

## 유전율 이방성이 양인 액정을 이용한 고속응답용 FFS 모드

### Study on the Fringe Field Switching (FFS) Mode with the Positive Dielectric Anisotropy for the Fast Response Time

김미숙<sup>1,2</sup>, 김향울<sup>1,2</sup>, 송성훈<sup>2</sup>, 양석만<sup>2</sup>, 이성규<sup>2</sup>, 임영진<sup>2</sup>, 이승희<sup>1,a</sup>

(M. S. Kim<sup>1,2</sup>, H. Y. Kim<sup>1,2</sup>, S. H. Song<sup>2</sup>, S. M. Yang<sup>2</sup>, S. G. Lee<sup>2</sup>, Y. J. Lim<sup>2</sup>, and S. H. Lee<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

We have studied the fringe field switching (FFS) mode with the positive dielectric anisotropy for the fast response time. The factors such as the physical properties of the LC, the cell gap, and the rubbing angle were critical for the fast response time of the FFS mode. The response time became 10 ms faster when the rotational viscosity of the new LC is 20 mPa.s lower than the conventional LC. When the cell gap changed from 3.6 μm to 3.0 μm, it was possible to achieve the total response time and response times associated with grey-to-grey transitions under 16 ms. And the response times including grey-to-grey transitions become fast as the rubbing angle decreases.

**Key Words** : Fringe-field switching, Liquid crystal, Cell gap, Rubbing angle, Fast response time

#### 1. 서론

최근 들어 액정 디스플레이의 연구가 활발해지면서 CRT를 대체할 만한 우수한 특성을 가진 모드들이 많이 개발되고 있다. 그중 대표적인 광시야각 모드는 IPS (in-plane switching)[1]와 FFS (fringe field switching) 모드[2-4]이며 FFS 모드는 광시야각 뿐만 아니라 프리즈 전기장에 의해 화소 전극 위에서도 액정의 비틀림이 발생해 IPS 모드가 가지는 낮은 광효율을 보상할 수 있는 장점을 지닌다. 또한 이러한 우수한 액정 모드의 대형 size가 가능해지면서 50인치에 달하는 대형 LCD TV가 PDP와 함께 TV 시장에서 경쟁하고 있다. 실제로 LCD가 TV monitor로서 응용이 가능하기 위해서는 동영상 구현이 가능해야 하며 LCD의 응답시간이 1 frame에 16.67 ms 이내가 되어야 한다. 따라서 LCD 응답시간을 줄이기 위한

다양한 방법들이 제시되고 있으며 그중 대표적인 것으로는 over driving[5]과 같은 구동방법을 제어해 전압 인가시 응답시간을( $\tau_{on}$ ) 빠르게 하는 방법이 있다. 그러나 실제로 이러한 구동 방법은 LCD 패널 제조 시 cost를 올리는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 구동 방법을 제어하지 않은 상태에서 회전 점도, 탄성상수와 같은 액정의 물성값과 셀갭[6], 러빙각[7]과 같은 액정 셀내의 설계적인 변수만을 가지고 유전율 이방성이 양인 액정을 사용하는 FFS 모드에서 전 계조 16ms 이내를 가능하게 하는 고속 응답용 패널 조건을 컴퓨터 시뮬레이터를 통해 알아냈으며 이를 실제 셀에서 증명하였다.

#### 2. FFS 모드의 셀 구조 및 동작원리

교차된 편광판 사이에 복굴절 물질을 갖는 액정 셀에서 일반화된 광 투과율 공식은 다음과 같다.

$$T / T_0 = \sin^2 (2\Psi) \sin^2 (\pi d \Delta n (\theta, \Phi) / \lambda)$$

여기서  $\Psi$  는 교차된 편광판의 투과축 중 1축과 액정 방향자가 이루는 각도,  $\Delta n$ 은 액정의 복굴절

1. 전북대학교 신소재공학부  
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)  
2. BOE-HYDIS, TECHNOLOGY CO., LTD  
a. Corresponding Author : lsh1@moak.chobuk.ac.kr  
접수일자 : 2004. 3. 5  
심사완료 : 2004. 5. 17

