



&lt;연구논문&gt;

한국표면공학회지  
J. Kor. Inst. Surf. Eng.  
Vol. 47, No. 5, 2014.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2014.47.5.233>

## 박형 디스플레이를 위한 도광판의 광학설계

공태원<sup>a</sup>, 최규진<sup>a</sup>, 권진혁<sup>a</sup>, 박인식<sup>b</sup>, 이선묵<sup>c</sup>, 우동진<sup>c</sup>, 곽진석<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>영남대학교 물리학과, <sup>b</sup>한울정보기술, <sup>c</sup>한국건설생활환경시험연구원

### Optical Design of Light Guide Plate Material for Slim Liquid Crystal Display

Taewon Gong<sup>a</sup>, Gyu Jin Choi<sup>a</sup>, Jin Hyuk Kwon<sup>a</sup>, In Shik Park<sup>b</sup>, Sunmook Lee<sup>c</sup>,  
DongJin Woo<sup>c</sup>, Jin Seog Gwag<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Department of Physics, Yeungnam University, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, 712-749, Korea

<sup>b</sup>Hanwool Information Tech, 288, Cheongneung-daero, Namdong-gu, Incheon, 405-819, Korea

<sup>c</sup>Korea Conformity Laboratories, 199, Gasandigital 1 ro, Geumcheon-gu, Seoul 153-803, Korea

(Received October 16, 2014 ; revised October 28, 2014 ; accepted October 28, 2014)

#### Abstract

In this paper, in order to achieve slim and light liquid crystal display, we examine the optical conditions that can obtain uniform light with higher optical efficiency over whole light guide plate (LGP) through simulation. Furthermore, to overcome the issues of hot spot in front of red, green, and blue light emitting diodes (RGB LEDs) source and non-uniform color mixing, we propose four shaped color mixing bars tied up with the LGP and check the optical characteristics of the LGP with them by simulation. Consequently, we could know the optical conditions of improving optical efficiency and optical uniformity in the LGP through the optical design. Also we confirmed that the issues of the hot spot and non-uniform color mixing in edge type LED could be solved by using the  $\wedge$ -shaped window color mixing bar.

*Keywords:* Backlight, Light guide plate, Liquid crystal display, Color mixing

## 1. 서 론

평판 디스플레이에는 대표적으로 plasma display panel(PDP), liquid crystal display (LCD), organic light emitting diodes (OLED)등이 있다. 이 중 PDP, OLED는 자체적으로 발광하는 디스플레이이지만, LCD의 경우에는 광원이 따로 필요한 비 발광형 즉, 수광형 디스플레이이다<sup>1-9)</sup>. LCD 패널에 광원을 공급해주는 장치가 백라이트 유닛이라고 하는데, 백라이트 유닛은 광원의 위치에 따라 크게 직하형과 엣지형으로 나눌 수 있다. 백라이트 유닛의 두께를 줄이기 위해서는 직하형 LCD보다 엣지형 LCD를 사용하는 것이 더 용이하다. 엣지형 LCD를 이용할 경우 구조상 도광판을 이용하여 옆면에서 나온 광

을 화면으로 나오게 한다. 백라이트 유닛에서 가장 큰 두께를 차지하는 것은 도광판이다. 도광판의 두께는 백라이트 유닛에서 66%정도 차지하는데, 이러한 도광판의 두께를 적절히 줄이게 되면 백라이트 유닛이 보다 슬림하게 그리고 보다 가볍게 되어 디스플레이의 슬림화와 경량화에 기여할 수 있게 된다. 원래 BLU의 광 소스는 cold cathode fluorescent lamp (CCFL)을 사용하였으나, 최근 수은의 환경적인 문제로 인하여 light emitting diode (LED)를 사용하게 되었다<sup>10-13)</sup>. LED는 수명이 100,000시간 이상으로 매우 길 뿐만 아니라 소비전력이 CCFL 대비 절반 정도로 낮다는 장점을 가지고 있다. 또 다른 장점으로는 풍부한 색 재현력과 높은 명암비를 가질 수 있다는 것이다. 기존의 CCFL을 광원으로 사용하는 백라이트 유닛의 경우에는 색 재현성이 NTSC (National Television System Committee) 기

