

논문 16-11-8

## 프린즈 전기장에 의해 구동되는 수평 배향 액정셀에서 black matrix의 전기적 특성이 셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향에 관한 연구

### Study of the Electro-Optic Characteristics Depending on Electric Characteristic of the Black Matrix in a Homogeneous Liquid Crystal Cell Driven by Fringe-Electric Field

김미숙\*, 김향율\*\*, 고재완\*\*, 이승희\*  
(M. S. Kim\*, H. Y. Kim\*\*, J. W. Koh\*\*, and S. H. Lee\*)

#### Abstract

We have studied the effect of black matrix (BM) according to the dielectric anisotropy of liquid crystals (LCs) for a homogeneously aligned LC cell driven by fringe-electric field. The results show that for a LC with positive dielectric anisotropy (+LC) there is a large transmittance change when using a conductive BM, whereas the transmittance change is low for a LC with negative dielectric anisotropy (-LC). The conductive BM existing on top substrate produces vertical electric field, which makes the LC molecules be tilt upward from the substrate and have small twist angle for the +LC. However, for the -LC the conductive BM affects the LC distribution only slightly due to characteristic of the -LC orienting perpendicular to the field. Therefore, for the +LC the electro-optic characteristics are strongly dependent on conductivity of the BM on top substrate in a homogeneous liquid crystal cell driven by fringe-electric field.

**Key Words** : Fringe-electric field, Conductive BM, Dielectric anisotropy, Liquid crystal

#### 1. 서 론

액정 디스플레이의 이미지 개선을 위해 다양한 모드가 연구되었다. 모니터의 대부분에 사용되는 twisted nematic (TN) 모드[1]는 광효율이 좋은 반면 좁은 시야각 특성을 가진다. TN의 좁은 시야각 특성을 개선하기 위해 in-plane switching (IPS) 모드[2]가 개발되었으며 IPS 모드는 시야각

특성이 좋은 장점을 가지는 반면 광효율에 근본적인 문제점을 가지고 있다. 이러한 IPS의 단점을 보완한 fringe field switching (FFS) 모드[3,4]는 좋은 이미지 특성뿐만 아니라 높은 부과율과 넓은 시야각 특성을 가진다. 디스플레이 각 모드에는 데이터 라인과 화소 전극 사이의 빛샘을 막기 위해 black matrix (BM)를 사용하게 된다. TN 모드에서는 BM 윗부분에 공동 전극인 ITO가 덮이기 때문에 BM의 비저항 값, 즉 전기적 특성이 크게 중요하지 않다. IPS 모드는 하부 기판에만 전극이 있기 때문에 상판에 존재하는 BM의 전기적 특성이 전기장에 영향을 준다[5]. IPS 모드에서 빛샘을 줄이기 위해서는 BM의 optical density 값이 큰 것이 좋으며 이 조건을 충족시키기 위해서는

\* : 전북대학교 신소재공학부

(전북 전주시 덕진동 1가 664-14,

Fax : 063-270-2341,

Corresponding Author : lsh1@moak.chonbuk.ac.kr)

\*\* : BOE-HYDIS, TECHNOLOGY CO., LTD.

2003년 5월 7일 접수, 2003년 5월 20일 1차 심사완료,

2003년 6월 4일 최종 심사완료

carbon black의 양을 많이 첨가하게 된다. 그러나 carbon black의 양이 많으면 비저항 값이 적어지면서 구동 전압이 증가하게 된다. 따라서 구동전압을 낮추기 위해서는 BM의 비저항 값이 클수록 좋다. 프린즈 전기장에 의해 구동되는 FFS 모드는 IPS 모드와는 달리 액정의 유전을 이방성에 따라 전기광학 특성이 다르게 된다[6,7]. 즉 -LC의 경우 러빙 방향에 따라 투과율 차이가 나지 않는 반면 +LC의 경우 러빙 방향에 따라 최대 투과율이 차이가 나며 동력학 안정성 역시 +LC보다 -LC의 경우가 더 안정하다. 본 논문에서는 프린즈 전기장에 의해 구동되는 수평 배향된 액정셀에서 BM의 전기적 특성이 셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향이 액정의 유전을 이방성에 따라 어떠한 차이가 있는지 시뮬레이션을 통해 알아보았다.

