

프린지 필드에 의해 구동되는 하이브리드형 네마틱 액정 셀에서 러빙방향에 따른 전기광학 특성

Influence of Rubbing Direction on the Electro-Optic Characteristics of Fringe Field Driven Hybrid Aligned Nematic Liquid Crystal Cell

김완철¹, 안명환², 이승희^{1,a}
(Wan Cheol Kim¹, Myung Hwan An², and Seung Hee Lee^{1,a})

Abstract

We have studied the influence of rubbing directions on electro-optic characteristics of the fringe field driven hybrid aligned nematic liquid crystal (LC) cell by computer simulation. When a LC with positive dielectric anisotropy is used, the results show that the driving voltage and transmittance decreases as the rubbing direction with respect to horizontal electric field direction increases. The reason for decrease in light transmission is the increase of tilt angle on the center of common electrode. In this paper, we have studied how the rubbing angle effects on the transmittance of the cell by investigating a distribution of electric field and LC director.

Key Words : Hybrid aligned nematic LCD, Fringe-field, Rubbing direction, Transmittance

1. 서 론

최근 액정 디스플레이 응용분야가 대형화, 다양화 되면서 각각의 용도에 맞는 여러 가지 액정모드들이 쓰이고 있다. 액정모드는 액정표시소자의 가격, 화질 및 제조 공정을 결정하는 중요한 요소이다. 액정 디스플레이에서 고품질 달성을 위하여 여러 가지 액정모드들이 소개되었다. 대표적인 것으로 wide-view twisted nematic (WV-TN) 모드 [1], in-plane switching (IPS)모드[2,3], fringe-field switching (FFS)모드[4-6], 다중 도메인 수직배향 (MVA)모드[7] 가 있다. 또한, 최근에 HAN (hybrid aligned nematic)-FFS라 불리는 새로운 액정모드로 프린지(fringe) 전기장에 의해 구동되

는 HAN 모드가 발표되었다[8-10]. 이 모드에서는 초기에 액정이 상하판에 수직 및 수평으로 배열된 액정을 프린지 필드로 구동하고 유전율이방성이 음인 액정(-LC)을 사용하여 낮은 구동 전압, 높은 광 투과율 및 보상필름을 사용한 넓은 시야각 특성 등의 전기광학적인 특성을 나타냈다. 또한 한쪽 기판만을 러빙하기 때문에 제조공정이 단순하고 수율이 높은 장점이 있다. 그러나 -LC는 높은 회전점도(>100 mPa·s)와 낮은 유전율이방성의 특성을 갖으며 가격이 비싼 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 유전율 이방성이 양인 액정(+LC)을 사용한 HAN-FFS모드가 소개되었다[11]. +LC를 사용할 경우 응답시간이 -LC를 사용한 HAN-FFS모드에 비해 크게 줄어들었지만 액정의 유전율 이방성 값이 크더라도 불구하고 -LC를 사용했을 때에 비해 구동전압은 크게 변하지 않았다. 또한 +LC를 사용한 경우에는 투과율과 구동전압이 러빙각에 크게 의존하였다.

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬결과를 토대로 전기장 분포와 액정 방향자 분포를 계산하여 프린지

1 : 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14,
Fax : 063-270-2341
a : Corresponding Author : lsh1@moak.chonbuk.ac.kr
2 : 여수대학교 반도체 · 응용물리학과
2003년 6월 30일 접수, 2003년 8월 6일 1차 심사완료,
2003년 8월 20일 최종 심사완료

전기장의 수평성분에 대해 러빙각이 변화했을 때 HAN-FFS모드의 전기광학 특성이 어떻게 변하는지를 연구하였다.

2. 셀 구조 및 동작원리

그림 1은 HAN-FFS 모드의 셀 구조와 전압인가 전(Off) 및 후(On)상태의 액정 배열상태를 나타낸다. 전극구조는 하부기판에 화소전극과 공통전극이 존재하면서 화소전극 끼리는 일정한 간격을 유지하고 있고 화소와 공통전극의 수평방향으로는 간격이 없는 구조를 갖추고 있다.