\*Corresponding author. E-mail : sweat3000@ynu.ac.kr

준으로 60~70 %에 지나지 않는다. 백라이트용 LED의 종류는 크게 White LED와 Red, Green, Blue (RGB) LED로 나뉘는데 RGB LED는 높은 효율을 가지며 화질 또한 매우 우수하며, 게다가 색 재현성은 110% 이상 달성할 수가 있다. LED는  $10^{-6}$  s 이하의 빠른 응답속도를 가져 효과적인 화질 제어 또한 가능하다. 그러나 구조가 복잡하고 white balance를 맞추기가 어려운 단점이 있다<sup>14-17)</sup>. 특히 LED 주변에 휘점이 발생하여 화질을 저하 시키는 단점이 있다.

본 논문에서는 중소형 액정디스플레이의 경량화와 슬림화를 위하여, 엣지-광원형 도광판을 사용하여 도광판의 구조설계 및 광학설계를 하였고, RGB LED 광원에서 출사되는 빛이 도광판 전반적으로 균일하게 추출될 수 있는 광학조건들을 시뮬레이션으로 조사하였다.

## 2. 시뮬레이션 설계

### 2.1 도광판 설계

그림 1은 시뮬레이션에 사용된 구조를 보여준다. 상판과 하판(패턴이 있는 부분)의 굴절률의 차이를 주고 굴절률의 변화에 따라 광원의 특성을 평가하기 위한 구조이다. 리사이클 되는 빛을 유도하기 위해 반사 편광시트를 사용하였으며, 이때 반사편광시트는 단순 거울반사로 반사율 90%, 흡수율 10%로 설정하였다. 광원으로는 LED를 사용하였다. 여기서 상판은 LED의 크기에 맞추기 위해 추가적으로 도입된 층이다. 백라이트 유닛의 전체크기  $76 \times 102 \text{ mm}^2$ , 도광판의 크기는  $3 \times 76 \times 102 \text{ mm}^3$ 로 설정하였다. 도광판(LGP)은 굴절률이(n)이 1.58인 PC(polycarbonate)를 사용하였다. 도광판 아래에 사용된 패턴은 반구 형태를 사용하였으며 발광 균일도를 위해 패턴간의 간격을 달리하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션은 도광판 설계와 분석을 위해 광 추적 기법을 사용하는 소프트웨어인 LightTools (Optical Research Associates)를 활용 하였다.

시뮬레이션은 두 가지 방식으로 진행하였다. 먼저 도광판의 두께는 0.6 mm, 그리고 상·하판의 두께는  $40 \mu\text{m}$ 로 고정하였으며 하판의 굴절률 변화에 따른 광학 특성을 확인하기 위해 상판의 굴절률을 도광판에 사용된 PC와 굴절률이 같은 1.58로 고정하였고, 하판의 굴절률을 1.35에서 1.90까지 0.5 간격으로 변화시키면서 시뮬레이션을 진행한 후 광 효율 및 분산 특성이 가장 좋은 굴절률 값을 찾아 최적화하였다. 다음은 두께는 첫 번째와 같이 고정하였고, 이번에는 상판의 굴절률의 변화에 따른 광

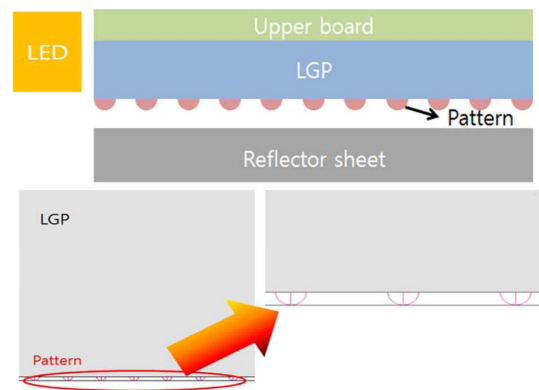


Fig. 1. Optical structure of LGP used in the simulation.