**2. FFS 셀 구조 및 시뮬레이션 조건**

IPS 모드 투과율 방정식은 아래와 같이 표현될 수 있다. 이 때 편광판은 서로 교차되어 있으며 셀의 내부에는 uniaxial LC이 사용된다.

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

여기서  $\psi$ 는 교차된 편광판의 투과축 중 하나와 액정 방향자 사이에 이루는 각을 말한다.  $\Delta n$ 은 액정의 복굴절 값이고,  $d$ 는 액정셀의 두께를 나타내며,  $\lambda$ 는 입사광의 파장을 말한다. 이 식에서 투과율이 최대가 되려면  $\psi$ 가 45°이며 액정셀의 위상지연값 ( $d \Delta n$ )은 최소  $\lambda/2$ 이어야 한다. 전압을 증가시  $\psi$ 가 0°부터 일정 값까지 증가하게 되며 특정 전압에서 광 투과도가 발생한다. FFS 모드도 이와 유사하게 표현될 수 있다. 즉 교차된 편광판 중 하나의 광축을 하부 기판의 러빙 방향과 일치시키는데 이때는  $\psi$ 가 0°이므로 빛이 통과하지 않는다. 전압 인가시 액정이 회전되고, 즉  $\psi$ 가 커지면서 빛이 통과하고 광 투과도가 발생한다. 이러한 FFS 셀의 전극 구조는 그림 1과 같다. 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 구조에서 전압 인가시 프린즈 전기장이 형성된다. 여기서 프린즈 전기장이라 함은 전기장이 수평 및 수직 성분을 모두 가지고 있음을 의미한다. 이러한 셀에서 BM의 전기적 특성

이 셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 본 논문에서 시뮬레이션을 실행하였으며 이때의 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다. 사용된 시뮬기는 LCD master (Shintech, Japan)이며 광학적 투과율 계산은 2x2 extended Jones matrix를 적용했다[8].

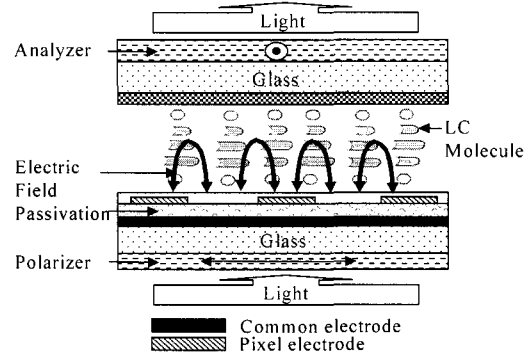


그림 1. FFS 셀의 단면도 및 액정 분포.  
Fig. 1. Cross-sectional view of the FFS cell structure and LC profile.

표 1. 시뮬레이션 조건.

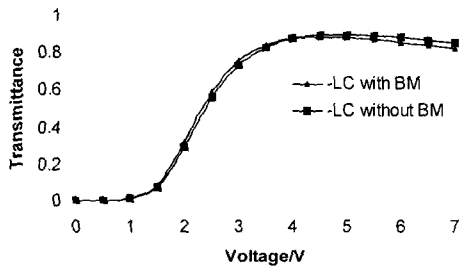
Table 1. Simulation condition.

Electrode width ( $\mu\text{m}$ )		3
Electrode distance ( $\mu\text{m}$ )		4.5
Cell gap ( $\mu\text{m}$ )		4
Pretilt angle( $^\circ$ )		2
+LC	$K_{11}$ (elastic constant for splay)	9.7
	$K_{22}$ (elastic constant for twist)	5.2
	$K_{33}$ (elastic constant for bend)	13.3
	$\Delta n$ at 589nm	0.099
	$\Delta \epsilon$	8.1
-LC	$K_{11}$ (elastic constant for splay)	13.5
	$K_{22}$ (elastic constant for twist)	6.5
	$K_{33}$ (elastic constant for bend)	15.1
	$\Delta n$ at 589nm	0.077
	$\Delta \epsilon$	-4