HAN-FFS모드는 -LC를 사용하는 것과 +LC를 사용하는 것으로 나눌 수 있다. -LC를 사용하는 경우 초기에 하부기판에 수평 배향을 하고 프리즈 필드의 수평방향성분에 대하여 2~45°(α)로 러빙을 한다. 상하판에 편광판을 교차시키고 하판의 러빙 방향(R. A.)과 하판의 편광판 투과축과 일치시킨다. 이와는 다르게 +LC를 사용하는 경우는 하판의 R. A.를 45~88°(α)로 러빙을 한다. 상판은 수직 배향제를 코팅하여 하이브리드 형태의 액정구조를 형성한다. 셀에 전압 인가 시 수평과 수직성분을

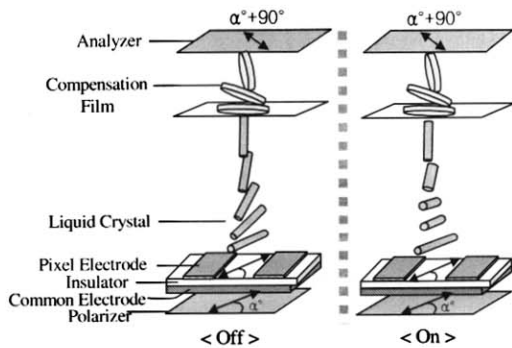


그림 1. Off 및 On시 +LC를 사용한 HAN-FFS 셀 구조.

Fig. 1. Cell structure of the HAN-FFS device in the off and on state when using the +LC.

갖는 프리즈 전기장이 형성되고, 그 세기가 전극의 위치별로 다르게 나타난다. 수평전기장의 세기는 전극의 가장자리부분에서 크게 나타나고 수직전기장의 세기는 전극의 중앙부분에서 크게 나타나는

경향이 있다.

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

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

여기서 θ 는 교차된 편광판의 투과축 중 한축과 액정 방향자간의 각도이고, Δn 은 액정의 복굴절, d 는 셀갭, λ 는 입사광의 파장이다. 이 식에 따르면 투과율이 최대가 되려면 θ 값이 45°이어야 하고 입사광의 파장에 대한 $d \Delta n$ 값이 최소 $\lambda/2$ 가 되어야 한다. +LC를 사용한 HAN-FFS셀의 경우 초기상태 정면에서는 편광판을 지난 이상광만 액정을 통과하여 상판 검광판에 의하여 빛이 차단되어 어둡은 상태를 만든다. 전압 인가 시 유전율이방향이 양인 액정을 사용하므로 액정이 프리즈 전기장의 수평성분의 방향으로 회전하여 빛이 액정의 장·단축을 모두 지나게 되고, 이때 이상광과 정상광의 위상차가 발생하여 빛의 편광상태가 타원편광 또는 90°회전된 선편광 상태로 변하게 되어 밝은 상태를 얻을 수 있다.

3. 시뮬레이션 조건

표 1은 컴퓨터 시뮬 시 셀 구조 및 액정의 물성값을 나타낸다. 여기서 셀 갭을 5 μm 로 하여 액정의 $d \Delta n$ 값을 0.65 μm 로 하였는데 이는 동일 전극 조건에서 최대의 투과율을 나타내는 조건이나[11]. 본 연구에서는 상용화된 액정 시뮬기 LCD Master (Shintech, 일본)를 사용하였고 입사 파장은 550 nm의 단일파장에서 2x2 extended Jones matrix 법 [12]을 적용하여 컴퓨터 시뮬을 수행하였다.

4. 결과 및 토의

그림 2는 HAN-FFS 액정 셀에서 -LC를 사용했을 때와 +LC를 사용했을 때의 러빙각의 함수로써 전압인가에 따른 투과율을 나타내고 있다. -LC를 사용한 경우 러빙각에 따라 최대 투과율의 변화는 적지만 구동전압이 러빙각이 25°인 셀의 경우 5 V, 러빙각이 5°와 15°의 경우 4 V로 달라지는 것을 알 수 있다. 그러나 +LC를 사용한 경우 러빙각에 따라 광효율 및 구동전압의 변화가 심하였다. 그림 3에서 보듯이 러빙각에 따라 구동전압은 65°

표 1. 셀 구조 및 액정의 컴퓨터 시뮬 조건.
Table 1. Simulation condition for the cell structure and the LC.

