

배열형 소형 프레넬 렌즈가 결합된 LCD 백라이트의 설계

(Design of LCD Backlight Unit Coupled with Micro Fresnel Lens Array)

정만호*

(Man-Ho Jeong)

요 약

LCD 백라이트의 효율을 향상시키기 위하여 배열형 소형 프레넬 렌즈(micro Fresnel lens array)가 결합된 도광판을 설계하였다. 배열형 소형 프레넬 렌즈(MFLA)는 blazed 형태 및 다단계 이진 형태를 채택하였다. MFLA는 기존 LCD 백라이트 장치에서 필요로 했던 프리즘판 및 확산판을 대체할 수 있다. MFLA가 적용된 도광판의 성능을 나타내기 위하여 휘도와 균일도 값 등을 계산하였다.

Abstract

A light guided plate coupled with the micro Fresnel lens array(MFLA) is designed to improve the efficiency of the LCD backlight unit. Blazed Fresnel lens and binary multi-level Fresnel lens are adapted for the MFLA. This type of MFLA can replace the prism sheet and diffuser sheet which are used for the conventional type of the LCD backlight unit. The luminance and uniformity are calculated to verify the performance of the MFLA type LCD backlight unit.

Key Words : LCD backlight unit, micro Fresnel lens array, binary Fresnel lens

1. 서 론

액정 도광판은 중형 사이즈의 컴퓨터 모니터뿐 아니라 정보전달의 핵심적인 역할을 하고 있는 이동통신용 단말기에도 사용되고 있으며, 지속적인 기능 향상이 요구되고 있다. 가장 중요한 핵심은 컴퓨터 액정 모니터 또는 이동통신용 액정 단말기의 소비전력을 낮춤으로서 장시간 사용할 수 있도록 하는 것이다.

이동통신용 단말기에 사용하는 LCD BLU (Backlight Unit)는 백색 칩 LED, 반사판, 도광판, 확산판, 2장의 프리즘판, 보호필름 그리고, 몰드 프레임으로 구성되어 있다[1-3]. 이러한 BLU의 작용은 LED 광원에서 방사된 빛을 도광판 전면에 위치한 LCD 패널로 효과적으로 보내는 것인데, 이를 위해 도광판 밑면에 산란을 위한 점(dot)패턴 혹은 V 패턴이 필요하며, 도광판 상단에는 확산판과 프리즘판 등과 같은 광학필름을 사용해 균일도와 휘도를 향상시킨다. 그러나 확산판과 프리즘판을 사용하면 각각의 소자들 사이의 결합효율과 흡수율 때문에 손실이 생긴다. 일반적으로 확산판에서 약 4.5% 그리고 프리

* 주저자 : 정주대학교 IT학부 레이저광정보공학과
Tel : 043-229-8504, Fax : 043-229-8432

E-mail : manho@cju.ac.kr

접수일자 : 2005년 4월 22일

1차심사 : 2005년 5월 6일, 2차심사 : 2005년 8월 8일

심사완료 : 2005년 8월 23일

배열형 소형 프레넬 렌즈가 결합된 LCD 백라이트의 설계

즘판에서 약 1.5[%]의 손실이 발생한다. 따라서 이들에 의해 6[%]가량의 추가 손실이 발생하는 것이다. 또한 프리즘판은 천량 수입해 사용하기 때문에 원자재 가격이 부담으로 작용하게 되며, 조립과정 중 불량률이 증가하게 된다. Micropyramid[4,5], 홀로그램 기반의 도광판[6], 그리고 Micro Lens Array[7,8] 등을 광학적 필름 대응으로 이용하기 위해 노력하고 있다.

