

ECB Cell을 이용한 FSLCD용 액정소자 연구

오상민, 정병선, 전연문, 이승희*, 김향율*, 임영진*
 전북대학교 신소재공학부, BOE-HYDIS*

Study on Field Sequential LCD with Electrically Controlled Birefringence

Sang Min Oh, Byoung Sun Jeong, Yeon Mun Jeon, Seung Hee Lee
 Hyang Yul Kim*, and Young Jin Lim*
 Chonbuk Nat'l Uni., BOE-HYDIS*

Abstract

We have studied a field sequential liquid crystal display (FSLCD) with electrically controlled birefringence (ECB). The ECB mode exhibiting fast response time, high transmittance, low operating voltage and adequate viewing angle. The positive liquid crystal (LC) is better than negative LC on dielectric anisotropy, birefringence and rotational viscosity. Because K_{11} value out of the elastic coefficient of LC is also larger than K_{22} value, decay time of VA-ECB is advantage. However, the transmittance & response time reduced with decreasing the cell gap. This drawback can be overcome by using LC with high Δn but VA-ECB is occurred loss of light efficiency because the γ value increased by high Δn of LC. Consequently, the HA-ECB mode is one of strongest candidate for FSLCD application.

Key Words : Field sequential LCD (FSLCD), ECB, Fast response time.

1. 서 론

최근 액정 디스플레이 시장의 크기가 확대됨에 따라 디스플레이의 화질을 높이고, 동영상을 완벽하게 표현할 수 있는 액정 모드의 개발이 더욱 중요시 되고 있다.[1]

현재 우리 일상생활에서 가장 많이 쓰이는 CRT의 경우 1ms 이하의 응답시간을 갖고 있어 완벽한 동영상을 재현할 수 있다. 그러나 LCD의 응답시간은 10 ms 이상으로 매우 느리다. LCD가 완벽한 동영상을 구현하기 위해서는 5ms 이하의 응답시간을 갖어야 한다. 그렇기 때문에 동영상 구현에 있어서 LCD 소자의 응답시간을 개선시키는 것이 매우 중요하다.

$$\tau_{on} = \frac{\gamma}{K_{eff}} \left(\frac{d}{\pi} \right)^2 \left\{ \frac{1}{(V/V_{th})^2 - 1} \right\} = \frac{\gamma}{\epsilon_0 \Delta \epsilon (E^2 - E_c^2)} \quad (1)$$

$$\tau_{off} = \left(\frac{d}{\pi} \right)^2 \frac{\gamma}{K_{eff}} \quad (2)$$

위의 식 (1)과 (2)에서 알 수 있듯이 LCD의 응답시간은 rise time의 (τ_{on}) 경우 액정의 회전 점도에 (rotational viscosity; γ) 비례하고, 인가전압 (V)에 반비례한다. 반면에 decay time (τ_{off})의 경우에는 액정의 γ 와 셀갭 (d)의 제곱에 비례하고, 유효 탄성 상수에 (effective elastic constant; K_{eff})에 반비례한다. 따라서 고속응답을 실현하기 위해서는 액정의 γ 와 d 를 작게 해야한다. 액정 셀의 d 를 작게 하면 응답시간은 빨라지지만 광효율 측면에서는 굴절률 이방성이 (birefringence; Δn) 큰 액정을 사용해야 높은 대비비를 얻을 수 있다. 그러나 액정의 Δn 이 큰 경우 γ 값 또한 크기 때문에 Δn 은 크고, γ 가 작은 액정 재료의 개발이 필요하다[2,3]. 탄성 상수 K_{11} , K_{22} , K_{33} 는 각각 splay,

twist, bend의 탄성 상수로 크기는 $K_{33} > K_{11} > K_{22}$ 이다. 각 액정 모드별 유효 탄성 상수 (K_{eff})는 다음과 같다. Twisted nematic (TN)[4] 모드는 $\{K_{11} + (K_{33} - 2K_{22})/4\}$ 이고, in-plane switching (IPS)[5,6] 모드와 fringe-field switching (FFS)[7,8] 모드는 twist 변형을 하기 때문에 K_{22} , vertically aligned (VA)[9,20] 모드는 bend 변형을 하기 때문에 K_{33} , electrically controlled birefringence (ECB)[11] 모드는 splay 변형을 하기 때문에 K_{11} 이다. 탄성 상수 값이 크면 τ_{off} 에는 유리하지만 구동 전압이 올라간다는 단점이 있다. 즉, 액정은 점-탄성체이기 때문에 용수철과 비교할 수 있다. 용수철의 탄성 상수가 증가하면 잡아 늘이는데 더 많은 힘이 들지만, 힘을 제거했을 때는 더 빠르게 복원되는 것처럼 액정도 electric energy와 elastic energy의 경쟁에 의해 화학적 변형이 아닌 물리적 변형이 일어나기 때문에 큰 elastic energy와의 경쟁에서 이기기 위해서는 더 많은 electric energy가 필요하다. 즉, 문턱 전압과 구동 전압이 증가하게 된다. 그러므로 구동 전압, 광효율, CR, 응답시간 측면에서 모두 좋은 특성을 보이도록 액정 셀을 설계해야 한다.