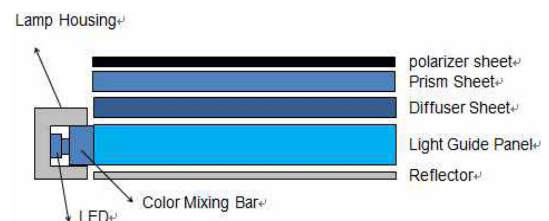


Fig. 2. Structure of backlight unit with color mixing bar.

학 특성을 확인하기 위해 하판의 굴절률을 1.58로 고정한 후 상판의 굴절률을 1.35에서 1.90까지 0.5 간격으로 변화시키면서 시뮬레이션을 진행한 후 최적화를 진행하였다.

### 2.2 Color mixing bar 설계

광학적으로 최적화된 도광판의 구조에 보다 좋은 분산특성을 얻기 위하여 그림 2와 같이 LED 광원 앞에 color mixing bar를 추가하여 빛이 모든 방향으로 더욱 잘 분산되도록 하였다. 그리고 이 Color mixing bar는 LED 바로 앞의 휘점을 개선하는 용도로 사용된다. 도광판의 구조에서 한쪽 면에 광원인 LED가 위치하고 맨 아래 쪽에 반사판(reflector)이 위치하며 빛을 광원의 입구에서 반대편까지 가이드 하는 도광판(light guide panel)이 반사판 위쪽에 위치한다. 그 위에 확산의 역할을 담당하는 확산시트, 확산된 빛을 모아주는 집광시트, 광선의 리사이클을 유도하는 반사편광시트가 위치한다. 이와 같이 5-inch LED 백라이트 유닛은 전체크기  $76 \times 102 \text{ mm}^2$ , 도광판의 크기는  $3 \times 76 \times 102 \text{ mm}^3$ , LED의 개수는 12개로 RGB LED를 각각 4개씩 배치하고 각각의 파장분포는 그림 3에서 보여지는 바와 같다. LED주위는 하우징 처리를 하였다. 이때 LED와 LGP와의 거리가 가까워 휘점이 생기는 문제점이 생긴다. LED와 LGP과의 거리를 멀리하면 휘점은 사라지지만 베젤(bezel)이 두꺼워지는 문제가 발생하는데 베젤이 얇아지는 추세에 따라 다른

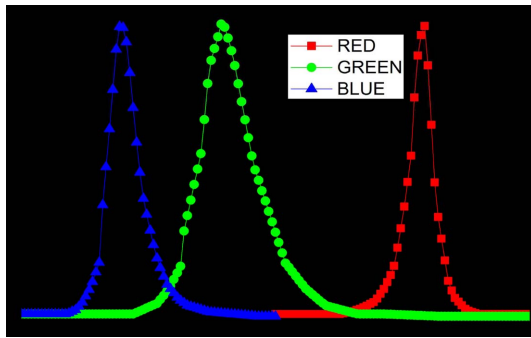


Fig. 3. Characteristics of optical wavelengths of RGB LEDs used as light source.

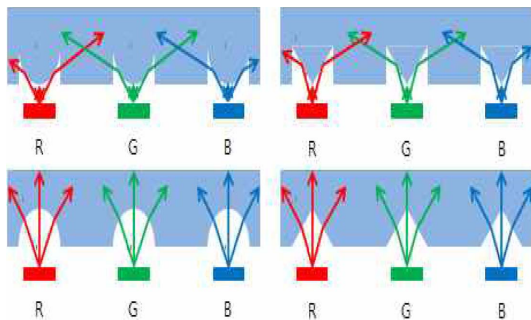


Fig. 4. 3-Dimensional shape of the color mixing bar used in the simulation.