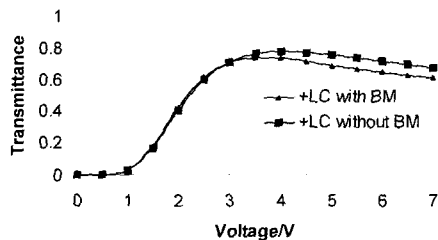
**3. 결과 및 고찰**

그림 2는 위의 시뮬레이션을 통해 얻은 전압에 의존하는 투과율 변화 곡선이다. 그림에서 보이는 것처럼 +LC, -LC 모두 구동 전압까지 인가시 투

과율이 증가하며 그 이상의 전압 인가시 액정들이 편광판의 축과 45° 이상 틀어지면서 광 투과도가 약간 떨어진다. 그러나 그림 2(a)에서 보이는 것처럼 -LC를 사용한 FFS 모드에서 전기 전도성 BM을 사용한 경우 투과율 감소가 적은 반면 그림 2(b)의 +LC를 사용한 경우 투과율 감소가 매우 크다. 이때 계산된 투과율은 총 화소 전극 크기 21 $\mu\text{m}$  (3.5 $\mu\text{m}$ 의 화소 크기 6개)를 포함하는 전체 43.5 $\mu\text{m}$ 에서 좌우 6 $\mu\text{m}$ 의 폭을 가지는 BM을 제외한 나머지 부분이다. 이러한 현상이 나타나는 이유를 알아보기 위해 시뮬레이션을 통해 액정 방향자 profile 및 전극 위치별 투과율 변화를 살펴보았다. 그림 3은 -LC를 사용한 FFS 모드에서 BM이 없는 경우, 전기 전도도가 작은 즉 고비저항 (유전율 값이



(a)

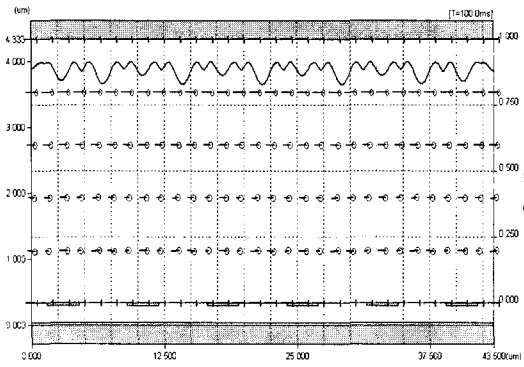


(b)

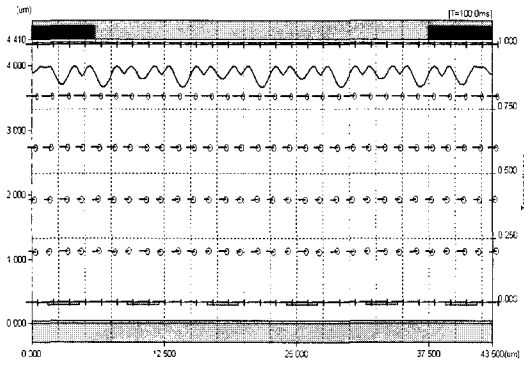
그림 2. FFS 셀에서 계산된 전압에 의존하는 투과율 곡선: (a) -LC에서 BM이 있을 때와 없을 때, (b) +LC에서 BM이 있을 때와 없을 때.

Fig. 2. Calculated voltage-dependent transmission curves in the FFS cells: (a) for the -LC with and without BM, (b) for the +LC with and without BM.

