

논문 17-3-11

유전율 이방성이 양인 액정을 이용한 프리지 필드 구동형 모드에서 프리틸트각 변화에 따른 전기-광학 특성

Pretilt Angle Dependent Electro-Optic Characteristics of the Fringe-Field Switching mode using the Liquid Crystal with Positive Dielectric Anisotropy

정태봉¹, 임영진¹, 안명환², 이승희^{1,a}
(T. B. Jung¹, Y. J. Lim¹, M. H. An², and S. H. Lee^{1,a})

Abstract

We have studied electro-optic characteristics as a function of pretilt angle (θ_p) in the fringe-field switching (FFS) mode using the LC with positive dielectric anisotropy. When θ_p is increased from 0° to 20° , a maximum transmittance and an operating voltage are obviously decreased. In the viewing angle characteristics, the cell with low pretilt angle has a wide region for the contrast ratio greater than 5 and has a best luminance uniformity. Therefore, in the FFS device, a low pretilt angle is favored for high transmittance and wide viewing angle.

Key Words : Fringe-field switching, Pretilt angle, High transmittance, Wide viewing angle

1. 서론

최근 들어 액정 디스플레이의 사용 범위가 확대됨에 따라 환경에 맞는 액정 모드의 사용이 매우 중요하다. 상용화된 액정 모드들 중에서 범용으로 사용하는 twisted nematic (TN) 모드는 광효율이 매우 우수하고, 구동 전압이 낮다. 하지만 전압 인가시 전계 방향에 대해서 액정 방향자들이 기판에 대해서 수직으로 일어서기 때문에 특정 방향에 대해서 휘도 불균일이 발생하여 시야각이 매우 협소하다[1,2]. 이 같은 단점을 보완한 기판에 대해서 수평 배열된 액정을 수평 전기장을 이용한 in-plane switching (IPS) 모드가 제안되어졌다[3,4]. IPS 모드는 전압 인가시 액정이 기판에 대해서 한 방향으로 회전하기 때문에 넓은 시야각을 가지나,

전극 위 부분에서는 액정들이 수평 전기장에 대해서 완벽하게 회전하지 않기 때문에 투과율이 저하된다. 이와는 달리 IPS 모드와 같이 기판에 대해서 수평 배열된 액정을 수직, 수평 전기장을 이용한 fringe-field switching (FFS) 모드가 제안되어졌다[5]. FFS 모드는 수직, 수평 전기장에 의해서 전극 위 부분의 액정들도 회전하기 때문에 IPS 모드보다 높은 투과율과 광시야각을 가진다. 현재까지 FFS 모드를 이용한 투과형, 반사형 그리고 반투과형 모드에 관해서 다양한 연구가 이루어졌다[6-11]. 그 중 투과형 모드에서 액정의 유전율 이방성과 러빙 방향에 대한 FFS 모드의 전기-광학 특성에 대해서 연구하였다.

본 논문에서는 유전율 이방성이 양인 액정을 이용한 FFS 모드에서 θ_p 의 변화에 따른 전기-광학 특성에 대해서 연구하였다.

1. 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)
2. 여수대학교 반도체 응용물리학과
a. Corresponding Author : lsh1@moak.chonbuk.ac.kr
접수일자 : 2003. 7. 30
1차 심사 : 2003. 9. 8
심사완료 : 2003. 9. 25

2. FFS 모드의 셀 구조 및 동작 원리

그림 1은 수직, 수평 전기장에 의해서 구동되는 FFS 모드의 단면을 보여주고 있다. 공통 전극

(common electrode)과 화소 전극(pixel electrode)이 두께가 2500Å이고, 유전 상수가 6.5인 절연층을 사이에 두고 존재한다. 공통 전극은 평면 전극 형태로 존재하며, 화소 전극은 폭이 3μm, 화소 전극간 거리는 4.5μm인 슬릿 형태로 존재한다. 이 때 액정의 러빙 방향은 전기장의 수평 성분에 대하여 시계 반대 방향으로 78°로 두었고, 액정의 θ_p 를 변화 시켰다.

일반적으로 교차된 편광판 사이에 복굴절 액정물질을 갖는 액정셀에서 표준화된 광 투과 공식은 다음과 같다.

$$T/T_0 = \sin^2(2\phi)\sin^2(\pi d\Delta n(\theta, \phi)/\lambda) \quad (1)$$

여기서 ϕ 는 교차된 편광판의 투과축 중 한 축과 액정 방향자간의 각도이고, Δn 은 액정의 굴절률 이방성, d 는 액정의 셀 갭, λ 는 입사광의 파장이고, θ, ϕ 는 각각 구 좌표계에서 극각과 방위각을 나타낸다.