방법을 찾아야 한다. 이 회절 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 구조물이 연구 되어 왔으나 본 연구에서는 여러 가지 형태의 color mixing bar를 제안하여 회절 현상을 제거하려 하였다.

Color mixing bar의 모양은 그림 4에서 보는 것과 같이 U자형 투명 color mixing bar, M자형 투명 color mixing bar,  $\cap$ 자형 투명 color mixing bar, 그리고  $\wedge$ 자형 투명 color mixing bar 총 네 가지 구조를 이용하였다. 여기서 U자형과 M자형은 표면에 알루미늄과 같은 반사판이 코팅되어 있는 반사형이고  $\cap$ 자형과  $\wedge$ 자형은 반사막이 코팅되지 않은 굴절형이다.

Color mixing bar의 패턴 가운데 부분에 광원인 LED가 위치하게 되고 LED에서 나온 빛은 효과적으로 color mixing bar에 들어가야 하며 들어간 빛은 좌우 측면으로 넓게 퍼져 이웃한 각각의 RGB LED와 골고루 혼합하여 휘도의 균일성과 색 균일성 모두가 만족되어야 한다. 면 처리는 반사형은 빛이 입사하는 빛면을 99% 이상의 반사율을 가지는 거울 반사로 처리하고 U자와 M자 패턴이 없는 곳은 투과 99%로 설정하였다. U자 형태의 직경과 M자 형태의 폭은 4 mm 그리고 U자 형태와 M자 형태의 패턴 사이의 간격은 5 mm로 하였다. 굴절형은 빛이 입사하는 빛면과 패턴이 없는 곳 모두를

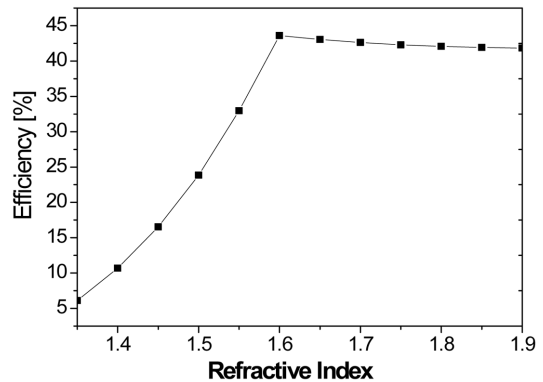


Fig. 5. Optical efficiency according to the refractive index of the bottom substrate.

투과 99%로 설정하였다.  $\cap$ 자 형태의 직경 및 패턴간격은 U자 형태와 동일하며,  $\wedge$ 자 형태의 폭 및 패턴의 간격은 M자 형태와 동일하며, color mixing bar의 굴절률은 도광판과 같이 1.58로 시뮬레이션을 진행한 후 최적화를 진행하였다.

### 3. 시뮬레이션 결과

#### 3.1 도광판 시뮬레이션 결과

첫 번째로 진행한 시뮬레이션 결과인 그림 5는 상판과 도광판의 굴절률을 고정하고 하판의 굴절률 변화에 대한 광 효율 특성을 보여주는 그래프이다. 여기서 말하는 광 효율이란 각각의 LED에서 나오는 빛의 총 양을 100%로 하였을 때 최종적으로 도광판 밖으로 나오는 빛의 양을 말한다. 하판의 굴절률을 1.35~1.60까지 0.05간격으로 변화시켰을 때 5~15 %의 광 효율 증가를 보이고 있고, 예상했던 것처럼 하판의 굴절률이 도광판의 굴절률 1.58과 비슷한 1.6에서 최대의 광효율 44%를 보여주었다. 그리고 굴절률이 1.60~1.90까지는 약간 광효율이 줄어들기는 하지만 5% 내외로 큰 변화를 나타내지 않았다.

