

유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성

Electro-Optic Characteristics of the Dual Domain Fringe-Field Switching(FFS) Mode using the Liquid Crystal with Negative Dielectric Anisotropy

김향율*, 고재완*, 노정동*, 서대식**, 이승희***

(H. Y. Kim*, J. W. Koh*, J. D. Noh*, D.-S. Seo**, and S. H. Lee***)

Abstract

The fringe-field switching (FFS) mode was known to exhibit both a wide viewing angle and high transmittance, especially when using the liquid crystal (LC) with negative dielectric anisotropy. In the device, the LC director rotates almost in-plane. However, in the bright state the device shows bluish and yellowish color along parallel and perpendicular to the LC director at off-normal directions since the LC director rotates only in one direction. Such a problem was greatly improved using a wedge shape of only pixel electrodes. In this way two different field directions exist in a pixel, enabling the LC director to rotate in two opposite directions. Consequently, owing to dual domain effect when using the LC with negative dielectric anisotropy, the viewing angle characteristics are greatly improved.

Key Words : Fringe-field switching, Negative dielectric anisotropy, Wedge shape electrode, Color shift

1. 서론

최근 액정 디스플레이의 화면 품위 특성은 새로운 액정 모드의 개발과 함께 크게 개선되고 있다. 이들 액정 모드 중에는 수직배향 모드가 있으나[1-3], IPS (In-Plane Switching)[4-6]나 FFS(Fringe-Field Switching)[7-9] 모드는 액정 방향자의 평면 회전 개념을 이용한 것이다. 이들은 모두 전압인가 전에 액정 분자들의 광축이 교차된 편광판의 광축중 1축

과 일치하며, 기판에 대해 평행하게 배열되어, 결과적으로 액정 셀은 오프(off) 상태를 나타낸다. IPS나 FFS 셀에 전압인가 시, 이들은 각각 평행장 또는 fringe 장이 형성되고, 액정 분자들은 전기장에 반응하여 평면 혹은 거의 평면상에서 회전하게 되고 빛은 통과하게 된다(on 상태). 각각의 모드에서 발생하는 전기장의 분포가 다르기 때문에 두 모드의 전기광학 특성은 서로 다르며, 특히 FFS 모드는 IPS 모드보다 더 높은 투과율 특성을 보인다[7]. 두 모드는 액정 방향자의 평면 회전 특성으로 인해 TN (Twisted Nematic) 모드와 비교하여 상대적으로 시야각에 따른 투과율 균일도가 우수하다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고, 두 모드는 액정 방향자 한 방향으로만 회전하는 특성으로 인하여 특히 전압인가 상태에서 액정 방향자에 대해 수직 또는 수평 방향의 기울임 방향에서 색 땀 현상이 나타난다. 이

* : Hydis, Cell공정기술그룹

** : 연세대학교, 전기전자공학과

*** : 전북대학교 신소재공학부

(전북 전주시 덕진동 1가 664-14,

Fax : 063-270-2341

E-mail : lsh1@moak.chonbuk.ac.kr)

2002년 3월 20일 접수, 2002년 4월 29일 1차 심사완료,

2002년 5월 15일 최종 심사완료

와 같은 문제점을 극복하기 위해서 IPS 모드에서는 꺾쇠 모양의 화소전극과 상대전극을 제안하였다. 이것은 한 화소에 두개의 다른 전기장 방향이 형성되게 화소전극과 상대전극을 형상화하여, 전압인가 시 액정 분자들은 두 방향, 즉 시계방향과 반 시계 방향으로 회전하여, 이중 도메인을 형성한다[10]. 이러한 방식은 셀의 시야각에 따른 색 특성은 개선하나 투과율이 저하되는 문제점을 안고 있다. FFS 모드에서는 상기 문제를 해결하기 위하여 화소전극만 꺾쇠 구조를 갖는 새로운 이중 도메인(2-D) FFS 모드 셀 구조를 제안하였다. 우리는 새롭게 설계된 2-D FFS 셀이 단일 도메인(1-D)을 가진 셀 보다 시야각 변화에 따른 색 뉘 정도를 감소시키고, 시야각 특성을 향상시킨다는 것을 실험적으로 증명하였다.

2. 액정 셀 구조 및 특성

교차된 편광판 사이에 복굴절 액정물질을 갖는 액정 셀에서 표준화된 광 투과 공식은 다음과 같다.

