엣지형 LED 백라이트의 조도 균일도 향상을 위한 도광판 설계에 관한 연구

(Study on the Simulation Model of Edge-lit Backlight for Improving Illuminance Uniformity)

박지희[1] · 이정호*[1] · 남기봉[1] · 고재현[1#] · 김중현[2]
(Ji-Hee Park · Jung Ho Lee · Kie0-Bong Nahm · Jae-Hyeon Ko · Joong Hyun Kim)

(1 한림대학교 전자물리학과, 2 삼성전자 AMLCD)

Abstract

The optical structure of edge-lit LED backlight has been optimized via simulation study in order to remove bright spots appearing on the entrance region of the light guide plate (LGP) and thus to improve the luminance uniformity. The density of scattering dots located on the back surface of LGP was adjusted according to the location of LED's. In addition, lenticular lenses or a diffuse transmissive surface were formed on the side surface of LGP facing the LED's, and the density of lenticular lenses was optimized for redistributing rays emitted from LED's into wider angles. The bright spots which could be seen from conventional LED backlight were removed by the combination of these two optical structures. The application of diffuse surface to the entrance face gave better uniformity than the application of lenticular lenses. However, dark regions still appear on the entrance region of LGP, which should be removed by more appropriate optical design for achieving better luminance uniformity on the LED backlight.

1. 서 론

최근 평판형 디스플레이(flat panel display, FPD) 시장은 액정 표지 장치(lquid crystal display, LCD)가 주도하고 있다. Backlight unit(BLU)은 비자발광 디스플레이중의 하나인 Liquid Crystal Display(LCD)의 광원 장치로 사용된다. BLU에서 발생된 빛이 LCD 패널을 만나게 되면 화소(pixel)별로 투과도가 결정되고 칼라 필터를 통해 색이 분리됨으로써 우리가 보는 영상정보가 만들어지는 것이다. 이처럼 BLU는 LCD화질을 형성하는데 있어서 매우 중요한 역할을 하고 있는 핵심 부품이라고 할 수 있겠다. BLU의 광원으로는 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp) 및 EEFL(External Electrode Fluorescent Lamps)과 같은 형광등 방식이 가장 광범위하게 사용되고 있지만 최근에는 LED(light emitting diode)가 새로운 광원으로 많이 적용되고 있다[1-2]. LED가 사용된 BLU도 후면에서 빛을 직접 전달하는 직하형(direct-lit) 방식과 도광판(light guide plate, LGP) 옆면에서 빛을 공급해주는 엣지형(edge-lit) 방식으로 구분된다. 엣지형 방식에 LED를 적용할 경우 두께를 줄이는데 있어서 뚜렷한 장점이 있는 반면 직하형 방식은 LCD의 화질을 개선하는데 있어서 유리하다. 하지만 LED는 점광원에 가깝기 때문에 BLU 상에 휘점(bright spots)이나 색불균성 등이 생기는 단점이 있다[3-4]. 이러한 단점을 줄이기 위해 다양한 광학적 최적화과정이 요구된다. 본 연구에서

는 광선추적기법(ray tracing technique)[5]을 이용하여 LED에 의한 휘점을 줄여 백라이트의 조도균일도를 향상시킬 수 있는 LGP를 디자인해 보았다. 이를 일반적으로 사용되는 엣지형 CCFL 백라이트의 조도균일도와 비교하였다.

2. 본 론

2.1. 시뮬레이션 조건

엣지형 도광판의 설계와 분석을 위해 광 추적기법을 사용하는 소프트웨어인 ASAP(Advanced System Analysis Program, Breault Research Org.)[6]을 사용하였다. LED 에서 방출되는 가시광선의 파장은 550nm의 단일 파장으로 결정하였고 전체 ray 수는 약 300,000개 이상으로 하였다. LGP의 면적은 33×39mm^{2}이고 두께는 2mm이다. LGP의 굴절률은 일반적인 PMMA(Polymethyl methacrylate)의 굴절률인 1.49로 설정하였고 LGP 아래에 위치해 있는 반사판의 반사율은 100%로 설정하였다. 광원으로는 3개의 백색 LED(NSCW 215T, Nichia co., ltd)가 LGP의 입광면과 0.5mm 떨어져서 위치하도록 설정하였다. 비교를 위해, LED의 자리에 CCFL을 배치한 후 동일한 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. LGP 내부에서의 내부 전반사(Total Internal Reflection) 조건을 깨뜨리기 위해 도광판 하면에 확산 도트를 위치 시켰고 균일도를 향상시키기 위해서 그림 1과 같이 광원과의 거리에 따라 밀도 조절을 하였다.

