

## 압력에 안정한 3분할 FFS 모드의 화소 설계에 관한 연구

### Study on the Pixel Design for the Prerrue-stable Fringe-field Switching (FFS) Mode with 3 Slit Structure

김미숙<sup>1,a</sup>, 신승민<sup>1</sup>, 정연학<sup>1</sup>, 김향율<sup>1</sup>, 김서윤<sup>1</sup>, 임영진<sup>1</sup>, 이승희<sup>2</sup>

(Mi Sook Kim<sup>1,a</sup>, Seung Min Seen<sup>1</sup>, Yeon Hak Jung<sup>1</sup>, Hayng Yuil Kim<sup>1</sup>, Seo Yoon Kim<sup>1</sup>, Young Jin Lim<sup>1</sup>, and Seung Hee Lee<sup>2</sup>)

#### Abstract

We studied the external pressure-stable advanced frnge field switching (FFS) pixel design with 3 slit sructue. In this mode, a patterned pixel slit is partitioned into 3 areas, namely, two edges and a center, where the edge slit angle is larger than the center slit angle. Thus the reverse twist region in the pixel edge is reduced comparing to the conventional FFS mode so that the LC dynamics in this region becomes very stable. And also, when the external pressure is applied to the panel at the high voltage, the disclination lines (DLs) were barely intruded into active area. Therefore, the structure is use for the pen based system such as the tablet personal computer (PC), personal digital asistant (PDA).

**Key Words** : Fringe-field switching, 3 slit structure, LC director's dynamic

#### 1. 서 론

Personal digital asistant (PDA), tablet personal computer(PC)와 같은 pressure sensitive pen based system은 펜에 의해 외부 압력이 패널에 직접 적용되기 때문에 외부 압이나 전압 증가시 액정들이 동력학적으로 안정해야 한다. twisted nematic (TN)[1]과 같은 상하 수직 전기장에 의해 움직이는 모드는 외부 압력에 불안정하므로 횡전계에 의해 액정 방향자들을 구동시키는 fringe field switching (FFS)[2,3] 모드가 Tablet PC와 같은 pen based system에 적합하다. 그러나 FFS 모드의 경우, 화소 전극 중심부 영역과 패턴된 화소

전극 가장자리 부근에서 전기장의 방향이 같지 않기 때문에 화소 전극 가장자리 부근의 액정 방향자가 중심부 영역과 다른 방향으로 회전하면서 reverse twist가 발생하게 된다. 또한 이러한 영역에서의 액정 회전 방향이 인근의 정상 거동 영역과 상이하기 때문에 이들의 경계 영역에서 어느 방향으로도 회전하지 않는 액정 방향자들에 의해 필연적으로 disclination line (DL)이 형성된다. 이러한 화소 전극 가장자리 부근의 동력학적으로 불안정한 DL은 외부 압력 인가하거나 높은 전압에 더욱 불안정해지며 화소 안쪽으로 침범하게 된다. 화소 전극 설계시 slit angle (SA)을 증가시키면 reverse twist 영역이 작아지고 액정의 불안정한 영역이 적어지면서 외부 압력에 대해 안정해지지만 투과율이 감소해 광효율이 떨어지는 문제점이 있다[4,5]. 본 논문에서는 새로운 화소 전극 구조를 통해 외부 압력에 안정하면서 높은 광효율을 가지는 새로운 FFS 모드를 제시하며 이때의 전기 광학특성 및 액정 동력학 안정성을 3차원 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

1. BOE\_TFT\_LCD\_SBU 선행 기술 그룹

(경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1)

2. 전북대학교 신소재공학부

a. Corresponding Author : misuk7287@boehydis.com

접수일자 : 2005. 5. 6

1차 심사 : 2005. 5. 22

2차 심사 : 2005. 6. 2

심사완료 : 2005. 6. 10

## 2. FFS 모드의 셀 구조 및 동작원리

그림 1은 FFS 모드의 전압 인가전 셀 구조를 나타낸다. FFS 모드는 하부 기판에만 전극이 존재하며 하부 기판은 공통전극 (common electrode)과 화소전극 (pixel electrode)이 절연층을 사이에 두고 존재한다. 이 때 공통전극과 화소전극 간 수평거리가 영이고 화소 전극은 임의의 폭 ( $w$ )을 가지며 서로 임의의 간격 ( $l'$ )으로 떨어져 있다. 전압 인가시 프리즈 전기장이 형성되며 전기장 방향으로 액정이 회전되면서 교차된 편광판 사이에서 광투과도를 변화시킨다.

