

## FSLCD용 ECB 모드 연구

김승재, 오상민, 이승희, 신용섭\*, 김향율\*, 김서윤\*, 임영진\*  
전북대학교 신소재공학부, BOE-HYDIS\*

### Study on Electrically Controlled Birefringence Mode for Field Sequential Liquid Crystal Display

Seung Jai Kim, Sang Min Oh, Seung Hee Lee  
Yong Seop Shin\*, Hyang Yul Kim\*, Seo Yoon Kim\* and Young Jin Lim\*  
Chonbuk Nat'l Uni., BOE-HYDIS\*

#### Abstract

We have studied a electrically controlled birefringence (ECB) mode for field sequential liquid crystal display (FSLCD). We measured response time of the ECB mode. 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. So that, the ECB mode is one of strongest candidate for FSLCD application.

**Key Words** : FSLCD, ECB, Fast response time, High transmittance, Low operating voltage.

#### 1. 서 론

고도로 정보화되고 있는 현대 사회에서 인간과 전자기기 사이의 가교 역할을 담당하는 정보 표시 소자의 역할이 매우 중요시되고 있다. 현재 우리 주변에서 모니터, 디지털 카메라, 캠코더, TV, 차량용 디스플레이 등 평판 디스플레이가 (flat panel display; FPD) 많이 사용되고 있다. 특히 액정 디스플레이는 (liquid crystal display; LCD) 소형에서 40인치 이상의 대형까지 다양한 크기로 우리들 생활 주변에서 응용되고 있다. 이와 같이 LCD 시장이 확대됨에 따라 고화질, 높은 색재현성, 광시야각, 고속응답 특성 등을 충족시킬 수 있는 액정 모드의 개발이 절실하게 필요하다.

현재 LCD의 응답시간은 10 ms 이상으로 매우 느리지만 CRT, EL, PDP 등의 다른 디스플레이는 1 ms 이하의 매우 빠른 응답시간을 나타낸다. 그렇기 때문에 동영상 구현에 있어서 LCD 소자의 응답시간을 개선시키는 것이 매우 중요하다. 주요 동영상 매체 중에서 영화는 1초에 24 프레임, 컴퓨터 그래픽은 1초에 60 프레임, NTSC 방식의 TV

방송은 1초에 30 프레임의 프레임 속도를 보인다. 결국 액정의 응답시간이 프레임 속도보다 빨라야 지 동영상을 완벽하게 표현할 수 있기 때문에 액정의 응답시간을 빠르게 하는 것이 중요하다[2].

정보 표시용 디스플레이의 컬러화 방식에는 병치가법혼합, 동시가법혼합, 계속가법혼합 방식이 있다. 병치가법혼합은 선이나 점이 서로 조밀하게 병치되어 시각적으로 혼합되어 보이는 현상을 이용한 것으로 우리 눈의 공간적 분해능의 한계를 이용한 방식으로 컬러필터 방식이 이에 속한다. 동시가법혼합은 망막의 동일 부위에 두 가지 이상의 색 자극이 동시에 가해질 때 일어나는 현상을 이용한 것으로 프로젝터가 이에 속한다. 계속가법혼합은 우리 눈의 시간적 분해능의 한계를 이용한 방식으로 field sequential LCD (FSLCD)[3]가 이에 속한다. 사람의 눈(뇌)에는 잔상 현상이 있어, 이 잔상 현상에 의해 눈으로 들어온 R, G, B의 빛이 뇌 속에서 겹쳐져 하나의 색으로 혼색되는 현상을 이용한다. 60 Hz 구동을 하는 FSLCD의 경우에는 R, G, B가 각각 1/180 초, 즉 5.56ms 동안 표현이 되어야 하기 때문에 액정의 응답속도가 5ms

이하로 매우 빨라야 한다.

