

유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 Fringe-Field Switching mode의 cell gap 변화에 따른 전기광학 특성

Cell Gap Dependent Electro-Optic Characteristics of Fringe-Field Switching Mode using a Liquid Crystal with Negative Dielectric Anisotropy

정승희*, 김향율**, 이종문*, 이승희*
(S. H. Jung*, H. Y. Kim**, J. M. Rhee*, and S. H. Lee*)

Abstract

The FFS (fringe-field switching) mode was known to exhibit both a wide viewing angle and high transmittance, especially when using a liquid crystal with negative dielectric anisotropy. We have studied cell gap-dependent electro-optic characteristics of the FFS mode using the LC with negative dielectric anisotropy. In case of a small cell gap of 2 μm , the transmittance at the center of pixel and common electrodes is relatively low because effect of surface anchoring that holds the LC to the initial state is larger than that in a large cell gap of 4 μm such that the LCs in those regions cannot rotate enough. However, in case of a large cell gap of 4 μm , the effect of surface anchoring becomes relatively small so that the LCs at the center of pixel and common electrode can be twisted enough by applied voltage, giving rise to high transmittance. Therefore, we can conclude that the light efficiency is dependent on the cell gap.

Key Words : Fringe-field switching, Liquid crystal, Cell gap, Electro-optic characteristics, Transmittance

1. 서론

최근 들어 액정디스플레이의 연구가 활발해지면서 CRT(cathode-ray tube)를 대체할만한 우수한 특성의 모드들이 많이 개발되었다. 대표적인 것으로 WVTN(wide view twisted nematic)[1], MVA (multi-domain vertical alignment)[2,3], IPS(in-plane switching)[4,5], FFS(fringe field switching) 모드[6-9] 등이 있는데 그 중에서 WVTN 모드는 투과율이 높으나 시야각이 좁고 MVA 모드는 러빙 공정이 없는 장점이 있으나 투

과율이 낮고 IPS 모드 역시 시야각 특성은 좋으나 투과율이 떨어진다. 유전율 이방성이 음인 액정을 사용한 FFS 모드는 높은 투과율을 가지면서 동시에 넓은 시야각을 가지는데 이는 LCD가 CRT를 대체하기에 충분함을 보여주는 모드이다. 본 연구에서는 FFS 모드의 셀갭을 변화시켰을 때 전기광학 특성이 어떻게 변하는지 연구해 보았다. FFS모드는 액정의 유전율 이방성에 따라 전기광학특성이 크게 달라지는데[8] 본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 FFS 모드에서 셀갭에 따른 액정 움직임과 그에 따른 전기광학 특성을 연구하였다.

* : 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)
Fax: 063-270-2341

Corresponding Author : lsh1@moak.chobuk.ac.kr

** : BOE-HYDIS, TECHNOLOGY CO., LTD
2003년 2월 17일 접수, 2003년 4월 7일 1차 심사완료,
2003년 5월 6일 최종 심사완료

2. FFS 모드의 셀 구조 및 동작원리

그림 1은 FFS 모드의 셀 구조를 보여준다. FFS 모드는 하부기판에만 전극이 존재한다. 공통전극

(common electrode)과 화소전극(pixel electrode)이 절연층을 사이에 두고 존재하며 두 전극 간 수평 거리가 영이고 화소 전극은 임의의 폭(w)을 가지고 서로 임의의 간격(l')으로 떨어져 있다. 전압 인가 시 fringe 전기장, 즉 수평 및 수직 전기장이 발생한다. 수평 전기장은 초기 수평 배열된 액정을 회전시키는 역할을 하며 수직 전기장은 액정을 기판에 평행하게 유지시키는 역할을 한다. 전압 인가 시 전극 edge영역에 있는 액정들이 수평전기장에 의해 먼저 회전되고 전극 한가운데 있는 액정들은 주변의 액정이 회전함에 따라 꼬임 탄성력을 받아 같이 회전하게 된다. 따라서 TN 모드와는 다르게 FFS 모드는 전극 위치에 따라 액정을 들게 하는 힘이 달라 액정의 회전되는 각이 전극 위치에 따라 다르게 나타나며 광투과도가 전극 위치에 따라 약간 다르다. 그러나 거시적으로 봤을 때 액정은 기판에 평행하게 twist 변형을 하며 위치별 투과율 차이가 근소하여 전체적으로 높은 광 투과율을 내는 것을 볼 수 있다.

일반적으로 편광판 두장이 90도로 교차되고 그 사이에 액정이 존재할 시 광 투과 공식은 다음과 같이 고려될 수 있다.

