

Improvement of the Side View Image Quality in TN mode LCD with Collimated Back-light

수직출사 후면광에 의한 액정디스플레이 측면 화질 개선

Hwan Young Choi¹

최환영¹

¹ Assistant Professor, Department of Smart Factory Convergence, Korea University of Technology & Education, South Korea, zauber@koreatech.ac.kr

Abstract: This study is about a liquid crystal display (LCD) with a new structure composed of a back-light that provides light emitted vertically and a diffusion film, which has improved wide viewing angle characteristics by reducing the residual liquid crystal phase retardation of light incident at an inclined angle. As a means of providing vertically incident light, it includes the configuration of collimated back-light and the evaluation results of optical performance. The improved LCD using a back-light whose horizontal and vertical half-width angles are calibrated within $\pm 20^\circ$ and $\pm 12^\circ$, respectively, has a contrast ratio of 100: 1 along the horizontal direction, compared to the existing method, and the contrast ratio is extended by more than $\pm 10^\circ$. A large area without gray scale inversion was obtained, which showed contrast performance and improved more than 2 times. In addition, it was confirmed that side image distortion was improved by more than 50% compared to Wide View TN LCD corrected with expensive additional film, and it was confirmed that there is no inferiority in image quality performance and optical characteristics compared to high-end products like as PVA mode LCD. Based on the above research results, it is expected that it will be applied to large panels including monitors that require a higher level of side view performance.

Keywords: Light Collimation, Back-light, Gray Scale Inversion, Side View Image

요약: 본 연구는 수직으로 출사 되는 빛을 제공하는 back-light와 확산필름으로 구성된 새로운 구조의 LCD (Liquid Crystal Display)에 관한 것으로 경사각으로 입사하는 빛의 잔류 액정 위상 지연을 감소시켜 넓은 시야 각 특성이 개선된 TN mode LCD (Twisted Nematic Liquid Crystal Display)를 제안한다. 수직입사광을 제공하는 수단으로 collimated Back-light의 구성과 광학 성능 평가 결과를 포함하고 있다. 수평, 수직방향 반치폭각이 각각 $\pm 20^\circ$, $\pm 12^\circ$ 이내로 교정된 back-light를 사용하는 개선된 LCD는 기존 방식과 비교하여 수평 방향을 따라 100: 1의 명암 비로 $\pm 10^\circ$ 이상 확장된 명암 대조 성능을 보여 주며 2배 이상 개선된 계조 반전이 없는 넓은 영역을 확보 하였다. 또한 필름으로 보정되는 Wide View TN LCD에 비해 측면 이미지 왜곡이 50 % 이상 개선됨을 확인 하였고 하이엔드 제품과 비교하여도 화질 성능과 광학적 특성에서 손색이 없음을 확인 하였다. 이상과 같은 연구 결과를 더 높은 수준의 측면 시인 성능이 요구되는 모니터를 포함한 대형 패널에도 확대 적용이 기대된다.

핵심어: 수직 출사, 후면 광, 계조반전, 측면화상

Received: April 10, 2023; 1st Review Result: May 15, 2023; Accepted: July 25, 2023

1. 서론

1.1 연구 배경

액정디스플레이(이하 LCD: Liquid Crystal Display)는 액정의 정렬 방식에 따라 TN(Twisted Nematic) mode, VA (Vertical Alignment) mode, IPS (In Plane Switching) mode 등으로 분류된다. 상대적으로 고화질이 요구되는 텔레비전이나 산업용 모니터의 경우는 VA mode (또는 IPS mode)가 사용되고 노트북 컴퓨터와 같은 중소형 LCD의 경우 높은 투과율, 표준화된 공정 등 제조비용 측면에서의 장점으로 일반적으로 TN mode가 사용되고 있다.