본 연구에서는 초기 수평 배열된 액정 분자들이 전압 인가시 기판에 수직으로 일어서는 splay 변형을 하는 ECB 모드와 초기 수직 배열된 액정 분자들이 전압 인가시 기판에 수평으로 눕는 bend 변형을 하는 VA-ECB 모드를 비교 분석해 고속 응답 셀에 적합한 모드에 대해 연구하였다.

2. Simulation 결과 및 고찰

본 논문의 컴퓨터 시뮬레이션은 LCD Master (Japan, Shintech)에 의해 행해졌으며, 계산 방법은 2×2 Jones matrix 방식[12]을 이용하였다. ECB 모드의 시뮬레이션 조건은 다음의 표 1과 같다.

표 1. ECB 모드의 시뮬레이션 조건.

Table 1. Simulation condition of ECB mode.

Mode		HA-ECB	VA-ECB
Pretilt angle (°)		3	88
LC	$\Delta\epsilon$	+8.2	-3.8
	γ (mPa·s)	78	78
	K_{11} (pN)	9.7	9.7
	K_{22} (pN)	5.2	5.2
		K_{33} (pN)	13.3

그림 1은 수직, 수평 ECB의 전압인가에 따른 투과율 곡선 (V-T) 을 시뮬레이션 한 결과이다. 수평 ECB의 경우 문턱전압 (V_{th})은 1.7V이고, 구동전압 (V_{op})은 8V이다. 또한 수직 ECB의 경우 최대 투과율 (T_{max})의 10%인 문턱전압의 경우 2.2V이고 최대 투과율의 95%를 나타내는 전압은 4.1V이다.

우리는 이 시뮬레이션 조건을 토대로 액정 셀을 제작을 하였다.

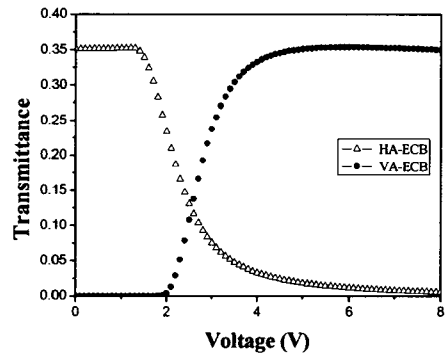


그림 1. ECB 모드에서 전압인가에 따른 투과율 변화 그래프.

Fig. 1. Simulated voltage-dependent transmittance curve of the ECB mode.

3. 실험 결과 및 고찰

우리는 $\Delta\epsilon = -3.8$ (20°C, 1kHz), $\Delta n = 0.1327$ (20°C, 589.3nm)인 액정을 사용하여 수직 ECB셀을, $\Delta\epsilon = 6$ (20°C, 1kHz), $\Delta n = 0.1417$ (20°C, 589.3nm)인 액정을 사용하여 수평 ECB 셀을 제작하였다. CGMS-100 (Korea, 세심광전자기술)을 사용하여 셀갭을 측정 한 결과 수직 ECB의 경우 갭이 2.543

μm, 수평 ECB는 2.019μm이었다.

그림 2는 수직, 수평 ECB의 전압인가에 따른 투과율 곡선 (V-T) 을 측정한 결과이다. 수직 ECB의 경우 최대 투과율 (T_{max})의 10%인 문턱전압 (V_{th})의 경우 3.8V이고 최대 투과율의 95%를 나타내는 전압은 6.7V이다. 또한 수평 ECB의 경우 문턱전압은 3V이고, 구동전압 (V_{op})는 6.7V이다.

