chol Kon Chee, "Study on Aging of Glow Starter for Fluorescent Lamp", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 22, No. 2, pp. 23-27, 1973. 3.
- [12] "Flat Panel Display Measurements Standard Version 2.0", VESA(Video Electronics Standards Association) Display Metrology Committee, 2001.
- [13] John C. Stover, "Optical Scattering measurement and Analysis", McGraw-Hills inc., 1990.
- [14] Breault Research Organization, Inc, "ASAP(Advanced System Analysis Program) Advanced Tutorial", Breault Research Organization, 1997.
- [15] Breault Research Organization, Inc, "ASAP Reference Guide", Breault Research Organization, 1997.
- [16] J.Park and S.Lim, "Design of fluorescent lamp(FFL) channel for LCD TV backlight by optical simulation", IMID/IDMC '06 DIGEST, pp.1330-1333, 2006.
- [17] Choi Hong Kyoo, Kang Tae Eun, Choi Byung Sook, Kim Jung Han, Park Hyung Min, Won Jin Hui, Cho Gae Sool and Cho Kyung Nam, "Illumination Equipment and Design", Sung An Dang, 2004.

◇ 저자소개 ◇

박종리 (朴鍾利)

1973년 11월 23일생. 1999년 단국대 전자공학과 졸업. 2001년 단국대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전자컴퓨터 공학과 박사 수료. 현재 미래산업 주식회사 선임연구원.

임성규 (林聖奎)

1953년 8월 6일생. 1977년 서울대 전자공학과 졸업. 1979년 서울대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1993년 Oregon State University 졸업(박사). 현재 단국대 전자공학과 교수.