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

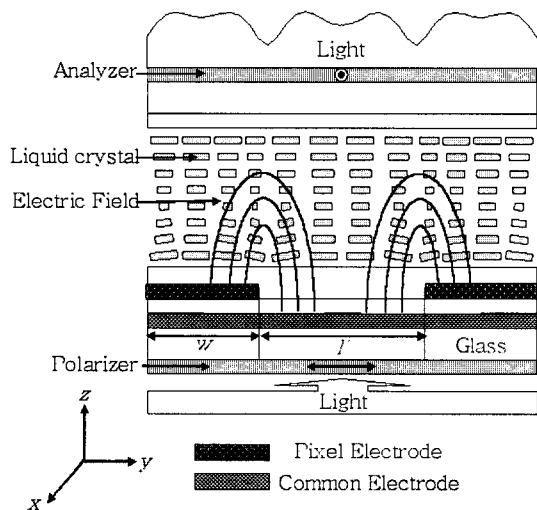


그림 1. 옆에서 본 FFS 모드의 셀 구조.
Fig. 1. Cross-sectional view of the FFS cell structure.

여기서 ϕ 는 교차된 편광판의 투과축 중의 하나와 액정 방향자 사이에 이루는 각을 말한다. Δn 은 액정의 복굴절 값이고, d 는 셀갭을 나타내며, λ 는 입사광의 파장을 말한다. 이 식에서 투과율이 최대가 되려면 ϕ 가 45° 이어야 하고 액정셀의 위상지연 값($d\Delta n$)은 최소 $\lambda/2$ 값 이어야 한다. FFS 모드는 교차된 편광판 중 하나의 광축을 하부 기판의 러빙 방향과 일치시키는데 이때는 ϕ 가 0° 이므로 빛이 통과하지 않는다. 전압 인가 시 액정이 twist 되고, 즉 ϕ 가 커지면서 빛이 통과하게 되는데 FFS 모드에서 투과율이 수평방향을 따라 약간 다른 이유는 이 값이 위치에 따라 달랐기 때문이다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림 2는 정면에서 본 FFS 모드의 전극구조이다. 액정분자는 초기에 pretilt 각이 2° 정도로 수평 배향 되어 있고 러빙은 fringe 전기장의 수평성분에 대해 12° 로 하였다. 본 연구에서는 셀갭 효과를 보기 위하여 다른 조건들은 일치시켰다. $d\Delta n$ 은 $0.36 \mu\text{m}$ 으로 일정하게 하고 유전율 이방성($\Delta\epsilon$)은 -4 , 탄성상수 K_1 은 13.5pN , K_2 는 6.5pN , K_3 는 15.1pN , 셀갭은 각각 $2 \mu\text{m}$, $3 \mu\text{m}$, $4 \mu\text{m}$ 로 변화를 주었고 입사광은 550 nm 를 사용하였다. 광학적 투과율 계산은 2×2 extended Jones matrix를 적용하였다[10].

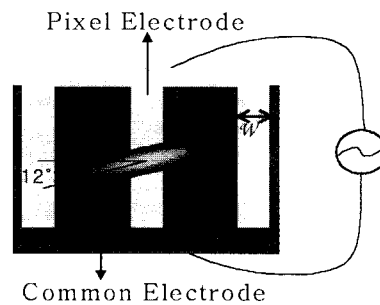


그림 2. 정면에서 본 FFS 모드의 그림.
Fig. 2. Top view of the FFS electrode structure.

그림 3은 셀갭이 $2 \mu\text{m}$, $3 \mu\text{m}$, $4 \mu\text{m}$ 일 때의 전압 인가에 따른 투과율 곡선($V-T$)이다. 그림에서 보는 바와 같이 셀갭이 커질수록 투과율이 높아졌고 구동전압은 5.6 V 에서 4.6 V 로 낮아졌다.

아래 식은 IPS 모드에 적용되는 문턱전압, V_{th} 와 액정 물성 및 셀 구조와의 관계를 보여준다.

$$V_{th} = \pi l / d \times (K_2 / \epsilon_0 \Delta \epsilon)^{1/2}$$

여기서 l 은 공통전극과 화소전극간의 거리인데 FFS 모드에서는 이 값이 0으로 위의 식이 FFS 모드에 바로 적용될 수는 없다. 주목할 것은 셀갭과 V_{th} 는 서로 반비례 관계를 갖는다. 즉 셀갭이 작아질수록 액정들이 기판에서 surface anchoring 에너지에 크게 영향을 받으므로 전압 인가에 의해 twist 하기가 더 힘들다. 따라서 FFS 모드에서도 마찬가지로 그러한 효과에 구동전압이 증가하는 것을 보여준다. 재미있는 현상은 다른 TN이나 IPS모드에서는 셀갭이 다르더라도 액정셀의 위상 지연값이 같으면 광효율은 차이가 나지 않는데 반해 FFS모드에서는 셀의 위상지연값이 같음에도 불구하고 셀갭의 저하 시 투과율이 떨어진다는 것이다. 이러한 원인을 알아보기 위하여 전압 인가에 따른 액정의 움직임을 관찰하였다.