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

여기서 Ψ 는 교차된 편광판의 투과축 중 1축과 액정 방향자간의 각도이고, Δn 은 액정의 복굴절, d 는 셀 갭, λ 는 입사광의 파장이고, θ, ϕ 는 각각 구 좌표계에서 극각과 방위각을 나타낸다. 이 식에 따르면 최대 투과율은 입사광의 파장에 대한 $d\Delta n$ 값에 의존하여 변화할 수 있음을 알 수 있다. 다시 말해서 흰

색을 나타내는 $d\Delta n$ 값이 이보다 작아지거나 커짐에 따라 각각 청색이나 노란색으로 변화할 수 있다. IPS 모드에서도 이 현상은 관찰되었고[10], FFS 모드에서도 또한 유사한 현상이 관찰되었다. 그림 1은 IPS와 FFS 셀의 단면구조와 백(white) 상태에서 액정 분자들의 배열 상태를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 실제로 IPS 모드에서는 화소전극(Pixel electrode)과 공통전극(Common electrode)들 사이에만 평행장이 존재하게 되고, 이는 전극 사이의 액정들만 교차된 편광판의 광 축으로부터 벗어나게 회전하므로, 결과적으로 투과율이 전극사이에서만 발생하는 제한된 투과율 특성을 보인다. FFS 모드에서는 화소전극과 상대전극이 ITO 같은 투명물질로 만들어지고, 화소전극끼리만 전극 간격이 존재하고, 마찬가지로 화소전극과 상대전극은 한쪽 기판 위에만 존재한다. 따라서 전압인가 시 수평과 수직성분을 갖는 fringe 전기장이 형성되고, fringe 전기장은 액정 분자를 전 표면 영역 위에서 평면에 대해 거의 균일하게 회전시켜, 결과적으로 고 투과 특성을 보인다. 여기서 한가지 주목할만한 일은 FFS 소자에서 중간 방향자의 트위스트 각은 수평축을 따라 반복되는 필드 세기 기인으로 수평방향으로 규칙적으로 반복된다[11]. 셀 제작을 위한 전극 설계는 기 발표한 논문

그림 1. On 상태에서 액정분자들의 구조를 갖는 (a) IPS 셀 구조나 (b) FFS 셀 구조의 단면도.

Fig. 1. Cross-sectional view of (a) the IPS and (b) the FFS cell structures with configuration of the LC molecules in on state.

그림 2. (a) 1-D나 (b) 2-D에 대해 TFT를 갖는 FFS 소자의 단위 화소 구조.

Fig. 2. One pixel structure of the FFS device with TFT for (a) 1-D and (b) 2-D.

내용과 동일하다[12]. 러빙에 의해 형성되는 표면 프리틸트 각은 2.5° 정도이고, 셀 갭은 4.0 μ m이다. Merck 사로부터 입수한 음의 유전율을 이방성을 갖는 액정($\Delta n = 0.077$ at $\lambda = 589\text{nm}$, $\Delta\epsilon = -4.0$ at 1kHz)이 사용되었다. 전기광학특성 측정을 위해 광원으로 할로젠 램프를 사용했고, 파형 발생기로부터 60Hz의 프레임 주파수를 갖는 사각 파형을 액정 셀에 인가하였다. 셀을 통과한 빛은 photomultiplier tube에 의해 감지된다. 그림 2는 TFT(Thin-Film-Transistor) 소자를 갖는 1-D와 2-D FFS 모드의 단위 화소에 대한 정면도이다. 1-D구조의 FFS 모드에서 fringe 전기장의 수평 성분(E_y) 방향이 가로 방향이 되게 화소전극을 슬릿형태로 설계하였다. 이 경우 러빙 방향은 수평 전기장에 대해 -12°이다. 따라서 전압인가 시 액정 방향자는 시계방향인 한 방향으로만 회전한다. 2-D 구조의 FFS 모드에서는 화소전극을 꺾쇠 모양으로 설계하였다. 따라서 단위화소 내에서 fringe 전기장의 수평 성분에 해당하는 전기장 방향이 2개가 되고, 한 화소의 위쪽 반과 아래쪽 반의 E_y 방향은 그 화소의 중앙을 따라 대칭적으로 다르다. 러빙방향은 수직 방향이고, 액정 방향자는 E_y 에 대해 $\pm 12^\circ$ 의 각도를 갖는다. 이 경우 전압인가 시 액정 분자들은 초기 배열로부터 2개의 반대 방향 즉 시계방향과 반시계방향으로 회전한다. 그림 3은 1-D와 2-D 구조를 갖는 FFS 모드의 Off와 On 상태에서 액정 방향자의 배열상태를 기술한 것이다. 1-D 구조에서 비록 중간 방향자의 회전 정도가 앞에서 언급한 바와 같이 수평 방향을 따라 약간씩 다르기는 하지만, 평균적으로 액정 방향자는 한 방향으로만 회전하여, 정

