

## Fringe-Field 구동형 반사형 Hybrid Aligned Nematic 액정 디스플레이의 전기-광학 특성

### Electro-Optic Characteristics of the Fringe-Field driven Reflective Hybrid Aligned Nematic Liquid Crystal Display

정태봉<sup>1</sup>, 박지혁<sup>1</sup>, 손정석<sup>1</sup>, 송제훈<sup>1</sup>, 이승희<sup>1,a</sup>

(Tae Bong Jung<sup>1</sup>, Chi Hyuck Park<sup>1</sup>, Jeong Seok Son<sup>1</sup>, Je Hoon Song<sup>1</sup>, and Seung Hee Lee<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

We have performed computer simulation and experiment to obtain electro-optic characteristics of reflective hybrid aligned nematic (R-HAN) cell driven by fringe field, in which the cell consists of polarizer, optical compensation film, LC layer and reflector. Conventional R-HAN cell driven by fringe field using only the LC layer shows high wavelength dispersion at dark-state and thus viewing angle characteristic is strongly wavelength-dependent. In order to improve this demerit, we added one optical compensation film to conventional R-HAN cell. The display with optimized cell parameters shows low wavelength dispersion at dark-state and exhibits a wide viewing angle without the occurrence of grey scale inversion over a wide range of viewing angles and the contrast ratio greater than 5 over exists about 120° in vertical direction and 160° in horizontal direction. Experimental results show good agreements with theoretical results and fast response time.

**Key Words** : Fringe-field, Reflective LCD, Compensation film, Wide view angle, Hybrid aligned nematic

#### 1. 서 론

근래에 반사형 액정 디스플레이에 관한 연구가 활발해지고 있다. 이는 내부 광원을 사용하지 않고 외부 광원을 사용하기 때문에 소비 전력이 낮고, 박형이 가능하고, 경량화가 가능하며, 옥외 시인성이 뛰어나 이동 정보 디스플레이에 적합하기 때문이다[1]. 현재까지 많은 반사형 모드가 제안되었지만, 디스플레이 화질이 투과형 모드만큼 완벽하지 못하다. 또한, 반사형 액정 디스플레이는 외부 광원을 사용하기 때문에 휘도가 중요하다. 일반적으로

로 편광판 1매를 사용한 경우가 편광판 2매를 사용한 경우보다 휘도가 높다. 그래서 1매의 편광판을 사용한 반사형 모드에서 twisted nematic (TN) 모드와 electrically controlled birefringence (ECB) 모드가 적용된다[2-4]. TN이나 ECB 모드는 전압 인가시 액정 방향자가 수직 전기장에 대해서 평행하게 배열한다. 그래서 특정 방향에서 투과율이 발생하여 좁은 시야각 특성을 보인다. 이와는 달리 기판에 homogeneously aligned (HA) 액정이 전계 인가시 기판에 대해서 거의 평형을 유지하면서 한 방향으로 구동하는 fringe-field switching (FFS) 모드가 제안되었다[5-7]. FFS 모드는 전극 위에서도 액정 방향자가 회전하기 때문에 높은 투과율과 광시야각을 가져 반사형 모드로의 적용이 가능하다. 본 연구실에서는 이미 반사형 HA-FFS 모드의 전기-광학특성에 대해서 보고하였다

1. 전북대학교 신소재공학부

(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)

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

접수일자 : 2003. 7. 16

1차 심사 : 2003. 8. 5

심사완료 : 2003. 8. 20

[8,9]. 현재 상용화되고 있는 액정의 굴절률 이방성 ( $\Delta n$ )이 가장 작은 것은 대략 0.067정도로 반사형 HA-FFS 모드의 위상지연값 ( $d\Delta n$ )인  $\lambda/4$ 를 만족하기 위해서는 셀 갭 ( $d$ )이  $2.3\mu\text{m}$  이하로 매우 낮은 셀 갭을 필요로 한다. 또한, 프린즈 필드 구동형 투과형 hybrid aligned nematic (HAN) 모드의 전기-광학 특성에 관한 연구와 투과형 HAN 모드를 이용한 반사형 HAN 모드의 전기-광학 특성에 대해서 종래에 보고되어졌다[10-13].