Electrode width(μm)	3	
Electrode distance(μm)	3	
Cell gap(d)(μm)	5	
Pretilt angle($^\circ$)	2	
LC	K1	10.3
	K2	8
	K3	14.9
	Δn at 550nm	0.13
	ν (mPa·s)	100
$\Delta\epsilon$	-4(-LC), +8(+LC)	

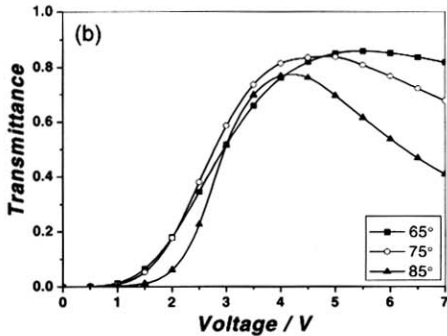
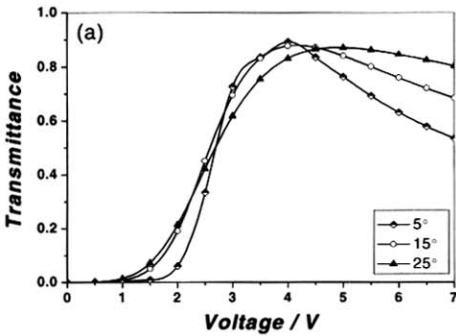


그림 2. (a) -LC 과 (b) +LC를 사용하였을 때의 전압인가에 따른 투과율.

Fig. 2. Voltage-dependent light transmittance depending on rubbing direction when using (a) -LC and (b) +LC.

일 경우에 5.47 V에서 85°일 경우 4.2 V로 떨어지는 반면 문턱전압은 65°일 경우에 1.61 V에서 85°

일 경우 2.08 V로 올라간다. 최대투과율은 65°일 경우에 0.85에서 85°일 경우 0.77로 떨어지는 것을 알 수 있다. +LC를 사용하였을 경우에 러빙각이 커짐에 따라 투과율이 저하되는 이유를 밝히기 위하여 본 연구에서는 러빙각의 함수로써 전극의 위치별 최대투과율, 수평, 수직 전기장 분포, 액정 방향자의 tilt 각, twist 각 등을 알아보았다.

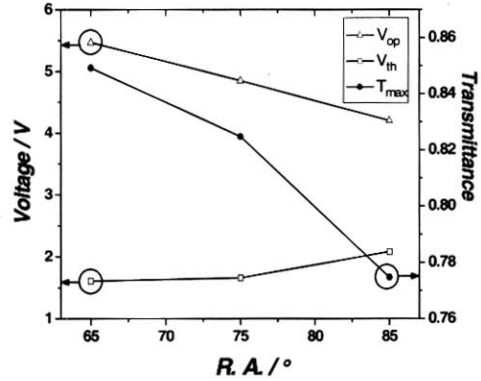


그림 3. 유전율 이방성이 양인 액정을 사용 하였을 때 러빙각에 따른 구동전압(V_{op}), 문턱 전압(V_{th}), 최대투과율(T_{max}) 변화를 나타 내는 컴퓨터 시뮬결과.

Fig. 3. Simulation result of the operation voltage (V_{op}), threshold voltage (V_{th}), and maximum transmittance (T_{max}) depending on rubbing direction when using +LC.

그림 4는 +LC를 사용하였을 경우에 러빙각이 각각 65°, 75°, 85°인 액정 셀의 경우 전극의 위치별 최대 투과율곡선을 보여 주고 있다. 러빙각이 65°인 액정 셀의 경우 화소전극의 중앙부분(A)에서 투과율저하가 가장 심하였고 화소전극과 화소전극 사이의 중앙부분, 즉 공통전극의 중앙부분(C)에서 약간의 투과율의 저하가 발생하였지만 A부분을 제외하고는 투과율이 0.8이상으로 높은 투과율이 발생하였다. 러빙각이 75°인 액정 셀의 경우 A부분의 투과율은 러빙각이 65°인 액정 셀의 경우와 비슷하였고, B부분의 투과율이 0.85로 약간 저하되었다. 그러나 C부분에서는 투과율저하가 심하여 0.71까지 떨어지는 것을 알 수 있다. 러빙각이 85°인 액정 셀의 경우 A부분에서 투과율이 0.61까