면에서의 흰색은 액정 방향자에 대해 수평과 수직방향에서 셀을 관찰하였을 때 각각 파란색과 노란색으로 바뀐다. 이것은 정면의 $d\Delta n$ 값에 대해 액정 방향자의 수평이나 수직 방향의 경사각에서는 $d\Delta n$ 값이 작아지거나 커지기 때문이다. 그러나 2-D 구조에서는 밝은 상태에서 액정 방향자는 두 개의 반대 방향으로 회전하여, 액정 방향자가 서로 수직인 상태에 되어 경사방향에서 액정의 장축 방향을 통과한 빛은 다시 액정의 단축 방향을 통과하게 되어 1-D에서 나타나는 색 썸 현상은 사라지게 된다. 즉 1-D구조에서 발생했던 시야각에 따른 급격한 $d\Delta n$ 값의 변화는 2-D 구조에서는 발생하지 않고 액정의 단축 및 장축방향에서 같은 값을 갖게 된다. 결과적으로 색 썸은 액정 방향자의 자기보상효과에 의해서 최소화된다.

3. 실험결과 및 고찰

실험적으로 1-D와 2-D 구조에서 등 휘도(iso-luminance)와 등 명암 대비율(iso-contrast ratio (CR)) 곡선, 계조별 시야각에 따른 투과율, 그리고 색 썸 특성에 대하여 각각 그 차이를 조사하였다. 모든 데이터는 극각을 70°까지 10° 간격으로 증가시키고, 방위각은 360° 전 방위에 대해 15° 간격으로

그림 3. 1-D와 2-D를 갖는 FFS 모드에서 Off와 On 상태에서 액정 방향자의 형태.

Fig. 3. Configuration of the LC director in the off and the on states in the FFS mode with 1-D and 2-D.

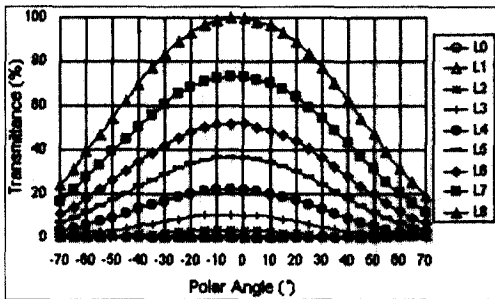
그림 4. 중간 계조와 밝은 계조에서 (a) 1-D와 (b) 2-D를 갖는 FFS 모드의 등 휘도 곡선.

Fig. 4. Iso-luminance contour of the FFS mode with (a) 1-D and (b) 2-D at mid-grey level and white state.

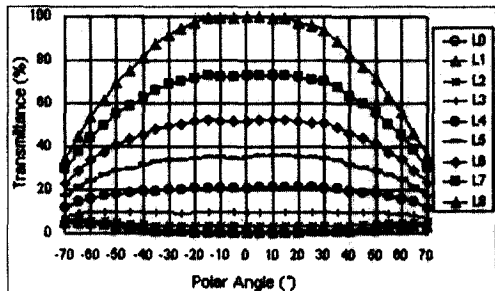
증가시켜 얻어졌다. 그림 4는 1-D와 2-D의 FFS 모드에 대하여 정면 최대 투과율(100%)에 대한 40%, 60%, 80% 투과율 특성을 보인 등 휘도 곡선을 나타낸 것이다. 중간 계조(Mid-grey) 상태에서 2-D 구

조의 등 휘도 곡선 형태가 1-D 구조보다 정면을 중심으로 하여 더 대칭적이며, 이것은 광 투과율의 시야각 의존성이 2-D 구조보다 1-D 구조에서 더 강함을 의미한다. 백(White) 상태에서 이 현상은 양 구조에서 감소하게 되고, 등 휘도 곡선의 모양은 1-D 구조에서는 타원형이나 2-D 구조에서는 거의 정면에 대해 대칭인데, 이는 2-D 구조에서 임의의 극각에서 디스플레이 되는 상이 모든 방위각에 따라 거의 동일함을 의미한다. 그림 5는 1-D와 2-D FFS 구조의 등 명암 대비율 곡선이다. 1-D 구조에서는 CR값이 10보다 작은 영역이 극각 70°이하의 특정 방위, 특히 180°~240° 영역에서 존재하며, CR이 100이상인 영역도 정면에 대해 좌우상하 비대칭적이다. 그러나 2-D 구조에서 70°내의 모든 극각에 대하여 모든 방향에서 CR이 10보다 크며, CR이 100이상인 영역도 수직과 수평방향에서 70°이상 극각 영역으로 확대된다. 또한 이것은 정면에 대해 상하좌우가 상대적으로

그림 5. (a) 1-D와 (b) 2-D를 갖는 FFS 모드의 등-콘트라스트 곡선.
 Fig. 5. Iso-contrast contour of the FFS mode with (a) 1-D and (b) 2-D.