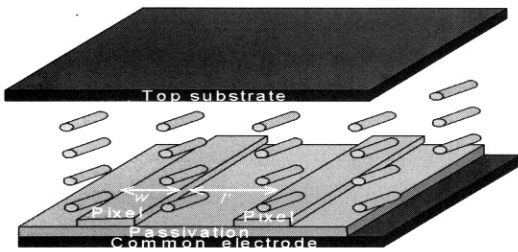


그림 1. FFS 모드의 셀 구조.  
Fig. 1. Cell structure of FFS mode.

## 3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서는 새로운 화소 전극 구조를 통해 외부 압력에 안정하면서 높은 광효율을 유지하는 새로운 FFS 모드를 제시하며 이때의 전기 광학 특성 및 액정 동역학 안정성을 3차원 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 분석을 위해 사용된 시뮬레이터는 Sanayi system의 Techviz LCD이며 광학적 투과율 계산은 589 nm에서 2x2 extended Jones matrix[6]를 적용하였다. 이때의 시뮬레이션 조건은 표 1에 언급되어 있다.

그림 2는 기존의 화소 전극의 SA 증가시 전압 증가에 따른 투과율 변화를 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 그림에서 보이는 것처럼 7°에서 11°, 15°로 SA이 4° 증가시 구동 전압에서의 최대 투과율이 약 3 %씩 감소한다. 실제로 FFS 모드와 같은 in-plane 계열에서 편광판의 투과축과 액정 방향자가 이루는 각도가 45°를 이룰 경우 최대 투과율을 갖게 된다. 따라서 위의 결과는 SA 감소에 따라서 편광판의 투과축과 액정 방향자가 이

표 1. 시뮬레이션 조건.

Table 1. Simulation condition.

Electrode width, $w$ ( $\mu\text{m}$ )	3
Electrode distance, $l'$ ( $\mu\text{m}$ )	5
Cell gap ( $\mu\text{m}$ )	3.6
Pretilt angle( $^\circ$ )	2
Slit angle( $^\circ$ )	7,11,15
LC property	
$\Delta n$ at 589 nm	0.099
$\Delta\epsilon$	8.2

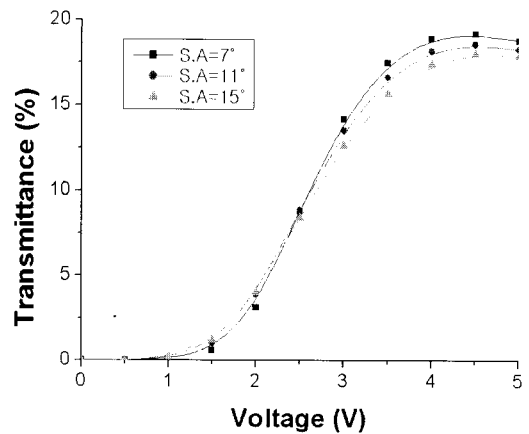
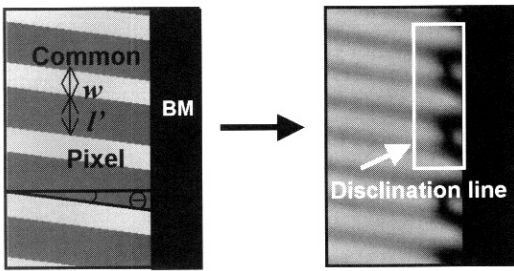
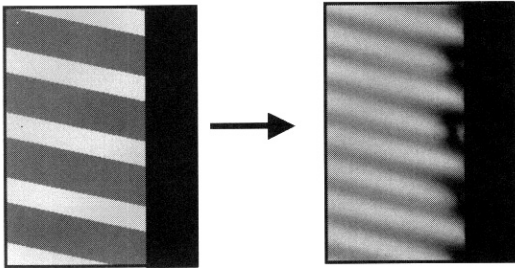


그림 2. 전압에 따른 투과율.  
Fig. 2. Calculated V-T curve.

