

엣지형 LED 백라이트의 균일도 향상을 위한 도광판의 광구조 최적화

이정호¹ · 남기봉¹ · 고재현^{1†} · 김종현²

¹한림대학교 전자물리학과
 ☎ 200-702 강원도 춘천시 한림대학길 39

²삼성전자(주), LCD 총괄
 ☎ 336-789 충남 아산시 탕정면 명암리 200

(2010년 1월 29일 받음, 2010년 3월 5일 수정본 받음, 2010년 3월 18일 게재 확정)

최근 LED TV로 각광받고 있는 대형 LCD TV용 LED(Light Emitting Diode, 고체발광다이오드) 백라이트에 사용되는 도광판의 광구조를 최적화하여 LED에 의해 발생하는 휘점을 제거하고 조도균일도를 향상시키기 위한 시뮬레이션 연구를 진행하였다. 시뮬레이션 모델로 설정된 엣지형 백라이트는 LCD TV용으로 사용될 수 있는 두께 3 mm의 도광판, 측면에 배치된 세 개의 백색 LED와 램프 커버, 도광판의 하면에 배치된 반사 필름으로 구성되어 있다. 일반적인 엣지형 백라이트용 도광판과 같이 도광판의 입광면에 패턴이 형성되어 있지 않은 경우에는 도광판 상면의 조도균일도가 입광면과 LED 사이의 거리에 민감하게 의존하였다. 입광면과 LED 사이의 거리가 커질수록 조도균일도는 개선되다가 일정 거리 이상이 되면 개선이 둔화되는 경향성을 보였다. 반면에 도광판의 입광면에 렌티큘라(lenticular) 렌즈 배열이나 톱니모양(Serration)과 같은 미세 굴절 패턴을 형성하는 경우 LED가 입광면에 거의 붙어 있는 경우에도 패턴이 없는 경우에 비해 우수한 조도균일도를 보인다는 것을 알 수 있었고 조도균일도가 LED와 입광면 사이의 거리에 의존하는 정도가 줄어든다는 점도 확인하였다. 동일조건에서는 톱니모양 패턴이 렌티큘라 렌즈에 비해 우수한 조도균일도를 나타내었고 굴절률의 변화를 통해 추가적인 균일도 개선 효과를 얻을 수 있음도 확인하였다. 따라서 도광판의 입광면에 굴절 기능을 가지는 미세 패턴을 형성하고 그 광구조를 최적화하는 것은 LED에 의한 휘점 형성을 억제하고 LCD 측면의 비발광영역(베젤)을 줄이는데 있어서 매우 효과적인 방법이 될 수 있다는 것을 확인하였다.

Optimization of Optical Structure of Lightguide Panel for Uniformity Improvement of Edge-lit Backlight

Jung Ho Lee¹, Kie-Bong Nahm¹, Jae-Hyeon Ko^{1†}, and Joong Hyun Kim²

¹Department of Physics, Hallym University, 39 Hallymdaehakgil, Chuncheon 200-702, Korea

²AMLCD Division, Samsung Electronics Co. Ltd., Asan 336-789, Korea

(Received January 29, 2010; Revised manuscript March 5, 2010; Accepted March 18, 2010)

Optical simulation methods were applied to the edge-lit LED backlight for LCD TV applications in order to optimize the optical structure of the light guide plate(LGP), and thus to improve the uniformity properties by removing the bright spots caused by LED's. The edge-lit LED backlight consisted of three white LED's with a lamp cover, a light guide plate, and a reflection film. When there was no pattern on the entrance side surface of the LGP, the illuminance uniformity was sensitively dependent on the distance d between the LED and the entrance surface. The illuminance uniformity increased with d but its increasing rate slowed down when d was beyond ~ 1.5 mm. When micro-patterns such as a lenticular lens array (LLA) or a serration pattern were formed on the entrance surface, the illuminance uniformity was improved substantially even for the case of very small d . At the same simulation condition, the lightguide with serration pattern showed a better uniformity than that with LLA pattern. Additional improvement could be achieved by changing the refractive index of the micro-patterns. These results suggest that using micro-patterns is a very effective way to reduce the bright spots due to their refracting function for the concentrated incident rays onto the LGP.

Keywords: Liquid crystal display(LCD), Backlight, Light-emitting diodes, Light guide plate, Bright spot

OCIS Codes: (120.2040) Displays; (150.2950) Illumination; (230.3670) Light-emitting diodes; (230.3720) Liquid-crystal devices

[†]E-mail: hwangko@hallym.ac.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

I. 서 론

최근 몇 년간 평판형 디스플레이(Flat Panel Display, FPD) 분야에서 액정 표시 장치(Liquid Crystal Display, LCD)의 약진이 두드러져 왔다. LCD는 전통적으로 사용되어 왔던 중소형 디스플레이 분야뿐 아니라 대형 TV와 야외용 정보디스플레이 소자로도 각광을 받고 있다. 그렇지만 CRT(Cathode Ray Tube), PDP(Plasma Display Panel) 등의 자발광 디스플레이와는 다르게, LCD는 스스로 빛을 낼 수 없는 비자발광 디스플레이라는 특성을 가지고 있기 때문에 외부에서 백색광을 공급해 주는 광원을 필요로 한다. 이처럼 LCD 후면에서 빛을 공급해 주는 장치를 백라이트 유닛(Backlight Unit, BLU)이라고 부른다. 여기에서 발생된 빛이 LCD 패널을 만나게 되면 화소(pixel)별로 투과도 및 색이 결정되어 영상정보가 구현된다. BLU는 크게 도광판(Light Guide Plate, LGP)의 유무에 따라 중대형 LCD에 적용되는 직하형(direct-lit) BLU와 중소형 LCD에 주로 사용되는 엣지형(edge-lit) BLU로 분류할 수 있다. 백라이트 내에서 가시광선을 형성하는 광원은 전통적으로 냉음극형광램프(Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL)와 같은 형광등이 많이 사용되고 있으나 중소형 LCD, 특히 중소형 노트북 이하의 크기를 갖는 LCD용 백라이트의 광원으로는 박형화와 저소비전력화에 유리한 고체발광다이오드(Light Emitting Diode, LED)가 광범위하게 사용되고 있고 시장점유율이 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.^[1, 2]