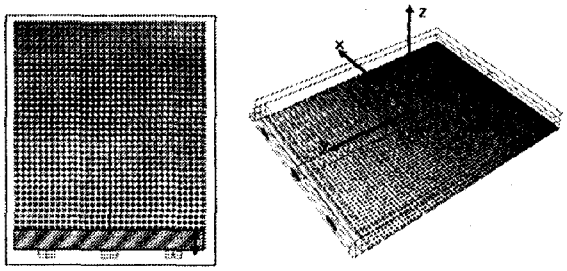
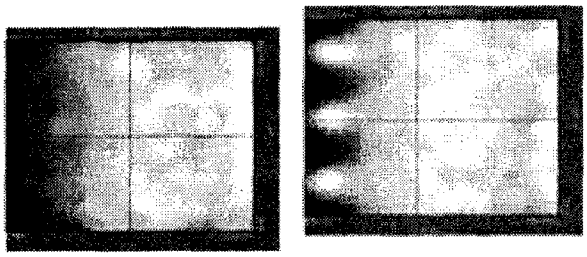


그림 1. 시뮬레이션으로 구현한 도광판의 도트 패턴 디자인

Fig. 1 A dot pattern design of the light guide plate studied by simulation

패턴 밀도를 증가시키는 방법에는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 패턴 사이의 거리를 일정하게 유지하면서 패턴의 크기를 증가시키는 방법을 사용하였다. 구체적으로는 램프 반대편 끝의 도트패턴을 반지름 0.1mm의 원으로 하고 램프 쪽 끝의 도트패턴의 크기를 정하고 그 사이를 비례적으로 증가시키게 모델링 하였다. 도트패턴의 산란성격은 specular 반사성격을 포함하는 Toray사의 E60L의 산란함수모델을 적용하여 시뮬레이션 하였다.

2.2 결과 및 논의

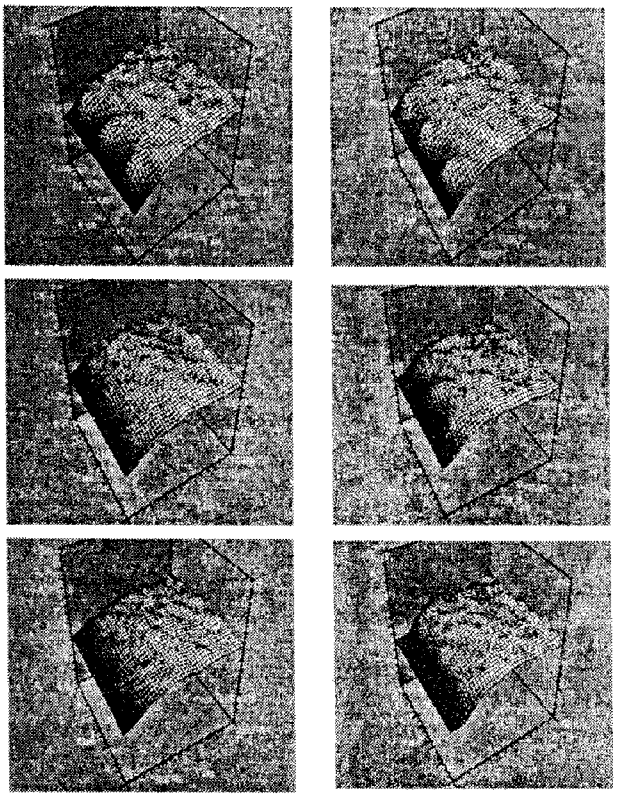


(a) (b)

그림 2. (a) CCFL, (b) LED를 광원으로 적용한 경우 도광판 위에서의 조도 분포

Fig. 2 The illuminance distribution on the LGP for (a) CCFL and (b) LED backlights.