본 논문에서는 종래의 액정만 사용한 반사형 HAN-FFS 모드에서 어둠 상태의 파장 분산성과 시야각 특성을 개선시킨 1매의 광학 보상 필름을 사용한 반사형 HAN-FFS 모드에 대해서 연구하였다.

## 2. 본 론

HAN-FFS 셀은 그림 1과 같이 상부 기관은  $90^\circ$ 로 수직 배열을 하고, 하부 기관은 일반적인 FFS 모드와 같이  $2^\circ$ 의 프리틸트각을 갖고 수평으로 배열되어 있다. 화소 전극의 폭은  $3\mu\text{m}$ , 전극간 간격은  $4.5\mu\text{m}$ 이며, 시뮬레이션 조건은 종래에 보고된 내용과 동일하다[13]. 이러한 전극 구조에서 전압 인가시 프린즈 필드가 생성된다. 이로 인해 hybrid aligned 액정 방향자가 전기장 방향에 대해 수직 방향으로 움직인다. 전극 위치별 변형 정도가 상이하지만 전극 전 영역에서 회전하여 높은 투과율을 보인다.

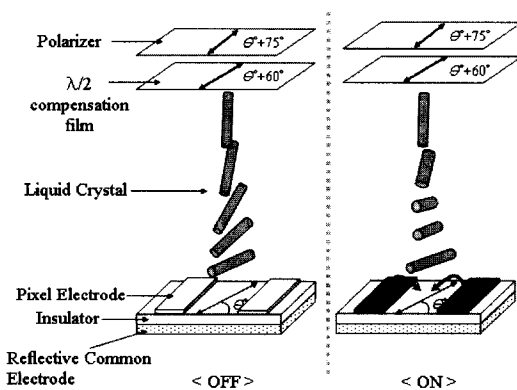
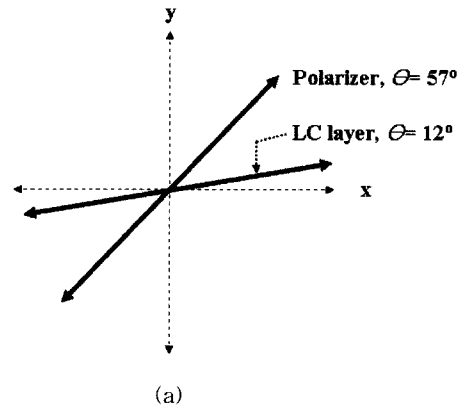


그림 1. Off 및 On시 HAN-FFS 셀 구조.

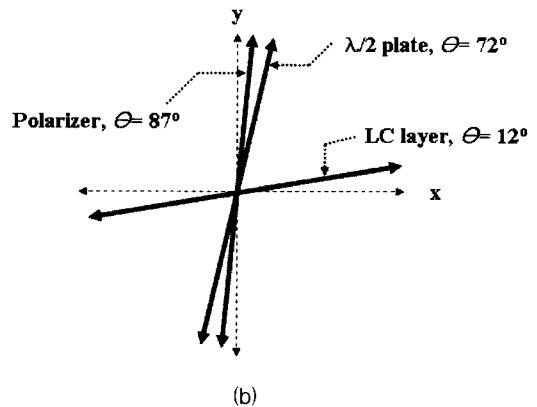
Fig. 1. Cell structure of the HAN-FFS cell in the off and on states.

본 논문의 컴퓨터 시뮬레이션은 LCD Master (Japan, Shintech)에 의해서 행해졌으며, 계산 방법은  $2 \times 2$  Jones matrix 방식[14]을 이용하였다. 사용되어진 액정의 유전율 이방성 ( $\Delta\epsilon$ ),  $\Delta n$ ,  $d$ 는 각각  $-4.0$ ,  $0.074$ ,  $3.9\mu\text{m}$ 이며, 액정의 탄성 계수  $K_{11} = 13.5\text{pN}$ ,  $K_{22} = 6.0\text{pN}$  그리고  $K_{33} = 15.1\text{pN}$ 이다.

그림 2는 종래와 새로운 반사형 HAN-FFS 셀의 광학 구조를 보여준다. 그림 2(a)는 종래의 반사형 HAN-FFS 셀의 광학 구조를 보여주는 것이며, 편광판과 액정 방향자가  $45^\circ$  틀어져있다. 그림 2(b)는 새로운 반사형 HAN-FFS 셀이며, 액정의 러빙 방향에 대해서 편광판과  $\lambda/2$  보상 필름이 각각  $75^\circ$ ,  $60^\circ$  틀어져 있다.