그림 5에서 가장 좋은 효율을 보이고 있는 굴절률인 1.60에서 도광판 길이 방향의 시야각을 3~87°까지 6° 간격으로 변화시키면서 휘도를 분석하였다. 그림 6은 일반적인 백라이트 특성과 유사한 특성을 보여준다. 중앙 0°에서 가장 밝은 특성을 나타냄으로써 디스플레이로써 기본 조건을 만족시킴을 알 수 있다. 시야각이 3~51°까지는 휘도의 변화가 작게 나타나고 좋은 휘도 특성을 보이는 것을 알 수 있지만 60°가 넘는 측면 시야각에서 일반 백라이트 특성과 유사하게 휘도가 급격히 저하되는 것을 알 수 있다.

두 번째로 진행한 시뮬레이션 결과로 하판의 굴

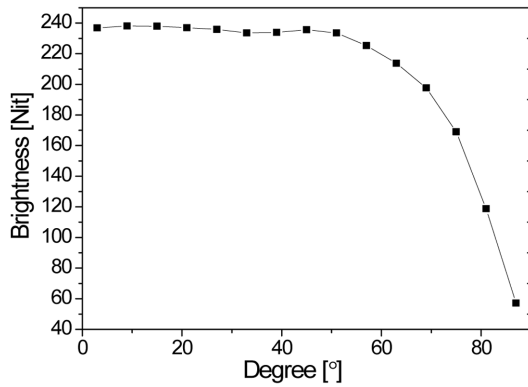


Fig. 6. Optical brightness according to polar angle when the refractive index of the bottom substrate is 1.6.

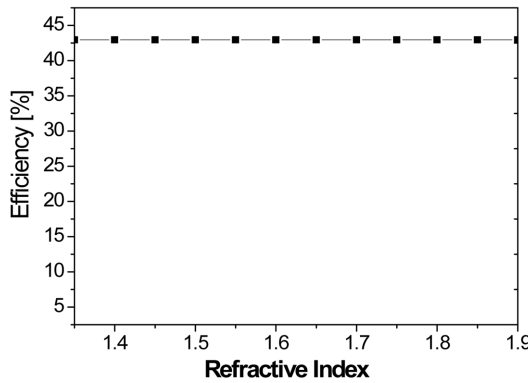


Fig. 7. Optical efficiency according to the refractive index of the top substrate.

굴절률을 1.6로 도광판의 굴절률을 1.58로 고정하고 상판의 굴절률을 1.35~1.60까지 0.05 간격으로 변화시키면서 광 효율 특성을 조사하였다. 그림 7에서 보여 지는 바와 같이 굴절률 변화에 따른 광 효율의 변화가 매우 미비한 것을 알 수 있다. 이는 도광판과 상판사이에서 전반사가 된 광이 하판 및 반사판에서 리사이클 되어 결론적으로 상판의 굴절률은 광 효율에 크게 기여하지 않고 패턴이 있는 하판의 굴절률에 의해 광 효율이 결정되는 것을 알 수 있다.

굴절률에 따른 시뮬레이션 결과를 바탕으로 하판의 굴절률을 1.60 그리고 상판의 굴절률을 1.58로 하여 전체 방향에서 휘도의 시야각 특성을 시뮬레이션을 해보았다. 그림 8(a)는 시야각에 따른 휘도 특성을 보여준다. 좌·우로 51°까지 고른 분포를 보이고 있으며 위·아래로 역시 51°까지 고른 분포를 보임을 확인할 수 있었고 이러한 결과를 밝기 분포로 보여주는 그림이 그림 8(b)의 3D luminance 차트이다. 이 최적화된 시야각 시뮬레이션 결과는 그림 6의 그래프와 거의 같은 결과 값을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

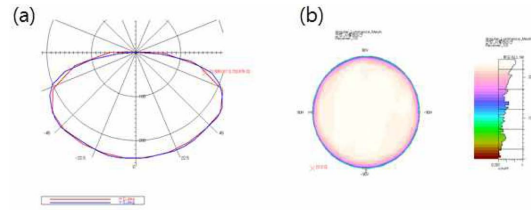


Fig. 8. Optical brightness according viewing angle (a) angular luminance profiles, (b) 3D luminance chart.