본 논문에서 제안한 Micro Fresnel Lens Array (MFLA)을 사용하면 기존의 액정 도광판에서 사용하고 있는 확산판과 프리즘판을 대신하여 한 장의 MFLA판으로 그 역할을 할 수 있어 생산 및 조립 과정에서 상당히 유리하며 또한 이론적으로 MFLA의 이론적인 회절 효율이 100[%]이므로 앞서 언급한 추가 손실을 크게 줄일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 MFLA판을 도광판 뒷면에 결합하여 사용하는 방법을 연구하였다. MFLA를 위하여 blazed 형태와 다단계 이진(binary multi-level) 형태의 MFLA를 도입하였으며 이들MFLA[9,10]의 이론적인 고찰을 통하여 각 각을 설계·분석하였고, 이들 blazed 형태 및 다단계 이진 MFLA 패턴이 있을 때와 없을 때를 비교하여 측정하였으며 실제 적용 가능성에 대하여 검증하였다.

2. 프리즘 필름 방식의 BLU 및 MFLA 방식의 BLU 원리

일반적인 BLU의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서 보는 바와 같이 BLU는 반사판, 도광판, 확산판, 프리즘판, 광원으로 구성되어 있다. 반사판은 광원으로부터 입사된 빛이 도광판의 패턴을 통과하여 전면으로 광을 향하게 하는 역할을 하며, 도광판은 광원으로부터 발생된 빛을 전면으로 균일하게 방출되도록 산란 패턴이 가공되어 있는 구조물이며, 확산판과 프리즘판은 도광판으로부터 올라온 빛을 균일하게 하고, 또한 LCD패널 위로 집중시켜 확산 효과를 극대화 시키기 위해 필요한 요소들이다.

그러나 그림 1과 같은 기존의 BLU는 복잡 미세한 구조의 확산판과 프리즘판을 필요로 하여 이들을 대체할 새로운 형태의 광학소자를 요구하고 있는데 이중 가장 주목 받고있는 것이 도광판에서 올라온 빛을 LCD 패널에 집중시키는 렌즈를 도입하는 방법이

다. 그러나 이들 렌즈는부피가 크고 제작하기가 까다로워 사용화 되지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 제작이 용이한 배열형 프레넬 렌즈를 도입하였으며 그림 2에 그 구조를 나타내었다. 이러한 형태는 확산판과 프리즘판을 한개의 배열형 프레넬 렌즈판으로 대체하는 효과가 있다.

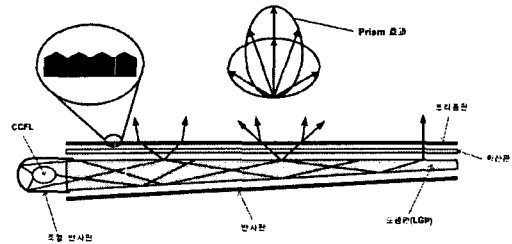


그림 1. 프리즘판 형태의 BLU
Fig. 1. BLU of prism sheet

본 논문에서는 그림 2에서 처럼 도광판의 패턴을 V형 groove 형태로 설계하여 도광판 전면으로 산란되어 향하는 빛의 효율을 증가시키도록 하였으며, 미세구조를 가지는 프레넬 렌즈판을 통하여 도광판 전면에서 나오는 빛을 한곳으로 집중시켜 LCD 패널에 초점이 맺히도록 설계하였다.

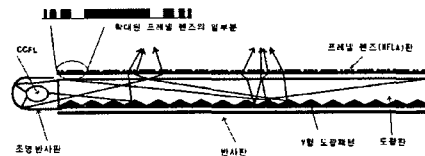


그림 2. V형 도광패턴과 MFLA판 형태의 BLU
Fig. 2. BLU of MFLA type with V groove

3. 프레넬 렌즈의 기본 원리

일반적인 프레넬 렌즈는 그림 3과 같이 조각난 형태의 구면 또는 구면 형상의 단일 렌즈가 각각 다른 굴절능을 갖는 것으로 생각하면 된다. 재래식 렌즈의 부피를 줄이는 방법으로 프레넬 렌즈가 사용된다. 따라서 이러한 형태의 프레넬 렌즈는 재래식 렌즈를 평면화한 것으로 생각할 수 있다. 렌즈를 지나는 각각의 광선에 위상차를 줌으로써 원하는 평면에 광을 집중 시킨다. 렌즈의 초점까지 광 경로차가 각각 반

파장의 정수배가 되도록 부피가 큰 재래식 렌즈를 잘라서 평면에 붙인 것으로 이해할 수 있다.