(a)



(b)

그림 2. (a)종래 반사형 HAN-FFS 셀과 (b) 새로운 반사형 HAN-FFS 셀의 구조.

Fig. 2. Cell structures of (a) the conventional and (b) new reflective HAN-FFS cells.

그림 3은 편광판과 액정 그리고 반사판만으로 구성된 반사형 HAN-FFS 셀에서 액정의  $d\Delta n$ 이  $0.289\mu\text{m}$ 일 때, 전압 인가에 따른 입사 파장별 반사율 곡선이다. 최대 반사율의 98%가 되는 전압( $V_{98}$ )은  $3.5\text{V}$ 이고, 광효율은 대략 91%이다. 종래의 HA 셀과 비교하면[9], 보다 낮은 구동 전압을 가진다. 반사율 곡선에서 파장별 반사율이 상이한 데, 이는 액정의  $\Delta n$ 이 파장 의존성을 가지고 있어서, 파장별 최적  $d\Delta n$ 이 틀리기 때문이다. 그림에서 보는 것과 같이 특정 파장에서만 우수한 어둠 상태를 가짐을 보여준다.

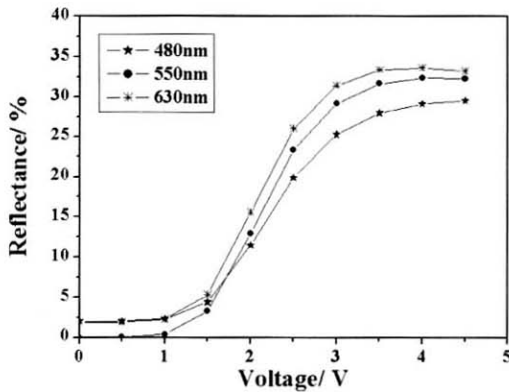


그림 3. 편광판 1매와 액정  $d\Delta n$ 이  $0.289\mu\text{m}$ 인 반사형 HAN-FFS 셀에서 입사 파장별 전압에 따른 반사율 곡선.

Fig. 3. The voltage-dependent reflectance for incident lights in a reflective HAN-FFS cell with one polarizer and the LC layer of which  $d\Delta n$  is  $0.289\mu\text{m}$  at  $550\text{nm}$ .

그림 4는 그림 3에서 액정의 파장 의존성을 줄이기 위해서 상기 반사형 HAN-FFS 셀에서 1매의  $\lambda/2$  보상 필름을 첨가하였다. 이 때의 입사 파장별 전압에 따른 반사율 곡선이다. 광학 셀 구조를 살펴보면, 편광판 투과축 방향에 대해서  $\lambda/2$  보상 필름의 광축이  $15^\circ$  틀어져 있고, 액정 러빙 방향은  $75^\circ$  틀어져 있다. 그림 3과는 달리 입사 파장별 초기 어둠 상태가 매우 우수함을 알 수 있다.

그림 5는 시야각에 따른  $\lambda/2$  보상 필름을 사용하지 않은 경우와 사용한 경우, 초기 어둠 상태에서 빛샘을 보여주고 있다. 그림 5(a)는 보상 필름을 사용하지 않은 경우로, 어둠 상태에서 빛샘이 시야각에 따라 크게 의존함을 볼 수 있다. 그림 5(b)는 보상 필름을 사용한 경우로, 전 방향에 대

해서 5% 이하의 빛샘을 보여준다. A와 C는 수평 전기장 방향에 대해 수평과 수직 방향을 의미하고, B와 D는 대각선 방향을 의미한다.

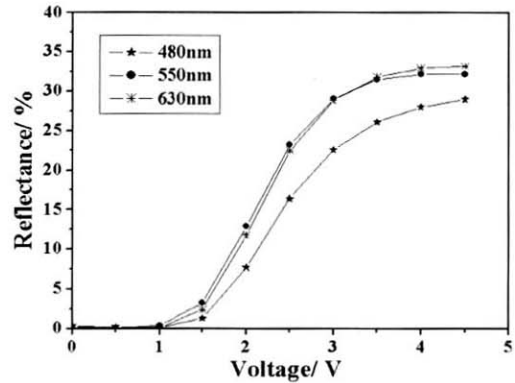


그림 4. 편광판 1매와  $\lambda/2$  보상 필름 그리고  $d\Delta n$ 이  $0.289\mu\text{m}$ 인 액정을 사용한 반사형 HAN-FFS 셀에서 입사 파장별 전압에 따른 반사율 곡선.