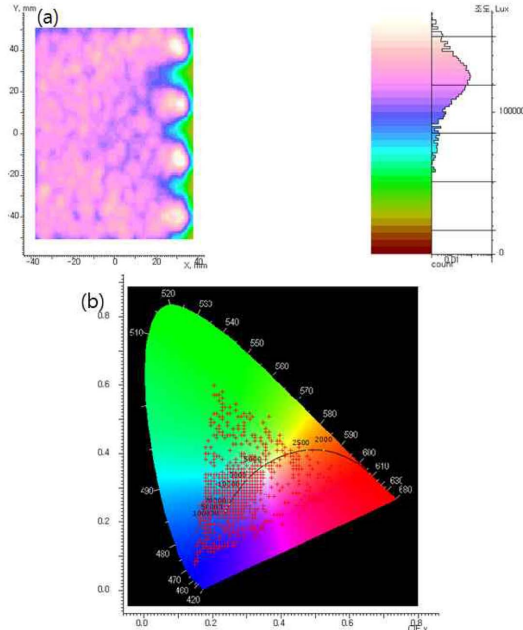


Fig. 9. When the color mixing bar is not used (a)spatial luminance chart showing hot spot (b) color coordinate showing separated colors.

### 3.2 Color mixing bar 시뮬레이션 결과

먼저 color mixing bar를 사용하지 않은 구조로 시뮬레이션을 진행하였다. 앞으로 진행되는 시뮬레이션에서는 앞선 시뮬레이션에서 최적화된 광학 굴절률 조건들을 사용하였다. 그림 9(a)는 spatial luminance chart로 면 발광 분포를 보여준다. 그림 상의 오른쪽이 LED가 위치한 곳으로 강한 휘점이 생기는 것을 보이고 있다. 만약 R, G, B의 색 혼합이 잘 이루어져 화이트 색깔을 만든다면 CIE 좌표에서 x=0.3, y=0.3에 점들이 모여 있어야 하는데, 그림 9(b)는 색 좌표 특성으로써 CIE 색 좌표에서 점들이 모여 있지 않은 것을 볼 수 있다. 이러한 문제점을 없애기 위해 위에서 언급한 4가지 형태의 color mixing bar를 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 여기서 detector의 위치는 상판 도광판에서 위로 10 mm에 위치하고 있으며, detector의 면적은 도광판의 크기와 같다.