TN mode의 단점으로는 계조표현 측면에서의 비대칭 디렉터 왜곡으로 인해 제한된 시야각을 나타내고 있어 TN 모드의 좁은 시야 각 특성을 개선하기 위한 몇 가지 방법들이 제안 되었다. 그 중에 별도의 광학 보상 필름을 부착하여 어두운 상태에서 잔류 위상차를 제거하는 방식으로 제안된 기술이 Wide View TN LCD (이하 WV-TN LCD) 라는 이름으로 상용화 되었다[1]. 광학 보상 필름(광시야 각 필름)은 discotic 액정을 기반으로 하여 대각선 각도에서 TN LCD 패널의 명암 비(CR: Contrast Ratio)를 향상시키고, 특히 수직 반전의 문제뿐만 아니라 수직 방향으로 주로 나타나는 과도한 밝기 및 어두운 화면을 개선 할 수 있는 것으로 알려져 있다. 다른 연구방식으로는 신호의 밝기(Gray Level)와 화면상에 나타나는 영상의 휘도 간 상관 관계를 결정하는 수치인 감마(γ)의 왜곡을 줄이는 방식으로 제안된 연구도 있다[2].

본 연구는 TN mode LCD에서 제한된 시야각이 발생하는 원인에 대한 본원적인 대책으로 광원의 지향성을 향상하여 고가의 광학 보상 필름을 사용하지 않고도 모든 시야 방향에서 향상된 이미지 품질과 계조 반전이 발생하지 않도록 하는 것이다. 즉 기존의 TN mode LCD와는 구조를 다르게 제안한 새로운 방식에 대한 것으로 광원의 지향성을 개선한 back-light에 대한 설계와 시제품 제작을 통하여 측면 화질과 광학적 특성을 TN mode LCD와 보상필름이 사용된 WV-TN LCD, 그리고 하이엔드 제품에 해당하는 PVA mode LCD와 비교하고자 한다.

2. 설계와 제작

2.1 작동원리

액정의 복굴절율을 이용하여 각 화소에 투과되는 빛의 양을 조절하여 계조를 표현하는 LCD의 위상차는 (1)번 식으로 표현된다.

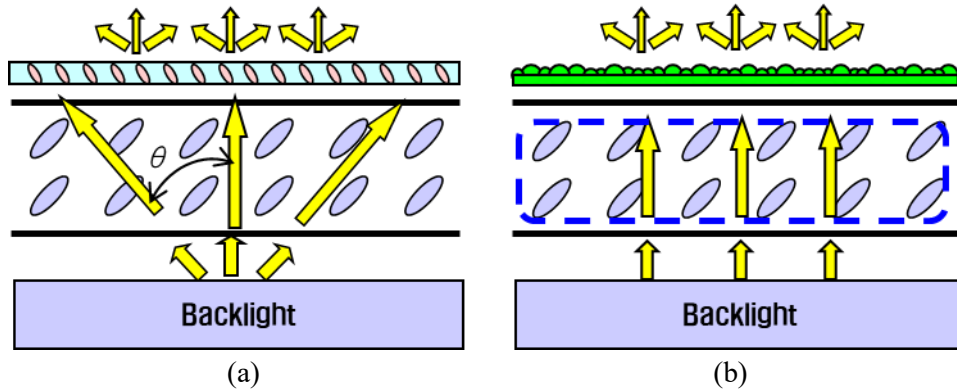
$$\phi = \delta_n \cdot d + \Gamma(\theta) - C(\theta) \quad (1)$$

여기에서 δ_n 은 액정의 방향에 따른 굴절율 차이, d 는 액정층의 두께로 수직 방향에서의 액정 자체의 위상차는 (1)식의 첫번째 항과 같이 두변수의 곱으로 결정된다.

$$\Gamma(\theta) = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^d [n_e(\theta) - n_o(\theta)] dz \quad (2)$$