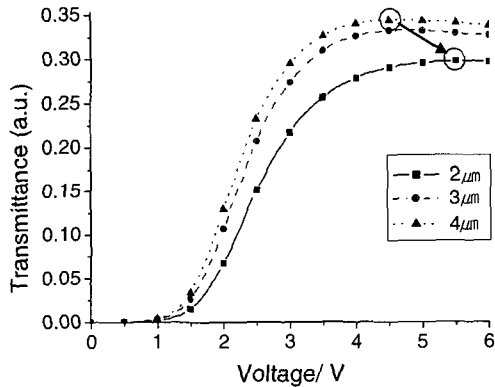


그림 3. 셀갭 변화에 따른 V-T curve.

Fig. 3. Voltage-dependent transmittance characteristics for different cell gaps.

그림 4는 셀갭별 구동전압(셀이 투과율 최대값을 보여주는 전압) 근처에서 전극 위치에 따른 투과율과 액정 분자들의 배열 형태를 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 이 그림에서 A는 구동전압보다 0.5V 낮은 전압의 투과율이고 B는 구동전압, C는 구동전압보다 0.5V 높은 전압의 투과율이다. 그림 5에서 주목할만한 것은 위치마다 투과율 최대인 전압이 다르다는 것이다. 화소 전극 가운데 부분은 셀갭에 관계없이 A에서 C로 갈수록 투과율이 더 높아짐을 알 수 있다. 이는 구동전압일 때 액정의 twist 정도가 45°보다 적기 때문에 이보다 높은 전

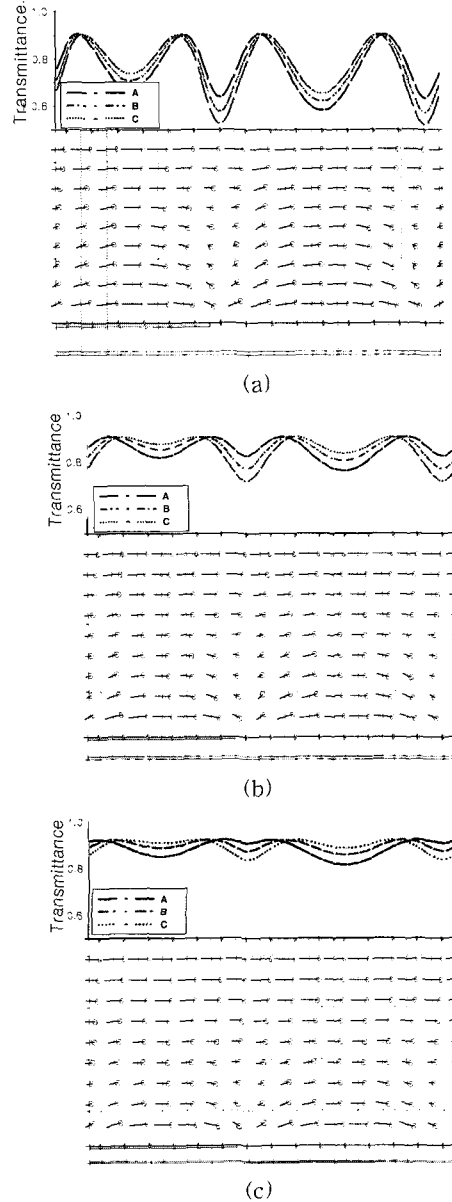


그림 4. 유전을 이방성이 음인 액정을 이용한 FFS 모드에서 셀갭이 (a) 2 μm, (b) 3 μm, (c) 4 μm일 때의 전압에 따른 투과율 분포 및 투과율 최대시의 액정 분포.

Fig. 4. Transmittance distribution at different voltages and LC director distribution at maximum transmission for the FFS mode using a liquid crystal with negative dielectric anisotropy when the cell gap is (a) 2 μm, (b) 3 μm, and (c) 4 μm.

압을 가해주어야만 투과율이 최대가 된다. 화소 전극 edge부분을 보면 역으로 A에서 C로 갈수록 투과율이 떨어지는데 이는 이미 전압이 구동전압에 도달하기 전에 액정이 overtwist되어 전압을 계속 증가시 액정이 overtwist 되면서 투과율이 저하되는 것을 보여준다. 이처럼 위치별마다 구동전압이 다른 것 또한 FFS 모드의 특징적인 점이다.

그러면 본 논문에서 언급하고자 한 셀갭별 투과율을 보자. 구동전압에서의 투과율(B)을 보면 셀갭이 $2\ \mu\text{m}$ 경우 전극 위치별 투과율의 차이가 심하였고 특히 화소 및 공통전극의 가운데 영역과 전극의 edge 근처에서 투과율이 저하되었다. 이러한 부분은 평균 투과율 감소의 원인이 된다. 셀갭이 커질수록 전극 위치별 투과율 차이는 감소하고 $4\ \mu\text{m}$ 셀의 경우에 그 차이는 최소임을 알 수 있다. 전극 위치별 투과율 차이가 적다는 것은 최대 광효율을 보여주는 전압이 거의 같다는 것을 의미한다. 결과적으로 액정의 배열은 탄성에너지와 전기장에너지와의 경쟁에 의해 자유에너지를 최소화하는 방향으로 결정되는데 이러한 원인을 분석하기 위해 우선 전기장 분포를 분석하였다.