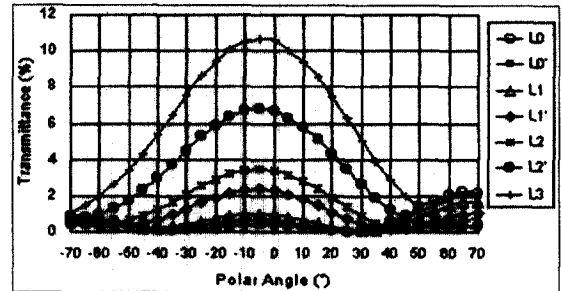
(a)



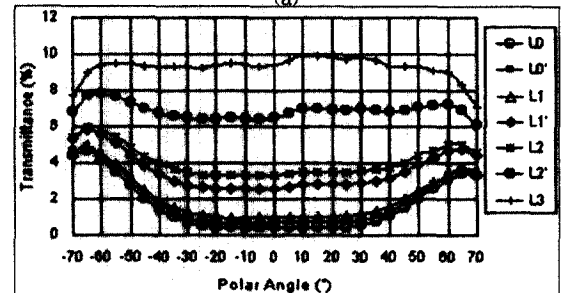
(b)

그림 6. 24° 방위각에서 극각 변화에 따른 (a) 1-D와 (b) 2-D 구조의 FFS 모드에서 8 계조에 대한 투과율.

Fig. 6. The transmittance in 8 grays of FFS mode with (a) 1-D and (b) 2-D structures as the polar angle changes in 24° of azimuthal direction.



(a)



(b)

그림 7. 24° 방위각에서 극각 변화에 따른 (a) 1-D와 (b) 2-D 구조의 FFS 모드에서 저 계조에 대한 상세 투과율 곡선.

Fig. 7. The detailed transmittance curve in low grays of FFS mode with (a) 1-D and (b) 2-D structures as the polar angle changes in 24° of azimuthal direction.

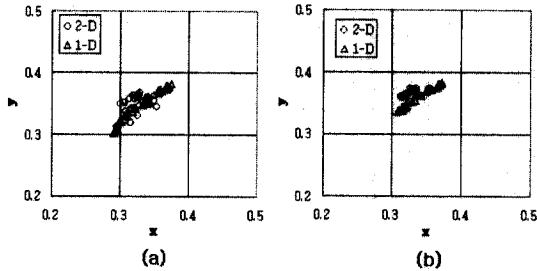


그림 8. 1-D와 2-D를 갖는 FFS 모드에 대해서 (a) 중간 계조 단계와 (b) 백 상태에서 색좌표의 시야각 의존성.

Fig. 8. Dependency of color coordinates in viewing angle at (a) mid-grey level and (b) white state for the FFS mode with 1-D and 2-D.

대칭적이다. 결과적으로 2-D 구조는 시야각 변화에 따른 CR 특성이 더 좋음을 보여준다. 그림 6은 상기 그림 5의 CR값이 낮은 방위각에 대한 1-D와 2-D 구조의 FFS 모드에서 극각을 변화시키면서 측정된 투과율 특성이다. 계조 반전 특성은 9 계조(L8 및 L0 은 각각 백 상태 및 흑 상태를 가리키고 L7 - L1은 그사이의 계조를 의미한다) 기준으로 하여 측정하였고, 여기서 방위각은 6시 방향을 0°로 정의 하여 반 시계 방향으로 24°방위각에 대해서는 0 ~ -70°까지, 204°방위각에서는 0~+70°까지 극각을 변화시키면서 측정하였다. 그림6에 나타난 바와 같이 1-D 구조에서는 극각이 30°이상 증가시 계조 반전이 약하게 발생한다. 하지만 2-D 구조에서는 정면 투과율에 대한 기울임 각에서의 투과율 변화가 적고, 결과적으로 정면에 대한 균일 휘도 영역이 넓음을 알 수 있다. 또한 8 계조에 대한 계조 반전 현상도 1-D 구조에 비해 거의 없음을 알 수 있다. 그림 7은 그림 6의 저 계조에 대해 더 상세하게 분할하여 측정된 결과이다. 여기에서 확실히 알 수 있듯이 1-D 구조에서는 셀의 좌상 방위각에 해당하는 시야각에서 계조 반전이 극각 30°이후 영역에서 발생하나 2-D 구조에서는 계조간 반전이 일어나지 않음을 알 수 있다. 마지막으로 정면 최대 투과율(100%)에 대한 표면 휘도가 50%와 100%일 때의 시야각에 따른 색 특성에 대해 조사하였다. 이미 전술한 바와 같이 1-D 구조의 백 상태에서 눈으로 관찰 시 임의의 시야각 방향에서 색 변화를 보인다. 60°