(1)번 식의 두 번째 항인 $\Gamma(\theta)$ 는 입사각 θ 에 따른 위상 차로 (2)번 식과 같이 표현되고

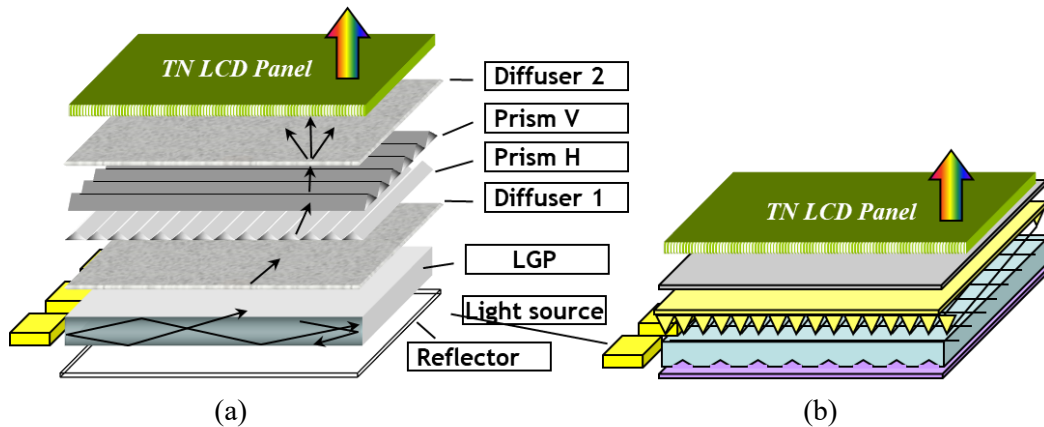
[그림 1] (a)에서와 같이 수직으로 진행되는 빛과 사선으로 입사하는 빛의 서로 다른 각 분포가 종래의 TN mode LCD에서 열악한 측면 시인성을 보이는 주요 원인이 된다. 따라서 종래의 TN mode LCD에서는 (1)번 식에서의 세 번째 항인 $C(\theta)$ 에 해당하는 별도의 광학 보상 필름을 사용하여 $\Gamma(\theta)$ 로 발생하는 불필요한 위상 차이를 줄이고 있으나 원가 상승의 요인이 되고 전체의 휘도를 감소시키는 역기능 때문에 본원적인 대책으로는 미흡하다.



[그림 1] 기존방식(a)과 제안방식(b) 작동원리

[Fig. 1] Working Principle of Conventional (a) and Proposed LCD (b)

[그림 1] (b)와 같이 Backlight로부터 수직 광이 출사 된다면 $\theta=0$ 로 모든 액정에 동일 조건의 빛이 입사 하게 되므로 불필요한 위상 차이를 제거 할 수 있고 액정을 통과한 빛은 상대적으로 저가인 확산 필름을 통하여 화상이 시인 된다.



[그림 2] 기존방식(a)과 제안방식(b) 개략도

[Fig. 2] Schematic Diagram of Conventional (a) and Proposed Back-light (b)

2.2 수직출사 back-light 구성

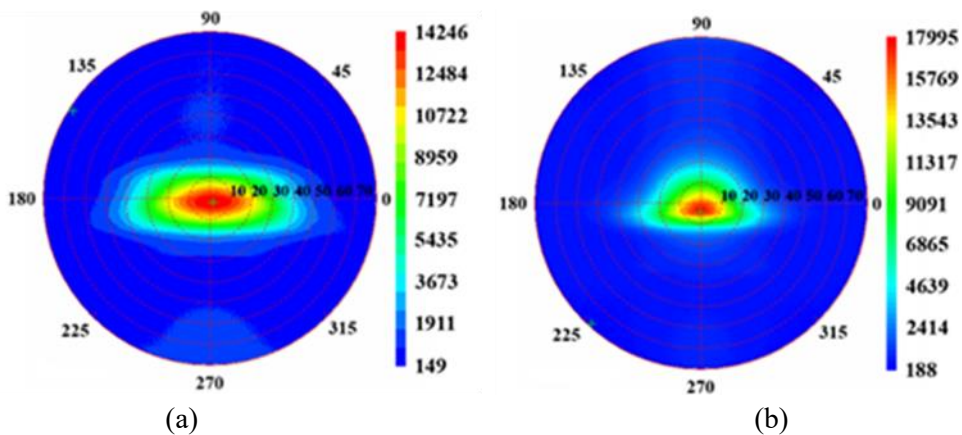
[그림 2] (a) 는 일반적으로 사용되는 back-light 구성 개략 도로 액정 패널에 빛을 공급하기 광원에 해당하는 다수의 LED, 도광판(light guide plate)와 삼각형이 정방향으로

안치된 2장의 프리즘 시트와 디퓨저등으로 되어 있고 휘도와 휘도 균일성을 개선하기 위해 다양한 설계 방식과 구성이 연구되고 있다[3-8]. [그림 2] (b)는 수직광이 출사 되도록 고안된 Backlight 개략도로 도광판과 역방향으로 배치된 light redirection film (역 프리즘 시트) 으로 구성된다. [그림 2] (a)와 같이 광원에서 방출 된 빛은 전체 내부 반사 (TIR)에 의해 [그림 2] (b)에서도 도광판을 따라 안내되며 일부는 수직에 대해 매우 큰 각도(거의 수평)로 도광판을 빠져 나오게 된다. 이 빛은 도광판 상면에 위치한 프리즘 구조에서 입사각이 작게 되는 방향으로 교정이 된 후 역방향 프리즘시트를 통과하면서 수직방향의 빛으로 변환 된다.