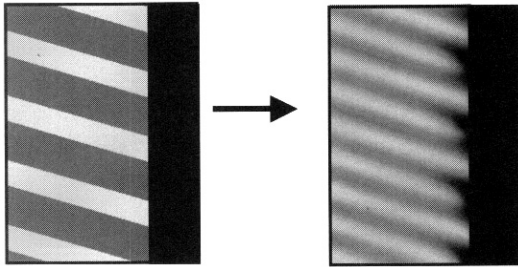
루는 각도가 45도에 가까워짐을 보여준다. 그림 3은 구동 전압에서 SA 증가에 따른 화소 전극의 투과율 변화를 나타낸다. 그림에서 보여지는 것같이 그림 3(a)에서 3(c)로 갈수록 즉, SA 증가시 DL이 화소 중심부로 침범하는 정도가 감소한다. 실제로 FFS 모드의 경우 화소 전극 패턴부 가장자리에서 화소 중심부와 전기장의 방향이 다르게 된다. 따라서 액정 방향자들이 화소 중심부와 다른 방향으로 회전하면서 reverse twist하는 영역이 존재한다. 이러한 영역과 인근의 정상 twist 거동 영역 사이에서 DL이 필연적으로 발생하게 되는데 SA이 증가할수록 reverse twist 영역이 적어지면서 화소가 가장자리 부근의 액정 방향자들이 동력학적으로 안정하게 된다. 즉, 이러한 영역이 적을수록 외부 압이나 높은 전압에 액정 분자들이 더 안정하게 되어 DL이 화소 안쪽으로 침범하는 정도를 줄일 수 있다. 그러나 앞서 언급했듯이 SA 증가시 패턴에서의 투과율이 감소하게 된다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. SA에 따른 투과율 변화 :(a) 7°, (b)11°, (c)15°.

Fig. 3. Transmittance according to SA :(a) 7°, (b)11°, (c)15°.

그림 4는 이러한 문제점을 해결하면서 외부 압에 안정한 새로운 FFS 화소 전극 구조를 제시한다. 새로운 화소 구조는 그림에서 보여지는 것처럼 한 화소의 SA를 3분할 해 가운데 SA를 기준으로 양 끝을 크게 가져감으로써 SA 증가에 따른 투과율 감소폭을 반으로 줄이며 화소 전극 가장자리에 위치하는 액정의 불안정한 영역을 축소시켰다. 그림 4의 경우는 center SA ( $\theta$ )를 7°, edge SA ( $\theta'$ )를 11°로 설계했다. 표 2에서 보이는 것처럼 기존 구조에서는 SA를 7°에서 4°씩 증가할 경우 투과율이 3% 감소했으나 논문의 3분할 slit 구조의 경우, 7° 대비 1.6%만 감소해 투과율 감소를 받

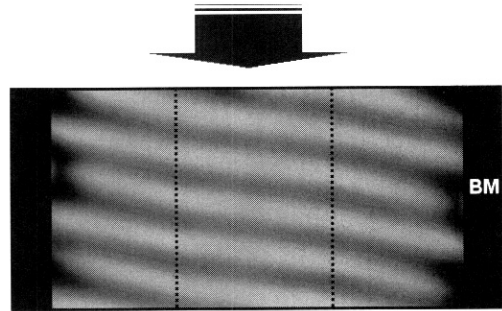
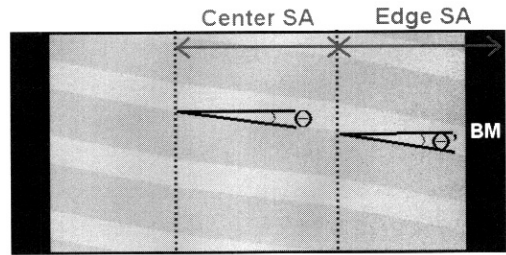


그림 4. 3 slit 화소 구조의 투과율 변화.

Fig. 4. Transmittance for the 3 slit pixel structure.

표 2. 슬릿 각 증가에 따른 투과율 변화.

Table 2. Transmittance change according to SA.

SA	7°	11°	15°	3 slit
패널 투과율	19.24 %	18.60 %	18.11 %	18.94 %
투과율 변화	100 % (ref.)	96.7 %	94.1 %	98.4 %

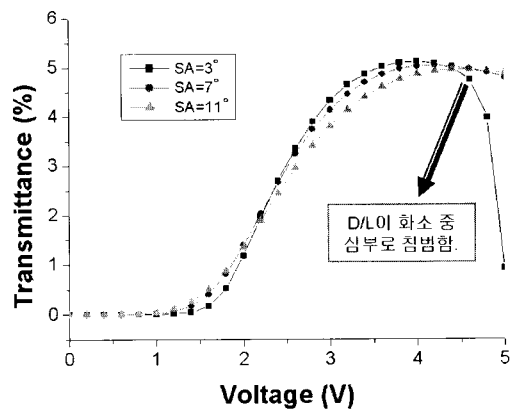


그림 5. 전압에 따른 투과율.

