

## FFS 모드에서 표면 앵커링에너지에 따른 전기광학특성의 연구

### A Study on Electro-optical Characteristics Dependent on Surface Anchoring Energy in the Fringe-field Switching Mode

유인호<sup>1</sup>, 총첸신<sup>1</sup>, 장원근<sup>2</sup>, 이명훈<sup>1</sup>, 이승희<sup>1,a</sup>

(In Ho Yu<sup>1</sup>, Zhen-Xin Zhong<sup>1</sup>, Won-Gun Jang<sup>2</sup>, Myong-Hoon Lee<sup>1</sup>, and Seung Hee Lee<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

Liquid crystal (LC) alignment using a photoalignment method by irradiation of polarized ultraviolet (UV) on an alignment layer has been investigated. Photoalignment method exhibits weaker anchoring energy than rubbing method so that we have studied electro-optic characteristics of fringe-field switching (FFS) mode with alignment layers using the photo and rubbing alignment methods. The cell using photo alignment layer shows lower threshold and operation voltage than those using rubbed alignment layer. Also, the former method shows higher transmittance than that of the latter.

**Key Words** : Photoalignment, Rubbing, Anchoring energy, FFS mode

#### 1. 서론

최근 액정 디스플레이 (LCD)는 노트북, 데스크탑 모니터, 텔레비전, 핸드폰 그리고 personal digital assistants (PDA) 등에 많이 적용되고 있다. Cathode-ray tube (CRT)에 비해 LCD의 장점은 구동전압이 낮은 것과 언제 어디서나 정보를 제공할 수 있도록 개인용으로 휴대할 수 있다는 것이다. LCD는 저전압 구동을 하지만, 휴대하기 위해서는 구동전압이 낮아야 하기 때문에 구동전압을 낮추는 것에 대한 연구는 계속되고 있다. 그로 인하여 사용 시간의 연장을 위한 저 전력 소비로 에너지 절약 차원에서 친환경적인 요소를 제공할 수 있기 때문이다.

현재 액정 배향에는 주로 러빙법이 사용되고 있지만 러빙 공정은 직접적인 물리적 접촉으로 인해 여러 가지 문제를 야기한다. 이런 결점을 극복하기 위

하여 비접촉 액정 배향법인 광배향법이 대두되고 있다[1-4]. 광배향법은 러빙법에 비해 작은 표면 앵커링에너지(anchoring energy)를 갖는데 일반적으로 러빙이 적용된 배향막의 경우에는 표면 앵커링에너지가  $1 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2$ 를 갖고 광배향법과 같이 약한 표면 앵커링에너지를 갖는 배향막의 경우에는  $1 \times 10^{-6} \text{ J/m}^2$ 로 정의된다[5].

Fringe-field switching (FFS)[5,6] 모드에서 초기 액정들은  $90^\circ$ 로 교차된 편광판 사이에 수평으로 배열되어 있고, 액정의 광축과 편광판의 투과축이 일치되어 있으면 흑 상태를 나타낸다. 전압을 인가하면 대부분의 액정 방향자들은 회전하여 편광판의 투과축과 일치하지 않게 되어 명 상태가 된다. 액정 셀에서 셀 갭 ( $d$ )이 작아지면 액정 방향자들은 표면 앵커링에너지에 더 많은 영향을 받으므로 액정을 회전시키는데 더 많은 전기 에너지가 필요하기 때문에 문턱전압과 구동전압이 높아진다. 그러나 표면 앵커링에너지가 약할 경우 더 낮은 전기 에너지로도 액정을 회전시킬 수 있어 비접촉식 방법이면서 표면 앵커링에너지가 낮은 광배향법에 대한 연구가 있었다[7]. 그러나 하부기판에만 전극이 존재하는 FFS 모드에서 광배향법을 적용하여 전기광학 특성을 분석한 연구는 아직 발표되지 않았다.

1. 전북대학교 신소재공학부  
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)  
2. 한국광기술원 카메라모듈팀  
a. Corresponding author : lsh1@chonbuk.ac.kr  
접수일자 : 2005. 7. 14  
1차 심사 : 2005. 8. 2  
2차 심사 : 2005. 9. 3  
심사완료 : 2005. 9. 29

본 논문에서는 FFS 모드에서 러빙법과 광배향법을 이용하여 각각 셀을 제작하고 시뮬레이션 결과와 비교하여 표면 정박 에너지에 따른 전기광학특성의 변화를 연구하였다.