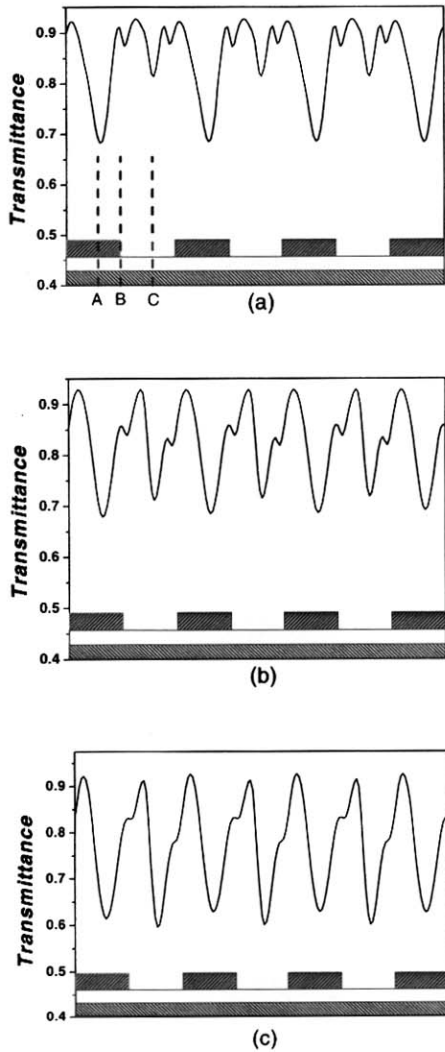


그림 4. 유전율 이방성이 양인 액정을 사용하고 러빙각이 각각 (a) $a = 65^\circ$, (b) $a = 75^\circ$, (c) $a = 85^\circ$ 일 경우에 수평방향에 따라 발생하는 투과율을 나타내는 컴퓨터 시뮬레이션 결과.

Fig. 4. The simulation result of light transmission along the horizontal axis in a cell when operating voltage is applied in case of (a) $a = 65^\circ$, (b) $a = 75^\circ$, and (c) $a = 85^\circ$ when using the +LC.

지 저하 되었고, 화소전극의 가장부분(B)은 러빙각이 75° 인 액정 셀의 경우와 비슷한 투과율을 보였다. C부분에는 러빙각이 75° 인 액정 셀의 경우보다도 더 투과율 저하가 심화되어 A부분보다 C부분에서 투과율 저하가 더 심화되고 투과율이 0.6이하까지 떨어지는 것을 알 수 있다. 따라서 러빙각이 65° 에서 85° 로 증가될수록 투과율이 저하되는 가장 큰 원인은 C부분에서의 투과율저하라 할 수 있으며 A부분에서의 투과율하락도 영향을 미치게 된다.

러빙각이 65° 에서 85° 로 커질수록 C부분에서의 투과율 저하가 심화되는 원인을 알아보기 위하여 세 지점, 즉 A, B, C부분의 z 방향에 따른 액정의 twist각과 tilt각을 조사 하였다. 그림 5는 각각의 러빙각에서의 A, B, C부분에서의 액정분자의 tilt각 분포이다. 그림에서 보듯이 각 지점의 tilt각의 변화는 z/d 가 0.5 이하인 지점에서 크게 발생한다. 러빙각이 65° 일 때 C부분의 tilt각을 보면 하판의 표면 쪽에서 tilt각이 커진 후 z/d 가 0.28인 부분에서 tilt각이 줄어든 후 다시 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 러빙각이 커지면 하판의 표면 쪽의 tilt각이 커진 후, z/d 가 0.28인 부분에서 줄어드는 정도가 작아져 평균 tilt각이 커지는 것을 알 수 있다. 또한 A부분도 C부분과 비슷한 경향을 보여 러빙각이 85° 인 액정 셀의 경우 상판 쪽으로 갈수록 tilt각이 계속 증가해 러빙각이 65° 인 액정 셀의 경우보다 tilt각이 커짐을 알 수 있다.

그림 6은 각각의 러빙각에서 A, B, C부분의 twist각 분포이다. 각 부분별 twist각 정도를 비교해보면 A부분에서는 러빙각이 65° 인 셀의 경우 하판의 표면 부근에서 twist가 적게 발생하여 세지점 중 twist각이 가장 작고 러빙각이 75° 인 셀의 경우 twist각이 가장 큰 것을 알 수 있다. B부분과 C부분에서도 러빙각이 75° 인 셀의 twist각이 가장 컸으며 러빙각이 85° 인 셀과 비슷한 twist각을 나타냈다.

