

## 수평 배향된 네마틱 액정 모드들의 화질 특성 비교

정 병 선, 김 태 현, 이 승 희  
전북대학교 신소재공학부

### Comparisons of Image Quality Characteristics in Homogeneously Aligned Nematic Liquid Crystal Modes

Byoung Sun Jung, Tae Hyun Kim, Seung Hee Lee  
School of Advanced Materials Engineering, Chonbuk National University

#### Abstract

Homogeneously aligned nematic liquid crystal modes are representatively the -FFS (fringe-field switching) mode using liquid crystal (-LC) with negative dielectric anisotropy, the +FFS mode and the IPS (in-plane switching) mode using +LC with positive dielectric anisotropy. In view of image quality evaluation standard of LCD, we compared characteristics of the brightness, the contrast ratio (CR) and color shift when the modes have respectively optimized phase retardation values ( $d\Delta n$ ). Consequently, in the most sensitively viewing angle of a man's physical vision, both FFS modes have advantage over the IPS mode from the brightness & the CR point of view. We are also confirmed that the +FFS mode out of them shows the smallest color shift according to all viewing directions in grey levels.

**Key Words** : Image quality, Color shift, FFS mode, IPS mode, Liquid crystal, Viewing angle

#### 1. 서 론

최근 액정디스플레이 시장이 중소형 뿐만 아니라 대형 LCD 부문에서 통상 유리 원판의 크기로 구분되는 세대 경쟁이 치열한데, 정작 중요한 문제는 원판 사이즈 보다는 한 장의 원판 안에서 얼마나 시장에서 요구하는 고화질과 동영상을 완벽하게 구현하는 제품을 효율적으로 만들어 낼 수 있는냐 여부다. 즉 세대보다는 제품의 표준이 더 중요함을 인식해야 한다.

액정 디스플레이의 화질은 새로운 액정 모드들의 개발에 의해 상당 수준 개선되어왔다[1]. 그 중

수평 배향된 네마틱 액정 방향자의 in-plane 회전 개념을 이용한 in-plane switching(IPS) 모드[2]와 fringe-field switching(FFS) 모드[3-6]가 대표적으로 개발되었다. 두 모드들은 액정 방향자가 in-plane 으로 회전하기 때문에 twisted nematic(TN) 모드에 비해 매우 좋은 휘도 균일도와 넓은 시야각 특성을 보여준다. 또한 이들 모드들은 각각 평행장 또는 fringe 장이 형성되어 발생하는 전기장 분포가 다르기 때문에 두 모드의 전기 광학 특성은 서로 다르다. 특히 FFS 모드는 전극 윗부분에서 액정들의 회전이 이루어 지지 않아 낮은 투과율을 갖는 IPS 모드에 비해 전극 윗부분까지 액정의 탄성력에 의해 회전하여 높은 투과율

특성을 보인다[4].

액정디스플레이의 시야각에 따른 색 이동 또한 화질 특성 비교에 있어 중요한 기준이 되는데, 두 모드는 액정 방향자가 한 방향으로만 회전하는 특성으로 인하여 특히 전압 인가 상태에서 액정 방향자에 대해 수직 또는 수평 방향의 기울임 방향에서 시야각에 따른 색 이동이 발생한다. 본 논문에서는 대표적인 수평 배열된 모드들의 화질 특성 비교 기준으로 각 모드들의 최적 위상 지연값( $d\Delta n$ )을 설정하고 밝기, 명암대비비 그리고 시야각에 따른 색 이동 변화를 비교하였다.

## 2. 액정 셀 구조 및 특성

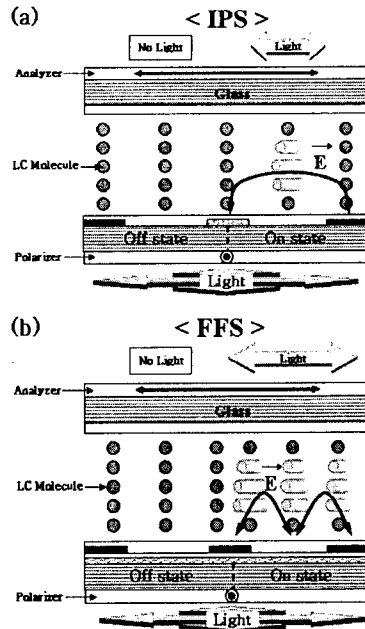
IPS 셀과 FFS 셀에서 교차된 편광판들 사이에 굴절률 이방성과 유전율 이방성을 가지는 액정 디스플레이의 표준화된 광 투과 공식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

(1)

여기서  $\psi$ 는 편광판 투과축 중 한축과 액정 방향자 간의 이루는 각도이고,  $\Delta n$ 은 액정의 복굴절,  $d$ 는 셀 갭,  $\lambda$ 는 입사광의 파장이고  $\theta$ 와  $\phi$ 는 각각 구조표계에서 극각과 방위각을 나타낸다. 식(1)에서 알 수 있듯이 이상적인 IPS 셀과 FFS 셀의 경우, 각각 in-plane 전기장과 fringe 전기장에 의해 액정 방향자들이 평면 안에서 회전하기 때문에 단지  $\psi$ 의 변화가 45°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, 흰색을 나타내는  $d\Delta n$  값이 이보다 작아지거나 커짐에 따라 각각 청색이나 노란색으로 변화할 수 있다. IPS 모드에서도 이 현상이 관찰되었고[7], FFS 모드에서도 유사한 현상이 관찰되었다.