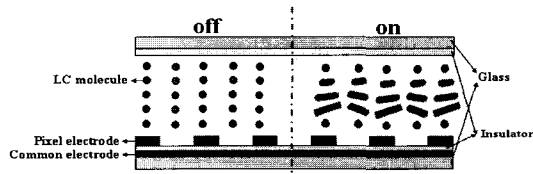


그림 1. 시뮬레이션에서 사용되어진 셀 구조의 개략도.

Fig. 1. Schematic diagram of the cell structure used for simulation.

FFS mode의 동작 원리를 살펴보면, 전압 인가하기 전에는 액정 방향자가 수평 배열되어 있고, 이 때 하판의 러빙 방향은 하판의 편광판 투과축과 일치시키고, 이 때 상판의 편광판 투과축은 90°로 교차되어, 식 (1)에서 보는 것과 같이 ϕ 가 0°이 되어 투과율이 없다. 즉, 전압 무인가시 어둡은 상태를 보이는 normally black (NB) mode이다. 전압 인가시 화소 전극에서 수직, 수평 전기장이 형성되어, 화소 전극의 중앙에서는 수직 전기장이 수평전기장 보다 상대적으로 크고, 화소 전극 모서리 부분에서는 수평 전기장의 세기가 매우 크다. 그래서 화소 전극 모서리 부분은 액정 방향자가 전기장 방향에 대해서 평행하게 배열하여 low twisted nematic (TN)과 같은 비틀림 변형이 일어나고, 화소 전극 위에서는 수직 전기장과 액정의 상호 작용

용 그리고 액정의 탄성력에 의해서 변형이 일어난다. 그래서 전극 위치별 투과율 차이가 존재하며, 투과율이 주기적으로 요동친다. 전압 인가시 최대 투과율을 보이기 위해서는 식 (1)에서 보는 것과 같이 교차된 편광판의 하나의 투과축과 액정 방향자가 45°각을 형성할 때 투과율 최대값을 가진다 [7].

3. Simulation 결과 및 고찰

본 논문의 컴퓨터 시뮬레이션은 LCD Master (Japan, Shintech)에 의해서 행해졌으며, 계산 방법은 2x2 Jones matrix 방식을 사용하였다[12]. 이 때 사용되어진 액정의 물성값은 표 1과 같으며, 액정의 초기 θ_p 는 0°, 6°, 12°, 20°로 변화를 주었고, 이 때 사용되어진 입사광은 550nm이다.

표 1. 컴퓨터 시뮬레이션에서 사용한 액정 물성값.

Table 1. Parameters of liquid crystal that were used in the simulation.

유전율 이방성($\Delta\epsilon$)	8.2	
탄성계수	K_{11}	9.7pN
	K_{22}	5.2pN
	K_{33}	13.3pN
위상지연값($d\Delta n$)	0.4μm	
셀 갭(d)	4μm	

그림 2는 초기 액정의 θ_p 함수로써, 전압 인가에 따른 투과율 곡선이다. θ_p 가 0°에서 12°로 커질 때, 전압 인가에 따른 투과율 곡선은 비슷한 경향을 보이나, θ_p 가 20°일 때는 최대 투과율 (T_{100})과 구동 전압 (V_{op})은 낮아지는 상이한 경향을 보여준다. 그림 3은 θ_p 에 따른 문턱 전압 (V_{th}), V_{op} , 그리고 T_{100} 을 나타낸 그래프이다. V_{th} 는 θ_p 가 12° 이상에서 약간 증가하고, V_{op} 은 V_{th} 과 반대로 θ_p 가 커짐에 따라 낮아짐을 보인다. T_{100} 은 θ_p 가 커짐에 따라 낮아짐을 보인다.

그림 3에서 보는 것과 같이 $\theta_p = 12^\circ$ 와 $\theta_p = 20^\circ$ 일 때, 최대 투과율 차이가 발생하였다. 그래서 그림 4에서 보는 것과 같이 전극 위치별 투과율 분포를 조사하였다. 측정 영역은 세 영역으로 정면 최대 투과율 대비 투과율이 100% (T_{100}), 50% (T_{50}), 10% (T_{10}) 영역이다. FFS 모드에서 전극 위