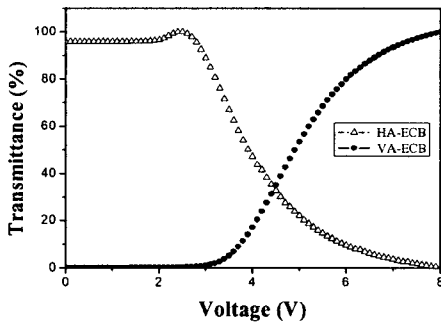


그림 2. ECB 모드에서 전압인가에 따른 투과율 변화 그래프.

Fig. 2. Calculated voltage-dependent transmittance curve of the ECB mode.

표 2는 측정한 V-T curve를 토대로 각각의 모드의 응답시간을 측정하였다. 수평 ECB의 경우, τ_{on}과 τ_{off} 모두 일부 계조 (4%)를 제외한 대부분의 계조에서 5ms 이하의 빠른 응답시간을 보인다.

표 2. ECB 모드의 계조별 응답시간; (a) HA, (B) VA-ECB

Table 2. Response time of gray scale with ECB mode; (a) HA, (B) VA-ECB

	I ₀	I ₁₀	I ₂₀	I ₃₀	I ₄₀	I ₅₀	I ₆₀	I ₇₀	I ₈₀	I ₉₀	I ₁₀₀
I ₀		3.7	3.3	3.1	2.8	2.7	2.5	2.5	2.4	2.4	2.2
I ₁₀	7.8		5.4	4.6	3.7	3.4	3.2	3.0	3.0	2.8	2.8
I ₂₀	5.5	6.3		3.7	3.5	3.2	3.1	2.9	2.8	2.8	2.7
I ₃₀	4.3	4.0	4.6		3.5	3.3	3.0	2.8	2.7	2.7	2.6
I ₄₀	3.4	3.1	3.1	2.7		3.0	2.9	2.5	2.4	2.2	2.2
I ₅₀	2.9	2.6	2.5	2.4	5.1		2.9	2.1	2.0	1.9	2.0
I ₆₀	2.3	2.2	2.1	2.1	2.3	2.4		1.9	1.9	1.8	1.8
I ₇₀	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.7	2.3		1.5	1.6	1.5
I ₈₀	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5		1.2	1.2
I ₉₀	1.0	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8		1.0
I ₁₀₀	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	

(a)

	I ₀	I ₁₀	I ₂₀	I ₃₀	I ₄₀	I ₅₀	I ₆₀	I ₇₀	I ₈₀	I ₉₀	I ₁₀₀
I ₀		3.4	3.0	2.9	3.0	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.7
I ₁₀	19.3		14.5	10.7	10.4	9.1	8.7	8.4	8.0	8.1	8.2
I ₂₀	16.0	12.0		10.7	9.9	9.3	8.7	8.3	8.0	7.9	8.0
I ₃₀	12.4	10.8	11.1		8.6	8.8	8.3	7.9	7.5	7.1	7.4
I ₄₀	11.0	9.4	9.1	8.5		8.2	7.7	7.4	7.1	6.7	7.0
I ₅₀	9.2	7.6	7.5	7.9	7.2		7.9	6.4	6.1	6.2	6.7
I ₆₀	7.8	6.7	6.3	6.1	6.0	5.4		6.7	6.2	5.9	6.8
I ₇₀	6.5	5.4	5.2	5.0	4.9	4.7	4.4		4.8	4.9	4.7
I ₈₀	5.8	4.3	4.2	4.0	4.0	3.6	3.9	4.6		4.6	4.3
I ₉₀	3.9	3.4	3.2	3.0	2.9	2.8	3.1	2.8	3.6		3.0
I ₁₀₀	3.6	3.0	2.9	2.7	2.7	2.3	2.3	2.2	2.4	2.5	

(b)

5ms 이상의 계조는 응답시간 개선을 위한 구동 방법 또는 응답시간에 영향을 주는 액정의 물성값 (셀 갭, γ)을 개선하면 충분히 5ms 이하의 빠른 응답시간을 얻을 수 있다. 따라서 d=2.0μm일 때 Δn=0.12, Δε=8.2, γ=70mPa·s인 액정을 사용할 경우 전 영역에서 5ms 이하의 빠른 응답시간을 갖을 것이다. 수직 ECB의 경우는 수평 ECB보다 낮은 구동전압이라는 큰 장점에도 불구하고 전 계조 영역에서 5ms이상이 57%이다. 따라서 셀 갭을 더욱더 낮게 가져가야 전계조에서 응답시간이 5ms 이하의 빠른 응답시간을 갖을 수 있다. 그러나 셀 갭을 낮게 가져가면 광효율이 줄어들어 Δn이 큰 액정을 사용해야하는데 이는 또 γ의 증가를 야기 하게 된다. 따라서 광효율 희생이 불가피하다. 따라서 수평 ECB가 수직 ECB보다 FSLCD에 적용시키기 적합하다.