그림 1은 IPS 셀과 FFS 셀의 셀 구조와 동작원리를 나타낸 그림이다. 초기에 액정 방향자들이 평행하게 배열되어 있어 편광판 투과축이 액정의 러빙방향과 일치하고 검광판의 투과축과는 90도 교차되어 있어서 어둡상태가 된다. 전압을 인가시 IPS 셀은 화소전극(Pixel electrode)과 공통전극(Common electrode)들 사이에 in-plane 전기장만 형성되어 전극 가운데 부분에서는 액정 방향자



들이 거의 회전하지 않아 제한된 낮은 투과율 특성을 보인다.

그림 1. On & Off 상태에서 액정분자들의 구조를 갖는 (a) IPS 셀 구조와 (b) FFS 셀 구조

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

을 보인다. 이에 반해 FFS 셀은 화소전극과 공통전극이 절연층을 사이에 두고 존재하며 두 전극간 수평 거리가 영인 전극 구조에서 발생하는 fringe 전기장, 즉 수평 및 수직 전기장에 의해 액정 방향자는 전극 가장자리부분에서부터 먼저 회전하고 전극 가운데 부분은 주변의 액정이 회전함에 따라 꼬임 탄성력을 받아 같이 회전하여 결과적으로 높은 투과율 특성을 보인다.

## 3. 시뮬레이션 결과 및 토의

표 1은 컴퓨터 시뮬레이션 조건으로, 음의 액정을 사용한 -FFS 셀, 양의 액정을 사용한 +FFS 셀과 IPS 셀의 액정 물성 값을 나타낸다. 이때 각 모드들의  $d\Delta n$ 은 광효율이 최대가 되는 조건을 각각 설정하였다. 본 연구에서는 전기광학 특성을 분석하기 위해 2차원 시뮬레이터 (LCD Master, Shintech, Japan)를 사용하였고, 2×2 extended

Jones matrix법을 적용하여 수행하였다[8]. 그리고 각 모드들의 색 특성은 C.I.E. 1931 색도도를 이용

표 1. 시뮬레이션 조건

Table 1. Simulation condition

		- FFS mode	+ FFS mode	IPS mode
Electrode width ( $\mu\text{m}$ )			3	5
Electrode distance ( $\mu\text{m}$ )			4.5	10
Cell gap ( $\mu\text{m}$ )			4	
Pretilt angle ( $^\circ$ )			2	
Rubbing angle ( $^\circ$ )			0	
LC	$K_{11}$ (pN)	13.5		11.7
	$K_{22}$ (pN)	6.5		5.1
	$K_{33}$ (pN)	15.1		16.1
	$\Delta n$ at 550nm	0.09	0.1	0.08
	$\Delta\epsilon$	-4		7.4
	$\gamma$ (mPa.)	136		147

하였고, 전파장에 대한 광원은 D65를 이용하였다.

그림 2는 각 모드별 전압 인가에 따른 광효율 곡선이다. 전극 윗부분 영역에서도 회전이 이루어지는 FFS 모드의 경우 그렇지 않은 IPS 모드보다 높은 광효율 특성을 보인다. 특히 -FFS 모드는 광효율이 89.2%로, 78%인 +FFS 모드에 비해 더 높은 광효율 특성을 보인다. 그 이유는 +LC를 사용하는 +FFS 모드의 경우 수직 전기장이 큰 전극 중앙과 전극 간 사이 중앙에서 액정 방향자의 tilt가 -FFS 모드보다 더 형성되어 약간의 광효율이 저하되기 때문이다.

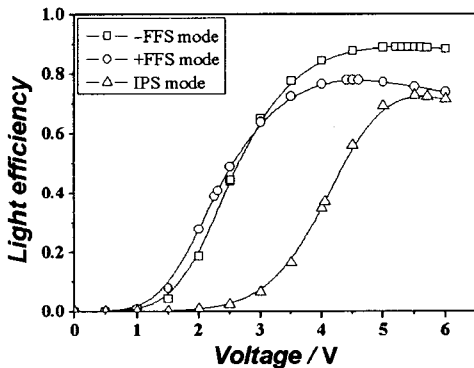
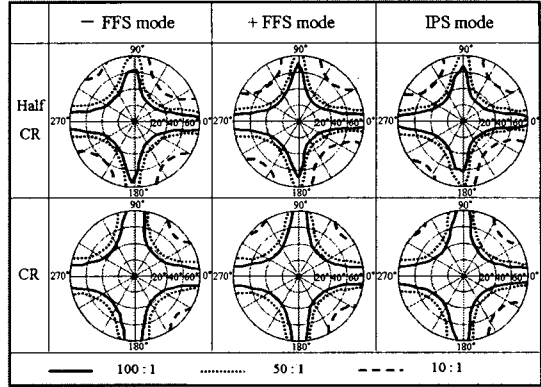


그림 2. 세 모드별 전압에 따른 투과율 곡선  
Fig. 2. Voltage-dependent light efficiency curve with the three modes.