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

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

식 (1)과 (2)에서 알 수 있듯이 LCD의 응답시간은 rise time ( $\tau_{on}$ )의 경우 액정의 회전 점도에 (rotational viscosity;  $\gamma$ ) 비례하고, 인가전압( $V$ )에 반비례한다. 반면에 decay time ( $\tau_{off}$ )의 경우에는 액정의  $\gamma$ 와 셀갭 ( $d$ )의 제곱에 비례하고, 유효 탄성 상수에 (effective elastic constant;  $K_{eff}$ )에 반비례한다. 따라서 고속응답을 실현하기 위해서는 액정의  $\gamma$ 와  $d$ 가 작아야한다. 액정 셀의  $d$ 를 작게 하면 응답시간은 빨라지지만, 광효율 측면에서는 굴절률 이방성이 (birefringence;  $\Delta n$ ) 큰 액정을 사용해야 높은 명암대비비 (contrast ratio; CR)를 얻을 수 있다. 그러나 액정의  $\Delta n$ 이 큰 경우  $\gamma$  값 또한 크기 때문에  $\Delta n$ 은 크고  $\gamma$ 가 작은 액정 재료의 개발이 필요하다[4,5]. 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)[6] 모드는  $\{K_{11} + (K_{33} - 2K_{22})/4\}$ 이고, in-plane switching (IPS)[7] 모드와 fringe-field switching (FFS)[8,9] 모드는 twist 변형을 하기 때문에  $K_{22}$ , vertically aligned (VA)[10] 모드는 bend 변형을 하기 때문에  $K_{33}$ , electrically controlled birefringence (ECB)[11] 모드는 splay 변형을 하기 때문에  $K_{11}$ 이다. 탄성 상수 값이 크면  $\tau_{off}$ 에는 유리하지만 구동 전압이 올라간다는 단점이 있다. 즉, 액정은 점·탄성체이기 때문에 용수철과 비교할 수 있다. 용수철의 탄성 상수가 증가하면 잡아늘이는데 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 설계해야한다.

본 연구에서는 초기 수평 배열된 액정 분자들이 전압 인가시 기판에 수직으로 일어서는 splay 변

형을 하는 ECB 모드의 고속응답 셀 조건에 대하여 연구하였다.

## 2. 시뮬레이션 결과 및 고찰

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

표 1. ECB 모드의 시뮬레이션 조건.

Pretilt angle ( $^\circ$ )		2
LC	$\Delta \epsilon$	+8.2
	$\gamma$ (rotational viscosity; mPa · s)	78
	$K_{11}$ (elastic constant for splay; pN)	9.7
	$K_{22}$ (elastic constant for twist; pN)	5.2
	$K_{33}$ (elastic constant for bend; pN)	13.3

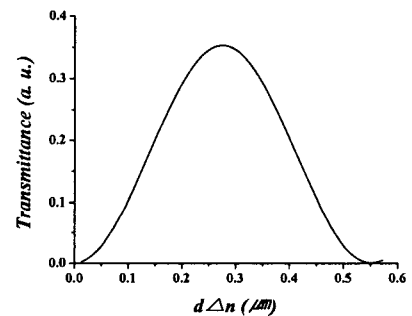


그림 1. ECB 모드의 위상지연값 ( $d\Delta n$ )에 따른 초기 투과율 변화를 나타내는 컴퓨터 시뮬레이션 결과.

그림 1은 ECB 모드에서 입사 파장 ( $\lambda$ )이  $0.55 \mu\text{m}$ 일 때 액정의 위상지연값 ( $d\Delta n$ )에 따른 초기 투과율을 나타낸 그래프이다. ECB 모드의 투과율 공식은 다음과 같다.

$$T/T_0 = \sin^2(\pi d \Delta n(V) / \lambda) \quad (3)$$

식 (3)에서 투과율이 최대일 조건은  $d\Delta n = \lambda/2 = 0.275 \mu\text{m}$ 이지만, 초기 pretilt angle이  $0^\circ$ 가 아니기 때문에  $0.275 \mu\text{m}$  보다 약간 크다는 것이 시뮬레이션 결과와 유사함을 알 수 있다. 따라서 우리는 액정 셀의  $d\Delta n$ 이  $\lambda/2$  근처일 때의 전압인가에 따른 투과율 변화를 알아보았다.

