

유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 fringe-field driven Twisted Nematic 모드의 전기광학 특성

송일섭, 신성식, 송성훈*, 김향울*, 이종문, 이승희
전북대학교 신소재 공학부, 비오이하이디스 테크놀로지(주)*

Electro-Optic Characteristics of Fringe-field driven Twisted Nematic Mode using a Liquid Crystal with Negative Dielectric Anisotropy

I. S. Song, S. S. Shin, S. H. Song*, H. Y. Kim*, J. M. Rhee, S. H. Lee
Jeonbuk National Univ., BOE-HYDIS*

Abstract

We have studied 90° twisted nematic (TN) mode driven by fringe electric field, where two polarizers are parallel each other such that the cell shows a black state before a voltage is applied. According to the studies by computer simulation for a LC with negative dielectric anisotropy, the LC twists perpendicular to the horizontal field direction of fringe electric field and the degree of tilt angle is very low, when a voltage is applied. Therefore, the new device exhibits wide viewing angle characteristic due to in-plane switching and high transmittance since the LC director aligns parallel to the polarizer axis.

Key Words : FFS-TN mode, Liquid crystal, Transmittance, Viewing angle, Electro-optical characteristics

1. 서 론

최근 들어 액정 디스플레이 (LCD) 의 연구가 활발해 지면서 cathode-ray tube (CRT) 를 대체할 만한 우수한 특성의 모드들이 많이 개발되었다. 그 중 가장 대표적인 것이 twisted nematic (TN)[1,2] 모드이다. TN 모드는 광효율이 우수하며 전력 소비가 적은 장점이 있으나 좁은 시야각 특성을 가진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 in-plane switching (IPS)[3-5], fringe field switching (FFS)[6-9] 모드 등 다양한 모드가 개발되었다. IPS모드는 시야각은 좋지만 투과율이 낮은 문제점이 있고 FFS 모드는 높은 투과율과 넓은 시야각 특성을 가지나 두 모드 모두 TN모드에 비해 공정 마진이 부족하다. 종래에 TN을 in-plane switching 모드로 구동한 IPS-TN 모드가 제시되었는데, 이 모드는 넓은 시야각 특성과 넓은 셀갭 마진을 갖는 장점을 가졌으나 여전히 투과율 부분에 있어 문제점이 있다[10]. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해

결하기 위해 TN을 fringe field로 구동하는 FFS-TN 모드를 연구하였다. 본 논문에서는 특히 유전율 이방성이 음인 액정 (-LC)을 이용한 FFS-TN 모드의 동작원리 및 전기 광학 특성을 시뮬레이션을 통해 연구하였다.

2. FFS 모드의 셀 구조 및 동작원리

그림 1은 FFS-TN 모드의 셀 구조를 보여준다. FFS-TN 모드는 FFS 모드와 동일하게 하부기판에만 전극이 존재한다. 공통전극 (common electrode) 과 화소전극 (pixel electrode)이 절연층을 사이에 두고 존재하며 공통전극과 화소전극 간 수평 거리가 영이고 화소 전극은 임의의 폭(w)을 가지고 서로 임의의 간격(l)으로 떨어져 있다. 전압 인가시 프린즈 전기장, 즉 수평 및 수직 전기장이 발생하는데, 수평 전기장은 초기 수평 배열된 액정을 회전시키는 역할을 하고 수직 전기장은 전기장 방향에 수직으로 움직이게 하여 액정을 하부 기판에 거

의 평행하게 놓게 한다. 상,하판의 편광판은 평행하게 배열하였고 하부기판의 러빙은 프린즈 전기장 수평성분에 대해 0°로 하였고 상부 기판은 하부 기판에 대해 90°로 꼬이게 러빙하였다. 그림 1 (a)는 전압 인가 전, 1(b)는 전압 인가 후의 액정 배열 상태를 보여준다. 전압 인가 전에는 편광판을 투과한 빛이 액정층을 지날 때 90° 회전된 선편광으로 바뀌게 되어 평행하게 배열한 상부 편광판에 빛이 흡수하게 되어 어두운 상태가 된다. 하지만 전압 인가시, 수평전기장과 임의의 각을 이루고 있는 하부 기판의 액정들이 전기장에 수직방향으로 비틀리게 된다. 따라서 편광판에서 나온 선편광 빛은 액정의 단축만을 지나기 때문에 편광상태가 변하지 않아 상부 검광판을 통과하게 되어 밝은 상태가 된다.