그림 5와 6은 셀갭에 따른 각각 수평 및 수직 전기장의 분포로 D는 셀 하부 표면으로부터 $0.4\ \mu\text{m}$, E는 중간부분, F는 상부 표면으로부터 $0.4\ \mu\text{m}$ 이다. 그림에서 보듯이 셀갭이 커질수록 상부 표면 근처에서 수평 및 수직 전기장이 약해지는 것을 알 수 있다. 이는 FFS 모드가 다른 모드들과는 달리 전극이 아래쪽에만 위치하기 때문이다. 그림 5에서 화소전극의 중간과 전극과 전극 사이의 중간부분의 수평전기장 세기는 거의 없고 전극 edge 부분에서는 아주 크다. 또한 셀갭이 $2\ \mu\text{m}$ 경우일 때 전기장 강도가 각 위치에서 가장 큰 것을 알 수 있다. 수평전기장은 twist 각에 영향을 주므로 전극 edge 부분의 twist 각이 가장 클 것으로 예상할 수 있다. 이와 반대로 수직 전기장 분포를 보면(그림 6참조) 전극 edge 부분은 거의 0으로 액정의 tilt 정도가 가장 크고 전극 edge 부분에서 멀어질수록 수직전기장의 세기가 커져 tilt 각이 점점 작아질 것으로 예상된다. 각 위치에서 수직 전기장의 세기는 수평전기장과 마찬가지로 셀갭이 $2\ \mu\text{m}$ 일 때가 가장 크다. 이러한 위치별 전기장의 차이는 액정거동을 다르게 하므로 투과율이 전극 위치에 따라 달라지는데 셀갭이 작을수록 전기장의 영향력과 기판 표면의 정박력(anchorng force)에 영향이 커져 둘 사이의 경쟁 또한 심해지므로 위치별 투과율 차이가 심하게 되는 것이다.

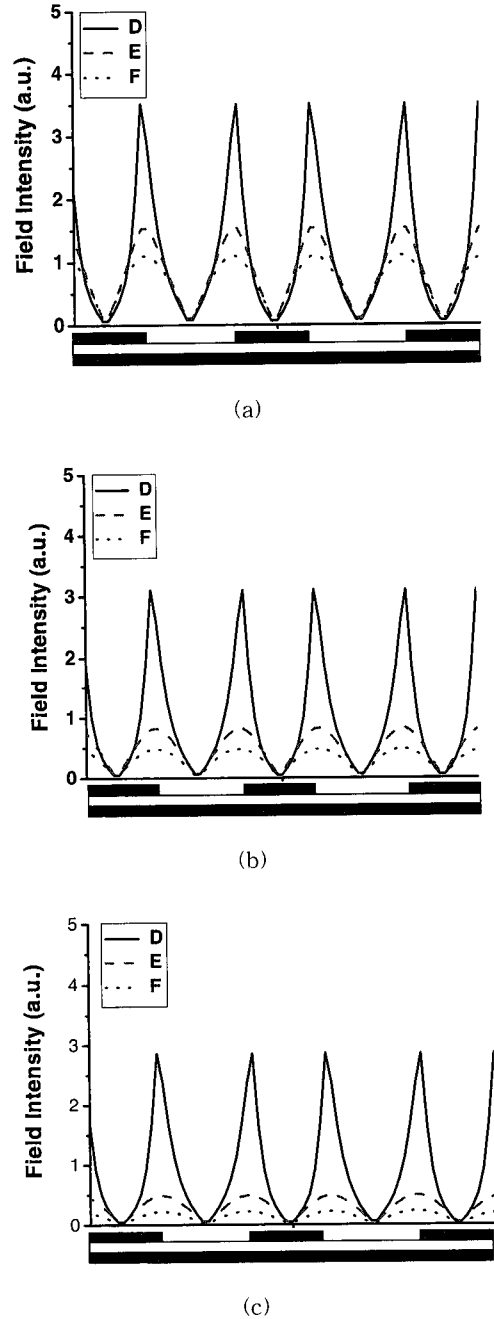


그림 5. 셀갭이 (a) $2\ \mu\text{m}$, (b) $3\ \mu\text{m}$, (c) $4\ \mu\text{m}$ 일 때 FFS 모드의 수평 전기장분포.

Fig. 5. Distribution of horizontal electric field of FFS mode when the cell gap is (a) $2\ \mu\text{m}$, (b) $3\ \mu\text{m}$, and (c) $4\ \mu\text{m}$.

