

논문 21-12-9

## 보상필름을 이용한 수평 배향된 액정 디스플레이의 시야각 향상에 관한 연구

### Study on Improving Viewing Angle of Homogeneous Aligned Liquid Crystal Display using an Compensation Film

임영진<sup>1,a</sup>, 김성수<sup>1</sup>, 진미형<sup>1</sup>, 전은정<sup>1</sup>, 최유진<sup>1</sup>, 이승희<sup>1</sup>

(Young Jin Lim<sup>1,a</sup>, Seong Su Kim<sup>1</sup>, Mi Hyung Chin<sup>1</sup>, Eun Jeong Jeon<sup>1</sup>, Yu Jin Choi<sup>1</sup>, and Seung Hee Lee<sup>1</sup>)

#### Abstract

We have studied electro-optic characteristics to improve viewing angle of the in-plane switching (IPS) liquid crystal display using an compensation film. The IPS mode shows relatively large light leakage and color shift in diagonal directions in a dark state. To solve this problem, we have compensated the low contrast ratio in diagonal directions using one optimized discotic film and adjusting TAC films of polarizers. The compensated IPS mode shows wide viewing angle characteristics that region of CR 50:1 is over 60° of polar angle in all directions. The optimized IPS cell exhibits much better performances than other methods do in terms of CR and color uniformity.

**Key Words** : In-plane switching liquid crystal display, Discotic film, TAC film, Compensation film

#### 1. 서론

최근 액정디스플레이는 Notebook 또는 PDA 크기의 중소형 디스플레이 시장부터 대형 사이즈의 LCD TV 시장까지 확고한 우위를 차지하고 있다. 하지만 디스플레이 시장은 원판사이즈보다는 한 장의 원판 안에서 얼마나 시장에서 요구하는 고화질과 동영상을 완벽하게 구현하는 제품을 효율적으로 만들어 낼 수 있느냐 여부가, 즉 세대보다는 제품의 표준이 더 중요함을 인식해야 한다. 광시야각 특성을 갖는 액정디스플레이들은 수평전기장에 의해 구동되는 In-plane switching (IPS) mode [1,2]와 fringe field switching (FFS) mode[3-5]가 있고, 수직전기장에 의해 구동되는 patterned vertical aligned(PVA) mode[6,7] 와 optically compensated bend(OCB) mode[8]가 있는데, 이 모드들은 필름

보상기술을 적용하여 계속적으로 그 특성들을 향상시키고 있다. 최근에 FFS mode 컨셉을 갖는 IPS-pro의 어둡상태를 보상하기 위해 biaxial 필름을 적용한 액정 디스플레이가 개발되었고[9], 두 장의 보상필름을 사용하여 광시야각 특성을 갖는 True wide (TW) IPS가 개발되었다[10-12]. 하지만 biaxial 필름은 제조하기가 쉽지 않고, 보상필름을 다량 사용할 경우에는 제조비용이 많이 든다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 대표적인 수평 배열된 모드인 IPS모드에 한 장의 discotic 필름을 적용하여 최적 셀 구조를 설계하고 그에 따른 전기 광학 특성을 연구하였다.

#### 2. 셀 구조와 조건

본 논문에서 제안한 discotic 필름을 적용한 IPS mode의 전기 광학특성에 대해서 알아 보기위해 2 X 2 Jones extended matrix 방법에 의해서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다[13]. 시뮬레이션에 사용된 액정은 입사광원의 파장( $\lambda$ )이 550 nm일 때 액정의

1. 전북대학교 고분자·나노공학과

(전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14)

a. Corresponding Author : blueribbonj@naver.com

접수일자 : 2008. 9. 5

1차 심사 : 2008. 11. 19

심사완료 : 2008. 11. 24

굴절률 이방성( $\Delta n$ )이 0.08이고 유전율 이방성( $\Delta \epsilon$ )이 7.0, 탄성 계수가  $K1 = 11.7$  pN,  $K2 = 5.1$  pN,  $K3 = 16.1$  pN인 액정을 사용하였으며, 상부와 하부 기판의 프리틸트각은 두 영역 모두  $2^\circ$ 로 하였다. 여기에서 픽셀전극의 폭은  $5 \mu\text{m}$ 로 하였고 픽셀전극간 거리는  $10 \mu\text{m}$ 로 하였다. 또한, 편광판의 지지층인 TAC 필름의  $R_{th}$  (out of retardation)과  $R_e$ (in plane retardation) 값은 각각  $65.2 \text{ nm}$  와  $10.4 \text{ nm}$ 로 하였다.  $R_{th}$  과  $R_e$ 은 다음과 같다.

$$R_{th} = \left( \frac{n_x + n_y}{2} - n_z \right) \cdot d$$

$$R_e = (n_x - n_y) \cdot d$$

여기에서  $n_x, n_y, n_z$ 는 각각 x, y, z축 방향의 굴절률 값이고, d는 필름의 두께를 의미한다.