A, B, C 세 지점에서 액정 셀의 하부표면에서 상부표면까지의 평균 tilt각 및 평균 twist각을 표 2에 표기하였다. 표 2에서 알 수 있듯이 러빙각이 증가함에 따라 C부분에서 액정의 평균 tilt각이 러빙각이 65° 인 셀의 경우 53.8° 에서 러빙각이 85° 인 셀의 경우 58.4° 까지 증가 하였다. A부분도 마찬가지로 러빙각이 증가함에 따라 평균 tilt각이 러빙각이 65° 인 셀의 경우 52.1° 에서 러빙각이 85° 인 액정 셀의 경우 55° 까지 증가 하였다. 평균 twist각은 러빙각이 75° 인 셀과 러빙각이 85° 인 액정 셀

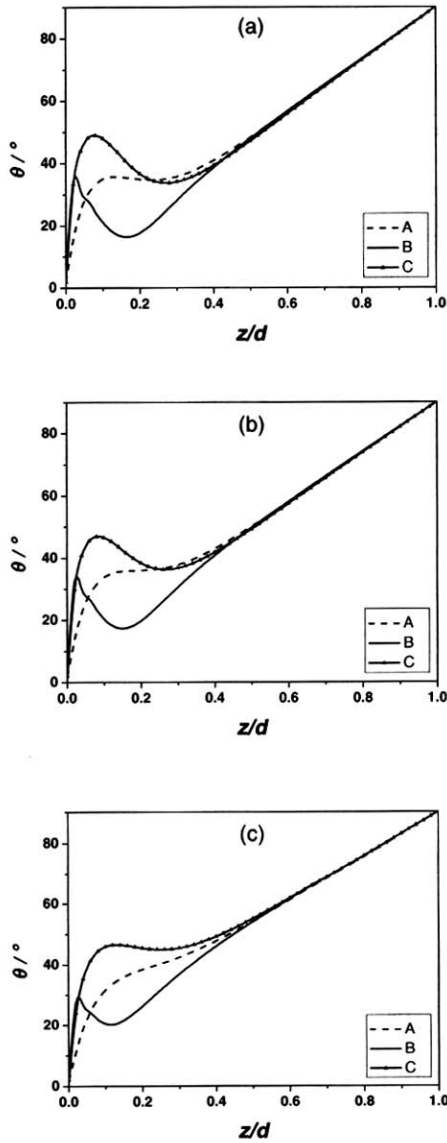


그림 5. 러빙각이 각각 (a) 65°, (b) 75°, (c) 85°일 경우에 세 곳의 전극위치에서의 액정분자의 tilt angle 분포.

Fig. 5. Profile of the LC director of a tilt angle along a vertical distance at three horizontal positions when the rubbing direction is (a) 65°, (b) 75°, and (c) 85°.