Fig. 4. The voltage-dependent reflectance for incident lights in a reflective HAN-FFS cell with one polarizer,  $\lambda/2$  compensation film, and the LC layer of which  $d\Delta n$  is  $0.289\mu\text{m}$  at  $550\text{nm}$ .

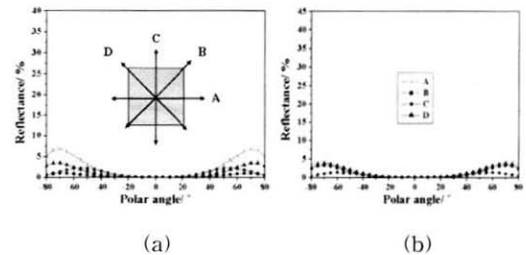


그림 5. (a) 보상 필름을 사용하지 않은 경우와 (b) 보상 필름을 사용한 경우의 어둠 상태에서 빛샘.

Fig. 5. Light leakage in a dark state (a) without and (b) with compensation film.

그림 6은 수직과 수평 방향에서 계조별 시야각 특성을 보여준다. 그림 6(a)은 수직 방향에서의 시야각 특성으로 계조 반전이 생성되지 않음을 알 수 있다. 그림 6(b)은 수평 방향에서 시야각 특성

을 보여준다. 최대 반사율의 0%인 계조 ( $R_0$ )와 최대 반사율의 20%인 계조( $R_{20}$ )에서 극각  $55^\circ$ 에서 계조 반전이 일어나고, 다른 계조에서는 계조 반전이 일어나지 않는다.

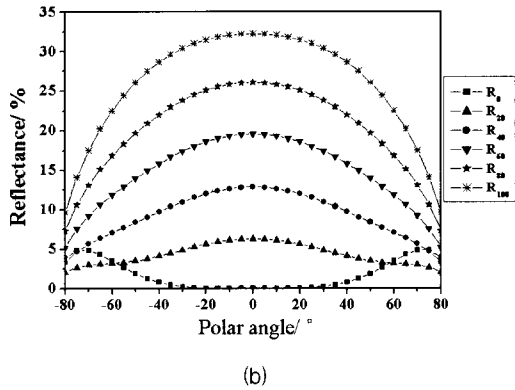
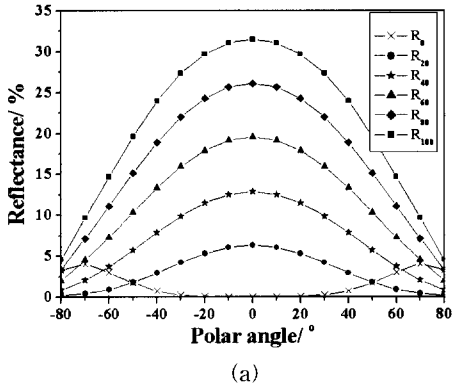


그림 6. (a) 수직과 (b) 수평 방향에서 6 계조별 시야각 의존성.

Fig. 6. Viewing angle dependence of the 6 grey levels at (a) vertical and (b) horizontal directions.

그림 7은 입사 파장별 시야각 특성을 나타낸 것으로써, 명암대비가 100, 50, 5인 영역을 보여준다. 그림 7(a)은 입사 파장이 480nm의 시야각 특성을 보여준다. 명암대비가 5인 영역을 살펴보면, 좌우에서는  $40^\circ$ 까지이며, 상하에서는  $65^\circ$ 까지로 시야각 특성을 보여준다. 그림 7(b) 입사 파장이 550nm의 시야각 특성을 보여준다. 명암대비가 5인 영역을 살펴보면, 좌우에서는  $60^\circ$ 까지이며, 상하