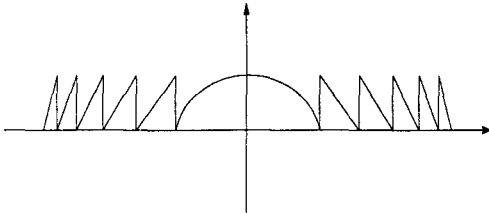


그림 3. 프레넬 렌즈의 측면도
Fig. 3. Side-view of Fresnel lens

파장 λ 에서 초점거리 f 를 갖는 렌즈를 생각해 보자. 광축을 따라 입사한 평면파는 일정한 위상을 갖고 개구를 통과하고, 수렴파의 위상 지연은

$$\psi(r) = x_0(f - \sqrt{f^2 - r^2}) \quad (1)$$

이다[11]. 여기서 r 은 광축에서 반경이고, $x_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ 이다. blazed-type 프레넬 렌즈로 발전시켜 전개하기로 한다. 그림 4에 나타나 있듯이 blazed-type 프레넬 렌즈는 위상 변위 함수가 2π 인 구조를 갖는다. Blazed-type 프레넬 렌즈의 위상 변위 함수를 $\psi_F(r)$ 로 표기하면 식 (2)와 같이 표현된다.

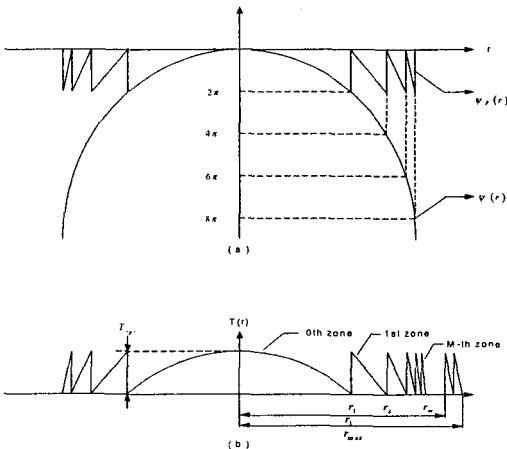


그림 4. (a) blazed-type 프레넬 렌즈의 위상 함수
(b) 두께 분포도
Fig. 4. (a) Phase function of blazed-type Fresnel lens
(b) Thickness distribution

$$\psi_F(r) = \psi(r) + 2m\pi, \quad r_m < r < r_{m+1} \quad (2)$$

이때 r_m 은 m 차 zone의 안쪽 반경이다. 식 (1)을 식 (2)에 대입하여 r_m 을 나타내면

$$\frac{2\pi}{\lambda}(\sqrt{r_m^2 + f^2} - f) = 2\pi m \quad (3)$$

$$r_m = \sqrt{2m\lambda f + (m\lambda)^2} \quad (4)$$

식 (4)로부터 초점거리 f 는 다음 식으로 쓸 수 있다.

$$f = \frac{r_m^2 - (m\lambda)^2}{2m\lambda} \quad (5)$$

위상 변위의 결과는 상대굴절률 Δn 과 매질의 상대 두께 T/λ 의 곱으로 나타낼 수 있다. 즉 $\frac{\Delta n T}{\lambda}$ 이다. Fresnel lens는 굴절률의 변화 또는 두께의 변화로 변조됨으로써 만들어진다. 광학물질의 굴절률이 한계가 있으므로 두께 변조 형태를 고려해야 한다. 그 결과 gradient thickness 구조는 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$T(r) = T_{opt} \cdot \left[\frac{\psi_F(r)}{2\pi} + 1 \right] \quad (6)$$

식 (6)은 그림 4(b)의 형태를 나타내고 있다. 위상 변위 2π 의 최적조건을 갖기 위한 최적의 두께 T 는

$$T_{opt} = \frac{\lambda}{\Delta n} \quad (7)$$

주어진다.