차별 전기장의 세기가 달라 전극 위치별 투과율 차이가 존재하고, 전극 위에서 투과율이 주기적으로 요동치는 것을 볼 수 있다. T₅₀인 영역에서 $\theta_p = 20^\circ$ 일 때, 전극과 전극 사이 그리고 전극 위 부분에서 투과율이 $\theta_p = 12^\circ$ 보다 낮다. 또한 T₁₀₀인 영역에서도 마찬가지이다. T₁₀₀에서 최대 광효율과 최소 광효율은 다음과 같다. $\theta_p = 12^\circ$ 일 때는 59%, 88%이고, $\theta_p = 20^\circ$ 일 때는 50%, 85%이다. 이와 같이 θ_p 가 커짐에 따라 투과율이 감소하는 이유는 전극과 전극 사이 그리고 전극 위 부분에서 투과율이 감소하기 때문이다.

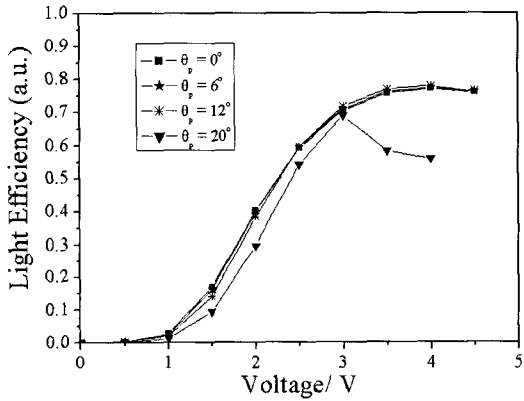


그림 2. θ_p 에 따른 전압 인가에 대한 투과율.

Fig. 2. Voltage-dependent transmittance as a function of θ_p .

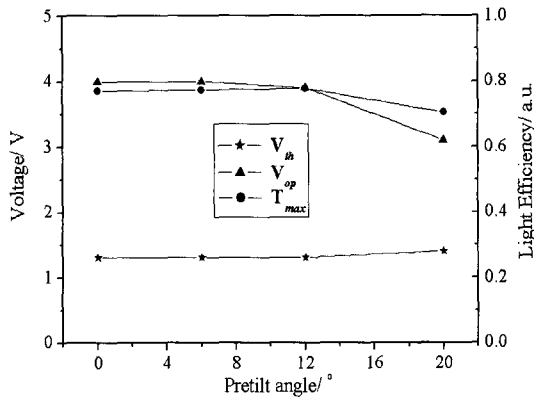


그림 3. θ_p 에 따른 문턱 전압, 구동 전압 그리고 최대투과율.

Fig. 3. V_{th} , V_{op} , and T_{max} as a function of θ_p .

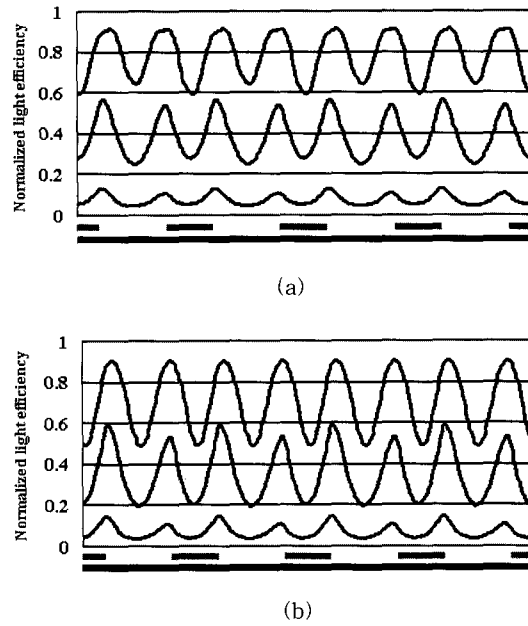
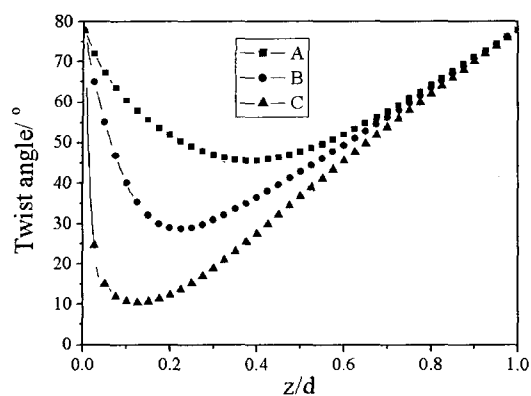