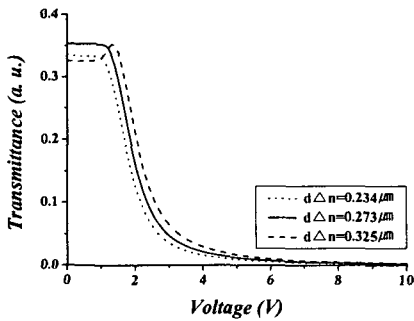


그림 2. ECB 모드의 위상지연값 ( $d\Delta n$ ) 변화에 따른 전압 인가별 투과율 변화 그래프.

그림 2는 액정의  $d\Delta n$ 을 바꾸면서 전압인가에 따른 투과율을 변화 (V-T curve)를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 알아보았다.  $d\Delta n < \lambda/2$ 일 때는 구동 전압은 낮지만 낮은 투과율을 보이고,  $d\Delta n > \lambda/2$ 일 때는 초기에  $d\Delta n$ 이 최적보다 크기 때문에 전압을 인가하면 최대 투과율을 보이다가 액정 유효  $d\Delta n$ 이 작아지기 때문에 투과율이 감소하여 흑 상태를 보인다. 따라서 초기 액정의  $d\Delta n$ 이  $\lambda/2$  근처일 때 최대 투과율을 보인다. 그러나 높은 CR을 얻기 위해서는 구동 전압이 높기 때문에 구동 전압을 낮추고, CR을 높이기 위해 uniaxial film을 이용하여 시뮬레이션한 결과 6V 이하의 구동 전압과 넓은 시야각을 보이는 조건을 알 수 있었다. 이때, 액정의  $d=2.6\mu\text{m}$ ,  $\Delta n=0.12$ ,  $\Delta\epsilon=8.2$ 이고, film의  $d\Delta n=0.0308\mu\text{m}$ 일 때 구동 전압은 5.5V이고,  $CR > 10$ 인 영역이 상하 좌우에서는  $80^\circ$ , 대각선 방향에서는  $40^\circ$  이내인 결과를 얻었다. 이 결과를 토대로 우리는 액정 셀을 제작하였다.

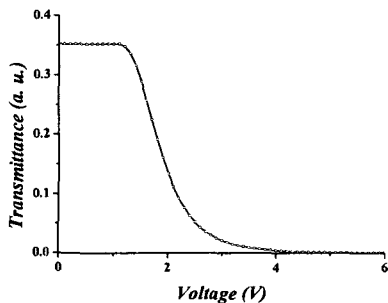


그림 3. 필름 보상 ECB 모드의 전압인가에 따른 투과율 변화 그래프.

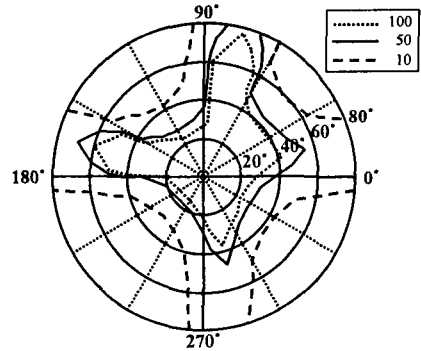


그림 4. 필름 보상 ECB 모드의 등명암대비비 곡선

### 3. 실험 결과 및 고찰

우리는  $\Delta\epsilon=8.2$  ( $20^\circ\text{C}$ , 1kHz),  $\Delta n=0.099$  ( $20^\circ\text{C}$ , 589.3nm),  $\nu=78\text{mPa}\cdot\text{s}$ 인 액정을 사용하여 셀 갭이  $2.66\mu\text{m}$ 가 되게 합착한 후에 EOMS (Korea, 세심광전자기술)을 사용하여 응답시간을 측정하였다.