그림 10은 왼쪽부터 U자형 투명 color mixing

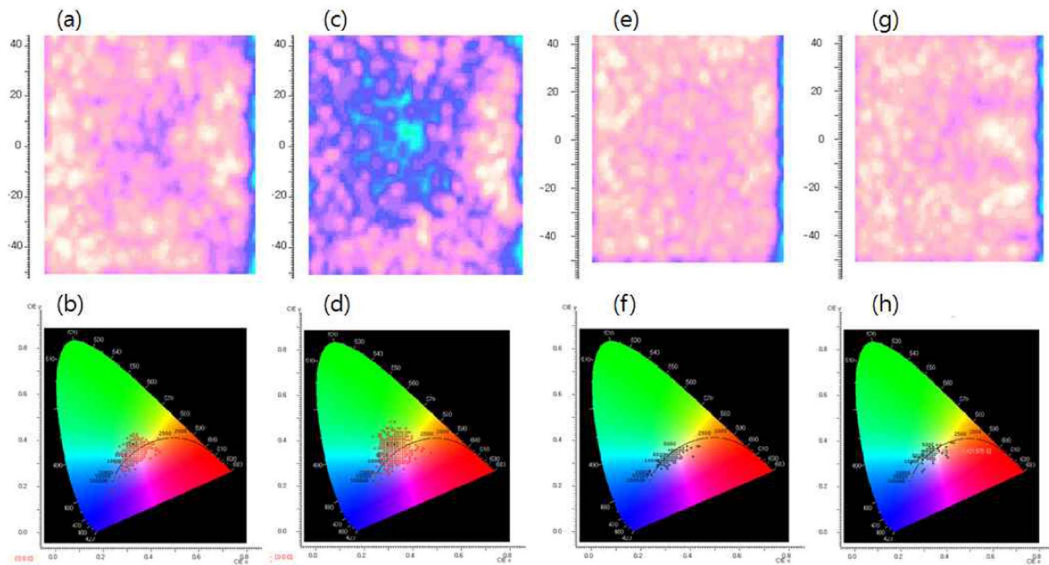


Fig. 10. When U-shaped color mixing bar is used, (a) spatial luminance chart and (b) color coordinate, when M-shaped color mixing bar is used, (c) spatial luminance chart and (d) color coordinate, when ∩-shaped color mixing bar is used, (e) spatial luminance chart and (f) color coordinate, and when ^-shaped color mixing bar is used, (g) spatial luminance chart and (h) color coordinate.

bar, M자형 투명 color mixing bar, ∩자형 투명 color mixing bar, ^자형 투명 color mixing bar를 두고 시뮬레이션 한 결과를 보여준다. 그림 10(a), 그림 10(c), 그림 10(e), 그림 10(g)는 spatial luminance chart인데 면의 발광 상태를 보면 color mixing bar를 사용하였을 시 LED 각각에서의 발광부분에서 생기는 휘점 현상이 거의 사라짐을 확인할 수 있다. 그러나 반사형인 그림 10(a)와 그림 10(c)의 경우 중앙에서 빛이 고르게 나오지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이는 반사형이 굴절형에 비해 color mixing bar에서 빛의 꺾이는 각도가 크기 때문에 상대적으로 중앙에 빛이 고르게 모이지 않기 때문이다. 따라서 도광관의 역할을 제대로 실행하지 못하는 경우이기 때문에 실제 사용하기에 힘들 수 있다는 결론을 도출 할 수 있다. 그림 10(b), 그림 10(d), 그림 10(f), 그림 10(h)는 각 color mixing bar를 사용했을 때의 색의 혼합 정도를 나타내는 CIE 색 좌표를 보여준다. 그림 9의 color mixing bar를 사용하지 않았을 때 좌표들이 넓게 분포되어 혼합이 이루어지지 않은 것에 비해 color mixing bar를 사용했을 때는 나오는 빛들이 흰색을 나타내는 색 좌표 (0.3, 0.3)에 거의 모여 색 혼합이 잘 이루어지는 것을 보여준다. 특히 굴절형인 ∩자형 투명 color mixing bar와 ^자형 투명 color mixing bar를 사용했을 때 색 혼합 특성이 보다 개선되어 짐을 알 수 있다.

그림 11은 4가지의 color mixing bar의 광 효율을

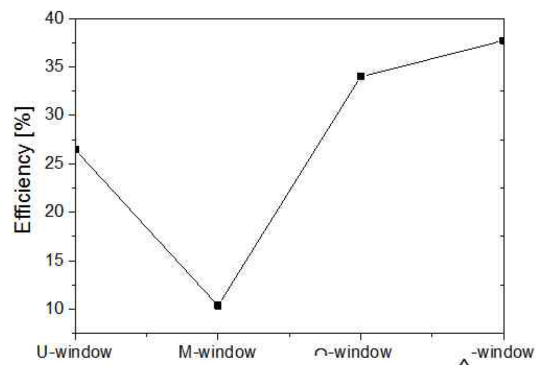


Fig. 11. Optical efficiency of LGP when each color mixing bar is used.