렌즈의 반경 R 과 f-number F 에 대한 zone의 전체 수는 식 (3)으로부터 구할 수 있다.

$$M = \frac{R}{\lambda} (\sqrt{1 + 4F^2} - 2F) \quad (8)$$

Zone의 최소주기 Λ_{min} 는 또한 다음과 같다.

$$\Lambda_{min} = R \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\lambda f + (2M-1)\lambda^2}{2M\lambda f + (M\lambda)^2}} \right) \quad (9)$$

배열형 소형 프레넬 렌즈가 결합된 LCD 백라이트의 설계

그런데 그림 4(b)와 같은 blazed-type 프레넬 렌즈는 제작하기가 매우 어렵기 때문에 본 논문에서는 그림 5(b)와 같이 계단형 모양의 이진 프레넬 렌즈(binary Fresnel lens)을 도입하였다. 그러나 이진 프레넬 렌즈는 단순한 구조이므로 제작이 용이한 반면 위상을 코딩하는 과정에서 효율이 저하되므로 이를 극복하기 위해서 본 논문에서는 다단계 이진 프레넬 렌즈 개념을 도입하였다. blazed-type 프레넬 렌즈와 거의 동등한 효율을 갖도록하기 위해서 8-level 이진 프레넬 렌즈를 설계하였다.

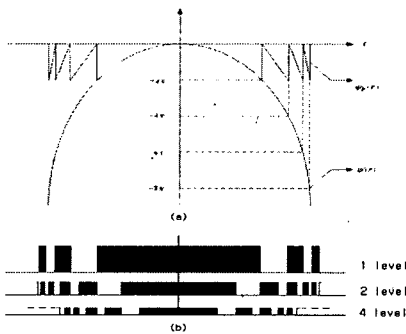


그림 5. (a) 다단계 이진 프레넬 렌즈의 위상 함수
(b) 두께 분포도
Fig. 5. (a) Phase function of multi-level binary Fresnel lens
(b) Thickness distribution

표 1. 상용화된 2.2 inch BLU와 설계된 BLU의 특성

Table 1. Characteristics of practical BLU and designed BLU

단위 : [mm]

	상용화된 BLU	설계된 BLU
Outer Dimension Size	(W)42×(L)55.6 ×(H)2.59	(W)42×(L)55.6 ×(H)2.6
Effective Lighting Area	(W)35.5×(L)44	(W)35×(L)44
Light Guided Thickness	0.8T	1T
LED(ea)	4	3

4. Backlight Unit의 설계

상용화된 2.2 inch BLU를 기초로 하여 설계하였

다. 표 1은 상용화된 BLU와 설계할 BLU의 특성이 다. 도광판의 재질로 가장 많이 사용하는 PMMA (Polymethylmethacrylate)를 선택했다.

백색광 칩 LED는 Nichia Chemical Co. LTD의 NECW008T를 기초로 설계하였다. 백색광 LED는 Blue LED에 형광물질을 덮어 백색을 구현하는 방법을 취하고 있다. Blue LED는 GaN를 기초로 만들어진 제품으로 발광파장은 약 460[nm]이다. 그러므로 LED의 기본적인 전기적 특성은 Blue LED와 비교하여 거의 동일한 값을 나타내고 있으며 백색광 LED의 색 좌표는 상온 25[°C], 순방향 전류 15[mA]에서 x축은 0.32이며, y축은 0.32를 나타낸다[12].

그림 6(a)는 NECW008T의 가시광선 영역에서의 스펙트럼과 방사각에 따른 상대적인 광도값을 나타내고 있다. 그림 6(b)는 30[°]의 방사각과 60[°]의 방사각에서 각각 85[%] 및 42[%]의 상대적인 광도값을 나타내고 있다.