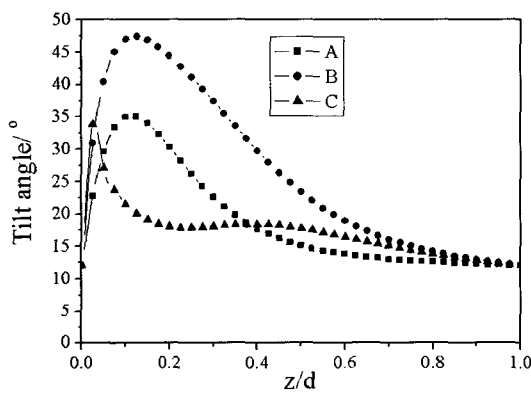
그림 4. T₁₀, T₅₀, 그리고 T₁₀₀ 일 때, 수직 방향에 대한 전극 위치별 투과율 분포: (a) $\theta_p = 12^\circ$, $\theta_p = 20^\circ$.

Fig. 4. Transmittance distribution of electrode positions along horizontal for T₁₀, T₅₀, and T₁₀₀.: (a) $\theta_p = 12^\circ$, $\theta_p = 20^\circ$.

그림 5와 그림 6은 $\theta_p = 12^\circ$ 와 $\theta_p = 20^\circ$ 일 때, 전극 세 지점에서 액정 방향자의 twist angle과 tilt angle 분포를 나타낸 것이다. z는 액정층의 하판에 대해 수직인 방향을 의미하고, d는 액정의 셀 갭을 의미한다. 그리고 A는 전극 중앙, B는 전극 중앙과 전극 모서리의 중앙 그리고 C는 전극 모서리를 의미한다. $\theta_p = 12^\circ$ 일 때와 $\theta_p = 20^\circ$ 일 때의 A, B, C에서의 광효율은 각각 59%, 70%, 88%와 50%, 60%, 85%이다. 그림 5(a)와 6(a)에서 보는 것과 같이 $\theta_p = 12^\circ$ 일 때 구동 전압 인가시 A와 B에서 하부 기판으로부터 초기 78°에 대해서 최대 twist angle은 각각 33°, 50°이고, $\theta_p = 20^\circ$ 일 때는 최대 twist angle은 각각 33°, 42°이다. 식 (1)에서 교차된 편광판 투과축 중 하나의 투과축에 대해서 액정 방향자가 45° 이룰 때 최대 투과율을 보인다. A에서는 twist angle이 같으나 투과율 차이가 존재한다. 이는 액정의 tilt angle에 기인한 것이다. $\theta_p = 12^\circ$ 와 $\theta_p = 20^\circ$ 일 때의 최대 tilt angle은 각각 35°, 43°이다. tilt angle이 커진다는



(a)



(b)

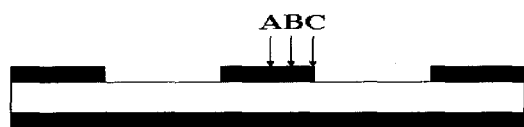
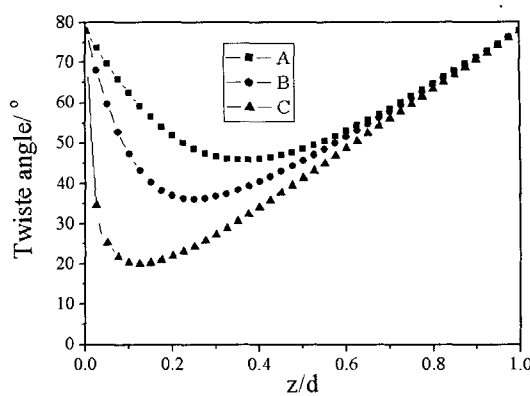


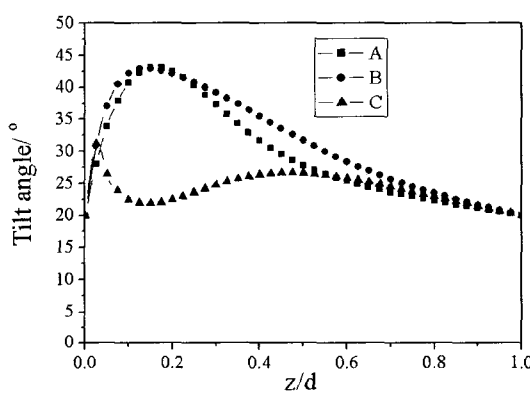
그림 5. $\theta_p = 12^\circ$ 일 때, 전극 위치별 액정 방향자의 twist angle과 tilt angle: (a) twist angle, (b) tilt angle.

Fig. 5. Twist and tilt angles of LC directors at several electrode positions when θ_p is 12° : (a) twist angle, (b) tilt angle.