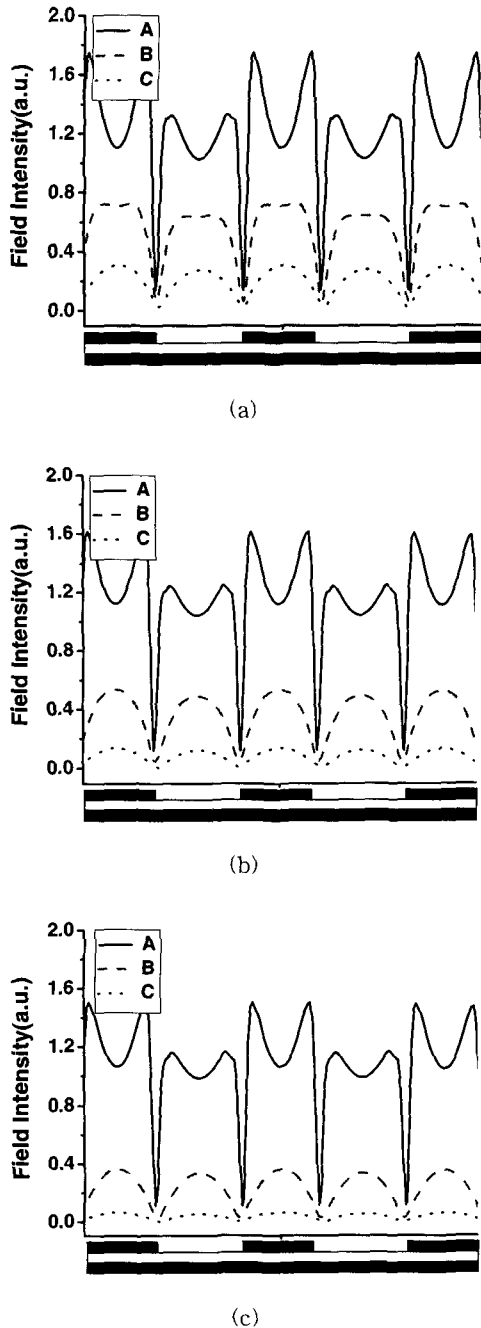


그림 6. 셀갭이 (a) 2 μm , (b) 3 μm , (c) 4 μm 일 때 FFS 모드의 수직 전기장분포.

Fig. 6. Distribution of vertical electric field of FFS mode when the cell gap is (a) 2 μm , (b) 3 μm , and (c) 4 μm .

다음으로 이러한 전기장 분포가 액정의 거동에 어떤 영향을 미치는가 조사하기 위하여 세 지점에서 수직방향(z)에 따른 액정의 twist 각과 tilt 각을 조사하였다. 그림 7은 셀갭별 액정분자의 twist 각 분포이다. 여기서 G는 셀의 center 부분이고 H는 전극 center와 edge의 중간 부분이고 I는 전극 edge 부분이다. 셀갭이 2 μm 인 경우를 보면 수평 전기장의 세기가 가장 큰 전극 edge부분은 수평 전기장의 세기가 셀의 위쪽까지 강하게 작용하여 최대 twist 각이 z/d 가 0.4인 지점에서 약 67° 이다. 이는 최대 twist 각이 45° 이상 값으로 이 지점에서 투과율이 떨어진다. 반면에 화소전극의 중앙부분은 있는 액정들은 이 지점에서 수평 전기장이 매우 약하기 때문에 이웃하는 액정의 twist력에 의해 회전되는데 기판 표면 정박력의 영향력이 크므로 액정이 최대 twist 각이 z/d 가 0.5인 지점에서 약 37° 정도로 적어 투과율이 낮다. 반면 H 지점에서는 액정이 최대 twist 각이 z/d 가 0.5인 지점에서 약 47° 정도여서 투과율이 최대이다. 여기서 주목할 만한 것은 twist 각이 최대인 점이 셀의 가운데 부분인데 이는 강한 전기장과 표면에 정박되어 있는 액정의 배향력과 경쟁의 결과라고 볼 수 있다. 이러한 액정 분포는 수평전기장만을 사용하는 IPS와 거의 비슷한 형태라 하겠다. 셀갭이 3 μm 인 경우를 보면 역시 수평전기장의 세기가 가장 큰 전극 edge부분에서 최대 twist 각이 z/d 가 0.25인 지점에서 약 65° 이고 z/d 가 0.5인 지점에서도 약 58° 이다. 하지만 2 μm 셀의 경우보다는 평균 twist 각이 적어 투과율이 0.94로 0.83인 2 μm 셀 보다는 높다. 반면에 G 지점에서는 액정의 최대 twist 각이 z/d 가 0.44인 지점에서 약 45° 정도로 투과율이 최대값 근처에 있다. H 지점에서는 액정이 최대 twist 각이 z/d 가 0.4인 지점에서 약 50° 정도여서 투과율이 최대이다. 전체적으로 보면 2 μm 셀 보다 twist 각이 최대인 점이 셀의 중간 부분에서 아래쪽으로 이동하였는데 이는 셀갭이 커지면서 표면 정박력이 액정 전체에 미치는 영향력은 줄어들고 하부 기판 표면근처에서 전기장이 강한 결과라고 볼 수 있다. 또한 최대 twist 각의 값이 위치별 의존도가 2 μm 셀 보다 줄어들어 투과율이 향상됨을 알 수 있다. 셀갭이 4 μm 인 경우에 최대 twist 각은 각각 G, H, I 지점에서 z/d 가 0.2, 0.34, 0.38일 때 63° , 52° , 48° 로 위치별 의존성이 줄어들고 twist 각도 커서 투과율이 3 μm 인 셀 보다 향상됨을 알 수 있다. 또 하나 주