백라이트는 LCD의 밝기(즉, 휘도), 색감, 시야각특성, 소비전력, 명암비 등 LCD가 가지는 디스플레이로서의 주요 특성에 큰 영향을 끼치기 때문에 LCD의 화질을 비롯한 특성 향상에 있어서 매우 중요한 역할을 담당하고 있는 핵심 부품이라고 할 수 있다. 특히 최근 등장한 소위 “LED TV”는 초박형, 저소비전력의 LCD TV를 가능케 함으로써 백라이트 기술이 어떻게 LCD의 기술혁신을 이룰 수 있는지 생생히 보여주었다. LED TV에는 백색 LED를 광원으로 적용한 엣지형 BLU가 사용됨으로써 엣지형 BLU가 대형 LCD TV에 적용된 최초의 사례로 기록되었다.^[3] 엣지형 BLU는 두께를 줄이는데 있어서 큰 장점을 가지고 있으나 직하형 BLU가 가지는 분할구동(local dimming) 등의 화질 개선 기술을 구현하기에는 한계가 있다. 또한, LED는 친환경적이고 소비전력이 낮으며 색재현성(color gamut)이 넓어지는 등 다양한 장점을 가지고 있지만 점광원인 LED를 균일한 면광원으로 만드는 과정에서 RGB LED의 색혼합이 효율적으로 일어나지 않는 문제 혹은 LED 주변에 형성되는 휘점(hot spot 혹은 bright spot)이 화질을 저하시키기 때문에 이에 대한 개선이 큰 과제로 대두되었다.^[4, 5] LED 주변에 형성되는 휘점을 개선하고 균일도를 향상시키는 것은 LCD의 테두리 쪽의 비발광영역인 베젤(Bezel)의 폭을 줄여서 두께와 더불어 LCD의 형상요소(form factor)를 개선하는데 있어서 매우 중요한 과제이다. 휘점을 없애는 가장 간단한 방법은 LED를 도광판 측면에 촘촘하게 박는 것이나 이 경우 비용 및 소비전력이 증가

한다는 문제가 발생한다. 특히 최근에는 LCD의 원가 절감 차원에서 LED의 간격을 늘려 개수를 줄이는 추세이기 때문에 LED에 의한 휘점 발생을 줄이기 위한 연구가 더욱 심도 깊게 진행되고 있다.

그 동안 LED에 의해 형성되는 휘점을 줄이거나 삼원색 LED의 색혼합을 위한 다양한 시도가 있었다. 그렇지만 이러한 개선을 위한 아이디어를 매번 실험으로 만들어 평가하고 수정하는 것은 최적화된 디자인을 얻기까지 매우 오랜 시간이 걸리고 높은 비용이 소요되는 단점이 있다. 이런 면에서, 특정한 디자인의 광학적 효과를 간접적으로 확인함으로써 시간과 비용을 절약할 수 있는 시뮬레이션 기법이 사용되어 왔다.^[6, 7] 본 연구에서는 LED TV에 사용되는 엣지형 도광판 상에서 백색 LED에 의해 형성되는 휘점을 제거할 수 있는 광구조의 최적화 과정을 광선추적기법(ray tracing technique) 소프트웨어를 이용하여 수행하였다. 이를 통해 도광판 위에서 조도 균일도(illuminance uniformity)를 정량적으로 평가하였고 입광면에 적용되는 다양한 구조의 형상을 변경하면서 조도균일도의 변화를 추적하였다.

II. 시뮬레이션 조건 및 분석방법

2.1. 엣지형 백라이트 모델의 구성

엣지형 백라이트의 설계와 분석을 위해 광 추적 기법을 사용하는 소프트웨어인 LightTools (Optical Research Associates)를 활용하였다. BLU용 광학 부품들을 시뮬레이션 내에서 정확하고 효율적으로 구현하기 위해서는 부품들의 본질적인 특성들만을 정확히 반영하여 가능한 한 단순하게 모델을 구축하는 것이 중요하다. 본 연구에서 시뮬레이션 대상으로 설정한 도광판은 최근 중요한 기술적 진보로 받아들여지고 있는 LED TV, 즉 LED 백라이트를 이용한 LCD TV용 엣지형 도광판이다. LED TV에 적용되는 백라이트 내에서는 박형화를 위해 보통 4 mm의 두께를 가진 도광판의 네 개의 입광면에 수 백여 개의 백색 LED를 배치하여 균일광을 구현한다.^[8] 그런데, 40인치 이상의 큰 사이즈를 가진 도광판에 수 백 개의 LED로 구성된 백라이트를 시뮬레이션하는 것은 대단히 긴 계산시간이 소요된다는 문제점이 있다. 따라서 특정한 광학구조가 휘점 제거에 효과적인지를 판단하기 위해서 동일 두께의, 그렇지만 작은 사이즈의 도광판에 대해 시뮬레이션을 진행하였다. 따라서 본 논문에서는 면적이 $80 \times 45 \text{ mm}^2$ 이고 높이는 3 mm인 도광판에 3 개의 백색 LED를 배치한 백라이트의 휘점 제거에 대해 연구하였다. 도광판의 두께를 현재 LED TV에 적용되는 도광판의 두께인 4 mm보다 줄인 이유는 최근 LED TV를 더 박형화하려는 연구/기술 동향을 반영하기 위해서이다. 하지만 40인치급 도광판은 본 연구에서 대상으로 삼은 도광판과 비교했을 경우 LED의 간격과 밝기, 그리고 도광되는 빛의 진행거리가 다르고 도광판 후면의 패턴 분포도 상이하므로 본 연구의 결과를 그대로 40인치급 도광판에 적용하는 것은 무리가 있다. 본 연구 결과는 도광판 입광면의 패턴이 LED의 휘점 형성에 미치는 영향을 분석

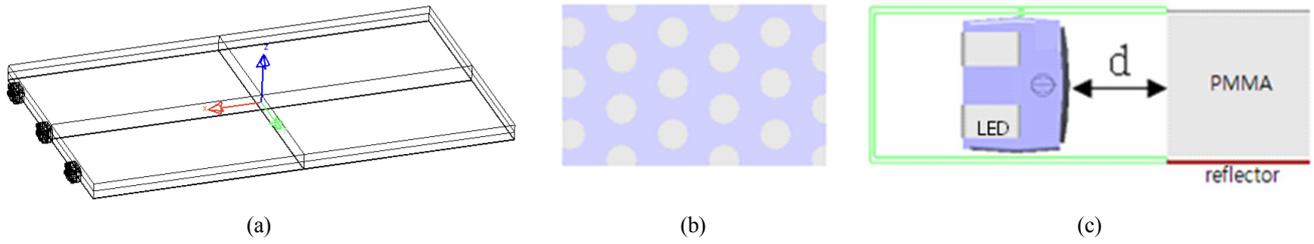


FIG. 1. (a) A 3-dimensional schematic figure of the designed LGP, (b) scattering dot patterns formed on the bottom surface of LGP, (c) a schematic figure showing the distance denoted as d between the LGP and the LED.