[그림 2] (b) 에 도시 된 바와 같이 하단의 블레이드 형상은 블레이드 칩 각이 x축과 평행한 상태로 가공되어 있는데 이는 도광판 내부의 전반사 조건을 방해하여 빛을 추출하는 수단으로 사용되고 최 상단의 역방향 프리즘과 조합으로 y축에 수직한 빛이 되도록 교정한다. 도광판 상단 프리즘의 마루와 계곡은 y 축과 평행한 상태로 배치가 되어 있는데 이는 광원 배열 방향에 대해 수직(x 축에 대해 수직)이 되도록 빛을 교정하는 역할을 한다. 궁극적으로 각각 x축과 y축에 수직한 방향으로 빛을 교정하여 x-y평면에 수직하게 입사되는 광을 제공하는 back-light를 구성한다.

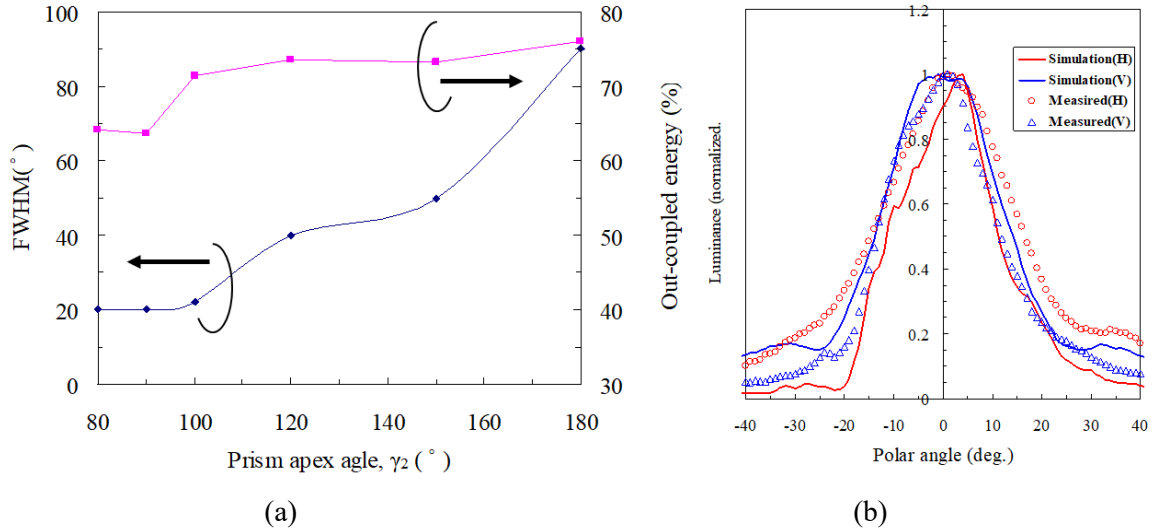
광 전파 방향에 따른 수직 입사 목적을 위해, 마이크로 블레이드 형상을 도광판의 하부에 배치하는 것이 더 효과적이라는 것이 발표되어 있고[9] 최적의 값을 결정하기 위해 수치 시뮬레이션을 통해 블레이드의 기본 각도 α 와 β 및 꼭지점 각 γ_1 을 550nm의 중심 파장에서의 극 각의 함수로 서의 광도와 각도 의존도로부터 구하여 광 전파 방향에 대한 프리즘의 첨단 각 최적 값은 $\alpha = 45^\circ, \beta = 2^\circ$ 및 $\gamma_1 = 133^\circ$ 로 설계되었다.