## 2. 셀 구조 및 구동원리

그림 1은 프린지 전기장(Fringe Field)에 의해 구동되는 FFS 모드의 횡단면을 보여주고 있다. 전극은 상부 기판에는 존재하지 않고 하부 기판에만 절연층을 사이에 두고 공통전극과 슬릿형태의 화소전극이 존재한다. 이 구조에서는 하부 편광판을 통과한 선편광된 빛이 액정 층을 지나면서 위상지연을 일으키지 않아 상부 편광판의 흡수축에 흡수되어 흑 상태를 보인다. 전압을 인가하면 프린지 전기장이 생성되어 화소전극 위까지 액정 분자들이 회전하여 좋은 명 상태를 보여준다. 표면 앵커링에너지가 낮은 배향막을 사용한다면 낮은 전압에서도 액정 분자들이 회전할 수 있기 때문에 문턱전압은 낮아질 것이다. 약한 표면 정박 에너지를 갖는 배향막을 사용한 in-plane switching (IPS) 모드의 문턱전압 ( $V_{th}$ )은 다음과 같다[8].

$$V_{th} = E_{th} \times l = \{ \pi l / (d + 2b) \} \cdot (K_{22} / \epsilon_0 | \Delta \epsilon | )^{1/2} \quad (1)$$

식 (1)에서  $l$ 은 화소전극 사이의 거리이고  $d$ 는 셀 갭,  $b$ 는 extrapolation length,  $K_{22}$ 는 twist 탄성상수,  $\epsilon_0$ 는 진공에서의 유전율,  $\Delta \epsilon$ 는 유전율 이방성을 나타낸다. 문턱전압을 낮추기 위해서는 각각의 변수  $d$ ,  $b$ ,  $\epsilon_0$ 와  $\Delta \epsilon$ 의 절대값은 크고,  $l$ 과  $K_{22}$ 가 작아야 한다는 것을 식 (1)을 통해 알 수 있다. 또한 표면 앵커링에너지가 커질수록  $b$ 값은 0에 가까워지고 작아질수록  $b$ 값은 커지므로 앵커링에너지가 작아질수록 문턱전압도 낮아진다는 것을 알 수 있다.

## 3. 시뮬레이션 및 실험

### 3.1 시뮬레이션

본 연구에서는 FFS 모드의 전기광학 특성을 분석하기 위해 2차원 시뮬레이터 (LCD Master, Shintech, Japan)를 사용하였다. 또한 실제 제작된 셀과의 정확한 비교를 위하여 실험조건과 시뮬레이션 조건을 최대한 비슷하게 적용하였다. 액정 분자의 pretilt 각은  $2^{\circ}$ 로 하였고  $d$ 는  $4.6 \mu\text{m}$ 로 하였다. 액정의  $\Delta n$ 은 0.077이고  $d\Delta n$ 은  $0.35 \mu\text{m}$ 로 하였다.

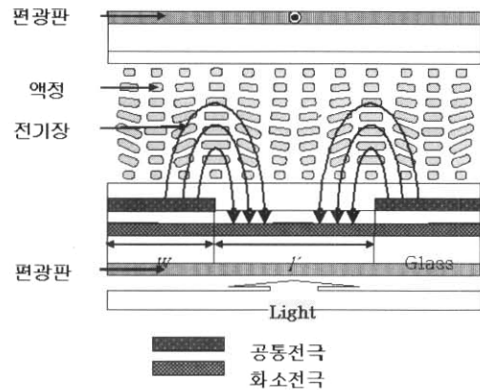


그림 1. FFS 셀 구조의 단면도와 밝음 상태에서 액정 방향차.

Fig. 1. Cross-sectional view of the FFS cell structure and LC orientation in a white state.

액정의 유전율 이방성 ( $\Delta \epsilon$ )은  $-4.0$ , 탄성상수  $K_{11}$ 은  $13.5\text{pN}$ ,  $K_{22}$ 는  $6.5\text{pN}$ ,  $K_{33}$ 는  $15.1\text{pN}$ 이다. 화소전극의 폭 ( $w$ )은  $3 \mu\text{m}$ , 화소전극 사이의 거리 ( $l$ )는  $4.5 \mu\text{m}$ 이다. 광학적 투과율 계산은  $2 \times 2$  extended Jones matrix[9]를 적용하였다.