그림 2 (a), (b)는 각각 CCFL, LED를 광원으로 적용한 경우 도광판 위에서의 조도 분포이다. 그림 2 (b)를 보면 LED로 인해 형성된 휘점을 관찰할 수 있다. 이것을 제거하기 위하여 LGP의 광원 부분에 인접한 도광판의 밑면에 DASD(density-adjust scattering dots)와 RGP(rectangular grating pattern)를 각각 설계하였고 이러한 디자인이 적용된 넓이(w)를 2mm에서 6mm 까지 변화시키면서 조도균일도를 관찰한 결과가 그림 3에 제시되었다. 그림 3은 dot 패턴과 grating 패턴이 적용된 w의 변화에 따른 조도 분포이다. 그림 2 (b)와 비교해 보았을 때 휘점이 상대적으로 줄어든 모습을 볼 수 있다. w 가 커짐에 따라 휘점은 점점 줄어들지만 입광면에 위치한 암부의 면적도 넓어져서 휘도균일도와 강한 상관성을 가지고 있는 조도균일도가 충분히 개선되지 않음을 알 수 있다.

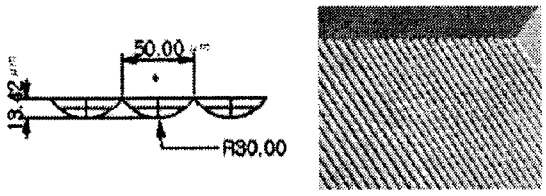


(a) (b)

그림 3. (a) DASD, (b) RGP가 도광판 밑면에 적용되었을 때, 적용된 면적의 폭(w)의 함수로 본 조도 균일도. w는 위에서부터 아래로 2, 4, 6 mm임.

Fig. 3 The 3-dimensional illuminance distributions of (a) dot-patterned (DASD) and (b) grating-patterned (RGO) LGP's at three w values. w are 2, 4, 6 mm from top to bottom.

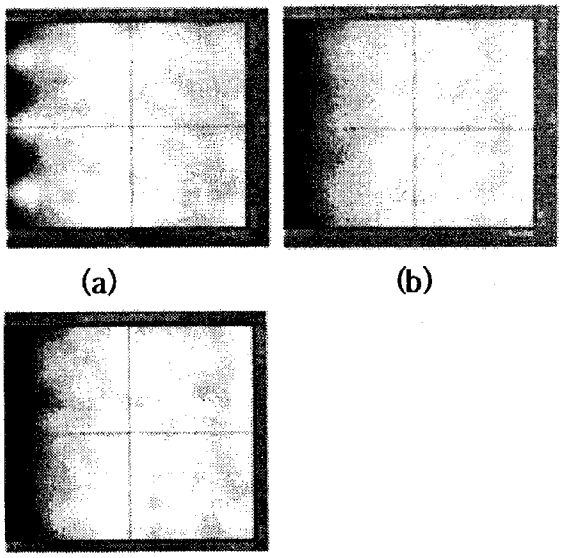
휘점을 줄이기 위한 또 다른 방법으로 LGP 입광면에 lenticular 렌즈의 밀도를 조절하여 배열하는 방법(LLA, lenticular lens array)을 시도하였는데 이 렌즈의 기하학적 형상은 그림 4에 제시되어 있고, 그에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 5 (a)에 나타나 있다. 이것을 그림 2 (b)와 비교하면 휘점이 다소 사라진 결과를 알 수 있고, 이 디자인을 DASD(w=4mm)의 결과와 조합하여 시뮬레이션한 결과가 그림 5(b)에 나타나 있다. 그림 5(c)는 입광면에 렌즈 대신에 확산면 처리만 하고 DASD(w=4mm)를 적용 시켰을 때의 시뮬레이션 결과이다. 이 경우는 휘점은 제거된 모습이지만 LED가 없는 영역이 더 밝게 관찰되었다.



(a) (b)

그림 4. 도광판 입광면에 형성된 lenticular lens의 (a)단면도 및 (b) 3차원 형상

Fig. 4 (a) The cross-sections with corresponding dimensions and (b) the 3-dimensional drawing of the lenticular lens array (LLA) which was applied to the side entrance surface of LGP facing the LED's.



(a) (b)

(c)

그림 5. (a)밀도 조절된 LLA, (b) DASD+LLA, (c) LLA+확산면이 각각 적용된 경우의 도광판 위 조도 분포

Fig. 5 The illuminance distribution on the LGP for (a)density-adjusted LLA, (b) DASD+LLA, (c) LLA+diffuse side surface

그림 6는 일반적인 CCFL BLU와 최적화된 LED BLU (그림 5(b), (c))의 평균 조도를 광원으로부터의 거리(Y)의 함수로 나타낸 것이다.