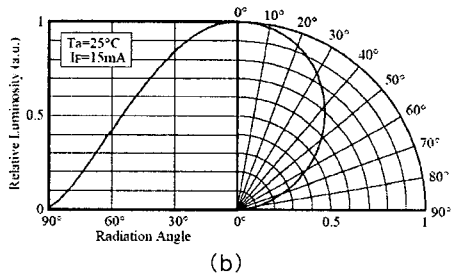
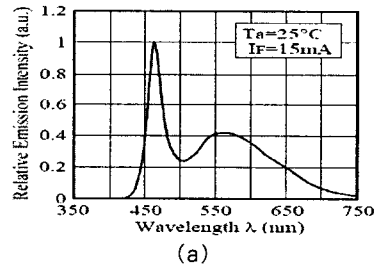


그림 6. NECW008T의 (a)spectrum 및 (b)directivity
Fig. 6. (a) spectrum and (b) directivity of the NECW008T

광도는 Rank T 형태인 680 mcd로 하였다. 그림 7은 (주)헨슨 테크놀로지에서 개발한 분해능 0.4[μm]인 광섬유 방식의 multi-channel 스펙트럼

분석장치를 사용하여 380[nm]에서 780[nm]까지의 파장 범위에서 NECW008T를 실제 측정한 후 교정한 파장의 가중치 값이다.

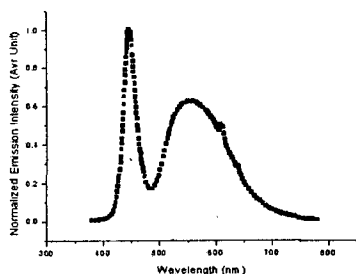


그림 7. NECW008T의 파장별 가중치
Fig. 7. Weighted value of NECW008T vs wavelength

BLU에서 패턴에 따라 균일도와 휘도의 차이가 대단히 많기 때문에 도광판의 밑면에 돛트(dot)모양의 광 산란자를 갖는 산란패턴을 도입하여 설계하는 것이 핵심 기술이다. 흔히 사용하는 방식으로는 광원에 가까운 부분은 광 산란자의 양을 줄이고, 광원과 멀리 떨어질수록 광 산란자의 양을 늘려 도광판의 윗면으로 광을 균일하게 분포시킨다. 본 논문에서 사용하는 패턴은 V커팅 방식으로써 도광판에 V홈을 내어 측면에서 들어오는 빛의 방향을 수직으로 전환시킨다. V커팅 방식은 산란패턴을 인쇄하는 방식에 비해 광 효율이 높은 것이 특징이다. 그림 8은 본 논문에서 사용된 패턴이다. 광원과 가장 멀리 있는 곳에서 도광판 윗면으로 산란시킬 수 있는 인자들이 가장 많이 있어야 되기 때문에 가장 먼 곳에 먼저 패턴을 넣은 후 다음 패턴은 바로 옆에 붙였다. z축 -21.7[mm]에서 첫 번째 패턴이 위치해 있고 다음 패턴은 0.08[mm] 떨어져 있다. 패턴이 증가할 때마다 광원쪽으로 접근하기 때문에 패턴의 밀집도를 감소시키기 위해 0.04[mm]씩 증가시켜 선형적으로 패턴의 밀집도를 줄여 나갔다.

설계한 도광판의 패턴에 대한 성능을 알아보기 위해 광선추적을 하였다. BLU의 구성은 3개의 LED, 도광판, 반사필름, 몰드 프레임 및 도광판과 y축으로 1.5[mm] 떨어져 있는 흡수판으로 구성되어 있다. 각각의 LED는 33,000개의 광선을 출사시켰기 때문에 총 99,000개의 광선을 추적하게 된다. 그림 9는 도광판 윗

면의 광선분포도이다. 그림 9의 왼쪽 그림에서 수평축과 수직축의 광선분포를 오른쪽 그림에서 보여주고 있으며, 약 1,400[lux]의 균일 광 분포를 나타낸다.