IPS 모드는 교차된 편광판들 사이에 굴절률 이방성과 유전율 이방성을 가지는 액정 디스플레이의 표준화된 광 투과 공식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T/T_0 = \sin^2(2\psi) \sin^2(\pi d \Delta n(\theta, \phi) / \lambda)$$

여기서  $\psi$ 는 편광판 투과축 중 한축과 액정 방향자간의 이루는 각도이고,  $\Delta n$ 은 액정의 복굴절, d는 셀 갭,  $\lambda$ 는 입사광의 파장이고  $\theta$ 와  $\phi$ 는 각각 구좌표계에서 극각과 방위각을 나타낸다. 위 식에서 알 수 있듯이 이상적인 IPS 셀의 경우, in-plane 전기장에 의해 액정 방향자들이 평면 안에서 회전하기 때문에 단지  $\psi$ 의 변화가  $45^\circ$ 를 이룰 때 최대 투과율을 보이고 중간계조에서의 투과율은 액정의  $d\Delta n$ 에 의존하지 않는다. 그러나 실제 셀에서는 입사광의 파장에 대한  $d\Delta n$  값에 의존하여 최대투과율이 변화할 수 있고 밝음 상태를 나타내는  $d\Delta n$  값이 이보다 작아지거나 커짐에 따라 각각 청색이나 노란색으로 변화할 수 있다[14].

그림 1은 discotic 필름과 액정 분자의 보상 원리를 보여준다. 액정이 초기 기판과 평행하게 배열되어 있기 때문에 시야각 방향에서의 유효 위상지연 값을 보상하기 위하여 discotic 필름의 광축을 액정의 러빙 방향과 일치하도록 설계하였다. 이러한 구조는 기존의 여러 장의 보상필름을 사용하여 화질을 개선[10-12]한 구조보다 비용과 공정 마진

의 측면에서 유리하다. 액정의 초기 어둠 상태를 보상해 주기 위해서는 다음과 같은 식이 만족되어야 한다.

$$d\Delta n_{LC}(\theta, \phi) + d\Delta n_{discotic \text{ film}}(\theta, \phi) = 0$$

여기서  $\theta$ 와  $\phi$ 는 각각 극각과 방위각을 나타낸다. 각각의 극각과 방위각에서 위상지연값이 0이 되게 하기 위해서는 그림 1에서 보는 바와 같이 discotic 필름과 액정 분자를 배열 시켜야 한다.

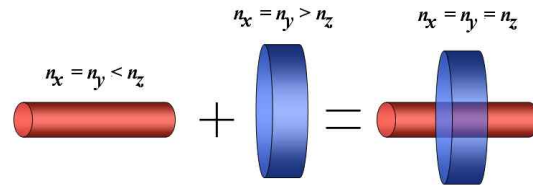


그림 1. Discotic 필름과 액정 분자의 보상 원리.  
Fig. 1. Compensation principle between the discotic film and LC molecular.

그림 2는 제안된 IPS LCD의 광학구조를 보여준다. 액정의 광축과 discotic 필름의 위상지연축은 일치시키고 상, 하부의 TAC 필름의 위상지연축은 각각 상, 하부의 편광판의 투과축과 일치시킨다.

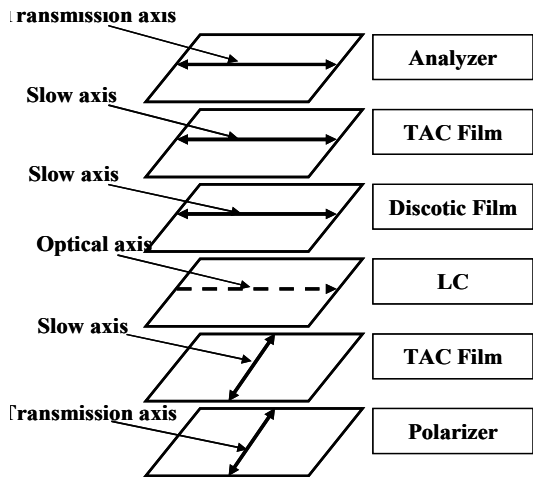


그림 2. 제안한 IPS 액정 디스플레이의 광학 구조.  
Fig. 2. Optical configuration of the proposed IPS LCD.