시뮬레이션은 다음의 두 가지 표면 앵커링에너지 조건에서 하였는데, 배향막이 강한 앵커링 에너지를 갖는 경우 앵커링 에너지  $1 \times 10^{-1} \text{ J/m}^2$ 을 적용하였고, 약한 앵커링에너지를 갖는 경우에는  $10^3$  정도의 차이를 두어  $1 \times 10^4 \text{ J/m}^2$ 을 적용하였다.

### 3.2 실험

표면 앵커링 에너지에 대한 전기광학특성을 비교하기 위하여 두 개의 셀을 제작하였다. 먼저 첫 번째 셀 (C-1)은 하부 기판에만 광배향막을 적용하고 상부 기판은 수평배향제인 AL16139 (JSR Co.)을 코팅한 후 러빙법을 이용하여 제작하였다. 두 번째 셀 (C-2)은 상·하부 기판 모두 AL16139를 사용하여 러빙법을 이용하여 제작하였다. 본 실험에서 사용한 광배향막 재료는 chloromethylated polyimide (CMPI)이다[10]. 그림 2는 CMPI의 고분자 구조를 나타낸 것이다. 하부기판의 광배향 공정은 기판 위에 CMPI를 코팅시킨 후  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 10분간 pre-bake하고  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 동안 main-bake한 후 ultraviolet (UV)를 조사하였다. CMPI는 추가적인 이미드화 공정 없이 잘 코팅되는 특성을 보임과 동시에  $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$  이상이 열에서도 안정하며 99%이상의 투명성을 나타낸다.

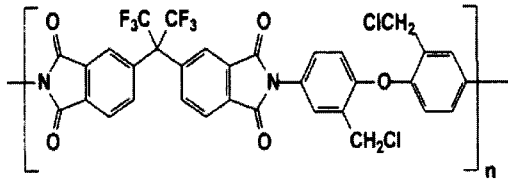


그림 2. 클로로메틸레이티드 폴리이미드 (CMPI) 고분자 구조.

Fig. 2. Polymer structure of chloromethylated polyimide(CMPI).

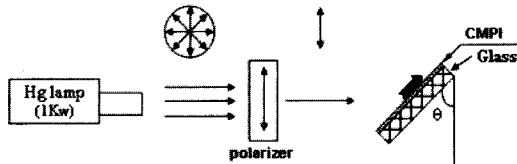


그림 3. UV 조사 공정.

Fig. 3. UV exposure system.

그림 3은 하부 기판에 UV를 조사하는 공정을 나타낸 그림으로 하부 기판에 선편광된 UV를 기판의 수직 방향에 대해 45°를 이루게 하고 15 mW/cm<sup>2</sup>의 에너지로 5분 동안 조사하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 시뮬레이션 결과

그림 4는 FFS 모드에서 시뮬레이션을 통해 얻은 전압인가에 따른 투과율 곡선 (V-T)을 나타내고 있다. 실험에서와 같이 C-1셀과 동일한 조건을 S-1셀이라 하고 C-2셀과 동일한 조건을 S-2셀로 명명하였다. 하부에 약한 정박 에너지를 갖는 S-1셀의 문턱전압과 구동전압은 각각 1.6 V, 4.8 V이고, 상·하부에 모두 강한 앵커링 에너지를 갖는 S-2셀은 각각 1.8 V, 5.3 V를 나타내었다. S-1과 같이 앵커링 에너지가 약할 경우 extrapolation 값이 존재하여 구동전압이 낮아짐을 알 수 있다. 즉 저 전압에서 보다 액정을 쉽게 회전시킬 수 있으므로 S-2셀과 비교하여 볼 때 낮은 문턱전압과 구동전압을 나타내었다.

그림 5는 3V에서 S-1셀과 S-2셀의 전극위치별 투과율을 나타낸 그래프이다. 동일한 전압에서 낮은 정박 에너지를 갖는 S-1셀이 S-2셀에 비해서 전체

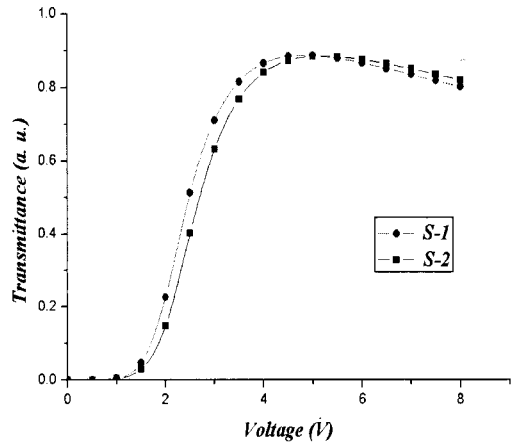


그림 4. S-1과 S-2셀의 시뮬레이션에서 얻어진 전압 대비 투과율 곡선.