목할 만한 것은 화소전극 edge 부분에서 최대 twist 각이 63° 입에도 불구하고 투과율이 0.98 정도로 높게 보여준 이유는 셀갭이 클 시 표면 정박력 영향이 셀내에 액정에 미치는 영향은 줄어들고 하부 표면 근처에서 가장자리의 강한 수평 전기장에 의해 액정이 twist 된다. 하지만 셀 하부 표면에서 멀어질수록 수평전기장의 세기는 약화되고 이는 액정의 twist 각의 감소를 가져온다. 다시 말하면, z/d 가 0.2 인 셀내 위치에서 최대 twist 각을 갖고 셀 상판 쪽으로 갈수록 twist 각이 연속적으로 감소해 액정 분포로 보면 low TN 모드와 유사하다. 이는 이 지점에서 액정셀의 전기광학 특성이 복굴절 모드인 IPS 형식을 따르지 않고 광 회전자 모드인 TN 모드의 형식을 따르기 때문에 최대 twist 각이 45°를 넘더라도 투과율이 크게 저하되지 않는다. 그림 8은 각 셀갭별 세 지점에서 액정분자의 tilt 각 분포를 보여준다. 유전율 이방성이 음인 액정은 전기장에 수직하게 배열하려는 특성을 가지고 있다. 세 종류의 셀 모두 전극 중앙부분에서는 수직전기장만 존재하므로 액정이 상하판 표면을 제외하고는 초기 pretilt 각 2° 보다 감소함을 알 수 있다. 전극 edge영역에서는 세 종류 셀 모두 하부 표면 근처에서 초기 pretilt 각과 반대방향으로 약 14° 정도까지 액정이 서는 것을 알 수 있고 하부 표면에서 멀어질수록 이는 급격히 감소한다. 수평 및 수직 전기장이 모두 존재하는 H 지점에서 tilt 각 분포를 보면 최대 tilt 각은 I 지점보다는 적으나 셀갭이 2 μm 일 때가 4 μm 일 경우 보다 셀 전체에 액정들이 많이 서 있음을 알 수 있다. 이 영역에 있는 액정들의 tilt 각이 크면 클수록 전극 중앙 즉 G 지점에 있는 액정들을 회전시키는 twist 력이 감소한다. 셀갭이 4 μm 일시는 최대 tilt 각이 H 지점에서 z/d 가 0.15인 곳에서 발생하는데 이 위치에서 G 지점에 있는 액정들을 twist 시키는 힘은 아주 적고, z/d 가 0.5인 셀 중앙에서는 tilt 각이 -2°로 작기 때문에 G 지점에 twist를 주는 힘이 강하다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 그림 7(c)에 twist 각 분포로 나타난다. 셀갭이 2 μm 일시는 H 지점에서 액정들이 많이 서있기 때문에 G 지점에 있는 액정들에게 약한 twist력을 주어 충분히 회전시키지 못한다. 결과적으로 셀갭이 2 μm 일 때는 표면 정박력 영향력이 커지기 때문에 최대 twist 각이 셀 중앙 근처에서 발생하고 H 지점에 있는 액정들의 tilt 각이 크기 때문에 전극 중앙 부분에 있는 액정의 평균적이 twist 각이 감소한다.

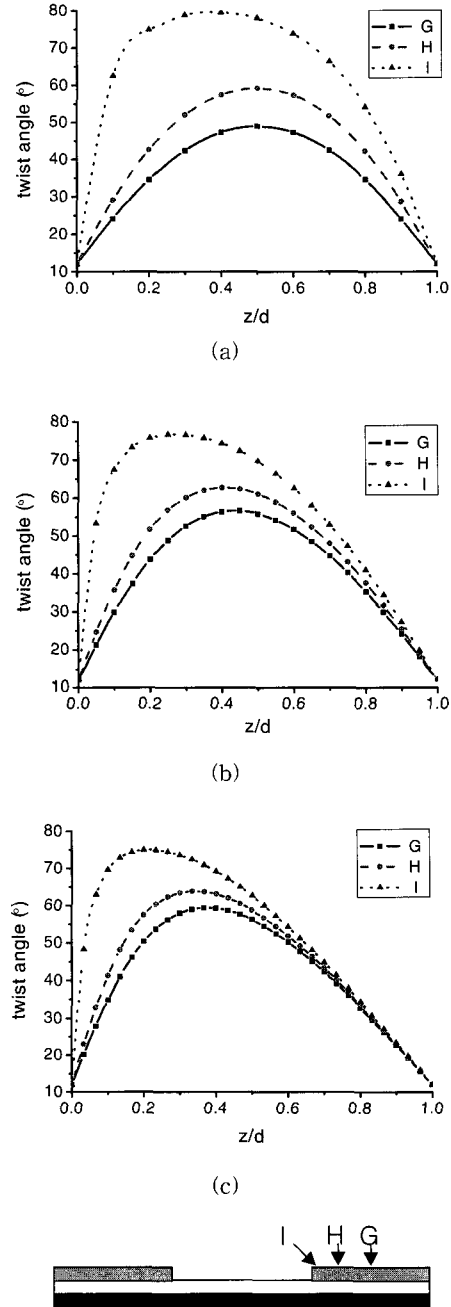
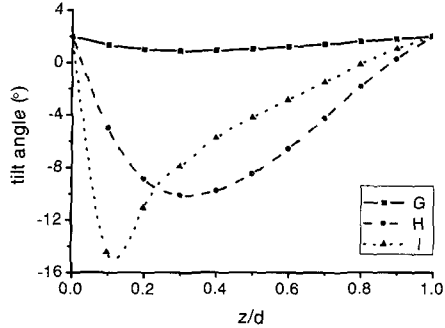
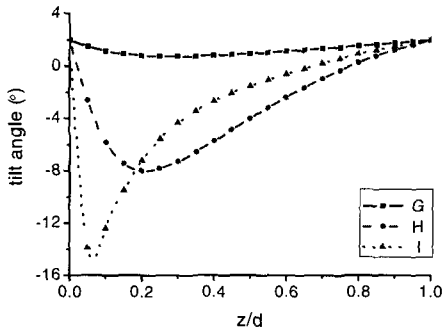