값,  $d$ 는 셀 갭,  $\theta$ 는 입사광의 파장이고,  $\theta, \phi$ 는 각각 구 좌표계에서 극각과 방위각을 나타낸다. 또한  $\Delta n$ 은  $\lambda$ 에 대한 함수이지만 본 논문에서는 589 nm로 고정시켰다. 이 식에서 보이는 것처럼 최대 투과율은 입사광의 파장에 대한  $d\Delta n$  값에 의존하여 변화하며 투과율이 최대가 되기 위해서는  $\Psi$ 가  $45^\circ$ 이어야 하며 액정셀의 위상지연값( $d\Delta n$ )은  $\lambda/2$ 값이어야 한다. FFS 모드도 이와 유사하게 표현될 수 있다. 즉 교차된 편광판 중 하나의 광축을 하부 기판의 러빙 방향과 일치시키는데 이때는  $\Psi$ 가  $0^\circ$ 이므로 빛이 통과하지 않는다. 전압 인가 시 액정이 회전되고, 즉  $\Psi$ 가 커지면서 빛이 통과하고 광 투과도가 발생한다. 이러한 FFS 셀의 전극 구조는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서처럼 전극은 하부 기판에만 존재하며 공통전극(common electrode)과 화소전극(pixel electrode)이 절연층을 사이에 두고 존재하며 두 전극 간 수평 거리가 영이다. FFS 전극 구조에서는 전압 인가 시 프린즈 전기장이 형성되며 프린즈 전기장이라 함은 전기장이 수평 및 수직 성분을 모두 가지고 있음을 의미한다. 이러한 유전을 이방성이 양인 액정을 사용하는 FFS나 모드에서 고속 응답을 실현하기 위한 액정 및 셀 설계 조건을 알아보기 위해 본 논문에서 시뮬레이션을 실행하였으며 이때의 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다. 또한 러빙 각은 아래 그림 2와 같이 전기장을 기준으로 초기 액정방향자가 틀어진 각으로 정의하였으며  $w$ 는 화소 전극의 폭,  $l$ 은 화소 전극폭간 거리를 나타낸다. 시뮬레이션에 사용된 시뮬기는 2dimos (Autronic-melchers, German)로 광학적 투과율 계산은 2x2 extended Jones matrix를 적용했다[8].

그림 1. FFS 모드의 단면도 및 액정 분포.  
Fig. 1. Cross-sectional view of the FFS mode and LC profile.

표 1. 시뮬레이션 조건.

Table 1. Simulation condition.

Electrode width, $w$ ( $\mu\text{m}$ )	3	
Electrode distance, $l$ ( $\mu\text{m}$ )	5.5	
Cell gap ( $\mu\text{m}$ )	2.8, 3, 3.2, 3.4, 3.6	
Pretilt angle( $^\circ$ )	2	
Rubbing angle( $^\circ$ )	67, 71, 75, 79, 83	
	Normal LC	New LC
$K_{11}$ (pN)	9.6	12.3
$K_{22}$ (pN)	5.8	6.7
$K_{33}$ (pN)	11.6	13.9
$\Delta n$ at 589nm	0.0987	0.0975
$\Delta\epsilon$	8.2	5.6
$\gamma$ (mPa.s)	84	65

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

### 3. 시뮬레이션 및 측정 결과 고찰

LCD에서 응답시간에 영향을 주는 변수중 하나는 액정의 회전점도, 탄성상수 등의 액정 물성 값을 들 수 있다. 따라서 회전 점도가 낮은 액정이 전압에 더 빠르게 반응하게 되며 탄성 상수가 큰 액정이 전압 제거 시 복원력이 커서 decay 응답시간이 빠르게 된다. 따라서 LCD에서 동영상 구현을 실현하기 위한 필요조건은 액정 설계에 있으며 FFS 모드 역시 TV monitor용 고속 응답을 실현하기 위한 첫 번째 조건은 액정 설계다. 그림 3는 액정의 회전 점도 값이 기존 액정보다 20 mPa.s 정도 낮으면서  $\Delta\epsilon$ 이 2.6 작은 액정과 FFS 모드에서 일반적으로 사용하는 액정을 사용했을 때의 실제 패널에서 인가된 전압에 따른 투과율 곡선 ( $V-T$ )이다. 이때의 셀갭은 3.6  $\mu\text{m}$ 이다. 589 nm 파

장에서  $\Delta n$  값은 기존 액정의 물성 값에 준하는 수준으로 설계했으며 탄성상수 값은 이러한 투과율과 응답속도에 영향을 미치는  $\Delta n$ ,  $\Delta \epsilon$  값과 같은 중요한 요소가 결정된 후에 조정해야 하기 때문에 독립적으로 조절하기가 어려우며 본 논문에서는 기존에 준하는 수준으로 설계하였다. 그림 3은 셀에서 측정된 결과로 그림에서 보이는 것처럼 새로 설계된 액정의 경우 구동전압이 기존 액정의 경우보다 동일 셀 갭에서 1V 정도 높으며 이는 새로 설계한 액정의  $\Delta \epsilon$  값이 기존 액정보다 2.6 정도 작으며  $\Delta \epsilon$  값이 작은 경우 높은 전압을 인가해야 액정의 비틀림 각이 증가하면서 투과도가 발생하기 때문이다. 새로 설계한 액정의 투과율이 조금 낮은 이유는 이 액정의 복굴절값이 기존 액정보다 작은 값을 가지며 이는 위상 지연 값을 떨어뜨리기 때문이다. 그림 4는 투과율 80% 변화량 기준에서 응답시간을 나타내는 그래프로 그림에서 보이는 것처럼 새로 설계한 액정의 경우 동일 셀갭에서 rising 응답 시간( $\tau_{on}$ )이 4 ms, decay 응답시간( $\tau_{off}$ )이 7 ms 감소해 토달 10 ms 이상 응답시간이 감소하였다. 실제로  $\tau_{on}$ 의 경우 인가된 전압이 높을수록 액정의 회전 점도가 낮을수록 액정들이 셀 내에서 빠르게 회전하게 되는데 이는 새로운 액정 설계를 통해 구동 전압이 1 V 증가, 회전 점도가 20 mPa.s 감소로 인한 결과이며  $\tau_{off}$  는 탄성 상수가 클수록 회전 점도가 작을수록 응답시간이 빨라지게 되는데 그림 4의 경우는 회전 점도가 낮은 액정 설계로 인한  $\tau_{off}$  감소 효과이다.