것은 액정 방향자가 기판에 대해서 수직으로 일어서는 것이다. 수직으로 놓여있는 액정의 Δn 이 수평 배열된 경우보다 작아진다. 결과적으로 액정의 유효 $d\Delta n$ 이 작아져서 식 (1)에 의해 $\theta_p = 20^\circ$ 인 경우보다 $\theta_p = 12^\circ$ 일 때 더 큰 투과율을 보인다.



(a)



(b)

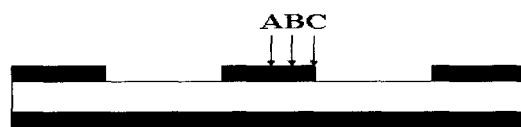


그림 6. $\theta_p = 20^\circ$ 일 때, 전극 위치별 액정 방향자의 twist angle과 tilt angle: (a) twist angle, (b) tilt angle.

Fig. 6. Twist and tilt angles of LC directors at several electrode positions when θ_p is 20° : (a) twist angle, (b) tilt angle.

마찬가지로 B에서도 식 (1)에 의해서 twist angle 이 큰 $\theta_p = 12^\circ$ 가 더 큰 투과율을 보인다. C에서는 $\theta_p = 12^\circ$ 일 때 초기 하부 기판의 러빙 방향인 78° 에 대해서 최대 68° 까지 하부 영역이 twist 되어있고, 마찬가지로 $\theta_p = 20^\circ$ 일 때는 최대 58° 까

지 twist 되어있다. 하부 영역은 배향막에 의한 강한 anchoring 에너지 때문에 하부 영역의 액정 방향자는 twisted 되지 않으며, 이 하부 영역을 제외하고는 액정 분자들의 배열은 low TN과 비슷하다. C에서는 low TN과 같은 변형이 일어나므로 A와 B와 달리 식 (1)을 만족하지 않는다. 교차된 편광판 상태 하에서 하판의 러빙 방향이 편광판 투과축과 일치할 경우, twist angle이 90°에 가까울수록 높은 투과율을 보인다. 결과적으로 $\theta_p = 12^\circ$ 일 때 보다 높은 광효율을 보인다. 위와 같이 $\theta_p = 20^\circ$ 인 경우가 $\theta_p = 12^\circ$ 인 경우보다 최대 투과율이 낮기 때문에 시야각 측면에서 $\theta_p = 20^\circ$ 를 고려하지 않았다.

그림 7은 투과율이 최저 (T_0)일 때, θ_p 가 0°, 6°, 12°일 때의 빛샘 영역을 나타낸 것으로서 투과율 0.5%, 1%, 2%인 영역을 나타낸다. 두 장의 편광판이 평행하게 배열됐을 때, 정면에서 최대 투과율을 대략 35%이다. $\theta_p = 0^\circ$ 일 때 2%의 투과율 영역이 나타나지 않았지만, $\theta_p = 6^\circ$ 일 때에는 2% 영역이 30°와 120°의 방위각에서 형성되고, 또한 θ_p 가 커짐에 따라 그 영역이 점점 더 커짐을 알 수 있다. 이러한 빛샘 영역은 액정의 러빙 방향에 대해서 서로 대칭적인 투과율을 보이고, θ_p 가 커짐에 따라 편광판 투과축의 45° 네 방향에서 빛샘 영역이 매우 크게 발생한다.

그림 8은 T_{50} 일 때, θ_p 가 0°, 6°, 12°일 때의 등 투과율 곡선을 나타낸 것으로서 정면 대비 투과율 70%, 50%, 30%인 영역을 나타낸다. 투과율 70%인 영역은 $\theta_p = 0^\circ$ 일 때는 좌우 60°이하고, $\theta_p = 12^\circ$ 에서는 좌우 각각 65°, 35°정도로 투과율 70% 영역이 작아짐을 알 수 있다. 또한 θ_p 가 커짐에 따라 오른쪽 영역에서 투과율 70% 영역이 점점 더 작아짐을 보이고, 서로 비대칭적으로 투과율이 발생한다. 이는 수평 배열된 액정 방향자가 전압 인가시 수직, 수평 전기장에 의해서 twist angle과 tilt angle을 가지게 된다. 액정의 러빙 방향은 78°이며 러빙 방향으로 θ_p 가 형성되어 있으며, 전기장 방향은 0°이다. 전압 인가시 45°와 대각선 방향인 225° 방향에서 액정 방향자를 살펴보면 θ_p 가 형성된 방향 즉 45° 방향에서는 정상 광선과 이상 광선이 액정의 단축만을 통과하므로 Δn 이 감소하고, 반대로 225° 방향에서는 정상광선과 이상 광선이 액정의 단축과 장축을 지남으로 Δn 이 증가한다. 결과적으로 45° 방향에서는 유효 $d\Delta n$ 이 225° 방향의 액정의 유효 $d\Delta n$ 이 더 작다. 결과적으로 식 (1)에 의해서 225° 방향에서 더 높은 투과율을