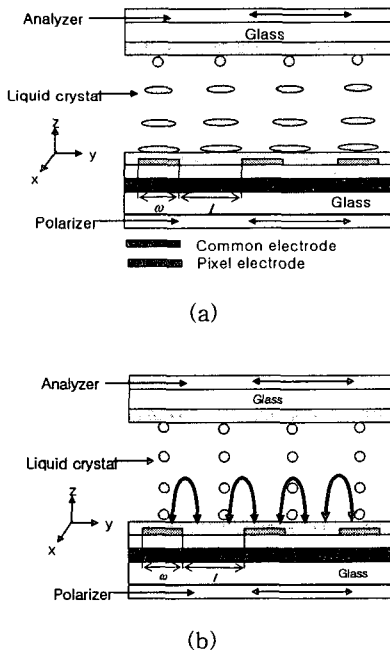


그림 1. (a) off (b) on 상태를 측면에서 관찰한 FFS-TN 모드의 셀 구조.
Fig. 1. Cross-sectional view of the FFS-TN cell structure at (a) off and (b) on state.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

액정 분자의 pretilt 각이 2°로 되어 있고 셀갭(d)은 6 μ m로 하였다. Δn 은 550nm에서 0.08로 하여

Normally black TN 조건인 $d\Delta n$ 을 0.48 μ m로 하였다. 유전율 이방성은 -4, 탄성상수 K_1 은 13.5pN, K_2 는 6.5pN, K_3 는 15.1pN이다. w 는 3 μ m, l 는 4.5 μ m이다. 광학적 투과율 계산은 550nm에서 2x2 extended Jones matrix[11]를 적용하였다. 그림 2는 FFS-TN모드의 전압인가에 따른 투과율 곡선(V-T)이다. 이때 문턱전압(T_{10})은 1.8V이고 최대 투과율의 95% 투과율을 보여주는 전압은 6.5V이다. 전압 인가시 투과율이 연속적으로 증가함을 보여주고 또한 전압을 계속 가해주어도 투과율은 떨어지지 않았다. 이러한 원인은 액정이 90°로 꼬일 때가 최고의 투과율을 나타내는데 전압을 인가해줄수록 표면 배향력에 의해 강하게 정박되어있는 하부 기판표면의 액정들의 꼬임 각이 점점 90°에 가까워지기 때문에 투과율이 떨어지지 않고 조금씩 올라감을 알 수 있다.

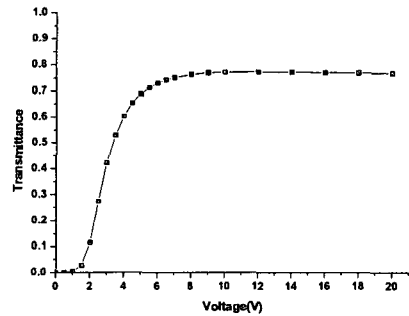


그림 2. 전압인가에 따른 투과율 곡선.
Fig. 2. Calculated voltage-dependent transmittance curve.

그림 3는 전극 위치별 액정분자의 twist(ϕ) 각과 tilt(θ) 각의 분포를 나타낸다. 여기서 d는 화소전극의 중앙부분이고 e는 전극 중앙과 가장자리 사이, f는 전극 가장자리이다. 그림 3(a)를 통해 알 수 있듯이 하부기판 근처의 액정분자들은 anchoring energy의 영향을 많이 받기 때문에 twist되는 정도가 적다. 하지만 상부 기판 쪽으로 갈수록 twist angle이 90°로 증가한다. 특히 화소전극 중앙에서 가장자리부분으로 갈수록 수평 전기장의 세기가 더 커져 twist되는 정도가 더 큼을 알 수 있다. 그림 3(b)는 액정분자의 tilt angle을 나타낸다. 전기장의 방향에 수직으로 거동하는 -LC을 사용한 FFS-TN 모드에서 프린즈 전기장의 수직성분에 의해 액정이 기판에 평행하게 움직이려고 하기 때문에 tilt angle이 작다. 전체적으로 tilt