본 연구를 통해 최적화된 LED BLU는 LED에 의한 휘점을 제거하는 데 있어서는 효과적이나 일반적인 CCFL에 비해 입광부의 암부가 넓게 관찰되어 조도균일도 측면에서 불리하다는 점을 알 수 있다.

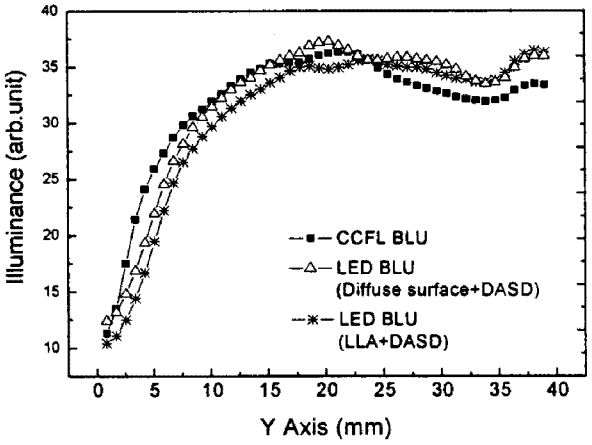


그림 6. CCFL 및 "DASD+LLA"와 "DASD+(diffuse surface)" 디자인이 각각 적용된 경우 입광면으로부터의 거리의 함수로 조사된 도광판 위에서의 조도 분포

Fig. 6 The dependence of the illuminance on the LGP as a function of Y for the conventional CCFL BLU and the optimized LED BLU to which the two combinations of "DASD+LLA" and "DASD+(diffuse surface)" were applied.

3. 결 론

본 연구에서는 광추적 소프트웨어를 사용하여 LGP위에서의 휘점을 제거하여 조도균일도를 향상시킬 수 있는 도광판의 광학적 구조를 조사하고 최적화를 시도하였다. 도광판의 입광면에 접해 있는 밑면에 DASD와 RGP를 각각 적용하였을 경우에는 DASD가 균일도 측면에서 더 유리하게 작용 하였으나 각 디자인이 적용된 밑면의 면적의 폭인 w에 비례하여 암부가 형성되었다. DASD(w=4mm)를 도광판 밑면에 적용하고 디자인 입광면에 LLA배열 또는 확산 면처리를 한 경우 조도균일도는 높아졌지만 입광면 부근의 어두운 영역을 완전히 제거할 수는 없었다. 엣지형 LED BLU에서 도광판 위에서의 조도균일도는 LCD의 휘도균일도와 직접적인 상관성을 가지는 중요한 요인이고 이를 위해서는 LED에 의해 발생하는 휘점을 효과적으로 제거하여야 한다. 본 연구는 도광판의 입광면에 매우 가깝게 근접해 있는 LED에 의해 발생하는 휘점으로 인해 생기는 낮은 조도균일도를 CCFL과 동등한 수준으로 개선하는 것은 매우 어렵다는 것을 보여주고 있다. 이를 개선하기 위해서는 LED와 입광면 사이의 거리를 최적화하는 등 추가적인 광학적 디자인이 중요할 것이다. 이에 대한 추가적인 연구 결과는 후속하는 논문에서 발표할 예정이다.

Corresponding author: 고 재 현
(hwangko@hallym.ac.kr)

참 고 문 헌

[1] Jae-Hyeon Ko, "Recent Research Trends in the Development of New Light Sources for the Backlight Unit of Liquid Crystal Display", Asian J. Phys., Vol.14 (No 3/4), pp.231-237, 2005.
[2] M. Anandan, "LED Backlight for LCD/TV Monitor: Issues that Remain", SID'06 Tech. Digest, pp.1509-1512, 2006.
[3] I. Kim, and K. Chung, "Wide Color Gamut Backlight from Three-band White LED", J. Opt. Soc. Korea, Vol.11, pp.67-70, 2007.
[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", IDW'07 Tech. Digest, pp.643-646, 2007, and references therein.
[5] 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, Vol.12, pp.25-30, 2008.
[6] Breault Research Organization, "The ASAP Primer", pp.13-234~13-256, 2006.