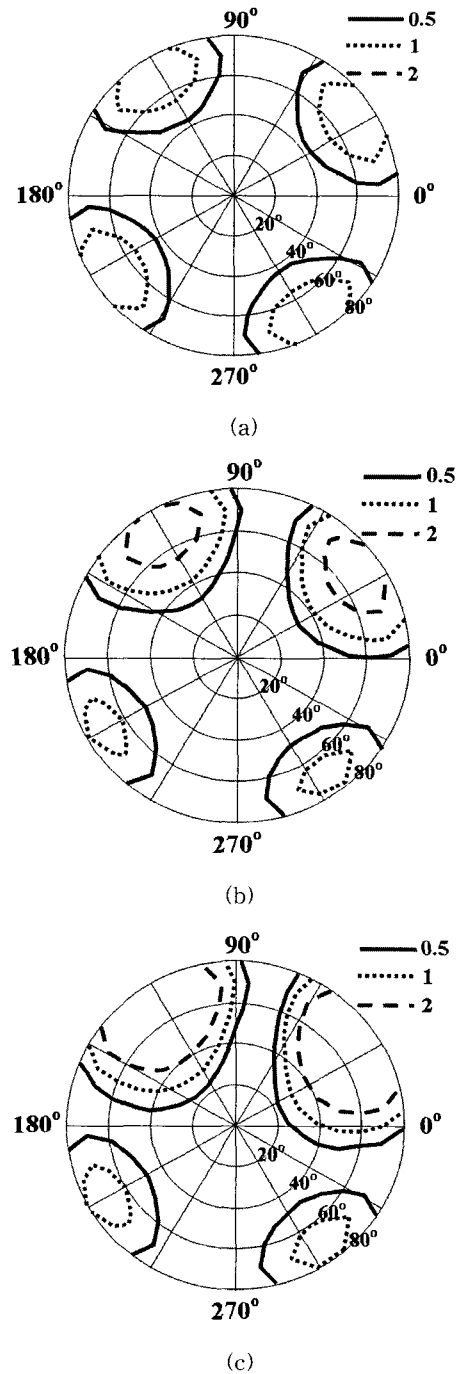
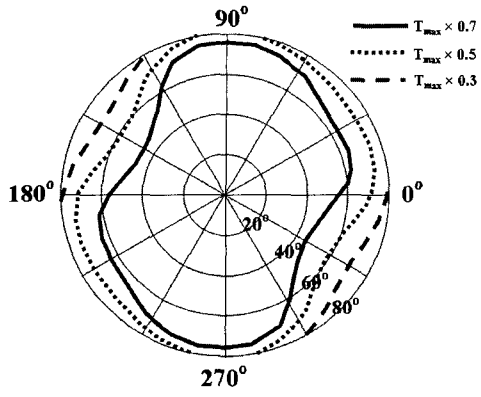
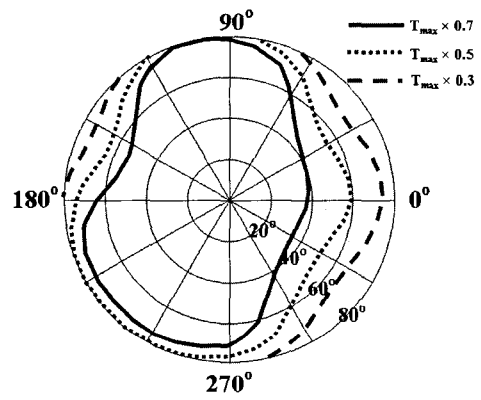


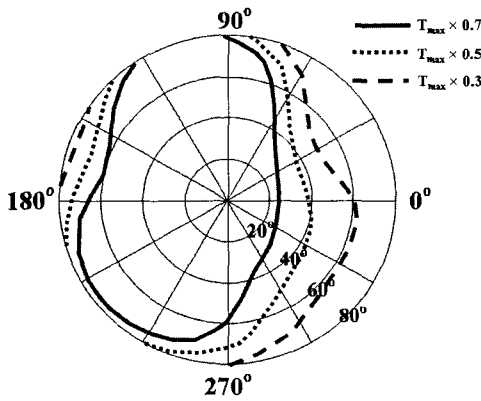
그림 7. T_0 일 때 등 투과율 곡선: (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 6^\circ$, (c) $\theta_p = 12^\circ$.
 Fig. 7. Iso-transmittance contour at T_0 : (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 6^\circ$, and (c) $\theta_p = 12^\circ$.