[그림 3] (a)는 도광판 하단에 생성된 블레이드에 의해 y 축(90° - 270° 방향)에 수직한 방향으로 빛이 교정된 휘도 분포를 보여주는 결과로 반치폭각(HWHM: half width at half maximum)이 $\pm 10^\circ$ 수준으로 교정되어 있음을 알 수 있다. [그림 3] (b)는 도광판 상단에 y축과 평행한 방향으로 프리즘 필름을 추가하여 x축(0° - 180° 방향)에 수직한 방향으로 빛이 교정된 상태를 보여주고 있다. [그림 4]와 같이 출사 되는 광량과 반치폭각이 최적화 되도록 수치해석을 통하여 프리즘 칩 각 $\gamma_2 = 100^\circ$ 으로 결정하였고 최종적으로 제작된 back-light는 수평방향 반치폭각 $\pm 17^\circ$, 수직방향은 $\pm 10^\circ$ 인 광학특성을 보이고 있다.



[그림 3] 수직 광의 휘도 분포 도광판 출사(a)와 프리즘 출사(b)

[Fig. 3] Luminous Intensity Distribution of the Out-coupled Light from Bottom of Light Guide Plate (a) and from the Top Prism Film (b)



[그림 4] 프리즘 첨 각에 따른 반치각(a)과 출사 광량(b)

[Fig. 4] FWHM according to Apex Angle (a) and Out-coupling Light (b)

2.3 시제품 제작

기존 방식과 동일조건에서 비교가 가능하도록 광학 보상필름으로 광시야 각을 확보하고 있는 기존의 대각선 2.3 인치의 TN LCD 패널을 이용하여 배향방향이 135°인 하부 기관과 배향방향이 45°인 상부 기관 사이에 TN 액정을 주입하고 투과 축이 45°인 후방 편광판과 투과 축이 135°인 전방 편광자가 두 기관의 외측에 부착되었다. 기존 방식은 2 개의 편광자에 시판되는 광시야 각 와이드 뷰 필름으로 보상되었다.

수직 출사 back-light를 사용하여 제작된 LCD 패널은 광학보상필름을 제거하고 구형 입자가 투명한 매체에 분산되어 있는 확산 접착제 (DA) 필름을 사용하여 입자와 결합 매체 사이의 인덱스 불일치로 인한 산란이 발생하여 헤이즈 값과 투과율이 90 % 이상이 되도록 하였고 back-light로부터 제공되는 수직광으로 시인 되는 이미지는 TN 액정을 통과하고 있음에도 불구하고 잔류 복굴절이 최소화 되고, 확산 필름에 의하여 보다 균일하게 확산이 된다.

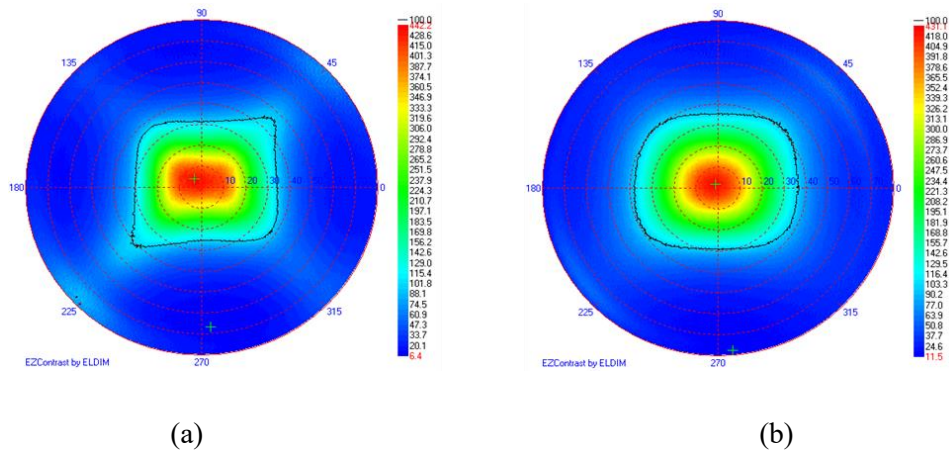
3. 결과 및 토의

[그림 5] (a)와 4 (b)는 각각 종래 방식인 WV-TN LCD와 본 연구에서 제안된 수직 광 입사 방식의 시청 방향에 따른 명암비(contrast ratio)를 비교 측정한 것으로 수평 방향과 수직방향의 명암비를 나타내고 있다. 기존 WV-TN LCD와 비교하여 정면(극 각도 0에서)에서의 명암비 특성과 본질적으로 동일하고 특히 수평방향 명암비 100: 1 지점에서의 시야 각은 $\pm 33^\circ$ 에서 $\pm 46^\circ$ 로 확대 개선 되었음이 확인 되었다. 표 1에서는 고가의 보상필름을 사용하는 TN LCD와 수직 광 입사 방식에 대한 성능 비교로 수직방향의 시야 각 성능은 고가의 보상 필름을 사용한 기존방식 보다도 2배이상 향상됨을 알 수 있고 측면 시야 이미지 왜곡이 감소됨을 알 수 있다.