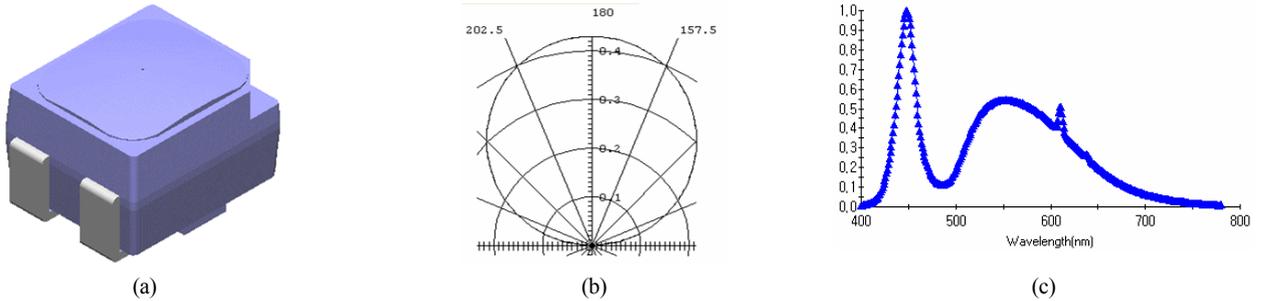


FIG. 2. (a) The schematic figure, (b) the luminous intensity distribution, and (c) the emitting spectrum of the adopted white LED.

하여 40인치급 도광판의 휘점 제거에 기여할 수 있다는 제한적인 의미를 띤다.

시뮬레이션을 위해 구축된 백라이트의 개략도가 그림 1에 제시되어 있다. 백라이트는 3개의 백색 LED, 반사필름 그리고 도광판으로 구성되었다. 설계된 도광판의 광원으로는 백색 LED의 일종인 NSCW310T(Nichia Co., Ltd.)가 사용되었는데, LED의 크기는 $2.19 \times 2.76 \times 3.51 \text{ mm}^3$ 으로써 가장 큰 면이 도광판을 향하는 발광면에 해당한다. 이러한 백색 LED 3개를 그림 1-(a)와 같이 도광판의 한 측면에 15 mm의 간격으로 배열하였고 그림 1-(c)에서와 같이 사각 형태의 Lamp Cover(단면 $3 \times 6 \text{ mm}^2$)가 3개의 LED를 감싸도록 설정하여 광 손실을 줄였다. 도광판의 굴절률은 특별한 언급이 없는 경우 일반적으로 가장 많이 사용되는 투명수지인 PMMA(Poly(methyl methacrylate))의 굴절률인 1.49로 설정하였고 도광판의 밑면에 반지름과 피치가 각각 0.3 mm, 1 mm인 원형 확산 도트를 그림 1-(b)와 같이 2차원의 hexagonal 형태로 배열하였다. 그림에는 표시되어 있지 않지만 도광판 위에 검출기가 놓여 있어서 도광판의 조도 및 출광분포와 관련된 데이터를 검출하도록 하였다.

사용된 LED의 형태는 그림 2-(a)와 같고 그것의 배광분포는 그림 2-(b)에서 보이는 램버시안(Lambertian) 형태이며 그림 2-(c)와 같은 발광 스펙트럼으로 방사한다. 그림 2에 제시된 배광분포와 발광스펙트럼은 해당 LED의 제조사가 제공한 데이터 시트에 포함된 데이터를 그대로 활용하였다. 이러한 스펙트럼은 GaN계 청색 LED에 YAG나 질화물계의 노랑형광체를 입힌 백색광 LED의 전형적인 특성을 보여준다. 도광판의 입광면을 제외한 나머지 옆면은 거울반사의 성격을 가지도록 처리하였다. 도광판의 0.05 mm 아래에는 정반사와

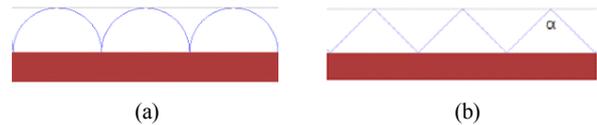


FIG. 3. (a) The lenticular lens array (LLA) and (b) the serration pattern formed on the entrance surface of LGP facing three LED's.

확산반사가 혼재된 형태인 가우시안 산란(Gaussian Scattering)을 적용한 반사 필름이 위치되어 있는데, 필름의 표면에 일정한 각도로 입사한 광선이 입사각과 동일한 반사각을 중심으로 $\pm 10^\circ$ 의 cone angle 내로 가우시안의 확률을 가지며 산란되도록 설정하였다. 반사필름의 반사율은 100%로 설정하였다. 본 시뮬레이션에서 사용한 광선의개수는 통상 한 조건당 3,000,000 개로 설정하였다.

2.2. 휘점 제거를 위한 미세 패턴 디자인

도광판의 입광면에는 휘점 제거를 위한 광학적 구조를 형성하였고, LED와 도광판 입광면 사이의 거리는 그림 1-(c)와 같이 d 라 표시했다. 이 거리 및 입광면에 형성된 미세 구조의 형태 변화에 따라 조도균일도가 어떻게 변하는지를 조사하였다. LED에 의해 형성되는 휘점의 제거를 위해 도광판의 입광면에 형성시킨 미세구조로는 렌티큘라 렌즈 배열(Lenticular Lens Array, LLA)과 톱니모양(Serration) 패턴 등 두 가지를 시도하였다. 그림 3-(a)에 보여지는 LLA의 피치와 폭은 각각 0.5 mm로 동일하고 그림 3-(b)의 Serration의 경우도 LLA와 같은 폭과 피치가 되도록 설정하였다.