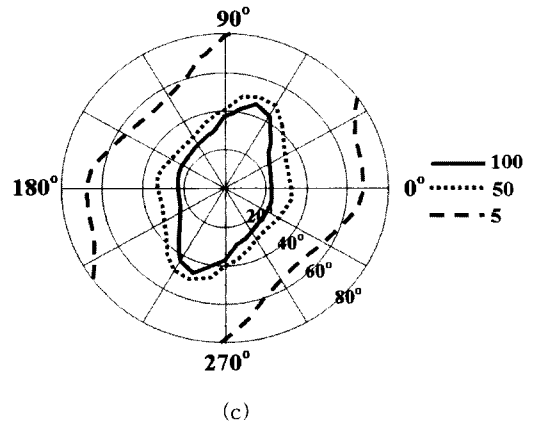
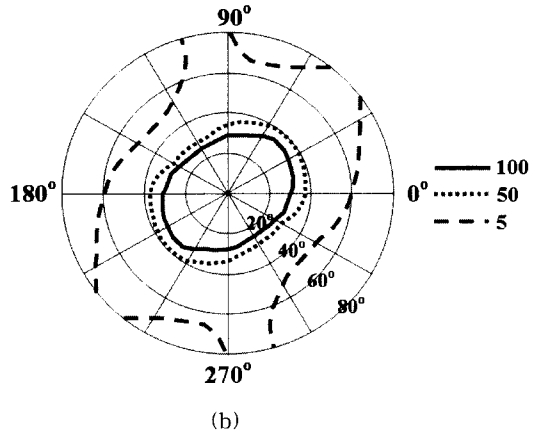
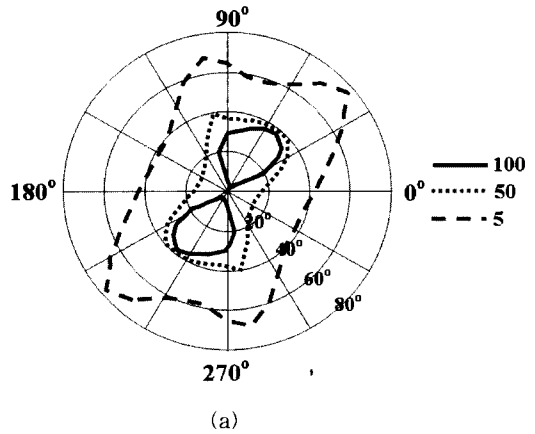


그림 7. 입사 파장별 등 명암대비비 곡선: (a) 480nm, (b) 550nm, (c) 630nm.

Fig. 7. Iso-contrast contour for incident lights: (a) 480nm, (b) 550nm, and (c) 630nm.

에서는 80°까지로 매우 우수한 시야각 특성을 보여준다. 그림 7(c)은 입사 파장이 630nm의 시야각 특성을 나타낸다. 명암대비비가 5인 영역을 살펴보면, 좌우에서는 70°까지이며, 상하에서는 80°까지로 그림 7(b)보다 넓은 시야각 특성을 보여준다.

반사형 HAN-FFS 셀의 전기-광학 특성에 대해서 이론 값과 실험 값을 비교하기 위해 셀을 직접 제작하였다. 제작된 액정셀의  $d$ 는  $3.3\mu\text{m}$ 이며, 사용되어진 액정의 물성값은 각각  $\Delta n = 0.089$ ,  $\Delta \epsilon = -3.7$  그리고  $\gamma = 110\text{mPa} \cdot \text{s}$ 이며, 실제 제작된 셀의 화소 전극 폭은  $4.4\mu\text{m}$ , 전극간 간격은  $4.3\mu\text{m}$ 이다. 반사율 측정은 할로겐 램프를 사용하였으며, 측정 조건은 입사광이 30°에서 조사되며, 정면에서 반사되는 빛을 측정하였다. 그림 8에서 보는 것과 같이 전압에 따른 반사율 곡선에 문턱 전압은 대략 2V이며, 반사율이 최대인 전압은 5V이다. 보상 필름을 사용한 셀이 어둡 상태의 빛샘이 덜하였으며, 밝은 상태의 반사율은 거의 같음을 보인다.