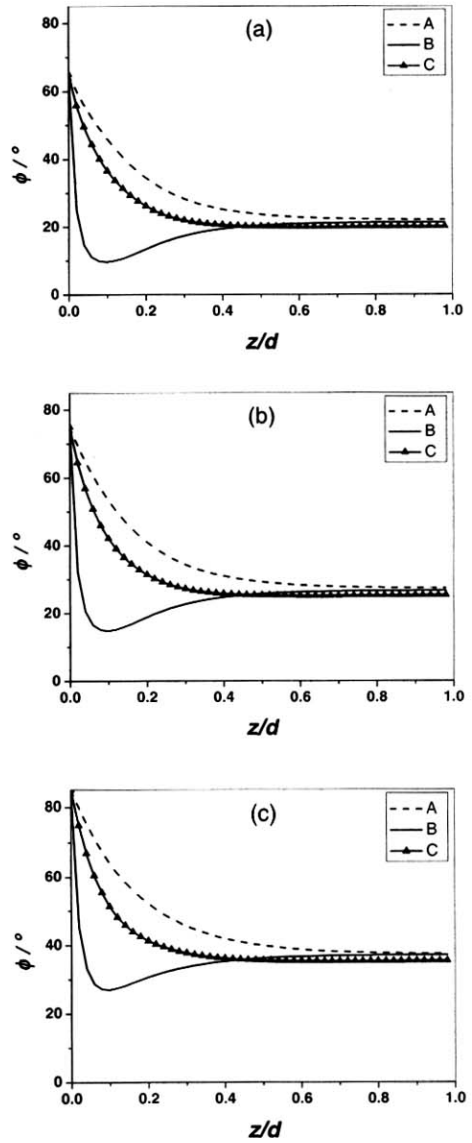


그림 6. 러빙각이 각각 (a) 65°, (b) 75°, (c) 85°일 경우에 세 곳의 전극위치에서의 액정분자의 twist angle 분포.

Fig. 6. Profile of the LC molecules at a twist angle along a vertical distance at three horizontal positions when the rubbing direction is (a) 65°, (b) 75°, and (c) 85°.

표 2. 액정 셀에서 액정 방향자의 평균 θ 와 ϕ .
Table 2. Average θ and ϕ of liquid crystal director of the LC cell.

θ R. A.	Position		
	A	B	C
65°	52.1°	48.8°	53.8°
75°	53.0°	49.9°	54.8°
85°	55.0°	52.7°	58.4°

ϕ R. A.	Position		
	A	B	C
65°	35.7°	45.5°	40.1°
75°	39.6°	50.0°	44.7°
85°	39.0°	49.1°	44.5°

과 비슷하였으며 러빙각이 65°인 액정 셀의 경우보다 약간 증가 하였다. 러빙각이 85°인 액정 셀의 경우 C부분에서 액정 방향자의 tilt각이 크게 증가하여 러빙각이 65°인 셀의 경우보다 twist각이 약간 상승했음에도 불구하고 충분한 투과율이 발생하지 못하였다. 러빙각이 75°인 액정 셀과 러빙각이 85°인 액정 셀의 경우 65°보다 twist각이 커졌음에도 불구하고 tilt각의 상승으로 투과율이 감소한 이유는 다음과 같다. 식 (1)에서 보였듯이 투과율이 최대가 되려면 액정 방향자의 twist각이 45°가 되어야 하고 유효 $d\Delta n$ 값이 $\lambda/2$ 가 되어야 한다. 그러나 액정 방향자의 tilt각이 상승하면 정면에서의 유효 $d\Delta n$ 값이 급격히 감소하기 때문에 A와 C 지점에서 평균 tilt각이 작은 러빙각이 65°인 액정 셀의 투과율이 러빙각이 75°와 러빙각이 85°인 액정 셀의 투과율보다 높았다.

다음으로 러빙각이 증가함에 따라 평균 tilt각이 커지는 원인을 밝히기 위해 전극 위치별 수평, 수직 전기장분포를 계산하였다. 그림 7과 8은 각각 셀 내의 세 지점에서 전극 위치별 수평 및 수직 전기장 분포를 나타낸다. 여기서 z 는 셀 하부 표면으로부터 수직방향으로의 거리를 나타낸다. 그림 7과 그림 8에서 알 수 있듯이 수평, 수직 전기장의 세기가 셀 하부 표면에서는 강한 반면 셀의 상부 표면 쪽으로 갈수록 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 7에서 수평전기장 분포를 보면 수평 전기장의 세기가 A와 C부분에서 작은 반면 B부분에서 강한 것을 알 수 있다. B부분에서의 전기장의