그림 4-(a),(b),(c)는 각각 입광면에 패턴이 없는 경우, 입광면에 LLA가 배열된 경우, 그리고 Serration이 배열된 경우에

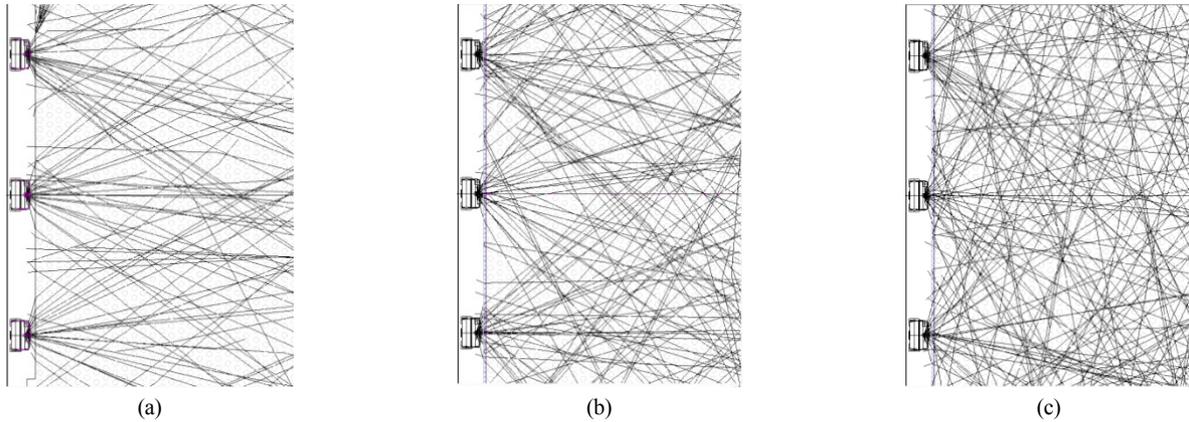


FIG. 4. Traced rays depending on the shape of the entrance surface of LGP: (a) A flat surface, (b) a surface with LLA, and (c) a surface with the serration pattern.

대하여 LED로부터 일정한 수의 광선을 쏘아 추적한 결과이다. LED의 배광분포를 램버시안 분포로 설정하였기 때문에 그림 4-(a)에서 볼 수 있는 것처럼 입광면에 수직인 방향으로 형성되는 광도가 가장 높고 따라서 가장 많은 숫자의 광선이 발산된다. 이로 인해 LED 주변에 휘점이 발생한다. 입광면에 LLA나 Serration 패턴을 배열시킨 경우에는 광선들이 미세구조의 표면에서 굴절률의 차이에 의해 굴절되면서 다양한 방향으로 분산되기 때문에 그림 4-(a)의 광선추적 결과에 비해 LED에 수직인 방향으로 집중되는 광선의 숫자가 줄어들게 되고 따라서 휘점 제거에 있어서 긍정적인 광학적 작용을 할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 LLA의 경우에는 입광면과 광원 사이의 거리 d 를 조정하면서 균일도를 관찰하였고, Serration의 경우는 톱니의 정각 α 를 휘점 제거의 관점에서 최적화 한후 거리 d 를 조정하면서 조도균일도를 조사하였다.

2.3. 조도균일도의 정량적 평가

휘점 제거 여부를 정량적으로 평가하기 위해 도광판 위의 조도균일도를 조사하였다. 일반적으로 백라이트 및 LCD 패널의 표시 품질은 발광면에 대해 수직인 방향으로 측정된 휘도균일도로 평가된다. 그렇지만 도광판 위의 배광 분포를 보게 되면 산란 도트 패턴의 정반사 성격으로 인해 도광판에 대해 수직인 방향으로 검출되는 광선은 소수이고 대부분의 광선은 수직 방향에서 많이 벗어난 고시야각 쪽을 향해 누워 있게 된다. 보통 도광판 위에 확산필름과 프리즘 필름과 같은 방향전환필름들을 배치하여 고시야각으로 누워 있는 광선들을 수직 방향으로 틀어주게 된다.^[9] 따라서 기본적으로 도광판 위에서 조도균일도가 확보되는 경우에는 방향전환필름에 의해 휘도균일도가 보장된다고 볼 수 있으므로 본 연구에서는 조도균일도만을 정량적으로 평가하였다. 조도균일도를 수치적으로 얻기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다. 먼저 그림 5와 같이 도광판과 동일한 면적을 가지고 있는 검출기의 2차원 면적을 다수의 픽셀(L_{ij})로 나눈 후 각 픽셀의 평균조도(즉, 모든 방향에서 입사되는 광선의

	$L_{1 1}$	$L_{2 1}$	$L_{3 1}$	$L_{4 1}$	$L_{21 1}$
	$L_{1 2}$	$L_{2 2}$	$L_{3 2}$..			
	$L_{1 3}$	$L_{2 3}$..				
	$L_{1 4}$..					
	..						
	$L_{1 21}$						$L_{21 21}$

FIG. 5. A pixel structure drawn on the upper surface of LGP for calculating illuminance uniformity.

수)를 구하였다. 그리고 전체 도광판 출광면의 조도균일도를 아래 식과 같이 정의하였다.

$$uniformity = \frac{L_{min}}{L_{max}}$$

위 식에서 L_{max} 는 설정된 픽셀 중 광선이 가장 많이 검출된 픽셀의 조도값이고 L_{min} 는 광선이 가장 적게 검출된 픽셀의 조도값이다. 이 두 수치 사이의 비를 조도균일도로 정의하였고 이 방법은 실제 백라이트의 휘도 균일도를 측정하는 방법과 비슷하다.

위에 정의된 조도균일도는 각 픽셀의 면적 내 조도를 평균하여 얻어진 것이므로 해당 면적내에서 발생할 수 있는 국소적인 조도 변화를 반영할 수 없는 한계를 가진다. 실제 백라이트 검사 공정에서는 규정되어 있는 위치별로 점휘도를 측정하여 휘도균일도를 정량화할 뿐 아니라 목시(目視) 검사를 병행해서 국소적인 휘도 변화를 판별하고 불량품을 선별하고 있다. 이러한 목시검사를 근사적으로 구현하기 위해서는 픽셀의 개수를 늘리고 픽셀 당 면적을 줄여야 하나 이는 계산상의 부담(load)를 증가시키므로 본 연구에서는 검출기의 2차원 면적을 $21 \times 21 = 441$ 개의 픽셀로 나누어 조도균일도를

계산하였다. 이렇게 설정된 픽셀 면적은 LED가 형성하는 휘점에 비해 현저히 작은 크기이므로 휘점 형성과 관련된 균일도의 변화를 분석하는 데에는 충분할 것으로 생각된다. 결국, 본 연구에서 제시한 조도균일도는 균일도에 대한 절대적인 측정 기준이라기 보다는 입광면의 광학구조 변화에 따른 발광균일도의 상대적인 변화를 점검함으로써 도광판의 광구조 최적화를 달성하기 위한 하나의 유용한 변수로 간주하는 것이 타당할 것이다.