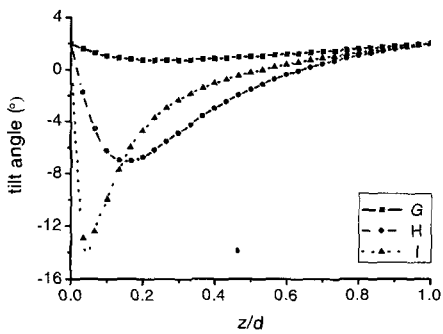
그림 7. 셀갭이 (a) 2 μm , (b) 3 μm , (c) 4 μm 일 때 세 곳의 전극 위치에서의 액정 분자의 twist angle 분포.
 Fig. 7. Twist angle of the LC when a cell gap is (a) 2 μm , (b) 3 μm , and (c) 4 μm .



(a)



(b)



(c)



그림 8. 셀갭이 (a) 2 μm, (b) 3 μm, (c) 4 μm일 때 세 곳의 전극 위치에서의 액정 분자의 tilt angle.

Fig. 8. Tilt angle of liquid crystal when a cell gap is (a) 2 μm, (b) 3 μm, and (c) 4 μm.

다음은 셀갭과 응답속도간의 관계를 조사하였다 (그림 9 참조). 일반적으로 수평 배향된 액정이 기판에 평행하게 회전하는 IPS 모드의 응답시간은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\tau_{on} = \frac{\gamma_1}{\epsilon_0 |\Delta\epsilon| (E^2 - E_c^2)}$$

$$\tau_{off} = \frac{\gamma_1 d^2}{\pi^2 K} = \frac{\gamma_1}{\epsilon_0 \Delta\epsilon E_c^2}$$

비슷한 개념으로 FFS 모드의 응답시간을 분석해보면, τ_{on} 시간은 셀갭이 작아지면서 셀내의 전기장의 세기는 커지고 이는 액정에 강한 유전 토크(torque)를 주어 응답속도가 빨라지게 된다. τ_{off} 시간은 응답시간이 d^2 에 비례한다. 즉 셀갭이 작아지면서 기판 표면의 액정 정박력 영향이 셀갭이 클 때보다 더 커지기 때문에 액정이 원래의 상태로 돌아오려는 복원력이 크다고 볼 수 있다. 결과적으로 셀갭이 작아지면 전체적인 응답속도가 빨라지게 된다.

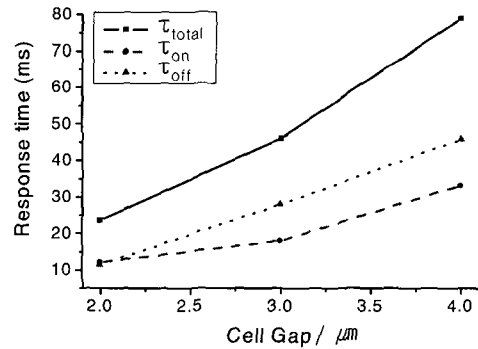


그림 9. 셀갭 변화에 따른 τ_{on} , τ_{off} , τ_{total} 응답시간.
Fig. 9. τ_{on} , τ_{off} , and τ_{total} plotted as a function of cell gaps.

마지막으로 셀갭이 다를 경우 액정의 분포도가 미세하게 차이 나는데 이것이 시야각에 어떤 영향을 주는지를 조사하였다. 그림 10은 정면 백 상태 (T_{max})의 휘도 값이 시야각에 따라 어떻게 변하는지를 보여주는 등휘도 곡선이다. 정면대비 투과율 30%, 50%, 70%의 등휘도 곡선을 조사하였는데 셀갭이 다르더라도 액정의 tilt 각은 큰 차이가 없고 twist 분포만 차이가 있는데 등휘도 곡선에는 큰 차이 없이 모두 우수한 대칭성을 보여주었다.

