

LCD 에지형 백라이트 광학계의 휘도집광 효율 향상에 관한 연구

주병윤¹, 홍주표[#]

Improvement of on-axis luminance by optimization of edge-lit backlight optic

Byung-Yun Joo, Joo-Pyo Hong

Abstract

This paper dealt with the design guide of the conventional edge-lit backlight optic with which the on-axis luminance could be increased by trying to improve the light condensing efficiency of a bright enhancement film (BEF). First, the general design guide concerned with the backlight optic was proposed, and then its validness was experimentally proved by conducting design examples with haze controls of both diffuse film and microdot material printed on the backside of the light guide plate. Experimental results showed that the variation range of the on-axis luminance by the present approach was about 5~9%, which would be by no means negligible in the practical application.

Key Words : liquid crystal display, edge-lit backlight, BEF, diffuse film, light guide plate, ink

1. 서론

LCD 패널의 최근 기술 동향은 박형화, 경량화, 저소비전력화, 저가격화의 실현이다. 이들 중 저소비전력화는 세계경제에서 요구되는 에너지 절감 기술과 관련 있으며 LCD 제품에서 백라이트의 전력소비량을 줄이기 위해 백라이트에 사용되는 램프 수를 감소하면서 정면휘도는 유지시키는 저소비전력기술이 활발히 개발되고 있다. 예를 들어 전통적인 LCD 모니터 백라이트는 4개의 CCFL과 도광판, 반사필름, 확산필름, 휘도향상필름(BEF)으로 이루어진 광학계[1,2]를 사용하지만 저소비전력화를 위해 LCD 패널 제조업체들은 최근들어 램프 수를 2개로 줄이고 부족한 휘도를 보상하기 위해 고가의 DBEFD[3]를 BEF 위에 추가하고 있으며 부가적인 휘도 향상 해법을 찾고 있는 실정이다. 본 연구에서는 전통적인 엣지형 백라이트 광학계 집광효율 최적화를 통해 휘도 향상을 도모하였다. 이를 위해 백라이트 광학계의

휘도 집광 원리에 대한 이해를 바탕으로 광학계 최적화 방안을 제안하였고 확산시트와 도광판 인쇄 잉크의 확산광특성 최적화 설계 예제를 통해 제안된 최적화 방안을 검증하였다. 또한 실험결과를 통해 백라이트 광학계 최적 설계와 관련된 정면 휘도 증가 범위는 5~9%임을 입증하였다.

2. BEF의 집광 효율 향상을 위한 접근법

그림 1에서 볼 수 있듯이 백라이트 광학계의 집광원리는 도광판, 확산필름, BEF에서 출광되는 광프로파일들의 일련의 변화로 이해될 수 있다. 백라이트 광학계의 집광효율은 BEF의 집광효율과 밀접한 관련이 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 BEF의 상부 프리즘 구조는 사입사된 광을 정면 방향으로 굴절시킨다. 이때, 정면휘도에 가장 기여가 큰 이상 입사각 $\theta_{in, on-axis, ideal}$ 은 식(1)에 의해 구할 수 있다. 여기서 $N_{ref, BEF}$ 는 BEF 프리즘의 굴절율이다.

1. 한국기술교육대학교 기계정보공학부

#. 한국기술교육대학교 디자인공학과, joopyo@kut.ac.kr

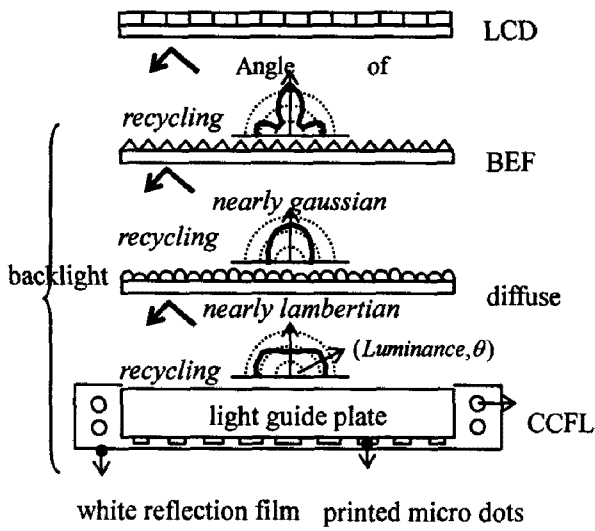


Fig. 1 Schematic of light condensation of edge-lit backlight

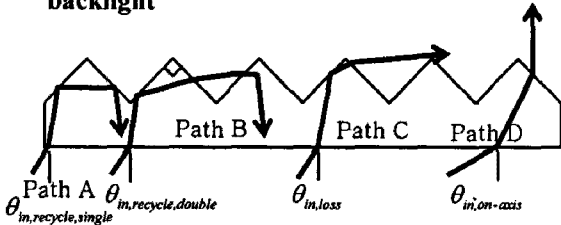


Fig. 2 Function of BEF [3]

$$\theta_{in,on-axis,ideal} = \sin^{-1} \left(N_{re\sin,BEF} \sin \left(\frac{\pi}{4} - \sin^{-1} \frac{\sin(\pi/4)}{N_{re\sin,BEF}} \right) \right) \quad (1)$$