III. 결과 및 논의

3.1. 입광면과 광원 사이의 거리에 따른 균일도

앞에서 언급한 대로 LED를 광원으로 사용하면 광원 부근에 휘점이 발생하기 때문에 휘도 혹은 조도균일도가 낮아진다. 그림 6-(a), (b)는 각각 도광판의 입광면에 어떠한 미세 패턴도 형성되어 있지 않은 조건 하에서 광원으로써 선광원인 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)과 점광원인 3개의 LED를 사용한 경우의 조도 분포를 비교한 결과이다. LED의 경우에는 입광면과 LED 사이의 거리를 0.5 mm 띄운 상태에서 시뮬레이션하였다. 각 그림에서 색깔은 조도의 크기를 표현하고 있고 각 색깔별 상대적 크기를 오른쪽의 색상 막대에 표현하였다. 2.3절에 정의된 방법에 따라 계산된 조도균일도를 비교해 보면, CCFL을 사용한 경우 조도균일도는 약 72%였고 LED를 사용한 경우는 약 50% 였다. 또한 그림을 보면 알 수 있듯이 LED를 사용하면 광원 부근에서 LED의 위치에 대응하여 휘점 영역이 뚜렷이 발생함을 알 수 있다.

휘점을 줄이기 위해 그림 1-(c)에서 보이는 것처럼 도광판의 입광면과 광원 사이의 거리를 d 라고 정의하고 이를 0 mm에서 3 mm까지 변화시켜 가면서 조도를 관찰하였다. 그림 7-(a), (b), (c)는 각각 d 가 0, 1, 3 mm인 경우 얻어진 조도 분

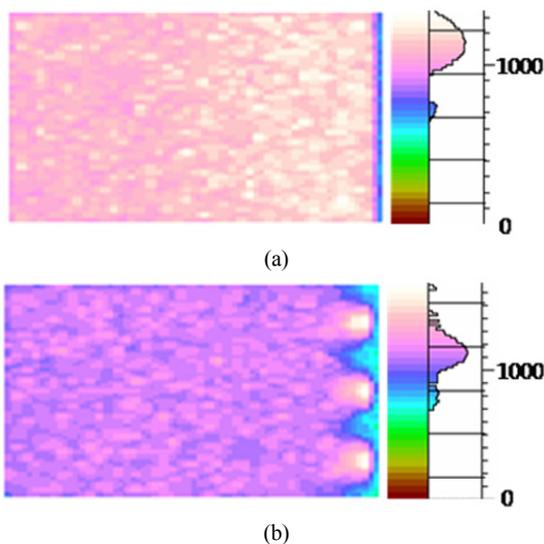


FIG. 6. Illumination distributions obtained on the upper surface of LGP when (a) CCFL and (b) LED was adopted as a light source.

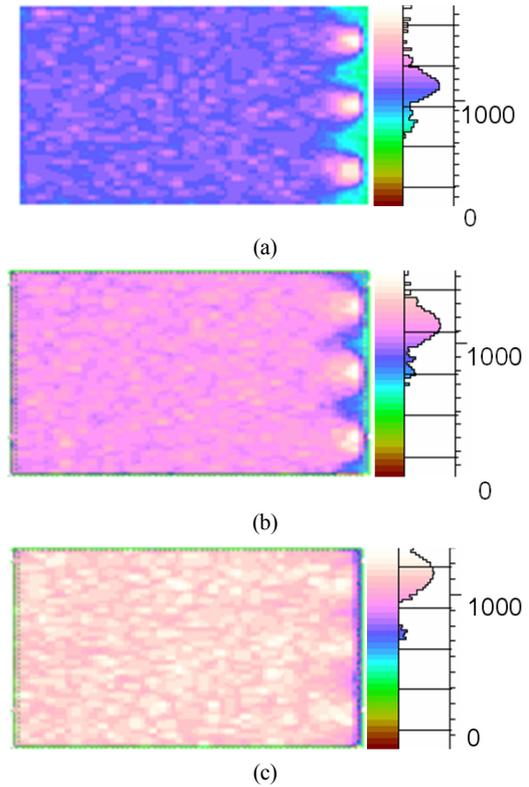


FIG. 7. Illumination distributions obtained on the upper surface of LGP when the distance d is (a) 0 mm, (b) 1 mm, and (c) 3 mm for the flat entrance surface.

포를 표현한 것이다. 그림 6에서 관찰 할 수 있듯이 $d=0$ mm 인 경우에 휘점이 가장 뚜렷하게 관찰 되었고 거리가 멀어질수록 휘점이 점점 희미해 짐을 알 수 있다. 그림 7-(a)의 경우 균일도는 약 45%였고 그림 7-(c)의 경우는 약 68%로 가장 높게 측정되었다. 이 결과를보게 되면 도광판의 입광면이 평편한 경우 d 의 변화가 광원 부근의 휘점을 줄여주고 도광판 위에서의 균일도를 개선하는 데에 있어서 매우 중요한 변수가 된다는 것을 알 수 있다. 거리가 멀어지게 되면 특정한 출광분포를 가지고 발산하는 LED의 빛이 도광판의 입광면에 더욱 퍼진 상태에서 입사되기 때문에 거리가 멀어짐에 따라 조도균일도가 개선되는 것은 당연한 결과이다. 그렇지만 도광판과 LED 사이의 거리를 증가시키면 엷지 영역의 베젤 폭이 넓어지는 문제가 발생하므로 중소형 LCD용 백라이트에서는 보통은 d 를 0.5 mm 정도로 줄이는 것이 일반적이다. 최근 출시되는 LED TV의 경우에는 40인치대 혹은 50인치대의 면적을 가진 도광판이 고온하에서 열팽창되는 효과를 고려하여 d 를 다소 넓게 1 mm 정도로 띄운다. 이처럼 LED가 도광판의 입광면에 매우 근접해 있는 조건 하에서는 다른 방법을 이용해 휘점을 제거하는 것이 필요하다.

3.2. 입광면에 LLA 패턴을 적용한 경우

휘점 발생을 억제하기 위해 도광판의 입광면에 그림 3-(a)와 같은 형태의 LLA를 배열 시켰다. 이 미세 패턴의 폭과

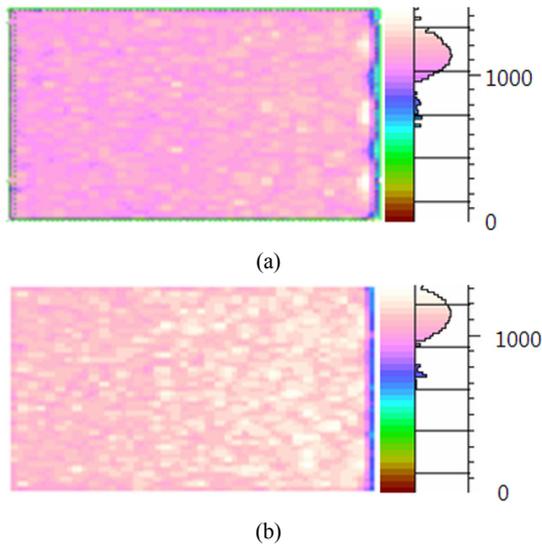


FIG. 8. Illumination distributions obtained on the upper surface of LGP when the distance d is (a) 0.5 mm, and (b) 1.5 mm for the entrance surface with LLA.