[그림 6] (a), (b), (C)는 계조 반전에 대한 성능평가를 위하여 0 (G0: 검정)에서 255 (G8:

흰색)까지 9단계로 구분된 레벨 (G0에서 G8까지) 각각에 대하여 LCD 패널에서의 최대휘도와 극각도 영역을 나타내고 있다. [그림 6] (a)와 같이 기존의 TN LCD의 휘도는 좌우 비대칭성을 보이고 있고 붉은색 원으로 표시한 2군데 영역에서 계조 역전이 발생하고 있음을 알 수 있다. 계조 역전은 밝게 보이던 화면이 갑자기 어둡게 보이는 현상으로 -23° 와 $+22^\circ$ 부근에서 발생하고 있다. 이는 정면으로부터 좌우 22~23° 기울어진 측면에서 보이는 화상의 품질 저하로 액정의 위상지연에 의한 현상이다. [그림 5] (b)는 하이엔드 제품에 적용하는 수직 배향 액정을 사용하여 구성된 PVA mode LCD의 그레이 스케일 성능을 보여주는 것으로 완벽한 좌우 대칭성을 보이고 있고 붉은 영역으로 표시한 부분이 $45\sim 50^\circ$ 이후에서 발생하고 있음을 알 수 있다.

[그림 6] (c)에 도시 된 바와 같이 수직광이 제공된 TN LCD의 경우는 약간의 비대칭성을 보이고 있으나 붉은 영역으로 표시한 부분이 $45\sim 50^\circ$ 이후에서 발생하고 있어서 하이엔드 제품에서 볼 수 있는 유사한 성능을 보여주고 있음을 알 수 있다.





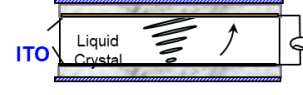
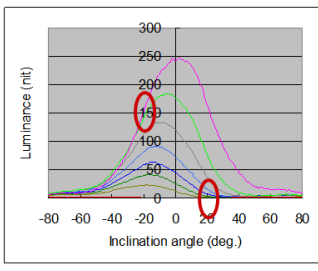
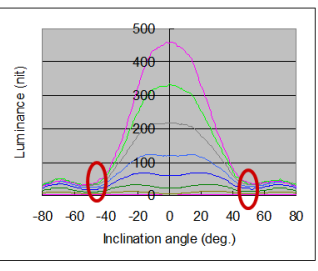
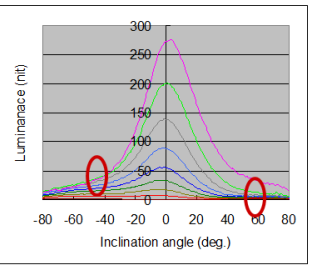
[그림 5] 명암비 성능 비교 WV-TN LCD (a)와 연구결과(b)

[Fig. 5] Contrast Ratio Performance Comparison WV-TN LCD (a) and Research Results (b)

[표 1] WV-TN LCD와 연구결과 성능비교

[Table 1] Performance Comparison between WV-TN LCD and Research Results

비교 항목	WV-TN LCD	TN LCD with collimation
휘도(cd/m ²)	400이상	400이상
수평시야각(°)	60	60
수직시야각(°)	+28 -22	+70 -44
명암비	480:1	480:1

	Conventional TN LCD	High end PVA LCD	TN LCD with light collimation
부품구성	도광판/Diffuser/BEF/BEF-RP	도광판/Diffuser/BEF/BEF-RP	도광판/역프리즘
응답시간	17.8 ms (G-G typ.)	21.7 ms (G-G typ.)	17.8 ms (G-G typ.)
개구율	100%	75~85%	100%
Panel 구성			
Gray Scale			
	(a)	(b)	(c)