angle은 초기 2°보다 감소함을 보여준다. 하부기판에서는 화소 전극의 중앙 부분의 tilt되는 정도가 수직 전기장의 영향을 크게 받기 때문에 전극 중앙과 가장자리 사이 부분과 전극 가장자리부분보다 작다.

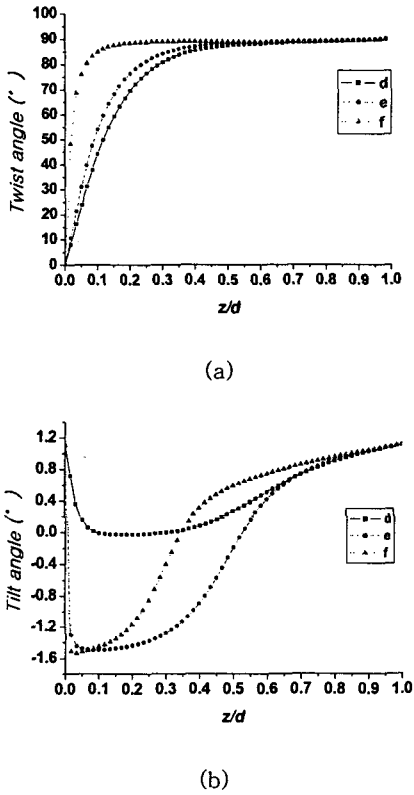


그림 3. 전극 위치에 따른 액정 분자의 (a) twist angle과 (b) tilt angle 분포.
Fig 3. (a) Twist and (b) tilt angle distribution of the LC molecule depending on electrode position.

FFS-TN 모드는 전체적으로 볼 때, 10°이상의 tilt 각이 나타나는 FFS 모드에 비해 tilt되는 정도가 작고 액정들이 거의 수평 회전을 하는 것을 보여준다. 이를 통해 FFS-TN 모드가 우수한 시야각

특성을 가짐을 예측할 수 있다. Normally White 90°TN모드와 FFS-TN모드의 휘도 균일도를 비교하였다. 그림 4는 정면 상태에서 최대 투과율(T_{MAX}) 50%에 대한 30%, 50%, 70%의 투과율 특성을 보이는 등휘도 곡선을 나타낸다. TN모드는 좌우대칭은 이루어지나 상하부분에서 계조간 투과율 변화가 비대칭이 이루어져 시야각 의존성이 크다. 하지만 FFS-TN모드는 전체적으로 균일하게 대칭구조를 이루고 있어 계조간 시야각 의존성이 작다.

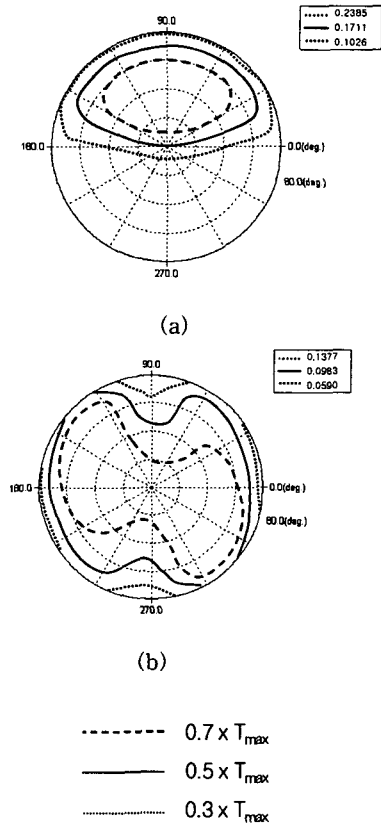


그림 4. 투과율이 50% 일때의 (a) TN과 (b) FFS-TN 모드의 등휘도 곡선.
Fig 4. Iso-luminance of (a) TN mode and (b) FFS-TN mode when the transmittance is 50%.