보여준다. 광 효율 역시 굴절형인 ∩자형 투명 color mixing bar와 ^자형 투명 color mixing bar가 좋은 특성을 보임을 확인할 수 있다. 그림 10과 그림 11의 결과를 종합해보면 휘점은 모든 color mixing bar에서 사라지는 것을 확인할 수 있었고, 색 혼합의 데이터를 보면 반사형 방식 보다는 굴절형 방식이 더 잘 혼합된 것을 확인할 수 있었다. 그리고 광 효율 결과에서도 굴절형 방식이 더 좋은 광 효율을 보였다. 굴절형 방식 중에 ^자형 투명 color mixing bar는 네 가지 구조 중 광 효율 38%로 가장 좋은 특성을 보였지만 color mixing bar를 사용하지 않았을 때의 44%의 광 효율보다는 6% 광 손실이 일어나는 것을 알 수 있다. 광 효율을 더 높일 수 있는 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 4. 결 론

이 연구에서는 두 가지 시뮬레이션이 진행되었다. 첫 번째는 백라이트 유닛 전체의 두께를 얇게하기 위해 백라이트 유닛의 두께에서 가장 큰 비중을 차지하는 도광판의 두께를 줄이는데 초점을 두고 시뮬레이션을 진행하였다. 도광판 위·아래에 두 층을 두고 각각의 두께는 40  $\mu\text{m}$ 로 고정하였고 하판에는 바깥쪽으로 반구 모양의 패턴이 새겨져있다. 그리고 각각의 굴절률을 변경하여 최적화 한 결과 상판의 굴절률의 변화에는 거의 변화가 없었으며 하판의 굴절률을 변화시켰을 때는 도광판의 굴절률 1.58와 비슷한 1.60일 때 가장 좋은 광학적 특성을 확인하였다. 두 번째는 광원으로 LED를 사용하였을 때의 문제점인 휘점 그리고 RGB LED의 사용으로 인한 white balance조절의 어려움을 해결하기 위해 여러 형태의 color mixing bar를 설계하고 그에 따른 시뮬레이션 결과를 도출해 보았다. 휘점이 생기는 문제점은 4가지 모든 형태에서 사라졌으나 white balance와 광 효율 데이터 결과,  $\wedge$ -window color mixing bar가 가장 좋은 광학적 특성을 보이는 것을 확인 할 수 있었다.

## 감사의 말

이 논문은 2012년 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : N0000623).

## References

1. I. M. Wilson, IEEE, 21(1975) 32.
2. D. M. Mcgergor, IEEE, 33(1986) 1098.
3. K. W. Kim, N. W. Kim and D. J. Kang, IEEE, 44(1998) 442.
4. D. Demus, Molecular crystals and liquid crystals, 165(1988) 45.
5. A. Horibe, M. Baba, E. Nihei and Y. Koike, SID'98, Direct, (1998)153.
6. K. R. Welford, F. Miners and J. R. Sambles, Appl. Phys., 21(1988) 1320.
7. G. Harbers, W. Timmers and W. S. Smitt, Proc.2<sup>nd</sup> InternationaldisplaymanufacturingCof, (2002) 181.
8. H. P. Muruska and J. J. Tietjen, Appl. Phys. Lett., 15(1969) 327.
9. H. Y. Fan, Rep. Prog. Phys., 19(1956) 107.
10. P. D. Fochs, Proc. Phys. Soc., 69(1956) 70.
11. H. Chen, J. Sung, T. Ha, Y. J. Park and C. W. Hong, Proc. ASID'06, (2006) 168.
12. D. M. Teo, Y. H. Kwon and T. S. Jamg, ASIA display 08' Digest, (2008) 1156.
13. J. H. Ko, Asian J. Phys. 14(2005) 231.
14. J. Park and S. Lim, IMID 06' Tech. Digest, (2006) 1330.
15. Optical Research Associates, (2006).
16. Z. D. Popovic, R. A. Sprague, and G. A. Neville Connel, Appl. Opt., 27(1988) 1281.
17. F. T. O'Neill and J. T. Sheridan, Optic. 113(2002) 391.