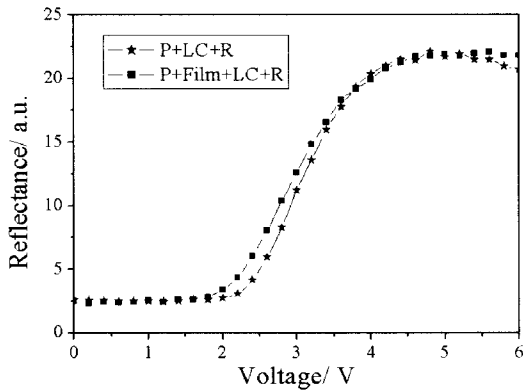


그림 8. 전압 인가에 따른 반사율의 실험적 결과.  
Fig. 8. Experimental results of the voltage-dependent reflectance.

또한, 보상 필름을 사용한 반사형 HAN-FFS 셀의 응답 속도를 측정하였다. Rising time과 Decay time은 각각 반사율 10%에서 100%, 100%에서 10% 변화량에서 측정된 것이다. Rising time은 6.6ms이며, Decay time은 11.3ms로 총 응답 속도는 17.9ms로 매우 빠른 응답 속도를 보였다.

### 3. 결론

본 연구는 종래의 액정만 사용한 반사형 HAN-FFS 셀이 가지는 어둡 상태의 파장별 빛샘과 입사 파장별 시야각 특성을 개선하기 위해서 1매의 보상필름을 사용한 새로운 반사형 HAN-FFS 셀의 전기-광학 특성에 대해서 연구하였다. 5V 이하의 낮은 구동 전압과 계조 반전은 극각 55° 이내에서는 일어나지 않는다. 입사 파장이 550nm일 때, 명암대비비가 5 이상인 영역은 좌우에서는 60°까지이며, 상하에서는 80°까지로 매우 우수한 시야각 특성을 보여준다. 또한 이론 값과 비교하기 위해서 셀을 제작하였다. 제작된 셀의 전기-광학 특성이 이론 값과 비슷한 경향을 보였으며, 또한 17.9ms의 빠른 응답 속도를 보였다.

### 감사의 글

본 연구는 IMT-2000 지원금 기술 개발 지원 사업에 의해서 시행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] T. Ogawa, S. Fujita, Y. Iwai, and H. Koseki, "The trend on the color and gray reflective LCDs for future electronic paper", SID'98 Digest, p. 217, 1998.
- [2] S. T. Wu, C. S. Wu, and C. L. Kuo, "Optimization of mixed-mode LC cells for reflective displays", SID'97 Digest, p. 643, 1997.
- [3] Y. Saitoh, Y. Yoshida, and H. Kamiya, "Reflective twisted-nematic-mode color TFT -LCD Panel", SID'97 Digest, p. 651, 1997.
- [4] S. T. Wu and C. S. Wu, "Comparative studies of single polarizer reflective liquid crystal displays", J. SID 7, p. 919, 1999.
- [5] S. H. 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. 57, No. 20, p. 2881, 1998.
- [6] 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.
- [7] 김향울, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희 "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 8호, p. 720, 2002.
- [8] T. B. Jung, C. H. Park, H. Y. Kim, S. H. Hong, and S. H. Lee, "A reflective liquid crystal display with fringe-field switching mode", Proc. of the 5th KLCC'02, p. 77, 2002.
- [9] 정태봉, 박지혁, 이종문, 김용배, 이승희, "1매의 편광판으로 구성된 반사형 fringe-field switching mode의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 16권, 2호, p. 131, 2003.
- [10] S. H. Hong, Y. H. Jeong, H. Y. Kim, and S. H. Lee, "Novel nematic liquid crystal device associated with hybrid alignment controlled by fringe field", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, No. 3B, p. L272, 2001.
- [11] 정연학, 김향울, 이승희, "프린지 필드에 의해 구동되는 하이브리드형 네마틱 액정 디스플레이의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 6호, p. 524, 2002.
- [12] Y. H. Jeong, H. Y. Kim, W. G. Lee, H. S. Park, W. C. Kim, and S. H. Lee, "Hybrid aligned nematic liquid crystal display driven by fringe electric field with low driving voltage and fast response time", IDW'02, p. 185, 2002.
- [13] 박지혁, 정태봉, 이종문, 김용배, 이승희, "1매의 편광판으로 구성된 fringe-field 구동형 반사형 hybrid aligned nematic 액정 디스플레이의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 16권, 10호, p. 908, 2003.
- [14] 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.