(a)



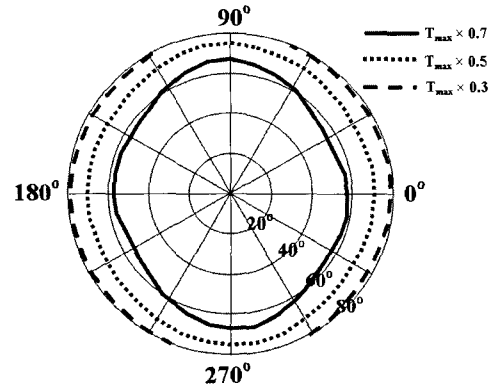
(b)



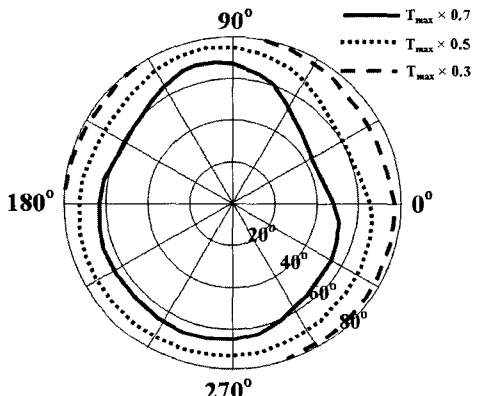
(c)

그림 8. T_{50} 일 때 등 투과율 곡선: (a) $\theta_p = 0^\circ$,
(b) $\theta_p = 6^\circ$, (c) $\theta_p = 12^\circ$.

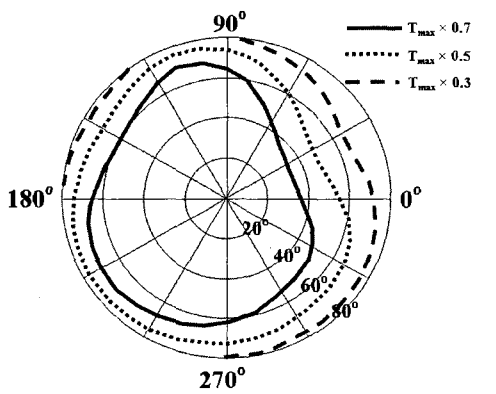
Fig. 8. Iso-transmittance contour at T_{50} : (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 6^\circ$, and (c) $\theta_p = 12^\circ$.



(a)



(b)



(c)

그림 9. T_{100} 일 때 등 투과율 곡선: (a) $\theta_p = 0^\circ$,
(b) $\theta_p = 6^\circ$, (c) $\theta_p = 12^\circ$.

Fig. 9. Iso-transmittance contour at T_{100} : (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 6^\circ$, and (c) $\theta_p = 12^\circ$.