그림 3은 각 모드별 명암대비비 곡선이다. 이때

Half CR은 중간 계조( $T_{50}$ ) 기준의 명암대비비이다. 세 모드들의 CR과 Half CR 곡선을 보면 모드별 차이가 없이 거의 유사하다. 그 중 +FFS 모드



의

그림 3. 세 모드별 등-명암 대비비 곡선

Fig. 3. Iso-contrast contour in the three modes.

표 2. 세 모드별 명암 대비비 값

Table 2. Contrast ratio values with the three modes.

	Half CR	CR
- FFS mode	842 :1	1652 :1
+ FFS mode	756 :1	1454 :1
IPS mode	687 :1	1349 :1

경우 대칭적인 CR 특성을 보인다. 그리고 표 2를 보면, 각 모드별 정면에서의 CR 값을 나타낸다. 세모드들의 정면에서 어둠 상태는 교차된 편광판 사이에서 비슷하나, 밝음 상태는 그림 2와 같이 광효율 차이가 크다. 따라서 Harf CR과 CR이 가장 큰 -FFS 모드 기준으로 +FFS 모드는 12%, IPS 모드는 19% 적은 CR값을 나타낸다.

그림 4(a)와 (b)는 각각  $T_{50}$ 과  $T_{100}$  계조에서 각 모드별 전 시야각에서의 색 이동을 나타낸다. 고계조로 갈수록 줄어드는 색 이동 차이를 표 3을 통해 색 이동 거리( $\Delta xy$ )를 계산해 비교하였다. -FFS 모드는 중간 계조에서 고계조로 갈수록 색 이동 거리가 10%, IPS 모드는 24%정도줄어드는데, 특히 +FFS 모드는 53%로 가장 적은 색 이동을 보인다.

표 3. 세 모드별 T<sub>50</sub> & T<sub>100</sub> 계조에서 Δxy 값  
Table 3. Δxy values of the three modes in T<sub>50</sub> &

	T <sub>50</sub>	T <sub>100</sub>
- FFS mode	0.104217	0.094138
+ FFS mode	0.083501	0.039894
IPS mode	0.118743	0.09059

T<sub>100</sub>

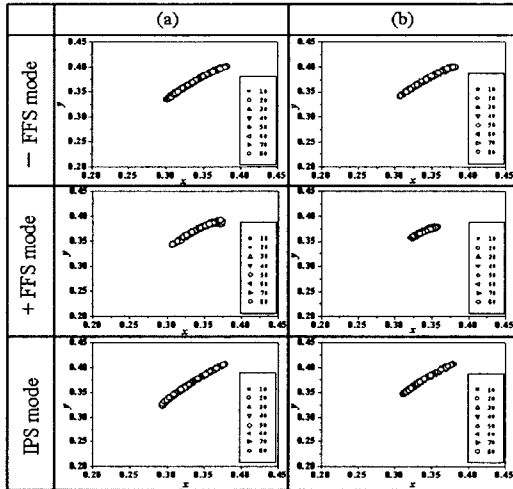


그림 4. (a) T<sub>50</sub>와 (b) T<sub>100</sub> 계조에서 각 모드별 전 시야각에서의 색 이동

Fig. 4. Color shift at all viewing angle in (a) T<sub>50</sub> & (b) T<sub>100</sub>

#### 4. 결론

본 논문에서는 대표적인 수평 배향된 네마틱 액정 모드들에 화질 특성을 비교하였다. 결과적으로 밝기와 명암대비를 측면에서 FFS 모드가 IPS 모드에 비해 높은 광효율과 사람 눈에 민감한 대칭적인 CR 특성을 보여 유리하고, 그 중 + FFS 모드는 전시야각에 따른 계조별 색이동이 적어 가장 유리한 모드임을 확인했다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국 과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-1004-0) 지원으로 수행되었음.

#### 참고 문헌

[1] 서대식, 이승희, "LCD의 액정배향 및 광시야

각 기술의 개발현황", 전기전자재료학회지, 11권 1호, p. 20, 1998.

[2] M. Oh-E, M. Yoneya, M. Ohta, and K. Kondo, "Depending of viewing angle characteristics on pretilt angle in the in-plane switching mode", Liquid Crystals, Vol. 22, No. 4, p. 391, 1997.

[3] S. H. 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. 57, No 20, p. 2881, 1998.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

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