피치는 앞에서 언급한 대로 0.5 mm로 같고 높이는 0.25 mm 로써 단면은 반원의 형상을 지닌다. 이 경우도 입광면에 패턴이 없는 경우와 마찬가지로 d 를 변화시켜 가면서 균일도를 관찰하였는데, 0.5 및 1.5 mm의 두 가지 거리에 대한 조도분포를 그림 8과 같이 얻을 수 있었다. 그림 7-(b)와 그림 8-(a)를 비교해 보면, 거리 d 가 줄어들었음에도 불구하고 LLA의 굴절 작용으로 인해 빛이 퍼지면서 휘점 발생이 크게 억제되었다는 것을 확인할 수 있다. 그림 8-(a)인 경우의 조도균일도는 약 65%로 계산되었고, 그림 8-(b)의 경우 균일도는 약 71%로 계산되었다. 이 두 경우는 거리 d 는 상당히 차이가 나지만 조도균일도의 차이는 입광면이 평편한 경우에 비해 다소 줄어들었는데, 이는 LLA의 작용으로 인해서 입광되는 빛이 퍼지면서 도광판 위의 조도균일도가 입광면과 광원 사이의 거리 d 의 변화에 의존하는 정도가 어느 정도 줄어들었다는 것을 의미한다. LLA가 입광면에 형성되는 도광판의 형상은 동일 형상을 음각으로 가지는 틀을 활용하는 사출 공정을 통해 형성할 수 있을 것이다.

3.3. 입광면에 Serration 패턴을 적용한 경우

휘점을 줄이기 위한 또 다른 방법으로 도광판의 입광면에 그림 3-(b)와 같은 형태의 Serration 구조를 배열하였다. 이 패턴의 폭과 피치는 0.5 mm로 같고 입광면으로부터의 높이는 Serration의 정각 α 에 의존하여 변화도록 설계하였다. 본 연구에서는 α 를 70° 부터 120°까지 10° 간격으로 변화시키면서 이러한 변화가 조도분포에 어떤 영향을 주는지를 분석하였다. 우선 α 의 변화가 휘점 및 균일도 개선에 어떠한 이점이 있는지 알아보기 위하여 $d=0.5$ mm로 고정한 후 정각 α 를 변화시키면서 조도 분포를 관찰하였다. 그 결과 $\alpha=70^\circ$ 인 경우가 약 58%로 균일도가 가장 낮게 계산되었고 $\alpha=100^\circ$ 인

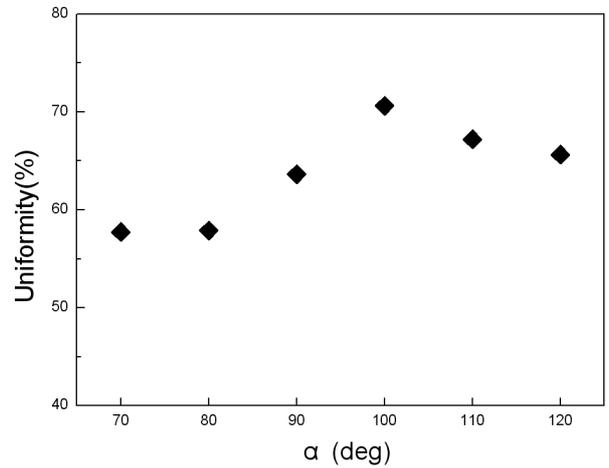


FIG. 9. The illumination uniformity as a function of the apex angle of the serration pattern.

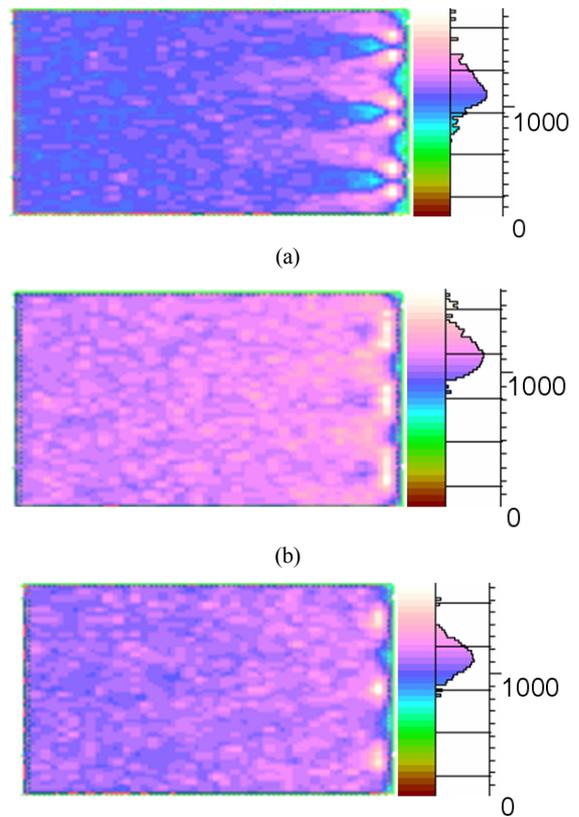


FIG. 10. Illumination distributions obtained on the upper surface of LGP when the apex angle α is (a) $\alpha=70^\circ$, (b) $\alpha=100^\circ$, (c) $\alpha=120^\circ$ for the entrance surface with the serration pattern.

경우가 약 71%로 균일도 측면에서 가장 우수하였다.