Fig. 4. Calculated Voltage-dependent transmittance curves from simulation for S-1 and S-2 cells.

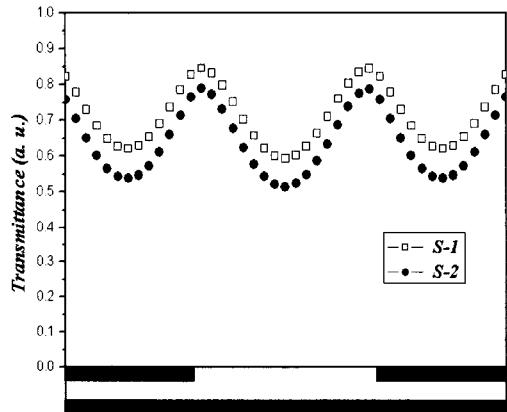


그림 5. 전극 위치별 투과율 분포도.

Fig. 5. Transmittance along electrode positions.

적으로 투과율이 높은 것을 알 수 있다. 특히 S-1셀의 경우 화소 전극 중앙 부분과 화소 전극 사이의 가운데 영역 그리고 화소 전극 가장 자리 등 모든 영역에서 투과율이 S-2셀 보다 높다. 이는 앵커링 에너지가 낮은 S-1셀의 경우 기판에서 액정을 잡고 있는 힘이 약하기 때문에 동일 전압에서도 S-2셀에 비해서 모든 영역에서 조금 더 회전되어 높은 투과율을 보여준다.



그림 6. C-1과 C-2셀의 측정된 전압 대비 투과율 곡선.

Fig. 6. Measured Voltage-dependent transmittance curves for C-1 and C-2 cells.

#### 4.2 실험 결과

제작된 셀 C-1과 C-2의 셀갭을 측정된 결과 각각 4.6  $\mu\text{m}$ 와 4.7  $\mu\text{m}$ 이다. 액정의 유전율 이방성은 -4.0이고,  $\Delta n$ 은 0.077인 음인 액정을 사용하였다. 그림 6은 spectrophotometer (Minolta, Japan)를 이용하여 측정된 V-T 곡선이다. C-1셀의 문턱전압과 구동전압은 각각 2.0 V, 6.0 V 이고, C-2셀의 문턱전압과 구동전압은 각각 2.3 V와 7.5 V이다. C-1 셀은 C-2 셀에 비해 낮은 구동전압과 문턱전압을 보임과 동시에 더 높은 투과율을 나타내었다. 즉, 광배향을 통한 배향법이 러빙법에 비해 문턱·구동전압이 더 낮으며, 투과율 또한 높은 결과를 보여줘 이론 값과 경향이 잘 일치함을 알 수 있다.

그림 4와 그림 6을 비교하면 V-T 곡선이 이론값과 실험값과 절대값에 있어 다소 차이를 보인다. 이런 이유는 시뮬레이션 결과가 완벽하게 표면 앵커링 에너지를 표현하는 것은 불가능하고, 액정 탄성상수 및 점도 물성값에 있어 실험과 이론의 불일치가 존재하며 또한 본 실험에서는 그림 7에서 나타난 바와 같이 이중도메인 전극구조를 사용하여 셀을 제작했기 때문에 분자들의 충돌이 미세하나마 구동전압에 영향을 미칠 수 있기 때문에 그러한 차이가 난다고 볼 수 있다.

그림 7은 동일한 전압인 6V를 각각 인가한 후 배향법에 따른 휘도를 비교하기 위하여 편광현미경을

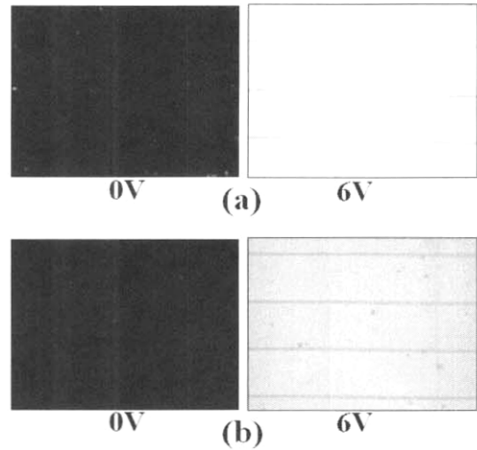


그림 7. (a) C-1과 (b) C-2에 각각 0 V와 6 V를 인가 한 후의 편광 현미경사진.