또한 BEF 프리즘은 수직으로 들어온 광을 백라이트 하면으로 리사이클링 시켜, 반사필름에 의한 반사에 의해 되돌아온 광 일부를 굴절시킨다. 만일 BEF 하면으로 모든 각도에서 광이 입사될 때, BEF는 입사광의 37% 만을 굴절시키고 (path D), 46%의 광은 전반사에 의해 (path A), 12%의 광은 더블 프리즘 구조에 의해 (path B) 리사이클링되며, 5%의 광은 손실광이 된다 (path C) [3]. 따라서 BEF에 의해 집광되는 광은 집적 굴절광과 리사이클링 후의 간접 굴절광의 합으로 표현 가능하며 일반적으로 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{on-axis} = \int \eta(\varphi, \theta) dI(\varphi, \theta) = \Phi_{total} \int \eta(\varphi, \theta) \frac{dI(\varphi, \theta)}{\Phi_{total}} \quad (2)$$

여기서 Φ_{total} 는 확산필름에서 출광되는 광속이며 $I(\varphi, \theta)$ 은 azimuth angle φ 와 polar angle θ 에 의해 정의되는 광도, $\eta(\varphi, \theta)$ 는 BEF 프리즘의 $\delta I(\varphi, \theta)$ 에 대한 $\delta I_{on-axis}$ 로의 변환효율이다. 식(2)는 정면휘도를 증가시키기 위해 $\eta(\varphi, \theta)$ 의 값이 큰 방향으로 확산시트의 출사광 프로파일을 형성시켜주는 것이 중요함을 의미한다. 식(2)의 두번째 항 $I(\varphi, \theta)/\Phi_{total}$ 은 출광 프로파일의 형상을 표현할 수 있는 광프로파일의 형상계수이다. 예를들어 BEF 프리즘 어레이의 수평방향의 입사광을 무시하여 식(2)를 (3)과 같이 근사화하고 그림 3에서 예시되어 있는 확산시트상의 세가지 출광 프로파일들을 비교해보면 $\tilde{I}_{direct,A} > \tilde{I}_{direct,B} > \tilde{I}_{direct,C}$, $\tilde{I}_{indirect,A} < \tilde{I}_{indirect,B} < \tilde{I}_{indirect,C}$ 이므로 $I_{on-axis,A} \neq I_{on-axis,B} \neq I_{on-axis,C}$ 이된다. 즉, 확산시트의 출광 프로파일 형태를 잘 조절하면 정면휘도를 최적화할 수 있게 된다. 이는 확산시트와 도광판에서 광을 출광시키기 위해 인쇄되어 있는 미세 도트 재료의 확산성을 조절하여 구현 가능하다.

$$I_{on-axis} \approx \Phi_{total} \left(\eta_{direct} \frac{I_{direct}}{\Phi_{total}} + w_{indirect} \frac{I_{indirect}}{\Phi_{total}} \right) \quad (3)$$

$$= \Phi_{total} \left(\eta_{direct} \tilde{I}_{direct} + w_{indirect} \tilde{I}_{indirect} \right)$$

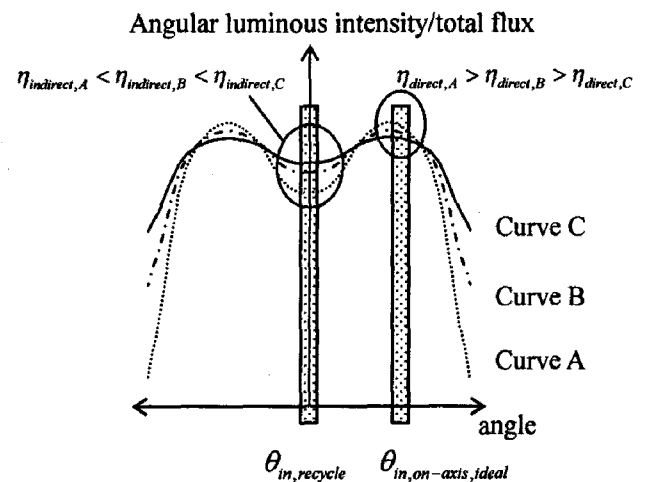


Fig. 3 Characteristic curves representing shape factors of emerged from diffuse film at the center of backlight