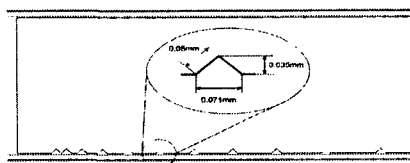


그림 8. 도광판 밑면 패턴
Fig. 8. Bottom pattern of light guide plate

그림 10은 흡수판에 도착한 광선의 분포곡선이다. 광 조도의 최고값이 60[lux]로 많이 떨어져 있고, 도광판 밑면의 패턴에 의해 윗면으로 진행하는 광선의 광 효율이 5[%]정도이므로 패턴의 최적화가 필요하다.

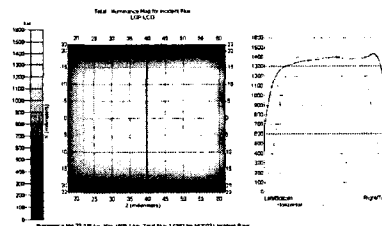


그림 9. 도광판 윗면에서의 광 분포도
Fig. 9. Light distribution on the top of light guide plate

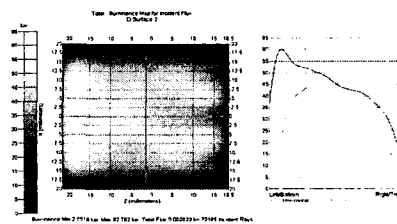


그림 10. 흡수판에서의 광 분포도
Fig. 10. Light distribution on absorption sheet

5. MFLA를 사용한 BLU의 설계

이제 4장에서 설계한 기본적인 도광판위에 결합할 MFLA를 설계하기 위해 렌즈의 직경, 초점거리, 중심과 장을 결정한다. 설계된 MFLA는 다음과 같은 가정 하에 설계되었다. 도광판 밑면에 있는 패턴에 의해 광선의 방향이 윗면으로 향한다. 각각의 광선을 점광원으로 가

배열형 소영 프레넬 렌즈가 결합된 LCD 백라이트의 설계

정할 때 도광판 상단 측 MFLA의 앞 초점면에 무수한 점광원들이 위치한 것으로 생각할 수 있으며 따라서 MFLA를 지난 후 광선들은 평행광으로 진행한다. MFLA의 초점거리는 도광판의 두께와 같은 1[mm], 직경은 0.24[mm], 파장은 546.1[nm]로 결정했다.

설계를 위하여 f-number, zone의 전체 수, zone의 반경, 또한 zone의 최소주기 및 체적의 두께를 결정해야 한다. 식 (8)과 식 (9)를 사용하여 각각의 값을 구할 수 있다. f-number는 4.16, 마지막 zone의 주기 간격 즉 최소 주기는 4.5[μm]로 계산되었다. 연산과정에서 데이터의 양이 방대하여 도광판 윗면 전체를 MFLA로 결합시켜 분석할 수 없었기 때문에 그림 11과 같이 일정한 영역에 대해서 MFLA가 있을 때와 없을 때에 따른 광 분포도를 비교·분석하였다. 그림 11에 나타난 MFLA의 배열은 25×25이며 이러한 MFLA를 A에서 반 시계 방향으로 D까지 이동시킨 후 그 위치에서 array가 있는 경우와 없는 경우를 그 위치에 해당하는 흡수판의 위치에서 1 : 1로 비교해 보았다. 편의상 MFLA가 없을 때는 영문 대문자로 쓰고 있을 때는 영문 대문자에 (')을 붙였다.

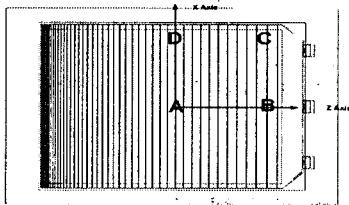


그림 11. MFLA를 이동시킨 좌표
Fig. 11. Moved coordinates of MFLA

그림 12는 blazed type의 MFLA가 있을 때와 없을 때 흡수면 위치에서 A, B, C, D 각 영역에서의 조도의 평균값을 비교한 결과를 나타내고 있다. 평균적으로 blazed type MFLA이 있을 때가 없을 때보다 조도가 2배 이상 향상됨을 알 수 있다. 그림 12에서 blazed type MFLA를 사용했을 때 광의 균일도를 살펴보면 전체적으로 약 80[%] 범위내에 존재함을 알 수 있으나, A'의 값은 다른 값 즉 B', C', D'의 평균값에 비해 약 10[lux]정도 높다. 이 현상은 MFLA를 도광판 윗면 전체에 위치시키더라도 충분히 일어날 수 있는 현상이다. 이런 문제를 해결하기 위해 두 가