그림 9의 그래프는 정각 α 의 변화에 따른 조도균일도의 변화를 추적한 결과이다. 정각이 커질수록 도광판 입광면에 패턴이 없는 경우에 근접하기 때문에 휘점 개선의 측면에서는 불리해지고, 반대로 정각이 너무 작아지면 빛의 굴절효과가 줄어들어 휘점 제거에 한계가 있게 된다. 그림 10-(a),(b),(c)

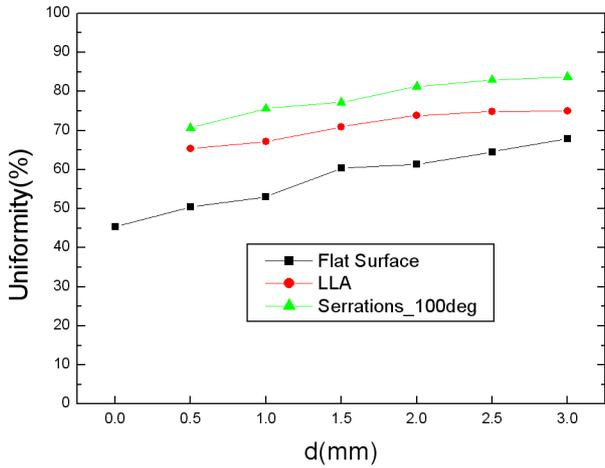


FIG. 11. The dependence of the illuminance uniformity (%) on the micro pattern formed on the entrance surface of LGP and the distance d between LED and the entrance surface.

TABLE 1. The dependence of the illuminance uniformity (%) on the micro pattern formed on the entrance surface of LGP and the distance d between LED and the entrance surface

d (mm)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
No pattern	45.4	50.4	53.0	60.3	61.3	64.5	68.0
LLA	-	65.3	67.2	70.9	73.8	74.9	75.0
Serration ($\alpha=100^\circ$)	-	70.6	75.6	77.1	81.3	83.0	83.7

는 각각 Serration의 정각이 70° , 100° , 120° 로 변함에 따른 조도 분포로서 a 가 100° 인 경우의 조도균일도가 가장 우수함을 확인할 수 있다. 이러한 Serration 형상은 사출공정 이외에도 측면에 대한 레이저 가공 등을 통해서도 형성될 수 있다. 이상의 결과를 바탕으로 LLA 패턴과 a 가 100° 인 Serration 패턴에 대해 도광판의 입광면과 광원 사이의 거리 d 를 변화시키면서 조도균일도를 조사하였다. 얻어진 결과를 미세 패턴이 없는 도광판에 대해 얻은 결과와 함께 그림 11 및 표 1에 나타내었다.

3.4. 입광면 패턴의 굴절률을 변화시킨 경우

지금까지의 모든 결과는 도광판 및 미세 패턴의 굴절률을 1.49로 고정하여 얻은 것이었다. 이번에는 미세 패턴의 굴절률을 1.45에서 1.6까지 변화시켜 보았다. 이에 대한 결과는 표 2와 그림 12에 제시되었다. 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 굴절률이 높아지게 되면 전체적으로 조도균일도가 상승하게 된다. 굴절률이 높아지게 되면 입광면에서 광선이 꺾이는 각도가 커지므로 집중되어 입사되는 광선을 퍼뜨리는 효과가 커지므로 조도균일도의 개선 효과를 가져오게 된다. 이러한 결과는 Serration 패턴의 정각을 변화시킨 3.3절의 결과와 상관성을 가진다. a 의 변화도 입사되는 방향의 굴절에 영향을 주는 인자이고 최적의 a 에서 빛이 가장 많이 퍼진다는 것을 3.3절에서 확인한 바 있다. 따라서 정각과 굴절

TABLE 2. The dependence of the illuminance uniformity (%) on the refractive index of micro-patterns formed on the entrance surface of LGP

Refractive Index(n)	1.45	1.5	1.55	1.6
LLA	62.2	66.7	67.9	69.9
Serration($\alpha=100^\circ$)	66.7	69.9	70.0	73.4

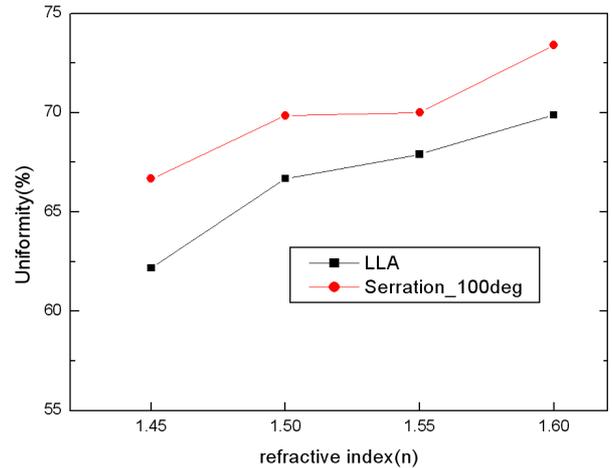


FIG. 12. The dependence of the illuminance uniformity (%) on the refractive index of micro patterns formed on the entrance surface of LGP.

률을 적절히 조정하게 되면 LED에 의한 휘점 제거에 유리한 패턴을 얻을 수 있을 것이다. 이 경우 도광판의 사용가능한 고분자재료의 굴절률의 범위 및 가공에 유리한 정각의 범위 등이 최적의 패턴을 형성하는데 있어서 외적 제한 조건이 될 것이다.

3.5. 요약 및 논의

[표 1]은 앞에서 기술한 모든 시뮬레이션 결과를 통해 얻은 조도균일도를 조건별로 정리한 것이다. 이를 그래프로 표현한 것이 그림 11이다. 그래프를 보면 쉽게 알 수 있듯이 입광면에 패턴이 형성되어 있지 않은 도광판은 거리 d 의 변화가 조도균일도에 직접적인 영향을 주는 것을 알 수 있지만 d 가 약 1.5 mm 이상인 영역에서는 LED의 빛이 충분히 퍼진 상태에서 도광판에 입광되므로 d 가 조도균일도에 주는 영향이 줄어들어 가는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 LED 백라이트를 설계할 때 휘점을 효과적으로 제거하기 위해서 입광면과 광원 사이의 거리 및 입광면 자체의 광학적 최적화가 동시에 이루어져야 함을 보여주는 것이다. 즉, d 자체의 증가에 따른 옛지부 비발광영역(베젤)의 증가와 d 의 감소에 따른 휘점 발생 영역(발광 면적에 포함되지 못하는 영역)의 증가 사이에서 비발광영역을 최소한으로 줄일 수 있는 적절한 조합이 요구된다. 반면, 입광면에 LLA나 Serration 패턴을 배열한 경우에는 이러한 미세 패턴들이 국소적으로 집중되어 입사되는 LED의 빛을 충분히 퍼뜨리기 때문에 휘점 제거 및 균일도 개선에 기여를 하게 되고 이러한 개선은 조도균일