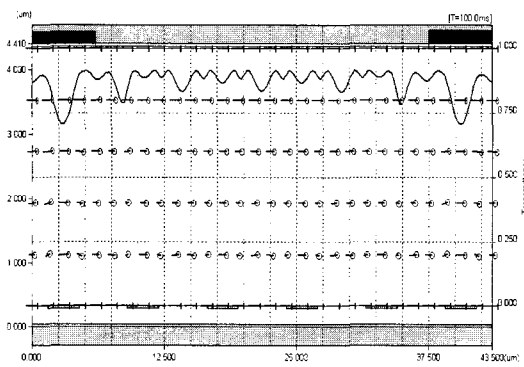
6.5) BM을 사용한 경우, 전기 전도도가 큰 (유전율 값이 1000이상) BM을 사용한 경우의 투과율 곡선과 방향자의 profile을 나타낸다. 이때 인가한 전압은 4.5V로 구동전압 근처이다. 그림 3(a)와 (b)에서 보이는 것처럼 BM이 없는 경우와 고비저항 BM의 경우 전극 위치별 투과율 변화 정도가 매우 유사하다. 또한 그림 3(c)를 통해 전기 전도성 BM을 사용한 경우 BM 영역 내부에서 액정 분자의 투과율이 약간 떨어지는 것을 알 수 있으며 인접하는 화소 전극 가장자리 부분의 투과율도 약간 떨어진다. 그림 4는 +LC를 사용한 FFS 모드에서 BM이 없는 경우, 전기 전도도가 작은 (유전율 값이 6.5) 즉 고비저항 BM을 사용한 경우, 전기 전도도가 큰 (유전율 값이 1000이상) BM을 사용한 경우의 전극 위치별 투과율 곡선과 방향자의 profile을 나타낸다. 이때 인가한 전압은 4V로 구동전압 근처이다. 그림 4(a)와 (b)에서 보이는 것처럼 BM이 없는 경우와 고비저항 BM을 사용한 경우는 전극 위치별 투과율 값이 거의 유사하다. 이러한 현상은 -LC를 사용한 경우와 같다. 반면 그림 4(c)처럼 전기전도성 BM이 있는 경우는 BM 영역 내부의 투과율이 급격하게 떨어진다. 이러한 현상은 -LC를 사용한 경우와는 큰 차이를 보이는데 이러한 현상을 정확히 분석하기 위해 BM을 사용하지 않은 경우와 전기 전도성 BM을 사용한 경우의 tilt angle, twist angle, 등전위면을 비교해 보았다. 그림 5는 +LC를 사용한 FFS 모드에서 BM을 사용하지 않았을 때의 tilt angle, twist angle, 등전위면을 나타낸다. 여기서 x-position은 오른쪽 BM의 왼쪽 끝을 기준으로 좌우 3 $\mu\text{m}$ 를 나타내며 그림 4의 34.5 $\mu\text{m}$ 를 기준으로 40.5 $\mu\text{m}$ 까지 총 6 $\mu\text{m}$ 가 해당된다. 그림 5(a)는 tilt angle을 나타내며 하부 기관 근처에서 tilt angle에 영향을 미치는 수직 전기장의 세기가 강해 상부기관 근처에 위치한 액정보다 tilt angle이 크게 되며 최대 32°의 tilt angle을 가진다. 또한 화소 전극 가장자리를 중심으로 좌우 대칭인 분포를 보인다. 그림 5(b)는 twist angle을 나타내며 화소 전극 가장자리에서 수평 전기장의 세기가 세서 큰 twist angle을 가진다. 즉 z/d=0.2 위치에서 액정의 twist angle은 64°에 가깝게 되며 상판 쪽으로 갈수록 twist angle이 연속적으로 감소한다. 그림 5(c)는 이때의 등전위면을 나타내는데 화소전극 가장자리를 중심으로 거의 대칭적인 분포를 보인다. 그림 6은 +LC를 사용한 FFS 모드에서 전기 전도성 BM이 있는 경우의 tilt angle, twist angle, 등전위면을 나타낸다.