지 방법을 생각해 볼 수 있을 것이다. 첫 번째는 초점이 다른 MFLA를 이용하는 방법이며, 두 번째는 도광판 밑면에 사용한 패턴과 같이 MFLA의 밀도를 조절하는 방법을 사용할 수 있을 것이다.

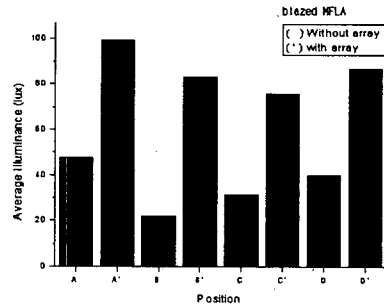


그림 12. 각 영역에서 blazed-type MFLA가 있을 때와 없을때의 조도의 평균값 비교

Fig. 12. Comparison of average luminance at each region when blazed-type MFLA is present and it is absent

그림 13은 blazed type의 MFLA 대신에 8단계 이진 MFLA를 사용한 경우로서, 8단계 이진 MFLA가 있을 때와 없을 때 흡수면 위치에서 A, B, C, D 각 영역에서의 조도의 평균값을 비교한 결과를 나타내고 있다. 그림 12에서 보여주고 있는 blazed type MFLA 경우와 비교해 볼 때 다소 차이는 있으나 8단계 이진 MFLA의 경우도 MFLA가 있을 때가 없을 때 보다 평균 조도가 2배 가량 향상됨을 알 수 있다.

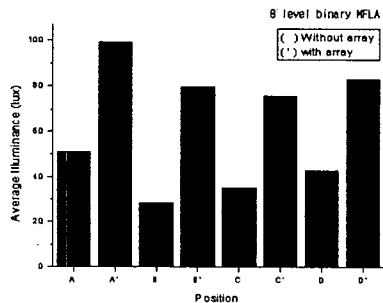


그림 13. 각 영역에서 8단계 이진 MFLA가 있을 때와 없을 때의 조도의 평균값 비교

Fig. 13. Comparison of average luminance at each region when 8 level binary MFLA is present and it is absent

그림 14는 blazed type MFLA를 사용했을 경우와

8단계 이진 MFLA를 사용했을 경우 흡수면 위치에서 A, B, C, D 각 영역에서의 평균 조도의 값을 비교한 결과를 나타내고 있다. 결과를 분석해 보면 8단계 이진 MFLA를 사용했을 때 blazed type의 경우 보다 평균 조도 값이 A, B, C, D 각 영역에서 5[%] 내지 10[%] 정도 작은 것을 알 수 있다. 비록 이진 형태의 MFLA가 blazed된 형태의 MFLA 보다 다소 효율은 떨어지나 구조가 간단하고 렌즈의 표면양각된 groove의 깊이가 일정하여 제작하기가 간편하다는 장점이 있다.

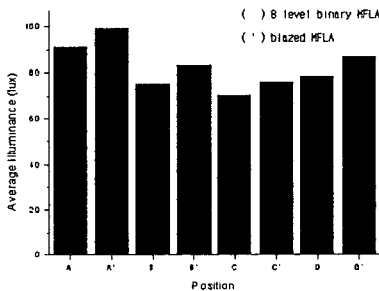


그림 14. 각 영역에서 blazed-type MFLA와 8단계 이진 MFLA를 사용했을때의 조도의 평균값 비교

Fig. 14. Comparison of average luminance at each region when 8 level binary MFLA and blazed-type MFLA is used, respectively