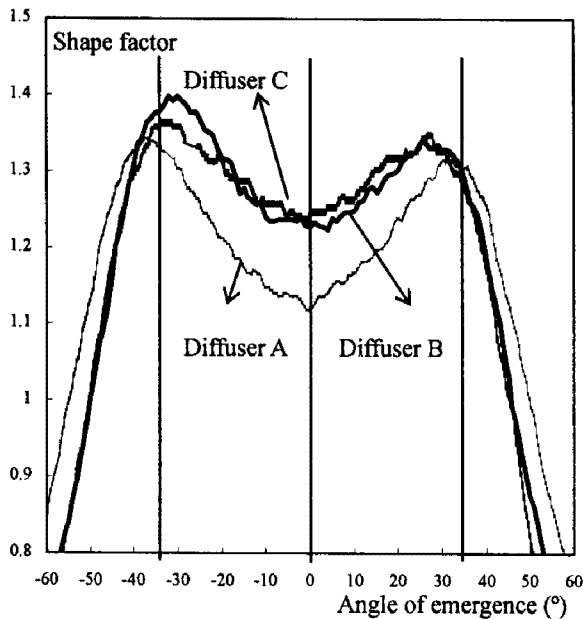


Fig. 4 Angular luminance of light emerged from diffuse film with different haze at the center of backlight

Table 1 Experimental conditions and results of haze control of diffuse film

Diffuse film			
Maker (Shinwha)	Diffuser A (SD771)	Diffuser B (SD763)	Diffuser C (SD733)
Haze	93.95	94.36	96.19
Relative average on-axis luminance results			
Combination of backlight optic (21.5")	BEF (Refractive index = 1.66) Maker : 3M, Grade : BEFII-G2		
	Diffuser A	Diffuser B	Diffuser C
	Light guide plate		
	Ink A (See Table 2)		
On-axis Lum	97.3%	100.0%	98.0%
Shape factors at the center (light guide plate + diffuser)			
\tilde{I}_{-34}	1.33	1.37	1.35
\tilde{I}_0	1.11	1.22	1.23
\tilde{I}_{+34}	1.30	1.30	1.28

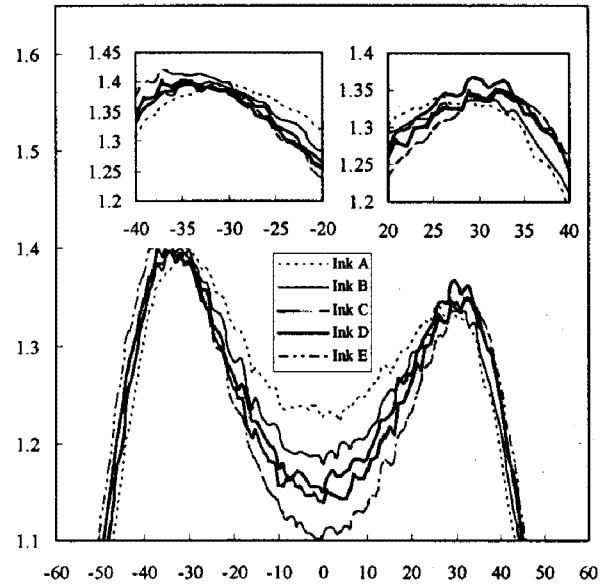


Fig. 5 Angular luminance of light emerged from diffuse film with different haze at the center of backlight

3. 설계예제

2절에서 제안된 BEF의 집광 효율 향상을 위한 접근법의 유용성을 검증하기 위해 3종의 다른 H_z를 갖는 확산시트를 이용하여 출광프로파일의 형상 계수 측정 및 정면휘도를 관찰하였다. 출광프로파일은 EZ-contrast에 의해 측정하였고 정면휘도는 BM7에 의해 측정하였다. 백라이트는 21.5" 모니터 백라이트를 이용하였으며 실험조건은 표1과 같다. 굴절율 1.66을 갖는 BEF의 이상 입사각은 식(1)에 의해 34도이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 3종의 확산시트는 유사하지만 다른 출광프로파일을 만들었으며 정면휘도는 2% 내외의 차이를 보였다. 표1의 형상계수를 보면 Diffuser B가 가장 휘도가 높았으며 Diffuser A는 B에 비해 리사이클링이 일어나는 0도 부근 입사각의 광량이 작았으며, Diffuser C는 B에 비해 이상 입사각 34도에서의 광량이 부족하여 정면휘도가 열세인 것으로 판단된다.