4. 결 론

본 연구에서는 FFS 모드의 셀갭 변화에 따른 전기광학 특성을 연구하였다. 셀갭이 2 μm 인 경우 셀갭이 4 μm 와 비교했을 때 전극 위치별 투과율의 차이가 심하였다. 특히 화소 및 공통전극의 가운데 영역과 전극의 edge 근처에서 투과율이 저하되었다. 화소전극 및 공통전극의 가운데를 보면 액정을 회전시키는 수평전기장이 약하고 액정을 초기상태로 잡고 있는 기판 표면 정박력의 영향력이 크기 때문에 twist 각이 작아 투과율이 떨어진다. 반대로 전극 edge 부분은 수평 전기장세기가 셀 위 부분까지 매우 크므로 twist 각이 45°를 넘어 투과율이 떨어지는 것이다. 또한 셀갭이 작아지면 셀 표면의 정박력이 커져 구동전압은 높아진다. 셀갭별 응답시간을 보면 τ_{on} 시간은 셀갭이 작아지면서 셀 내의 전기장의 세기가 커지면서 빨라지고 τ_{off} 시간은 d^2 에 비례하므로 짧아진다. 결과적으로 셀갭이 작아지면 전체적인 응답속도가 빨라진다. 액정 셀의 시야각에 따른 휘도 변화율을 보면 셀갭이 다른 경우 액정의 분포가 다름에도 불구하고 거의 같게 나타났다.

참고 문헌

- [1] S. H. Lee, S. H. Hong, J. M. Kim, H. Y. Kim, and J. Y. Lee, "An overview of product issues in wide viewing TFT-LCDs", Journal of the SID, p. 155, 2001.
- [2] 서대식, 김형규, 이승희, "수직배향층에서의 네마틱액정의 프리틸트각 발생", 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 130, 2001.
- [3] N. Koma, Y. Baba, and K. Matsuoka, "No-rub multi-domain TFT-LCD using surrounding electrode method", SID'95 Digest, p. 869, 1995.
- [4] 김향울, 서대식, 남상희, "IPS 셀의 전압보유율 및 잔류DC특성 연구", 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 169, 2002.
- [5] 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.
- [6] 김향울, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전을 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자

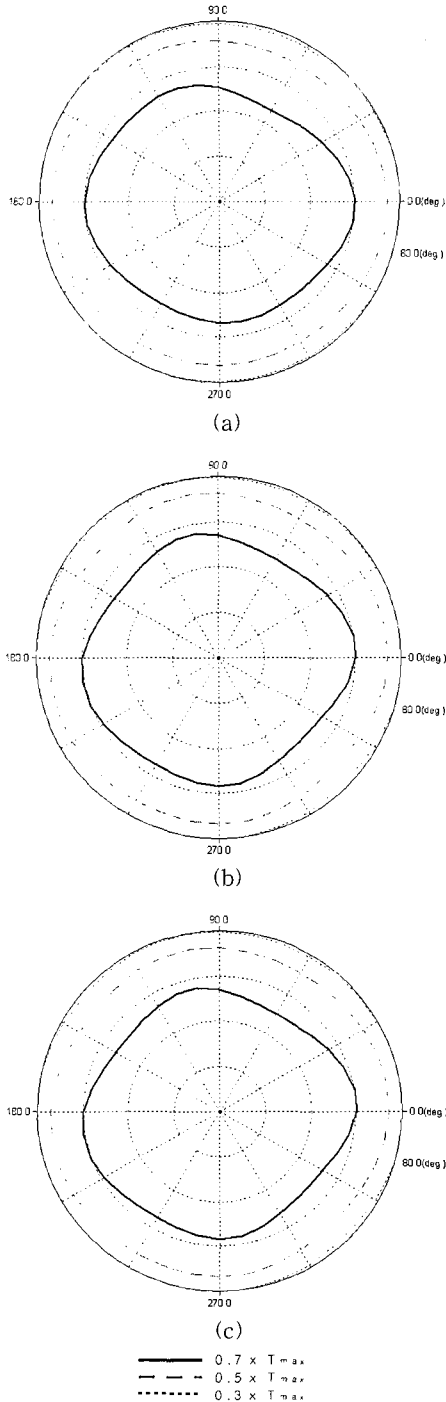


그림 10. 셀갭이 (a) 2 μm , (b) 3 μm , (c) 4 μm 일 때 FFS 모드의 등휘도 곡선.

Fig. 10. Iso-luminescence of FFS mode when the cell gap is (a) 2 μm , (b) 3 μm , and (c) 4 μm .

재료학회논문지, 15권, 1호, p. 720, 2002.

- [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. 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.
- [9] 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.
- [10] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, p. 2767, 1990.