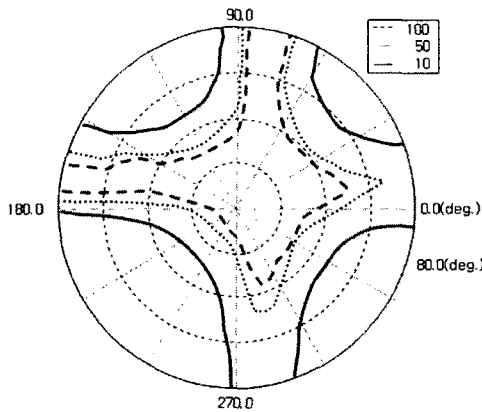


그림 2. 필름 보상 ECB 모드의 등명암대비비 곡선.

Fig. 2. Simulated Contrast-ratio of film compensated ECB mode

그러나 수평 ECB가 높은 CR을 얻기 위해서는 구동 전압이 높기 때문에 구동 전압을 낮추고, CR을 높이기 위해 discotic film을 이용하여 시뮬레이션한 결과 5V 이하의 구동 전압과 넓은 시야각을 보이는 조건을 알 수 있었다. 그림 3에서, 액정의 $d=2.0\mu\text{m}$, $\Delta n=0.1417$, $\Delta\epsilon=6.0$ 이고, film의 $d\Delta n=0.02492\mu\text{m}$ 일 때 구동 전압은 4.9V이고, $CR > 10$ 인 영역이 상하 좌우에서는 80° , 대각선 방향에서는 40° 이내인 결과를 얻었다.

4. 결 론

본 연구를 통해 ECB 모드의 FSLCD 적용 가능성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 알아보았다. 수평 ECB의 경우 구동전압은 높지만 필름 보상으로 인한 구동전압을 낮출 수 있다. 또한 유전율 이방성이 양인 액정은 유전율 이방성이 음인 액정보다 응답시간에 영향을 주는 인자인 γ , Δn , $\Delta\epsilon$ 등에서 유리하기 때문에 수평 배향된 ECB 모드가 FSLCD에 적용 가능하다.

감사의 글

본 연구는 비오이하이디스텍놀로지(주) 지원으로 시행되었습니다.

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 Vol. 9, No. 3, p. 155, 2001.
- [2] 허일국, 유숙경, 이현경, 김용배, "고속응답 TFT-LCD 기술 개발 동향", 한국정보디스플레이 학회지, 3권, 1호, p. 31, 2002.
- [3] P. Bos, T. Buzak and R. Vatne, "A FULL COLOR FIELD SEQUENTIAL COLOR DISPLAY", SID'85 digest paper, p. 157, 1985.
- [4] 서대식, 이창훈, 황율연, 이보호, 이승희, 김향율, "a-TN-LCD의 전기광학특성에 미치는 액정배향의 효과", 전기전자재료학회논문지, 10권, 1호, p 15, 1997.
- [5] 김향율, 서대식, 남상희, "IPS셀의 전압보유율 및 잔류 DC특성 연구", 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p.169, 2002
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] H. Y. Kim, J. M. Kim, S. H. Hong, S. K. Lee, Y. J. Lim, S. H. Jung, M. S. Kim, J. M. Rhee, S. H. Lee, "Cell Gap-Dependent Electro-optic Characteristics of the Fringe-Field Switching(FFS) Mode", SID'03 digest paper, p. 588, 2003.
- [9] 황정연, 서대식, 한은주, 김재형, "새로운 VA-1/6 π 셀 모드를 이용한 광시야각 특성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 10호, p. 883, 2000.
- [10] M. Shibazaki, T. Ishinabe, T. Miyashita, T. Uchida and T. Sunata, "New Concept of the Wide Viewing Angle Liquid Crystal Display without Grayscale Inversion", Jpn.

J. Appl. Phys., Vol. 40, No. 12B, p. L1373,
2003.

- [11] H. Mailer et al., "Deformation of Nematic
Liquid Crystals with Vertical Orientation in
Electrical Fields", Appl. Phys. Lett., Vol.
19, No. 10, p. 391, 1971.