**Voltage (V)**

그림 3. 액정별 전압에 따른 투과율 측정 결과.  
 Fig. 3. Measurement result of V-T curve for the two type of the LC.

그림 4. 액정별 응답속도.  
 Fig. 4. Measured response time for the two type of the LC.

**Voltage (V)**

그림 5. 셀갭별 전압에 따른 투과율.  
 Fig. 5. Calculated V-T curve according to the cell gap.

그림 6. 셀갭별 응답시간.  
 Fig. 6. Calculated response time according to the cell gap.

액정의 응답시간에 영향을 주는 또다른 중요한 요인은 적절한 셀 설계이며 그중 첫 번째는 셀갭 효과이다. 그림 5는 위에서 설계한 새로운 액정을 사용, 셀갭을 3.6  $\mu\text{m}$ 에서 2.8  $\mu\text{m}$ 으로 0.2  $\mu\text{m}$ 씩 감소했을 때의 전압에 따른 투과율 곡선을 시뮬레이터를 통해 나타낸 결과이다. 이때의 투과율은 절대 투과율로 액정의 효율만 계산한 값이다. 셀갭이 3.6  $\mu\text{m}$ 에서 2.8  $\mu\text{m}$ 로 감소시 액정 셀의 위상지연 값이 감소하기 때문에 셀의 투과율 역시 기존 ( $d=3.6\mu\text{m}$ 의 경우) 대비 75 %로 감소한다. 그림 6은 이러한 FFS 액정 모드에서 셀갭 감소시 응답시간 변화정도를 나타낸다. 그림에서 보이는 것처럼 셀갭이 3.6  $\mu\text{m}$ 에서 2.8  $\mu\text{m}$ 로 감소 시 토탈 응답시간이 25.5 ms에서 16 ms로 감소하는 것을 알 수 있다.  $\tau_{on}$  시간의 경우 셀갭이 작아지면서 셀내의 전기장의 세기는 커지고 이는 액정에 강한 유전 토크 (torque)를 주어 응답속도가 빨라지게 되는 것이며  $\tau_{off}$  시간은 응답시간이  $d^2$ 에 비례하기 때문에 셀갭이 작아지면서 기판 표면의 액정 정박력 영향이 셀갭이 클 때보다 더 커지기 때문에 액정이 원래의 상태로 되돌아 오는 힘이 커서 더 빨라진다.

### Voltage (V)

그림 7. 러빙 각도별 전압에 따른 투과율.

Fig. 7. Calculated V-T curve according to rubbing angle.

액정의 응답시간에 영향을 주는 또다른 셀 설계 요인은 러빙 각 효과이다. 그림 7은 셀갭이 3.6  $\mu\text{m}$ 로 동일하면서 러빙 각 증가에 따른 전압에 따른 투과율 곡선이다. 그림에서 보이는 것처럼 러빙 각 67도에서 83도로 증가시 문턱 전압은 증가하며 구동 전압은 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 액정

방향자가 회전하려는 유전을 토크값 (N)의 크기에 따른 결과이며 유전을 토크값은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$N = |\Delta\epsilon(n \cdot E) n \times E|$$