### 3. 시뮬레이션 결과 및 토의

그림 3은 모든 시야각 방향에서 discotic 필름의 위상지연값( $R_{th}$ )에 따른 최대 빛샘 정도를 보여주고 있다. Discotic 필름의 위상지연값( $R_{th}$ )이 25 nm에서 250 nm로 증가할수록 최대 빛샘 값이  $R_{th}$ 가 88 nm를 기준으로 아래로 포물선을 그리는 것을 볼 수 있다. 이는 Discotic 필름의  $R_{th}$ 가 88 nm 미만에서는 액정 셀의 보상이 잘 이루어지지 않은 상태이고,  $R_{th}$ 가 88 nm 초과인 경우에는 discotic 필름의 위상지연값 증가로  $N_x=N_y>N_z$  상태가 되어 빛샘이 크게 증가한다. 빛샘이 가장 작은 상태 즉 유효 복굴절이  $N_x=N_y=N_z$  값을 만족하는 discotic 필름의 위상지연 값은  $R_{th}$ 가 88 nm 이고 빛샘이 0.00731로 시야각 방향에서의 최대 빛샘이 가장 작은 값을 갖게 된다. 따라서 본 논문에서는 빛샘 정도가 최소가 되는 지점 88 nm일 때를 최적조건으로 선택하였다.

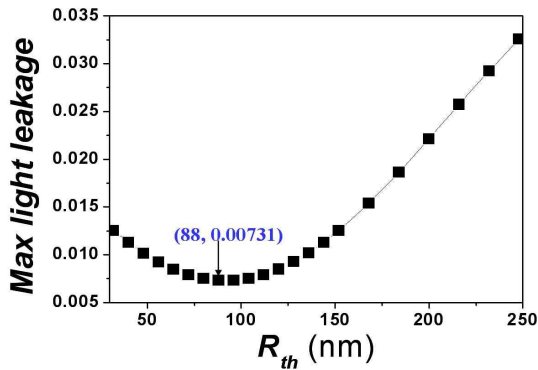


그림 3. 모든 시야각 방향에서 discotic 필름의 위상지연값( $R_{th}$ )에 따른 최대 빛샘.

Fig. 3. Max light leakage according to a discotic film retardation ( $R_{th}$ ) and in all viewing directions.

그림 4는 어둠상태에서 필름 보상이 되지 않는 IPS셀과 필름 보상된 IPS 셀의 빛샘 정도와 최대 빛샘을 수치로 표현하였다. 이때, 액정의 러빙 방향은 0도이다. 3가지 다른 선들은 보상되지 않은 IPS셀의 최대 빛샘의 수치의 70 % ( $I_{70}$ ), 50 % ( $I_{50}$ ), 30 % ( $I_{30}$ )를 각각 나타낸다. Discotic 필름을 사용한 보상된 IPS cell의 경우, 빛샘영역은  $I_{30}$ 이 되는 영역이 오른쪽 위아래 방향각 30도 되는 영역에서 약간 발생할 뿐 모든 방향에서 빛샘이 존재하지

않는 것을 볼 수 있다. 또한 수치상으로 최대 빛샘이 보상하지 않았을 때의 38.7 % 정도로서 Discotic 필름이 IPS 셀의 어둠상태를 확실히 보상하였음을 보여준다.

그림 5는 필름 보상이 되지 않는 IPS 셀과 필름 보상된 IPS 셀의 등 명암 대비율 곡선이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 어둠상태의 빛샘이 완벽히 보상되었기 때문에 등명암 대비율 곡선 또한 50:1이 되는 영역이 전 시야각영역에서 40도에서 60도로 향상된 것을 확인할 수 있었다.

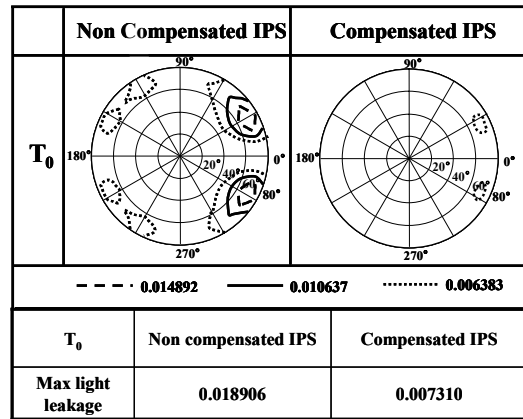


그림 4. 필름 보상이 되지 않는 셀과 필름 보상된 셀의 어둠상태에서의 등휘도 곡선.

Fig. 4. Calculated iso-luminance in the non compensated and compensated cells in dark state.