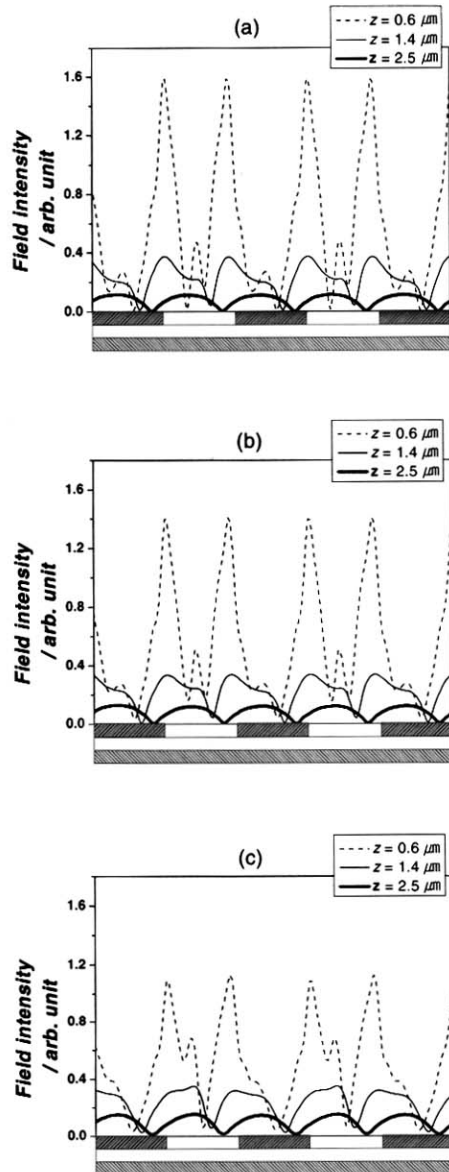


그림 7. 러빙각이 각각 (a) 65°, (b) 75°, (c) 85°일 경우에 셀 내의 수직방향을 따라 세지점에서의 전극 위치별 수평전기장 분포.

Fig. 7. Field distribution of the horizontal component along the horizontal axis at three vertical positions when the rubbing direction is (a) 65°, (b) 75°, and (c) 85°.

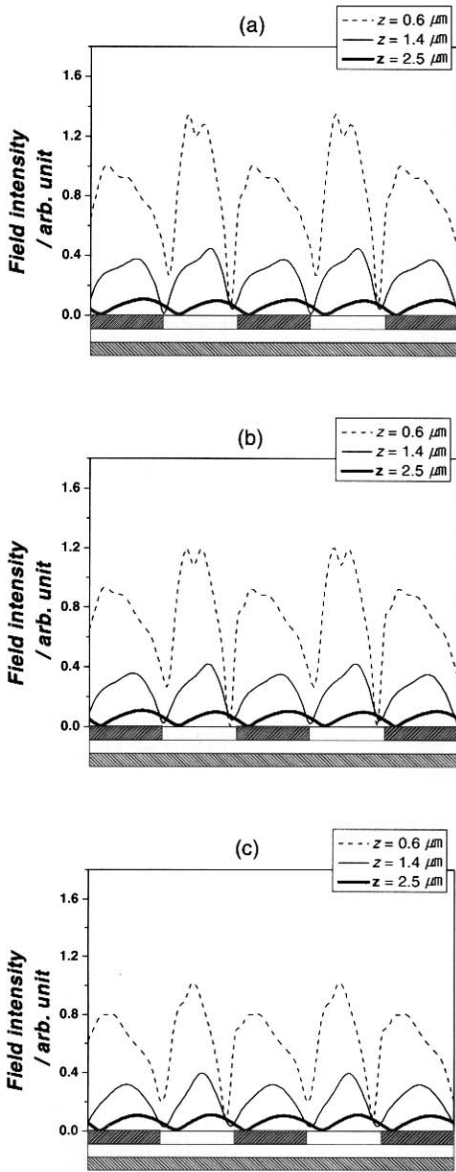


그림 8. 러빙각이 각각 (a) 65°, (b) 75°, (c) 85°일 경우에 셀 내의 수직방향을 따라 세지점에서 전극 위치별 수직전기장 분포.

Fig. 8. Field distribution of the vertical component along the horizontal axis at three vertical positions when the rubbing direction is (a) 65°, (b) 75°, and (c) 85°.

표 3. $z/d = 0.28$ 인 지점에서 C부분에서의 러빙각에 따른 수직, 수평 전기장 세기.

Table 3. Horizontal and vertical field intensity depending on the rubbing direction in the C position at $z/d = 0.28$.