도의 d 에 대한 의존성을 줄이는 결과로 나타났다. 즉, LLA와 Serration 패턴이 적용된 경우 조도균일도는 거리 d 에 비례하여 단조증가하였으나 미세패턴이 없는 경우에 비해 훨씬 완만한 기울기를 보였고 조도균일도도 우월하였다. 또한, LLA에 비해 Serration 패턴이 적용된 경우가 조도균일도가 더 높았다. 이로부터 평면 \rightarrow LLA \rightarrow Serration 패턴 순으로 휘점 제거 효과가 높아진다는 것을 알 수 있다. 아울러 굴절률의 변화를 통해 추가적인 조도균일도 개선도 기대할 수 있다. 이러한 미세 패턴을 입광면에 효과적으로, 그리고 적은 비용으로 형성하기 위한 공정 기술에 대해서는 본 연구에서는 다루지 않았다. 휘점 발생을 억제하는 또 다른 방법으로는 도광판 하면의 산란 패턴을 입광부로부터 일정한 거리만큼 띄워서 LED에서 입사된 빛이 일정 거리만큼 퍼지며 진행한 후에 산란 패턴을 맞고 LCD 패널로 출광되도록 하는 것이다. 그렇지만 이 거리가 과도하게 커지면 LCD의 베젤이 늘어남다는 문제점이 있다. 따라서 LCD의 베젤을 줄이고 유효발광면적을 늘이기 위해서는 산란 패턴과 도광판 입광부 사이의 거리도 최적화되어야 한다. 이에 대한 연구 결과는 현재 진행 중이며 추후 다른 기회에 발표할 계획이다.

IV. 결론 및 요약

본 연구에서는 최근 시장 점유율이 점점 높아지고 있고 박형화에 유리한 LED를 광원으로 한 엣지형 LCD 백라이트의 구조에 대해 시뮬레이션 모델을 수립한 후, LED에 의해 형성되는 휘점 발생을 억제하고 조도균일도를 향상시키기 위한 광구조 최적화와 관련된 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구에서 목표로 삼은 백라이트는 최근 대형의 초박형 LCD TV에 적용되고 있는 엣지형 LED 백라이트로써, 3개의 백색 LED와 램프 커버, 반사필름, 확산 도트 패턴이 형성된 도광판으로 구성되어 있다. 국소적으로 집중되어 입사되는 LED의 빛을 효율적으로 확산시키는 광구조를 찾기 위해 도광판의 입광면에 렌티큘라 렌즈 배열(LLA)과 톱니모양(Serration)의 미세 패턴을 형성시킨 후 이를 어떤 패턴도 형성되어 있지 않은 일반 도광판의 성능과 비교하였다. 이 세가지 경우에 대해 LED와 광원 사이의 거리를 변화시키면서 도광판 위에서의 조도 분포를 구하였고 조도균일도를 계산하였다. 시뮬레이션 결과, 입광면에 패턴이 없는 경우에는 d 가 커짐에 따라 균일도가 점점 향상 되다가 일정한 거리를 초과하게 되면 개선되는 비율이 현저히 줄어드는 것을 확인하였다. LLA나 Serration 등의 미세 패턴을 입광면에 형성한 경우에는 LED와의 거리가 매우 작은 경우에도 휘점 발생을 상대적으로 억제한다는 것을 확인하였고 이러한 개선 효과는 d 의 변화에는 크게 의존하지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서 LLA나 Serration과 같은 미세 패턴을 형성시키는 경우에는 베젤을 줄이기 위해 d 를 줄이는 경우, 즉 LED를 도광판의 입광면에 근접시키는 조건에서도 휘점 발생을 효과적으로 억제한다는 것을 확인할 수 있었다. 게다가 미세패턴의 굴절률을 조정함으로써 추가적인 조도균일도 향상 효과도 얻을

수 있음을 확인하였다. 이상의 결과는 실제 백라이트 구조에 비해 단순화된 백라이트 모델에 대한 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과이므로, 보다 엄밀하고 의미 있는 설계기준은 실물에 대한 실험적 검증을 진행하고 시뮬레이션과 실험데이터 사이의 상관성^[10]을 확보함으로써 얻어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 (주)지엘에스의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1. M. Anandan, "LED backlight for LCD/TV monitor: issues that remain," in *Proc. SID '06 Tech. Digest* (San Francisco, USA, May 2006), pp. 1509-1512.
2. A. Mills, "LED backlights poised to penetrate larger liquid crystal displays," *LEDs Magazine* **May/June**, 36-38 (2007).
3. J. S. Ryu, M.-Y. Yu, S.-M. Park, S. J. Kim, and J.-H. Ko, "Initial photometric and spectroscopic characteristics of 55-inch CCFL and LED backlights for LCD-TV applications," accepted for publication in *Journal of the KIIEE*.
4. G. Park, Y. G. Kim, J. H. Yi, J. H. Kwon, J. H. Park, B. G. Kim, B. C. Ahn, and H. S. Soh, "Color mixing characteristics of LED backlight unit," in *Proc. IDW '07 Tech. Digest* (Sapporo, Japan, Dec. 2007), pp. 643-646.
5. Y. G. Kim, G. Park, and J. H. Kwon, "Removal of bright spots and color mixing characteristics of side-lit LED backlight," in *Proc. OSK Summer Meeting* (Phoenixpark Hotel, Korea, Jul. 2008), pp. 443-444.
6. Y. H. Ju, J.-H. Park, J. H. Lee, J.-Y. Lee, K.-B. Nahm, J.-H. Ko, and J. H. Kim, "Study on the simulation model for the optimization of optical structures of edge-lit backlight for LCD applications," *J. Opt. Soc. Korea* **12**, 25-30 (2008).
7. J. H. Lee, Y. H. Ju, J.-H. Park, J.-Y. Lee, K.-B. Nahm, J.-H. Ko, and J. H. Kim, "Optical simulation study on the effect of reflecting properties of reflection films on the performances of collimating films for the LCD backlight applications," *Journal of Information Display* **9**, 26-32 (2008).
8. J. S. Ryu, M.-Y. Yu, S.-M. Park, S. J. Kim, and J.-H. Ko, "Study on the correlation between the optical performance of the reflective polarizer and the structure of the backlight for large-size LCD applications," *New Physics : Sae Mulli* **60**, 56-62 (2010).
9. B. H. Hong, "Introduction to the analysis and the method of the luminance improvement characteristics of the inverse-prism sheet," *Information Display* **10**, 26-33 (2010).
10. J.-H. Park, J. H. Lee, J. H. Jeong, K.-B. Nahm, and J.-H. Ko, "Optical simulation study on the performances of collimating films for LCD backlight applications," *Hankook Kwanghak Hoeji (Korean J. Opt. Photon.)* **18**, 432-440 (2007).