$$= \Delta\epsilon E_0^2 \sin 2\phi \quad (1)$$

즉 액정 방향자가 회전하려는 힘의 크기인 유전 토크값은 전기장과 액정 방향자가 45도( $\phi$ )를 이룰 때 최대가 되며 문턱 전압의 경우 러빙 각이 67도 인 경우가 전기장의 방향과 45도에 가장 근접하기 때문에 가장 작게 되며 액정 방향자를 초기 러빙 방향으로부터 45도 회전시키는데 필요한 구동 전압의 경우 러빙 각이 증가할수록 감소하게 된다. 그림 8은 러빙 각을 67도에서 83도로 증가시 셀갭에 따른 응답시간을 나타낸다. 그림 8(a)에서 보이는 것처럼 동일 셀갭에서 러빙각을 67도에서 83도로 증가시  $\tau_{on}$  응답시간이 증가하는 것을 볼 수 있으며  $\tau_{off}$ 의 경우는 큰 차이가 나지 않는 것을 그림 8(b)를 통해 알 수 있으며 따라서 전체 응답시간이 러빙각이 증가 할수록 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 러빙각이 작아질수록  $\Delta\epsilon_{eff}$ 값이 작아지면서 셀내에 더 큰 전압이 걸리게 되고  $\tau_{on}$  경우 인가된 전압이 클수록 응답시간이 빨라지기 때문에 실제로 러빙각을 증가시키면  $\tau_{on}$  응답시간이 느려지게 되는 것이다. 또한  $\tau_{off}$  경우 액정의 고유 물성값인 탄성 상수값에 크게 영향을 받기 때문에 큰 차이가 없게 된다. 이러한 현상은 계조간에서 더욱 명확히 나타난다. 그림 9는 러빙 각에 따른 계조간 응답시간을 나타낸다. 그림 9(a)는 러빙각 83도, 그림 9(b)는 67도에서의 계조간 응답시간을 나타내며 이때의 셀갭은 3.6  $\mu\text{m}$ 로 고정시켰다. 러빙각이 83도인 경우 V20에서 V0의 계조간 응답시간이 각각  $\tau_{on}=29$  ms,  $\tau_{off}=11$  ms인 반면에 러빙각이 67도인 경우는  $\tau_{on}=21$ ms,  $\tau_{off}=11$ ms이며 V80에서 V100의 경우 러빙각이 83도인 경우,  $\tau_{on}=9.5$  ms,  $\tau_{off}=16$  ms, 러빙 각이 67도인 경우는  $\tau_{on}=3.5$  ms,  $\tau_{off}=10.8$  ms로 러빙각이 작은 경우의 응답시간이 매우 빨라지는 것을 알 수 있다. 위와 같은 응답시간에 영향을 주는 액정의 물성 값, 셀갭, 러빙각을 변수로 전 계조 16 ms의 조건을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었으며 그림 10에서 보이는 것처럼 실제 셀에서는 셀갭 3  $\mu\text{m}$ 이면서 러빙각 83에서 전계조 15 ms 이내가 가능하였다.

**그림 8.** 셀갭과 러빙각 변화에 따른  $\tau_{on}$ ,  $\tau_{off}$  응답 시간.

**Fig. 8.**  $\tau_{on}$  and  $\tau_{off}$  plotted as a function of cell gaps & rubbing angle.

**그림 9.** 러빙각이 83도, 67도일 때의 계조간 응답 시간.

**Fig. 9.** Calculated response times between grey levels when the rubbing angle is (a)83도 and (b) 67도.

**그림 10.** 셀갭 3  $\mu m$ 에서의 계조간 응답시간.

**Fig. 10.** Measured response times between grey levels when the cell gap is 3  $\mu m$ .

#### 4. 결론

본 연구에서는 구동 방법을 제어하지 않은 상태에서 회전 점도, 탄성상수와 같은 액정의 물성 값과 셀갭, 러빙각과 같은 액정 셀내의 설계적인 변수만을 가지고 유전율 이방성이 양인 액정을 사용하는 FFS 모드에서 전 계조 16 ms 이내를 가능하게 하는 고속 응답용 셀 조건을 컴퓨터 시뮬레이터와 셀을 통해 살펴보았다. 새로운 액정을 사용한 경우 기존 셀갭 3.6  $\mu\text{m}$ 에서 3.0  $\mu\text{m}$ 으로 낮춘 경우 전계조건 응답시간이 16 ms 이내였으며 실제 셀에서의 응답시간 역시 전계조 16 ms 이내로 고속 응답용 모드에 적합하였으며 러빙각이 83도인 경우보다 67도로 낮춘 경우 크기는 10 ms 이상 계조간 응답시간이 빨라졌다.

#### 참고 문헌

- [1] 김향율, 서대식, 남상희, "IPS셀의 전압보유율 및 잔류DC특성 연구", 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 169, 2002.
- [2] 김미숙, 김향율, 이승희, "Fringe-Field Switching (FFS) 모드에서 액정의 유전율 이방성에 따른 동력학 안정성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 16권, 3호, p. 224, 2003.
- [3] 김향율, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 1호, p. 720, 2002.
- [4] 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.
- [5] Hajime Nakamura, "A model of image display in the optimized overdrive method for motion picture quality improvements in liquid crystal devices", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, p. 6435, 2001.
- [6] 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-dependant electro-optic characteristics of the fringe field switching (FFS) mode", SID'03 Digest,

p. 588, 2003.

- [7] 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.
- [8] A. Lien, "Extended jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, p. 2767, 1990.