(a)



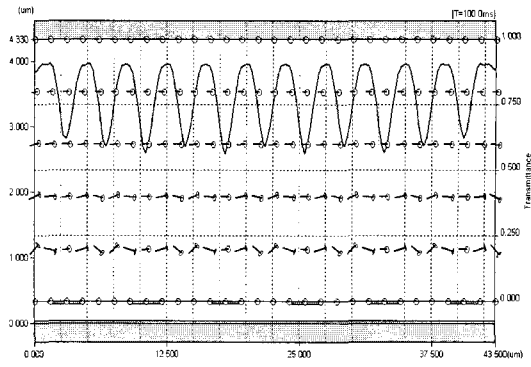
(b)



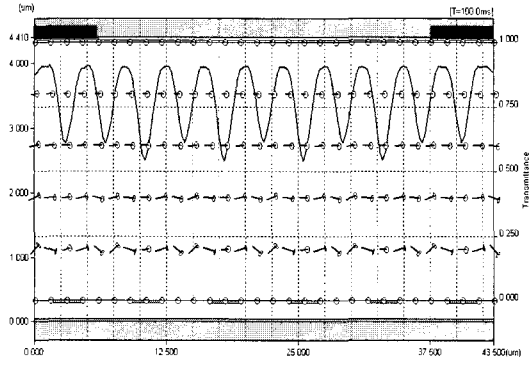
(c)

그림 3. -LC을 사용한 FFS 모드에서 구동 전압에서의 액정 방향자 분포 및 투과율: (a) BM이 없는 경우, (b) 고비저항 BM의 경우, (c) 전기 전도성 BM의 경우.

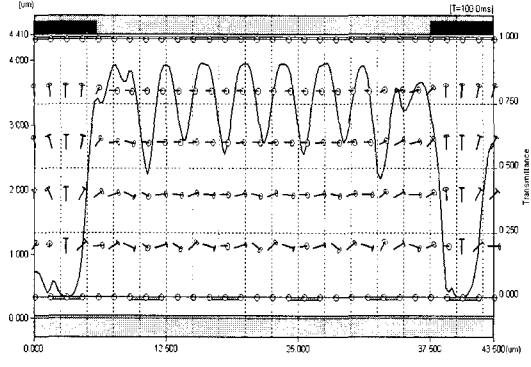
Fig. 3. Profile of the LC director and transmittance curve at  $V_{op}$  in the FFS mode with -LC: (a) without BM, (b) with high specific resistance of BM, and (c) with conductive BM.



(a)



(b)



(c)

그림 4. +LC을 사용한 FFS 모드에서 구동 전압에서의 액정 방향자 분포 및 투과율: (a) BM이 없는 경우, (b) 고비저항 BM의 경우, (c) 전도성 BM의 경우.

Fig. 4. Profile of the LC director and transmittance curve at  $V_{op}$  in the FFS mode with +LC: (a) without BM, (b) with high specific resistance of BM, and (c) with conductive BM.