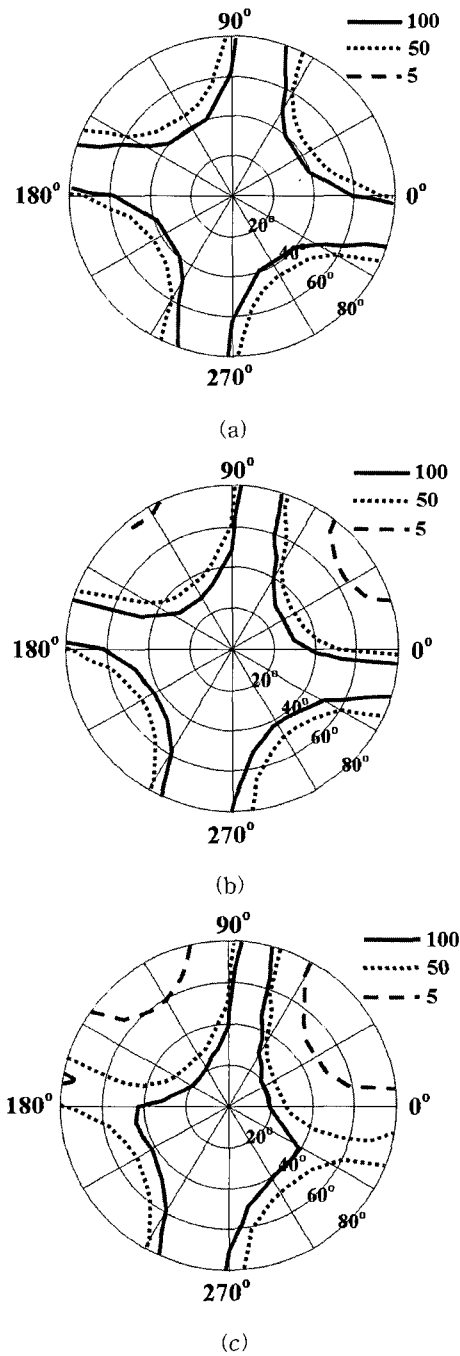


그림 10. 등 명암대비율 곡선: (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 6^\circ$, (c) $\theta_p = 12^\circ$.

Fig. 10. Iso-contrast contour: (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 6^\circ$, and (c) $\theta_p = 12^\circ$.

보인다. 45° 방향에서 투과율이 저하됨을 그림 8에 의해서 확인 할 수 있다.

그림 9는 T_{100} 일 때, θ_p 가 0°, 6°, 12°일 때의 등 투과율 곡선을 나타낸 것으로써 정면 대비 투과율 70%, 50%, 30%인 영역을 표시하였다. 투과율 70%인 영역이 $\theta_p = 0^\circ$ 일 때, 상하좌우 대략 65°, 65°, 60°, 60°이고, $\theta_p = 12^\circ$ 에서는 방위각 30° 방향에서 투과율 70% 영역이 줄어들음을 볼 수 있다. 뿐만 아니라 θ_p 가 커짐에 따라 투과율이 타원 형태에서 점점 더 찌그러진 형태로 발생한다.

그림 10은 θ_p 가 0°, 6°, 12°일 때의 등 명암대비비 곡선을 나타낸 것이다. $\theta_p = 0^\circ$ 일 때, 명암대비비가 5이하인 영역은 존재하지 않고, θ_p 가 증가함에 따라 5이하인 영역들이 점점 더 커진다. 또한 명암대비비가 100인 영역들도 θ_p 가 증가함에 따라 작아짐을 보였다. 이는 θ_p 가 낮을수록 편광관 투과축의 45° 네 방향에서의 빛샘 영역이 매우 적게 발생하고, 뿐만 아니라 휘도 균일도도 더 좋기 때문이다.

4. 결 론

본 연구는 유전율 이방성이 양인 액정을 이용한 FFS 모드에서 θ_p 변화에 따른 전기-광학 특성에 대해 연구하였다. 전압 인가에 따른 투과율 곡선에서 θ_p 가 증가함에 따라 최대 투과율과 구동 전압이 낮아지는 경향을 보인다. 이는 θ_p 에 따른 구동 전압 인가시 전극 위치별 액정 방향자의 twist angle이나 tilt angle이 서로 차이가 존재한다. 또한, 시야각 측면에서 θ_p 가 큰 상태에서 액정 방향자가 회전하기 때문에 시야각 의존성이 매우 크고, θ_p 가 낮으면 낮을수록 넓은 시야각 특성을 보였다. 이러한 결과들 통해서 유전율 이방성이 양인 액정을 이용한 FFS 모드에서는 θ_p 가 낮을수록 높은 투과율과 광시야각 특성을 보인다.

감사의 글

본 연구는 IMT-2000 지원금 기술 개발 지원 사업에 의해서 시행되었습니다.

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] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] S. H. Hong, I. C. Park, H. Y. Kim, and S. H. Lee, "Electro-optic characteristics of fringe-field switching mode depending on rubbing direction", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, No. 6A, p. L527, 2000.
- [7] 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.
- [8] 김향울, 고재환, 노정동, 서대식, 이승희, "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 1호, p. 720, 2002.
- [9] 정태봉, 박지혁, 이종문, 김용배, 이승희, "1매의 편광판으로 구성된 반사형 Fringe-Field Switching mode의 전기 광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 16권, 2호, p. 131, 2003.
- [10] 정태봉, 이승희, "Fringe-Field 구동형 새로운 반투과형 수평 배향 액정 디스플레이", 전기전자재료학회논문지, 16권, 6호, p. 501, 2003.
- [11] T. B. Jung, J. C. Kim, and S. H. Lee, "Wide-viewing-angle transfective display associated with a fringe-field driven homogeneously aligned nematic liquid crystal display", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, No. 6A, p. L464, 2003.
- [12] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, p. 2767, 1990.