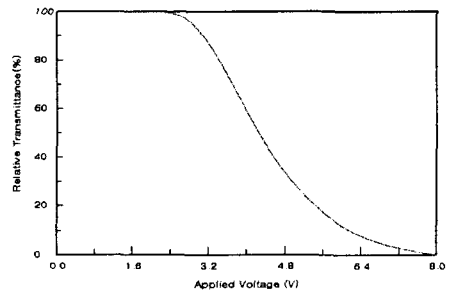


그림 5. ECB 셀의 전압인가별 투과율 그래프.

그림 5는 제작한 셀의 V-T curve이다. 측정된 V-T curve를 기준으로 각 계조별 응답시간을 측정한 결과는 다음의 표 2와 같다.  $\tau_{on}$ 과  $\tau_{off}$  모두 일부 계조를 제외한 대부분의 계조에서 5ms 이하의 빠른 응답시간을 보인다. 5ms 이상의 계조는 응답시간 개선을 위한 구동 방법 또는 응답시간에 영향을 주는 액정의 물성값 (셀 갭,  $\nu$ )을 개선하면 충분히 5ms 이하의 빠른 응답시간을 얻을 수 있다. 따라서  $d=2.6\mu\text{m}$ 일 때  $\Delta n=0.12$ ,  $\Delta\epsilon=8.2$ ,  $\nu=70\text{mPa}\cdot\text{s}$ 인 액정과  $d\Delta n=0.0308\mu\text{m}$ 인 uniaxial film을 사용할 경우 낮은 구동 전압과 높은 투과율, 5ms 이하의 빠른 응답시간을 갖는 ECB 모드를 field sequential용 LCD에 충분히 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

표 2. ECB 모드의 계조별 응답시간.

Starting grey								(단위 : ms)	
T <sub>70</sub>	T <sub>60</sub>	T <sub>50</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>30</sub>	T <sub>20</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>0</sub>		
3.1	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2		
6.8	6.0	5.9	5.5	5.4	5.5	5.3	5.3		
6.1	5.3	5.1	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7		
	5.9	4.8	4.2	4.4	4.4	4.0	4.4		
-		5.0	4.0	3.7	3.4	3.6	3.9		
-	-		5.0	3.2	3.0	3.0	4.1		
-	-	-		4.2	3.9	3.5	3.6		
3.1	-	-	-		3.3	3.3	3.3		
3.0	3.0	-	-	-		3.1	3.2		
2.3	2.1	2.1	3.0	-	-		2.5		
1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.1	-			

#### 4. 결론

본 연구를 통해 ECB 모드의 FSLCD 적용 가능성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 알아보았다. 현재의 기술로는 양의 액정이 음의 액정보다  $\nu$ ,  $\Delta n$ ,  $\Delta \epsilon$ , 액정 가격, 액정 주입시간 (ODF 기술을 적용하지 않았을 때) 등에서 유리하기 때문에 수평 배향된 ECB 모드가 FSLCD에 적용 가능하다.

#### 감사의 글

본 연구는 비오이하이디스테크놀로지(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] 황정연, 전용제, 서대식, "액정 배향 및 LCD 모드 기술", 전기전자재료, 16권, 1호, p. 7, 2003.

[3] P. Bos, T. Buzak and R. Vatne, "A FULL COLOR FIELD SEQUENTIAL COLOR DISPLAY", SID'85 digest paper, p. 157, 1985.

[4] 서대식, 이정호, "유기 평판 디스플레이 기술과 LCD 기술의 최근 동향", 전기전자재료학회지, 15권, 12호, p. 23, 2002.

[5] 허일국, 유숙경, 이현경, 김용배, "고속응답 TFT-LCD 기술 개발 동향", 한국정보디스플레이학회지, 3권, 1호, p. 31, 2002.

[6] 서대식, 이창훈, 황을연, 이보호, 이승희, 김향울, "a-TN-LCD의 전기광학특성에 미치는 액정배향의 효과", 전기전자재료학회논문지, 10권, 1호, p 15, 1997.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[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.

[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.