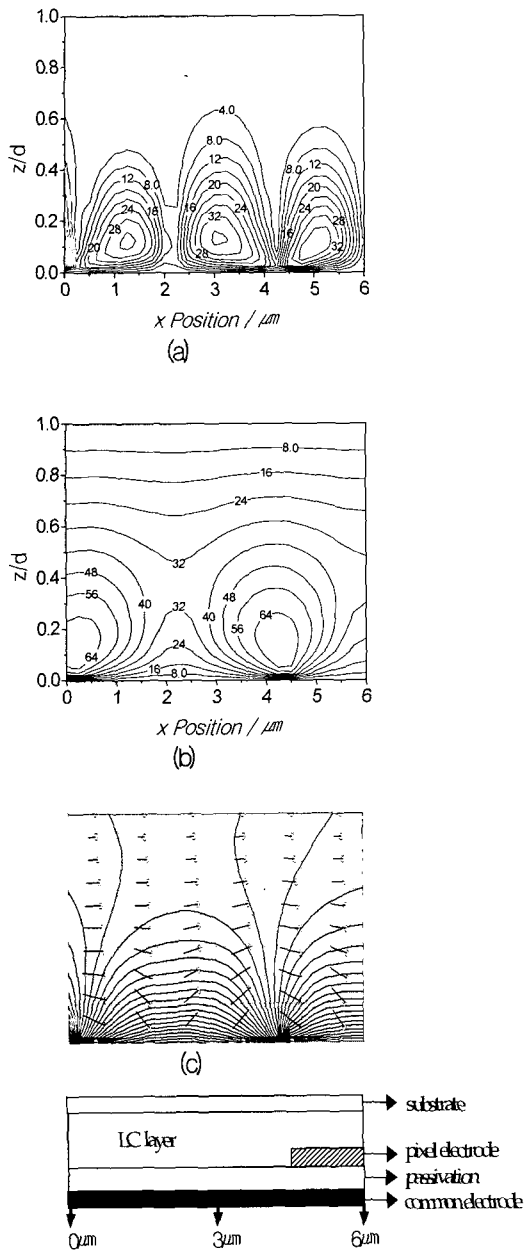


그림 5. +LC을 사용한 FFS 모드에서 BM이 없는 경우: (a) tilt angle, (b) twist angle, (c) 등전위면의 분포.

Fig. 5. For the +LC without BM in the FFS mode: (a) tilt angle, (b) twist angle, and (c) distribution of equipotential.

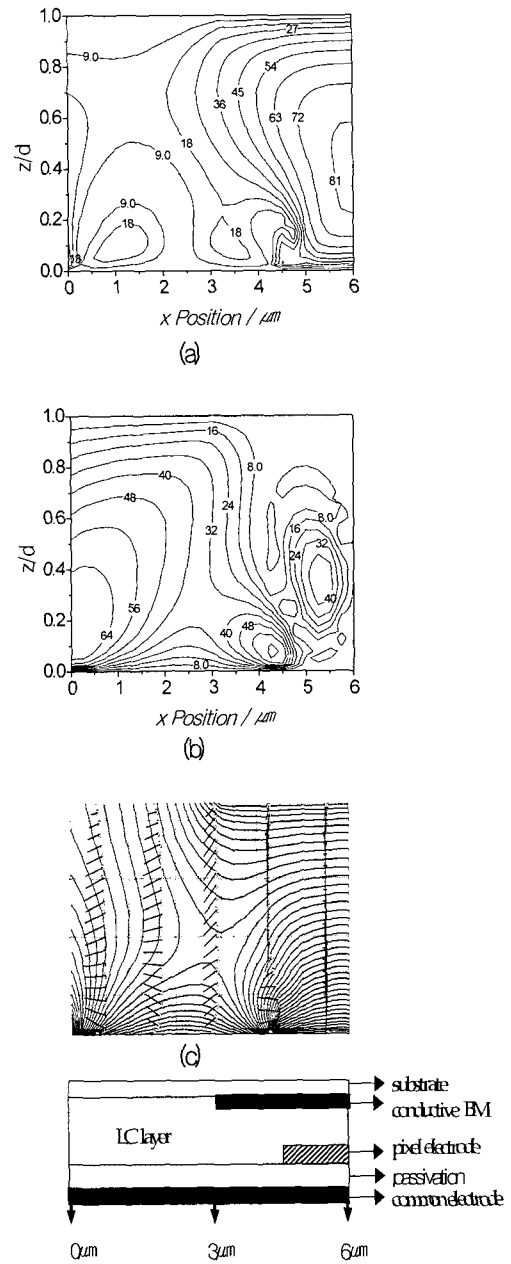


그림 6. +LC을 사용한 FFS 모드에서 전기 전도성 BM이 있는 경우: (a) tilt angle, (b) twist angle, (c) 등전위면의 분포.

Fig. 6. For the +LC with conductive BM in the FFS mode: (a) tilt angle, (b) twist angle, and (c) distribution of equipotential.