극각에서 방위각을 15°씩 증가시키면서 전 방위각에 대해 시야각에 따른 두 구조의 색 좌표를 측정하였고, 그 결과는 그림8 과 같다. 중간 계조의 1-D 구조의 색 좌표(x, y)는 시야각 방향 변화에 대해 약 (0.1, 0.1) 정도의 최대 차이를 가지며 상대적으로 강하게 이동하나, 2-D 구조에서는 색 뎀이 1-D 구조보다 훨씬 작다. 백 상태에서는 1-D 구조의 경우 색 좌표 이동은 여전히 꽤 강하나, 2-D 구조에서 색 이동이 거의 일어나지 않는다. 데이터의 산포 정도가 이를 잘 증명해준다.

4. 결론

본 논문에서는 한번의 러빙으로 전압 인가시 액정 방향자를 두개의 반대 방향으로 회전시킬 수 있는 이중 도메인 FFS 액정 셀 구조를 제안하였다. 실험결과를 통해, 단일 도메인을 갖는 1-D FFS 모드에 대해 이중 도메인을 갖는 2-D FFS 모드의 각각의 특성에 대해 살펴보면 첫째 시야각에 따른 휘도 균일도 측면에서 중간계조 및 White 계조에서 1-D 구조에 대해 2-D 구조가 전 방위각에 대해 대칭적으로 균일하며, 둘째 명암 대비율 측면에서도 전 방위각에 대해 극각을 70°까지 변화시키면서 비교시 1-D 구조는 CR이 10이하인 영역이 존재하나 2-D 구조는 전 영역에서 CR이 10이상이다. 셋째 계조별 시야각에 따른 투과율 특성 측면에서도 1-D 구조는 극각 30°이상에서 계조반전이 발생하나 2-D 구조는 극각 70°까지 전 영역에서 계조반전이 발생하지 않는다. 마지막으로 색 특성, 즉 색 좌표 특성에 대해 살펴보면 전 방위각에 대해 60°극각에서 색좌표 변화량(Δx , Δy)을 비교시 1-D는 (0.1, 0.1) 정도로 색 변화가 크나 2-D 구조는 (0.05, 0.05) 정도로 1-D의 절반 수준에 해당하는 즉, 거의 변하지 않는 우수한 특성을 보였다. 우리는 이 새로운 이중 도메인 FFS 구조가 모든 액정 디스플레이 중 최고의 화질을 보여줄 수 있다고 사료된다.

참고 문헌

- [1] 황정연, 서대식, "수직 광폴리머를 이용한 새로운 MVA 셀", 전기전자재료학회논문지, 15권, 1호, p. 54, 2001.
- [2] 서대식, 김형규, 이승희, "수직배향층에서의 네

- 마틱액정의 프리틸트각 발생”, 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 130, 2001.
- [3] 황정연, 서대식, 김재형, “수직 광폴리머를 이용한 VA-1/4 π 셀의 전기 광학 특성”, 15권, 8호, p. 670, 2001.
- [4] R. Kiefer, B. Weber, F. Windscheid, and G. Baur, “In-Plane switching of nematic liquid crystals”, Japan Display'92, p. 547, 1992.
- [5] M. Oh-e, M. Ohta, S. Aratani, and K. Kondo, “Principles and characteristics of electro-optical behaviour with in-plane switching mode”, Asia display'95, p. 577, 1995.
- [6] K. Kondo, S. Matsuyama, N. Konishi, and H. Kawakami, “Materials and components optimization for IPS TFT-LCDs”, SID'98 Digest, p. 389, 1998.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] S. H. Lee, H. Y. Kim, and S. L. Lee, “A High Quality AM-LCD using Fringe-Field Switching Technology”, IDW'99, p. 191, 1999.
- [10] 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.
- [11] 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 Ultra-FFS TFT-LCD with super image quality and fast response time”, SID'01 Digest, p. 484, 2001.
- [12] 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.