도광판 인쇄 잉크의 확산성을 조절하기 위해 5종의 잉크를 제작하였고 잉크 확산제는 표2에 보여진다. 잉크 바인더로 acrylic 레진을 사용하였

고 5종의 잉크가 각각 인쇄된 5종의 도광판이 준비되었으며 현대의 백라이트에 각각의 도광판을 번갈아 놓고 광측정을 수행하였다. 확산시트로는 표1에서 가장 휘도가 우수하였던 Diffuser B를 사용하였다. 도광판 미세 도트 패턴[4]을 제작하여 인쇄를 수행하였다. 9pt 광균일도 측정 결과 80% 이상이 만족되었다. 도광판 하면에 인쇄되어 있는 미세 도트에 의한 출광 프로파일 및 광균일도는 인쇄 잉크에 포함되어있는 확산비드의 크기, 종류, 형상, 농도등에 의해 영향을 받고 따라서 확산시트에서의 출광프로파일에 영향을 준다. 표3에서 볼 수 있듯이 잉크 B, C는 잉크 A 대비 5~6%의 정면휘도 상승시킴을 알 수 있다. BEF의 이상 입사각 34도에서의 잉크 B, C의 형상계수는 잉크 A에 비해 다소 크고 0도에서의 형상계수는 다소 작다. 잉크 D, E는 잉크 A에 비해 정면휘도는 상승하지만 상승폭은 B, C에 비해 작으며 이는 리사이클링 양이 B, C에 비해 적기때문으로 사료된다. 5종의 잉크 중 A의에 의한 정면 출광성분이 가장 높은 것으로 보아 A의 확산성이 가장 큰것으로 여기지며 이는 잉크 비드 입자의 크기와 농도가 가장 크기 때문이다. 반면 잉크 B, C, D, E는 A보다 확산성이 떨어지고 따라서 확산시트상에서 사출광되는 광량이 많다고 여겨진다.

Table 3 On-axis luminance variation with haze control of ink material

Backlight : 21.5"							
Light guide plate	Diff. B + BEF Rel. avg. lum(%)	diffuser B					
		Shape factors at the entrance point			Shape factors at the center point		
		\bar{I}_{-34}	\bar{I}_{+34}	\bar{I}_0	\bar{I}_{-34}	\bar{I}_{+34}	\bar{I}_0
Ink A	100.0	1.11	1.57	1.24	1.37	1.30	1.22
Ink B	106.3	1.13	1.59	1.20	1.40	1.32	1.18
Ink C	105.2	1.13	1.59	1.17	1.40	1.37	1.14
Ink D	103.6	1.11	1.60	1.17	1.40	1.34	1.16
Ink E	102.6	1.17	1.57	1.13	1.42	1.34	1.10

4. 결론

LCD백라이트의 정면휘도 상승을 위한 백라이트 광학계 최적화 방안을 제안하였고 확산시트와 도광판 미세 패턴 잉크의 확산성을 조절하여 이를 구현할 수 있음을 보였다. 실험결과를 통해 백라이트 광학계 최적 설계와 관련된 정면 휘도 상대 변화 폭은 5~9% 임을 보였다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지원 하에 지식경제 기술혁신사업(과제명: 대면적 복합 광기능부품 정밀 R-I/C molding 기술개발(Project No. 10033710)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S. K. Lim, 2006, LCD backlights and light sources, Proc. Of ASID'06, 8-12 Oct. New Delhi, pp. 160-162
- [2] M. Tjahjadi et al, 2006, Advances in LCD backlight film and plate technology, Information Display, Vol 10, No. 06, pp. 22-27
- [3] http://solution.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Vikuiti/1/BrandProducts/secondary/optics101/
- [4] J. Chang et al., 2007, Dot-pattern design of a light guide in an edge-lit backlight using regional partition approach, 2007, Optical Engineering, Vol 46, 043002

Table 2 Material composition for haze control of ink

	Bead maker	Bead material	particle size	Concentration
Ink A	Sunjin Chem.	Amorphous SiO2	12 um	20 %
Ink B	Sunjin Chem.	Amorphous SiO2	5.5 um	8.0 %
Ink C	Sunjin Chem.	Amorphous SiO2	6.0 um	8.0 %
Ink D	Toyobo	Amorphous SiO2	5.0 um	5.0 %
Ink E	Toyobo	Amorphous SiO2	12 um	8.0 %