[그림 6] 종류별 계조반전 특성 비교 TN LCD (a), PVA (b)와 제안방식(C)

[Fig. 6] Comparison of Gray Scale Inversion Characteristics by Type TN LCD (a), PVA (b) and Proposed Method (C)

4. 결론

TN mode LCD의 단점으로 알려져 있는 측면에서의 휘도 저하 및 계조반전등의 이미지 결함을 종래의 해결 방식인 고가의 광학보상필름을 사용하지 않고 연구에서 제안된 바와 같이 새로운 방식의 후면광 구성으로 이미지 품질 개선이 가능함을 확인하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째는 넓은 시야 각 특성은 경사각에서 잔류 액정 위상 지연의 감소를 통해 2 개의 마이크로 프리즘 어레이를 갖는 도광판을 포함하는 Backlight에서 수직에 가까운 직선광을 액정에 제공함으로써 구현이 가능함을 확인 하였다.

두번째는 블레이드의 기본각과 마이크로 프리즘 어레이의 첨단각의 크기를 최적화하여 수직 출사광이 제공된 TN mode LCD는 하이엔드 제품과 유사한 성능을 보이고 있어 모든 계측 방향에서 그레이 스케일 반전을 줄이고 보다 더 높은 수준의 측면 시인 성능이 요구되는 모니터를 포함한 대형 패널에도 확대 적용이 기대된다.

References

- [1] T. Ito, S. Yasuda, T. Oikawa, Y. Ito, Y. Takahashi, Review of viewing angle compensation of TN-mode LCDs using WV film, SID Symposium Digest of Technical Papers, (2012), Vol.39, No.1, pp.125-128.
DOI: <https://doi.org/10.1889/JSID17.4.377>
- [2] Byung-June Muna, Dong-Eon Lima, Wan Seok Kanga, Young Jin Limb, Seung Hee Leeb and Gi-Dong Leea, A wide-

- view twisted nematic liquid crystal cell with improved image quality obtained by decreasing γ -curve distortion, *Journal of Modern Optics*, (2012), Vol.59, No.14, pp.1204-1208.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09500340.2012.710346>
- [3] HeeKyung Seo, YangSeon Ryu, Joonsoo Choi, Kwang-Soo Hahn, SeongCheol Kim, Optimization Method for the Design of LCD Back-Light Unit, *Journal of Computing Science and Engineering*, (2005), Vol.32, No.3, pp.133-147.
UCI: G704-B00398.2005.32.3.002
- [4] Jeong Ho Lee, Young Hyun Ju and Joong Hyun 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*, (2008), Vol.9, No.1, pp.26-32.
UCI: G704-002168.2008.9.1.004
- [5] Yating Gao, Zhenyue Luo, Ruidong Zhu, Qi Hong, Shin-Tson Wu, Ming-Chun Li, Seok-Lyul Lee, and Wen-Ching Tsai, A High Performance Single-Domain LCD With Wide Luminance Distribution, *Journal of Display Technology*, (2015), Vol.11, No.4, pp.315-324.
DOI: <https://doi.org/10.1109/JDT.2015.2408993>
- [6] Bing-Le Huang and Tai-Liang Guo, Integrated backlight module to provide a collimated and uniform planar light source, *Applied Optics*, (2016), Vol.55, No.26, pp.7307-7313.
DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.55.007307>
- [7] So Hee Park, Eun Seo Choi, Sun Young Ahn, and Yong Jin Shin, Research Trends in Light Guide Plates for LED Backlight Units, *Korean Journal of Optics and Photonics*, (2017), Vol.28, No.6, pp.314-326.
DOI: <https://doi.org/10.3807/KJOP.2017.28.6.314>
- [8] Xin Gao, Xinzhu Sang, Wanlu Zhang, Binbin Yan, Viewing resolution and viewing angle enhanced tabletop 3D light field display based on voxel superimposition and collimated backlight, *Optics Communications*, (2020), Vol.474, 126157.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2020.126157>
- [9] D. Feng, Y. Yan, X. Yang, G. Jin, S. Fan, Novel integrated light-guide plates for liquid crystal display backlight, *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, (2005), Vol.7, pp.111-117.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1464-4258/7/3/003>