

## FFS 모드의 공통전극과 화소전극 사이의 절연층 두께에 따른 전기광학 특성

### Electro-Optic Characteristics of the Fringe Field Switching (FFS) Mode Depending on Thickness of Passivation Layer between Pixel and Common Electrodes

정준호<sup>1</sup>, 하경수<sup>1</sup>, 임영진<sup>1</sup>, 유일수<sup>1</sup>, 정연학<sup>2</sup>, 유재진<sup>2</sup>, 김경현<sup>2</sup>, 이승희<sup>1,a</sup>  
(Jun Ho Jung<sup>1</sup>, Kyung Su Ha<sup>1</sup>, Young Jin Lim<sup>1</sup>, Il-Sou Yoo<sup>1</sup>, Yeon Hak Jeong<sup>2</sup>, Jae-Jin Lyu<sup>2</sup>, Kyeong Hyeon Kim<sup>2</sup>, and Seung Hee Lee<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

We have studied electro-optic characteristics as a function of passivation thickness existing between common electrode and pixel electrodes in the fringe-field switching (FFS) mode using the LC with positive dielectric anisotropy. A steep increase in the transmission is observed with increase in the passivation layer from 0.29  $\mu\text{m}$  to 1.09  $\mu\text{m}$  and thereafter it almost saturates over the 1.09  $\mu\text{m}$  of passivation layer. This saturation is mainly associated with correlation between transmittance at the center region of pixel electrode and at the center region between pixel electrodes. From the results, optimal thickness of passivation layer can be defined.

**Key Words** : Fringe-field switching(FFS), Passivation thickness, Liquid crystal display

#### 1. 서론

최근 정보 디스플레이 시장에서 지난 수 년 간의 패러다임 변화는 시장의 맹주인 cathode-ray tube (CRT) 방식을 밀어내고 새로운 강자가 등장하는 혼란의 시대를 창출 하고 있다는 것이다. 그 변화의 중심에는 모든 종류의 정보 디스플레이 중에서 주요 정보 디스플레이 소자로 당당하게 액정 디스플레이(liquid crystal displays; LCDs) 소자가 우위를 선점하고 있다. 이는 액정 디스플레이의 화질 향상을 위한 꾸준한 노력의 결과라고 할 수 있다. 특히 액정 디스플레이 화질향상은 multi-domain vertical alignment (MVA)[1,2], in-plane switching

(IPS)[3,4], fringe-field switching (FFS)[5-8] 모드들의 제안과 발전으로 인해서 놀라울 만큼 개선되어 졌다. 이로 인하여 액정 디스플레이는 휴대폰, 노트북 또는 PDA 크기의 중소형 디스플레이 시장부터 대형 사이즈의 LCD TV 시장까지 확고한 우위를 차지하고 있다. 하지만 액정 디스플레이의 전기·광학 특성의 경우 많은 셀 파라미터와 액정 파라미터에 의해서 변하게 되고 이로 인해서 공정 마진의 결과가 결정되어 진다. 특히 FFS 모드는 셀 파라미터 또는 액정 파라미터에 따른 전기광학 특성에 관한 연구는 기존 연구를 통해 많이 알려져 있다[9-11]. 하지만 대부분의 기존연구에서는 FFS 모드 자체의 성능 향상에 초점이 맞추어져 있다. 최근에는 가격적인 측면에서 공정 수율이 더 중요해졌고 셀 설계 관점에서도 공정 마진을 고려한 LCD를 설계하는 개념이 더욱 중요해지고 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 대표적인 광시야각 특성을 가지고 있는 FFS 모드의 전기광학 특성을 액정 파라미터의 변화와 추가공정을 요하지 않는

1. 전북대학교 고분자·나노공학과  
(전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14)  
2. 삼성전자 LCD총괄  
a. Corresponding Author : lsh1@chonbuk.ac.kr  
접수일자 : 2009. 5. 22  
1차 심사 : 2009. 6. 16  
심사완료 : 2009. 6. 19

공통전극과 화소전극 사이에 존재하는 절연층의 두께( $T_p$ )에 따라서 분석하였고 공정 마진의 관점에서 두께에 따른 전기광학 특성을 분석 하였다.