Fig. 7. Microphotographs after applying voltage is 0 V and 6 V ; (a) C-1 cell and (b) C-2 cells.

이용하여 얻은 셀의 사진이다. 하부기판에 광배향을 하여 낮은 앵커링에너지를 갖는 C-1셀이 상·하부기판에 러빙을 하여 높은 앵커링에너지를 갖는 C-2셀과 비교하여 보다 높은 투과율을 나타내었다. 위의 결과에서와 같이 낮은 앵커링에너지를 갖음으로써 액정을 잡고 있는 힘이 약해져 저전압에서도 액정들이 보다 자유로울 수 있기 때문에 문턱전압과 구동전압이 낮은 특성을 보였고 액정이 전체적으로 잘 회전할 수 있게 되어서 투과율이 고르고 높게 나타나는 특성을 보였다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 FFS 모드에서 약한 앵커링에너지를 갖는 광배향과 강한 앵커링에너지를 갖는 러빙을 적용하여 각각 셀을 만들고 전기광학 특성을 비교하여 보았다. 또한 시뮬레이션을 통하여 이론적으로도 실제 실험 값과 비교하여 보았다. 시뮬레이션 및 실험결과 FFS 하부기판에 광배향 즉 약한 앵커링에너지를 갖는 배향막을 적용한 셀이 종래 수평배향제를 사용하고 러빙을 이용하여 강한 앵커링에너지를 갖는 셀에 비해 더 낮은 문턱전압과 구동전압을 나타내었고 투과율 역시 더 좋은 특성을 나타내었다. 결과적으로 FFS모드에서 하부기판에 광배향막을 적용하던 저전압으로도 액정들이 전극 위 전 영역에서

종래 러빙을 통한 배향제를 사용한 경우 쉽게 회전할 수 있어 동일전압에서 더 높은 투과율을 보여줄 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업 연구결과로 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] M. Schadt, K. Schmitt, V. Kozinkov, and V. Chigrinov, "Surface-induced parallel alignment of liquid crystals by linearly polarized photopolymers", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 31, No. 7, p. 2155, 1992.
- [2] M. Hasegawa and Y. Taira, "Nematic homogeneous alignment by photo depolymerization of polyimide", *SID'94*, p. 213, 1994.
- [3] M. Nishikawa, B. Taheri, and J. L. West, "Polyimide films designed to produced high pretilt angles with a single linearly polarized UV exposure", *SID'98*, p. 131, 1998.
- [4] 서대식, 이정호, 이창훈, "폴리이미드막 표면에 직선 편광된 UV 광 조사에 의한 프리틸트각 발생과 전기광학특성", *전기전자재료학회논문지*, 11권, 10호, p. 911, 1998.
- [5] S. H. Lee, S. M. Lee, H. Y. Kim, J. M. Kim, S. H. Hong, Y. H. Jeong, C. H. Park, Y. J. Choi, J. Y. Lee, J. W. Koh, and H. S. Park, "18.1 inch Ultra TFT-LCD with super image quality and fast response time", *SID'01*, p. 484, 2001.
- [6] 김미숙, 김향울, 이승희, "Fringe-field switching (FFS) 모드에서 액정의 유전을 이방성을 따른 동력학 안정성에 관한 연구", *전기전자재료학회 논문지*, 16권, 3호, p. 224, 2003.
- [7] S. H. Jung, T. B. Jung, M. S. Kim, S. T. Oh, and S. H. Lee, "Electro-optic characteristics of the FFS mode depending on surface anchoring energy", *KLCC'02*, p. 119, 2002.
- [8] M. Yoneya, K. Iwasaki, Y. Tomioka, and K. Kondo, "Cell gap margin enlargement of in-plane switching mode liquid crystal displays using weak-anchoring effects", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 74, No. 6, p. 803, 1999.
- [9] 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.
- [10] M.-H. Lee, X. Li, W. C. Kim, S. H. Lee, and H. J. Cha, "A new polyimide with multifunction of alignment and planarization", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol. 411, p. 407, 2004.