Fig. 5. Measured V-T curve.

표 3. 슬릿 각 증가에 따른 투과율 및 구동 전압 변화.

Table 3. Transmittance and  $V_{op}$  change according to SA.

SA	3°	7°	11°
패널 투과율	5.108 %	5.031 %	4.950 %
투과율 변화	100 %(ref.)	98.5 %	98.4 %
$V_{op}$	4 V	4.2 V	4.4 V

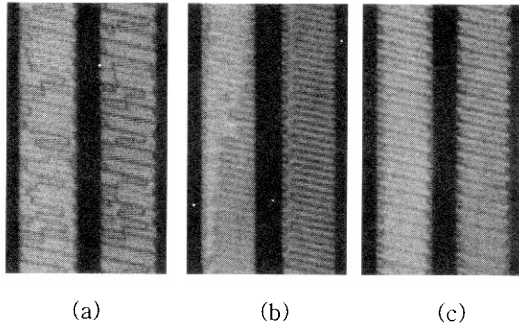


그림 6. SA에 따른 DL의 진행 정도에 대한 현미경 사진 : (a) 3°, (b) 7°, (c) 11°.

Fig. 6. Microscope showing how DL progresses according to SA : (a) 3°, (b) 7°, (c) 11°.

로 줄이면서 화소 가장자리가 보다 안정화된 설계이다. 이때의 투과율은 칼라필터를 제외한 패널에서의 시뮬레이션 값을 나타낸다. 그림 5는 실제 패널에서의 SA 증가시 전압에 따른 투과율 변화를 나타낸다. 시뮬레이션 결과와 같이 SA 증가시 구동 전압에서의 최대 투과율이 감소하게 되며 표 3에서 보이는 것처럼 SA를 3°에서 4°씩 증가할 경우 투과율이 1.5 % 감소하게 되며 구동 전압은 0.2 V씩 증가한다. 또한 SA이 3°인 경우는 구동 전압 이상에서 화소 전극 가장자리에서 reverse twist 영역이 크게 증가하면서 액정 방향자들이 동력학적으로 매우 불안정해진다. 따라서 전압 증가시 투과율이 급격히 감소하며 4 V 이상에서 1 % 이하로 떨어진다. 그림 6은 외부압력에 의한 패널의 화소 내부에서 현미경 사진이다. 그림 6(a)에서

보이는 것처럼 SA이 3°의 경우는 외부 압력에 의해 화소 가장자리 영역이 매우 불안정해져서 DL이 화소 안쪽으로 깊숙이 침범하게 된다. 그림 6(b)와 (c)와 같이 SA를 7° 11°로 증가시 reverse twist 영역이 적어지면서 DL이 화소 안쪽으로 침범하는 정도가 점점 약하게 된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 FFS 모드에서 새로운 3 분할 화소 전극 구조를 제시해 동력학적으로 불안정한 화소 전극 가장자리의 reverse twist 영역을 감소시켰다. 이 구조는 외부 압이나 높은 전압에 화소 전극 가장자리에 위치하는 액정 분자들을 안정화시키면서 SA 증가에 따른 투과율 감소를 줄일 수 있다. 또한 center SA과 양쪽의 edge SA의 면적을 조절할 경우 투과율 감소를 최소화 할 수 있다. 따라서 기존의 고투과 광시야각 FFS 모드의 장점을 가지면서 외부 압에도 매우 유리해 PDA, tablet PC와 같은 pressure sensitive pen based system에 매우적합하다.

#### 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] 김미숙, 김향윤, 고재완, 이승희, "프린트 전기장에 의해 구동되는 수평 배향 액정셀에서 black matrix의 전기적 특성이 셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 16권, 11호, p. 1008, 2003.
- [3] 김향윤, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회 논문지, 15권, 8호, p. 720, 2002.
- [4] 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, No. 6,

p. 527, 2000.

- [5] M. S. Kim, Y. H. Jung, S. M. Seen, H. Y. Kim, S. Y. Kim, Y. J. Lim, and S. H. Lee, "A novel fringe field switching mode with 3-partition pixel slit", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.

44, No. 5, p. 3121, 2005.

- [6] 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.