6. 결 론

본 논문에서는 기존의 BLU에서 사용하던 휘도 강화 필름인 프리즘판을 제거하는 대신 도광판 윗면에 MFLA를 패턴으로 사용하는 방법에 관하여 연구하였으며 MFLA로는 blazed 된 형태와 8단계 이진 형태의 MFLA를 설계하여 채택하였다. 데이터 양이 방대해 전산모의에 문제점이 발생해 도광판 윗면의 전체에 MFLA를 결합시켜 분석하지 못했고, 특정한 네 곳에 25×25 MFLA 패턴을 놓고 그 위치에서 MFLA가 있을 때와 없을 때를 분석하였다. 도광판의 중심에서 반 시계 방향으로 옮겨가며 계산해 보았으며, 전산모의 결과 MFLA가 있을 때 2배 이상 휘도를 높여주는 것을 알 수 있어 확산판과 프리즘판을 대신할 수 있는 가능성을 확인하였다. 또한 8단계 이진 형태의 구조를 갖는 MFLA를 사용할 경우

에도 없을 때 보다 조도의 효율이 2배 가량 향상되어 다단계 이진 구조의 MFLA를 사용하여 실용화할 수 있음을 보여주었다. 차후의 연구로는 각 영역에서의 조도를 비슷하게 만들어 주기 위해 MFLA의 밀집도를 낮게 하는 방법을 사용할 수 있을 것이다.

References

- [1] Munisamy Anandan, "LCD Backlighting," Society for Informational Display Seminar Lecture Notes, pp. 169-250, 2002.
- [2] K. Kalantar, "Optical Design of Light-Guide Plates for Illumination Systems used in Mobile Phones and PDAs," Asia Display, IDW 2001, pp. 517-520, 2001.
- [3] Daniel M. Brown, Robert Dean, Jeremiah D. Brown, "LED Backlight : design, Fabrication, and Testing," Proceedings of SPIE vol. 3938, pp. 180-186, 2000.
- [4] Liwei Lin, T K Shia, C-J Chiu, "Silicon-Processed Plastic Micropyramids for Brightness Enhancement Applications," Institute of Physics Publishing, vol. 10, no.3, pp. 395-400, 2000.
- [5] L. Lin, Y. T Cheng, C. J. Chiu, "Comparative Study of Hot Embossed Micro Structures Fabricated by Laboratory and Commercial Environments," Microsystem Technologies, vol. 4, no. 3, pp. 113-116, 1998.
- [6] H. Y. Choi, M. G. Lee, J. H. Min and J. S. Choi, "Hologram Based Light-Guide Plate for LCD-Backlights," Asia Display, IDW 2001, pp. 521-524, 2001.
- [7] M. C. Hutley, "Microlens Arrays," IOP Short Meetings Series No 30 Institute of Physics, pp. 109-122, 1991.
- [8] Kyeong Hee Hong, "Design of Micro Lens Array", Journal of Optical Society of Korea, vol. 5, no. 2, pp. 204-211, 1994.
- [9] H. Nishihara and T. Suhara, "Micro Fresnel Lenses," In Progress in Optics, E. Wolf, ed.(North-Holland, Amsterdam, 1987), vol. XXIV, pp. 1-40.
- [10] K. Miyamoto, "The Phase Fresnel lens," J. Opt. Soc. Am, vol. 51, pp. 17-20, 1961.
- [11] Joseph W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics," McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, pp.96-101, 1996.structures," Appl. Opt., vol. 31, no. 8, pp. 1059-1066, 1992.
- [12] Nichia Corporation, "Specifications For Nichia Chip Type White LED Model : NECW008T," No. STSE_CC3002B < Cat.No.030401 >.

◇ 저자소개 ◇

정만호 (鄭滿鎬)

1957년 2월 27일생. 1979년 한국항공대학교 통신공학과 졸업. 1981년 연세대학교 대학원 전자공학과(석사). 1989년 연세대학교 대학원 전자공학과(박사). 1984~1995년 한국표준과학연구원 광학연구실 선임연구원. 1995년~현재 청주대학교 IT학부 레이저광정보공학과 부교수.