그림 5은 정면에서 최대 투과율(T_{100}) 일때의 등휘도 곡선을 나타낸다. FFS-TN 모드(그림5 (b))를 TN 모드(그림5 (a))와 비교해 볼 때, 전체적으로 TN 모드와 상응하는 투과율을 나타낸다.

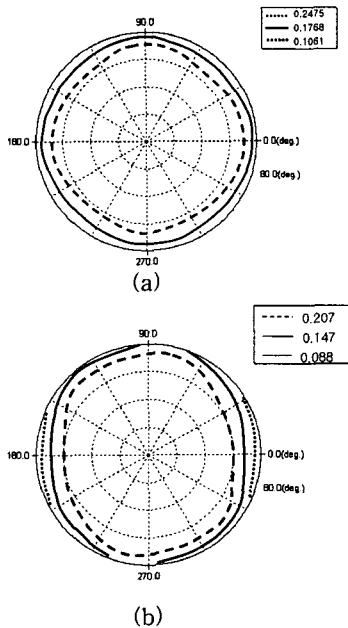


그림 5. 투과율이 100% 일때의 (a) TN모드와 (b) FFS-TN mode의 등휘도 곡선.

Fig 5. Iso-luminance of (a) TN mode and (b) FFS-TN mode when the transmittance is 100%.

4. 결론

본 논문에서는 -LC을 사용하여 TN을 fringe field 로 구동하는 FFS-TN모드의 전기광학 특성을 연구 하였다. FFS-TN모드의 V-T 곡선을 통해 TN모드 나 FFS모드에 상용하는 투과율을 보여주었다. 이는 화소 전극 윗부분의 액정들이 상호 작용을 통해 액정분자들이 함께 twist되기 때문에 IPS모드와는 달리 전극 윗부분에서도 높은 투과율을 보이기 때문이다. 또한 등명암 대비비 곡선과 등휘도 곡선에서 TN모드와 비교해 볼때, FFS 구동 원리를 이용한 FFS-TN모드는 수직 전기장의 영향을 받은 액정들이 tilt되지 않고 수평배열을 함으로써 넓은 시야각 특성을 나타냈다.

참고 문헌

[1] M. Schadt, and W. Helfrich, "Voltage-dependent optical activity of twisted nematic liquid crystal", Appl. Phys. Lett., Vol. 18, No. 4, p. 127, 1971.

[2] H. Yoshida, and J. Kelly, "Light behavior analysis of twisted nematic liquid crystal", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, p. 2116, 1997.

[3] H. Mori, "Novel optic compensators of negative birefringence for wide-viewing angle twisted-nematic liquid-crystal display", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, p. 1068-1072, 1997.

[4] M. Oh-E, and K. Kondo, "Quantitative analysis of cell gap margin for uniform optical properties", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, No. 11, p. 6798, 1997.

[5] H. Y. Kim, I. S. Song, and S. H. Lee, "Rubbing angle effects on the electro-optic characteristics of in-plane switching liquid crystal display", Trans. on EEM, Vol. 4, No. 1, p. 24. 2003.

[6] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, "High transmittance, wide-viewing-angle nematic liquid crystal display controlled by fringe-field switching", Asia Display'98, p. 371, 1998.

[7] 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, L527, 2000.

[8] S. H. Lee, H. Y. Kim, S. M. Lee, S. H. Hong, J. M. Kim, J. W. Koh, J. Y. Lee, and H. S. Park. "Ultra-FFS TFT-LCD with super image quality, fast response time, and strong pressure-resistant characteristics", SID'01 Digest, p. 117, 2001.

[9] 김향율, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학 회논문지, 15권, 1호, p. 720, 2002.

[10] S. Oka, K. Kobayashi, Y. Toko, M. Kimura and T. Akhane "Electro-optic characteristics of in-plane switching twisted nematic mode.", IDW'02, p.189

[11] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, p. 2767, 1990.