	Field intensity / arb. unit	
65°	수평	0.14
	수직	0.44
75°	수평	0.13
	수직	0.41
85°	수평	0.08
	수직	0.39

세기가 러빙각이 증가 할수록 점점 약해지는 것을 알 수 있는데 이것은 러빙각이 증가할수록 구동전압이 낮아지기 때문인 것으로 판단된다. 러빙각이 증가함에 따라 tilt각의 감소정도가 적어지는 지점인 z/d 가 0.28인 지점에서 C부분의 수평, 수직 전기장의 세기를 표3에 나타내었다. 러빙각이 65°에서 85°로 커질수록 수평전기장의 세기가 0.14에서 0.08로 크게 줄어들었다. C부분의 수직 전기장의 세기를 보면 러빙각이 65°에서 85°로 커질수록 0.44에서 0.39로 감소하였는데 이는 수평 전기장이 크게 감소하는 것에 비하여 감소정도가 매우 작았다. 따라서 러빙각이 커질수록 z/d 가 0.28인 지점의 C지점에서 tilt각이 커지게 되고 그로인한 C지점에서의 평균 tilt각 증가가 투과율 저하의 원인이 된다고 할 수 있다. 마찬가지로 A지점에서 z/d 가 0.28인 지점에서의 수평전기장세기의 약화가 러빙각이 증가함에 따라 투과율이 저하되는 원인으로 작용했다. 따라서 +LC를 사용한 HAN-FFS모드의 경우 전극의 위치별 전기장의 세기변화로 인하여 러빙각이 65°에서 85°로 커짐에 따라 A부분과 C부분에서 투과율이 감소하여 평균 투과율이 하락하는 요인으로 작용하였다.

5. 결론

본 연구에서는 HAN-FFS 액정 셀에서 러빙각에 따른 전기광학 특성 변화를 연구 하였다. 컴퓨터시뮬결과 HAN-FFS모드에서 유전율 이방성이 음인 액정을 사용하였을 경우에는 러빙각이 초기 프린지필드의 수평방향성분에 대하여 5°~25°변해도 최대투과율의 변화는 발생하지 않았으나 구동

전압이 4~5 V로 달라진다. 그러나 유전을 이방성이 양인 액정을 사용한 HAN-FFS 모드의 경우 러빙각이 초기 프리지필드의 수평방향성분에 대하여 65°~85°의 범위에 있을 때 러빙각이 증가할수록 투과율과 구동전압이 감소하였고, 문턱전압은 커지는 것을 알 수 있었다. 즉, 유전을 이방성이 양인 액정을 사용한 HAN-FFS모드의 경우 유전을 이방성이 음인 액정을 사용한 HAN-FFS모드와는 달리 광효율이 러빙각에 의존한다. HAN-FFS모드를 사용한 액정 디바이스 제작 시 러빙각의 최적화는 디스플레이 성능향상에 반드시 필요한 요소이다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] H. Mori, Y. Itoh, Y. Nishiura, T. Nakamura, and Y. Shinagawa, "Performance of novel optical compensation film based on negative birefringence of discotic compound for wide-viewing-angle twisted-nematic liquid crystal displays", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 36, No. 1A, p. 143, 1997.
- [2] M. Oh-e, and K. Kondo, "Electro-optic characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 67, No. 26, p. 3895, 1995.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 김향울, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전을 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", *전기전자재료학회논문지*, 15권, 8호, p. 720, 2002.
- [7] A. Takeda, S. Kataoka, T. Sasaki, H. Chida, H. Tsuda, K. Ohmuro, Y. Koike, T. Sasabayashi, and K. Okamoto, "A super-high-quality multi-domain vertical alignment LCD by new rubbing-less technology", *SID'98 digest paper*, p. 1077, 1998.
- [8] S. H. Hong, Y. H. Jeong, H. Y. Kim, and S. H. Lee, "Novel nematic liquid crystal device associated with hybrid alignment controlled by fringe field", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 40, No. 3B, p. L272, 2001.
- [9] 정연학, 김향울, 이승희, "프리지 필드에 의해 구동되는 하이브리드형 네마틱 액정 디스플레이의 전기광학 특성", *전기전자재료학회논문지*, 15권, 6호, p. 523, 2002.
- [10] S. H. Hong, H. Y. Kim, J. H. Kim, S-H. Nam, M-H. Lee, and S. H. Lee, "Wide-viewing-angle hybrid aligned nematic liquid crystal cell controlled by complex electric field", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 41, No. 7A, p. 4571, 2002.
- [11] Y. H. Jeong, H. Y. Kim, W. G. Lee, H. S. Park, W. C. Kim, and S. H. Lee, "Hybrid aligned nematic liquid crystal display driven by fringe electric field with low driving voltage and fast response time", *IDW'02*, p. 185, 2002.
- [12] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 57, No. 26, p. 2767, 1990.