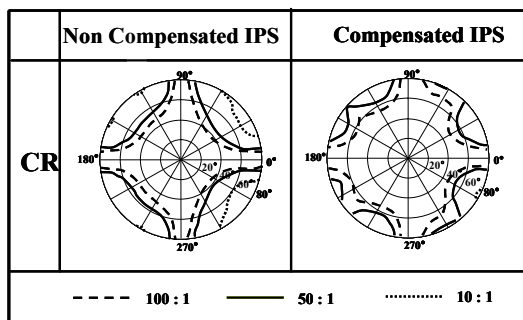


그림 5. 필름 보상이 되지 않는 셀과 필름 보상된 셀의 등 명암 대비율 곡선.

Fig. 5. Calculated iso-contrast ratio in the non compensated and compensated cells.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 IPS LCD의 시야각 방향에서의 낮은 명암대비율을 향상시키기 위해 한 장의 discotic 필름을 사용하고 편광판의 지지체인 TAC 필름의 위상지연값을 최적화 시켰다. 그 결과 전 시야각 방향에서의 빛샘을 최소화시켜 등명암 대비율이 50:1인 영역을 극각 60도까지 향상시켰다. 결과적으로 한 장의 Discotic 필름으로 IPS LCD를 보상하여 광시야각 기술을 실현할 수 있다.

#### 감사의 글

이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-511-D00071).

#### 참고 문헌

- [1] M. Oh-e and K. Kondo, "Quantitative analysis of cell gap margin for uniform optical properties using in-plane switching of liquid crystals", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 36, No. 11, p. 6798, 1997.
- [2] Y. Sun, Z. Zhang, H. Ma, X. Zhu, and S.-T. Wu, "Optimal rubbing angle for reflective in-plane-switching liquid crystal displays", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 81, No. 26, p. 4907, 2002.
- [3] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, "Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 73, No. 20, p. 2881, 1998.
- [4] S. H. Hong, I. C. Park, H. Y. Kim, and S. H. Lee, "Electro-optic characteristic of fringe-field switching mode depending on rubbing direction", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 39, No. 6A, p. L527, 2000.
- [5] 정태봉, 임영진, 안명환, 이승희, "유전율 이방성이 양인 액정을 이용한 프리티트각 변화에 따른 전기-광학 특성", *전기전자재료학회논문지*, 17권, 3호, p. 311, 2004.
- [6] S.-I. Jun, W.-Y. Park, I.-G. Kim, J.-Y. Lee, and J.-H. Souk, "Panel Transmittance Analysis of PVA Mode and a Noble Pixel Design", *SID'02 Digest*, p. 208, 2002.
- [7] S. G. Kim, S. M. Kin, Y. S. Kim, H. K. Lee, S. H. Lee, and G.-D. Lee, "Stabilization of the liquid crystal director in the patterned vertical alignment mode through formation of pretilt angle by reactive mesogen", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 90, No. 26, p. 261910, 2007.
- [8] N. Koma, T. Miyashita, T. Uchida, and N. Mitani, "Dynamic Behavior of OCB-cell with Fast Response for a Color Sequential Liquid Crystal Display", *SID'00 Digest*, p. 632, 2000.
- [9] D. Kajita, I. Hiyama, Y. Utsumi, M. Ishii, and K. One, "Optically Compensated IPS-LCD for TV Applications", *SID'05 Digest*, p. 1160, 2005.
- [10] J. Chen, K.-H. Kim, J.-J. Jyu, J. H. Souk, J. R. Kelly, and P. J. Bos, "Optimum Film Compensation Modes for TN and VA LCDs", *SID'98, Digest*, p. 315, 1998.
- [11] Y. Saitoh, S. Kimura, K. Kusafuka, and H. Shimizu, "Optically Compensated In-Plane-Switching-Mode TFT-LCD Panel", *SID'98 Digest*, p. 706, 1998.
- [12] J.-H. Lee, J.-H. Kim, C.-S. Lim, S.-O. Mun, C.-H. Oh, J. C. Kim, and G.-D. Lee, "Optical Configurations of TW-IPS LC Cell for Very Wide Viewing Angle in Large Size TV Application", *SID'05 Digest*, p. 642, 2005.
- [13] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid-crystal display at oblique incidence", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 57, No. 26, p. 2767, 1990.
- [14] S. Aratani, H. Klausmann, M. oh-e, M. Ohta, K. Ashizawa, K. Yanagawa, and K. Kondo, "Complete suppression of color shift in in-plane switching mode liquid crystal displays with a multidomain structure obtained by unidirectional rubbing", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 36, No. 1A/B, p. L27, 1997.