그림 6(a)는 tilt angle을 나타내며 액정들이 BM영역 근처로 갈수록(x position을  $0\mu\text{m}$  기준으로 오른쪽으로 이동) tilt angle이 커지고 BM영역 내부에서는 거의  $90^\circ$ 에 가깝게 된다. 또한 BM이 없는 경우 tilt angle이  $z/d$ 값 0.6이내에서만 생기는 반면 BM이 있는 경우는 상판까지 tilt angle이 존재하는 것으로 보아 상판에 존재하는 전기 전도성 BM이 수직 전기장을 형성하며 전기장의 방향을 따라 움직이는 +LC이 수직 전기장의 영향을 받아서 하부 기판으로부터 위쪽으로 많이 서게 하는 것을 알 수 있다. 이러한 전기장의 방향은 그림 6(c)의 등전위면 분포로부터 알 수 있다. 그림 6(b)는 twist angle을 나타낸다. 전기 전도성 BM영역 내부의 twist angle을 살펴보면 전체적으로  $45^\circ$ 보다 작으며 상판으로 올라갈수록 연속적으로 감소한다. 즉 BM 영역 내부에서 twist angle은 평균  $45^\circ$  미만이며 tilt angle은 증가하게 되어 투과율이 감소한다. BM 영역 밖의 화소 가장자리, x position  $0\mu\text{m}$ 인 지점에서 BM이 없는 경우  $z/d$ 값이 0.4인 지점에서의 twist angle이  $48^\circ$ 인데 반해 BM이 있는 경우  $64^\circ$ 로 twist angle이 증가하게 된다. 또한 BM이 없는 경우  $z/d$ 값이 0.7 위치에서의 twist angle이  $32^\circ$ 인 데 반해 BM이 있는 경우는 동일 위치에서  $48^\circ$ 의 twist angle을 가지는 것을 알 수 있다. 즉 BM이 있는 경우 평균 액정 방향자가  $45^\circ$ 보다 큰 값으로 twist 되면서 투과율 감소를 가져오게 된다. 이는 전도성 BM이 BM 밖의 액정 방향자에 영향을 미쳐 투과율 감소를 일으키는 것이다. 그림 6(c)는 이 때의 등전위면을 나타낸다. BM 영역내의 화소 전극 가장자리를 중심으로 등전위면이 좌우 비대칭적인 분포를 보이며 이는 기존의 프리즈 전기장에 상판 BM에 의한 수직 전기장의 세기가 더해져 강한 전기장이 형성되면서 전기장의 왜곡이 발생했기 때문이다.

#### 4. 결론

FFS 모드에서는 상판에 위치하는 전기 전도성 BM의 유무에 따른 투과율 변화가 액정의 유전을 이방성에 따라 차이를 보인다. 전기장의 방향을 따라 움직이는 +LC의 경우 BM 영역 내에서 상판의 BM이 전극과 같은 역할을 해 수직 전기장을 형성하며 전기장 방향에 평행하게 움직이는 +LC이 전기장을 따라 움직이면서 기판으로부터 많이 서게 되며 twist angle이 작아서 투과율이 감소하게 된다. 반면 BM영역 밖에서는  $45^\circ$  이상으로 twist

angle이 증가하면서 투과율 감소를 일으킨다. -LC의 경우 역시 전기 전도성 BM에 의해 수직 전기장이 형성되지만 전기장의 방향에 수직으로 움직이는 거동을 가지기 때문에 액정들이 하부 기판으로부터서는 정도가 약하게 되고 twist angle이  $45^\circ$ 에 가까운 값을 가지게 되어 투과율 감소가 적게 된다. 즉 프리즈 전기장에 의해 구동되는 수평 배향 셀에서 전기 전도성 BM이 셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향은 +LC의 경우가 -LC보다 더 크다.

#### 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] 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.
- [3] 김향울, 고재완, 노경동, 서대식, 이승희, "유전을 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 1호, p. 720, 2002.
- [4] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, "High-transmittance, wide-viewing-angle liquid crystal display controlled by FFS(fringe-field switching)", Proc. 18th Int. Display Research Conf, p. 371, 1998.
- [5] H. Asuma, H. Sonoda, W. Matsuyama, K. Ashizawa, M. Ohta, and S. Aratani, "Electrical characteristics of black matrix for super-TFT-LCDs", Proc. of IDW, p. 167, 1997.
- [6] 김미숙, 김향울, 이승희, "Fringe-Field Switching (FFS) 모드에서 액정의 유전을 이방성에 따른 동력학 안정성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 16권, 3호, p. 224, 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, p. L527, 2000.
- [8] 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.