## 2. 셀 구조와 조건

초기 수평 배향되어 있는 액정디스플레이 모드 중 IPS 모드의 경우 초기 액정의 광축은 직교되어 있는 편광판의 한 투과축과 일치 되어있어, 표준화된 광 투과 공식은 다음과 같다.

$$T/T_0 = \sin^2 2\psi(V) \sin^2(\pi d \Delta n_{eff}(V)/\lambda) \quad (1)$$

여기서  $\psi$ 는 교차된 편광판의 투과축 중 한 축과 액정 방향자간의 각도이고,  $\Delta n_{eff}$ 는 전압에 따른 액정의 굴절률 이방성,  $d$ 는 셀 갭,  $\lambda$ 는 입사광의 파장이다. 식에서도 알 수 있듯이 FFS 모드의 동작 원리를 살펴보면, 전압을 인가하기 전에는 액정 방향자가 수평 배향되어 있고, 이 때 하판의 러빙 방향은 하판의 편광판 투과축과 일치하게 되고, 상판의 편광판 투과축은 직교되어 있어,  $\psi$ 가  $0^\circ$ 가 되어 빛의 투과가 없다. 하지만 전압이 인가되었을 때 편광판과 액정의 광축 간  $\psi$ 가 유도되어 빛의 투과를 발생시킨다.

그림 1은 양의 유전율 이방성 액정을 사용한 FFS 모드의 단면도와 전압 인가 전과 인가 후의 액정의 거동을 보여 주고 있다. 하부기판에 공통전극(common electrode)과 화소전극(pixel electrode) 사이에 일정한 두께의 절연층(passivation layer)이 존재하고 이때 전극은 투명 물질이 사용되며 화소전극은 슬릿 형태로 존재하게 된다. FFS 모드는 IPS 모드와 마찬가지로 초기 액정은 수평 배향되어 있으며 이 때 액정의 광축은 직교되어 있는 편광판의 한 투과축과 일치되어 있어 전압이 인가되지 않았을 때 다크 상태를 표현하게 된다. 전압이 인가되어 공통전극과 화소전극 사이에 전기장이 유도되었을 때, 수평 전기장( $E_y$ )과 수직 전기장( $E_z$ ) 성분이 모두 존재하는 프린지 전기장이 발생하게 되고 이로 인해서 투과율이 발생하게 된다. 기존의 연구를 통하여 FFS 모드는 그림 1에서의 B위치에서는  $E_z$  성분이 매우 강하고 C위치 하부 근처에서는  $E_y$  성분이 강하게 존재하고, 화소전극 중심 영역 A위치와 화소전극 간 중심 영역 D위치에서는 등전위 영역으로 전기장의 세기가 약하다. 이로 인해서 C위치에서는 low twisted nematic (TN)모드와 같은 편광회전(polarization rotation)

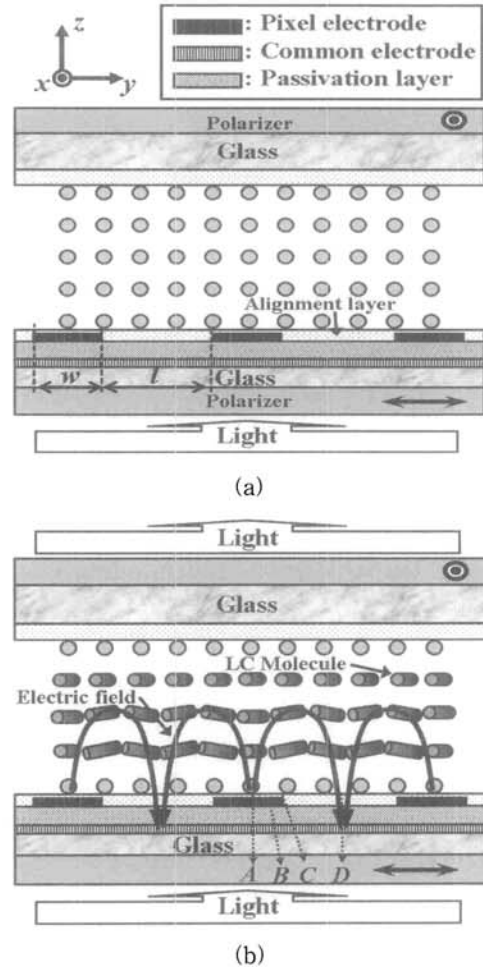


그림 1. 양의 유전율 이방성 액정을 이용한 FFS 셀 구조 및 액정 분자의 거동 개략도; (a) Off state, (b) On state.

Fig. 1. Schematic cell structure and orientation of LC molecules in the FFS mode using LC for positive dielectric anisotropy; (a) Off state, (b) On state.

효과에 의한 광학변조가 발생하게 된다[13]. 반면에 등전위 영역인 A, D위치에서의 액정의거동은 주변 액정의 탄성 토크에 의해서 결정되게 되는데 이 때 배향막 근처의 액정 분자들은 표면 고정 에너지(surface anchoring energy)로 인하여 액정 중간층의 액정 분자들처럼 쉽게 회전 할 수 없게 된다. 즉, A, D위치에서의 액정 분자들은 IPS 모드와 같이 주로 액정 중간층에서 회전을 하게 된다. 이러한 이유 때문에 A와 D위치에서의 빛의 투과

는 위상지연(phase retardation) 효과에 의한 광학 변조가 발생하게 된다[13].

언급한바와 같이 양의 유전을 이방성 액정을 사용한 FFS 모드의 경우, 전압이 인가되었을 때 액정의 거동이 전극 위치별로 다르게 되어 빛의 투과는 전극 위치별로 서로 다른 광학 변조에 의해서 발생하게 된다. 이로 인해서 식 (1)은 아래와 같이 나타낼 수 있다[14].

$$T/T_0 = a \sin^2 \psi \sin^2 (\beta \pi d \Delta n / \lambda) + \gamma \left( 1 - \frac{\sin^2 (\pi / 2 \sqrt{1 + (2\delta d \Delta n / \lambda)^2}}{1 + (2\delta d \Delta n / \lambda)^2} \right) \quad (2)$$

여기에서  $a$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 와  $\delta$  액정셀의 유효 위상 지연값과 투과율과 관련된 상수이고 식 (2)의 앞부분은 식 (1)의해서 유도 되었고 뒷부분의 식은 TN모드의 Gooch and Terry 투과율 식에 의해서 유도되었다.

본 논문에서는 FFS 모드의 전기광학 특성에 공통전극과 화소전극 사이에 존재하는 절연층 층의 두께의 영향을 알아보기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행 하였으며, 시뮬레이터는 LCD Master (Japan, Shintech)에 의해서 행해졌으며, 계산 방법은  $2 \times 2$  Jones matrix 방식을 사용하였다[15]. 이때 사용되어진 액정의 물성 값은 표 1과 같으며, 화소전극의 폭은  $3.0 \mu\text{m}$ , 화소전극 간 거리는  $4.5 \mu\text{m}$ 로 하였으며, 셀 갭은  $4.0 \mu\text{m}$ , 러빙각은 전기장의 수평성분에 대하여 시계 반대방향으로  $80^\circ$ , 초기 선경사각(pretilt angle)은  $2^\circ$ 로 두었고, 화소전극과 공통전극 사이에 존재하는 절연층의 두께( $T_p = 0.29 \sim 2.49 \mu\text{m}$ )를 변화 시켰다.

표 1. 컴퓨터 시뮬레이션에서 사용한 액정 물성값.  
Table 1. Parameter of liquid crystal that were used in the computer simulation.

유전을 이방성 ( $\Delta\epsilon$ )	8.2 (at 1 kHz)	
탄성계수 (pN)	$K_{11}$	9.2
	$K_{22}$	5.2
	$K_{33}$	13.3
굴절율 이방성 ( $\Delta n$ )	0.10 (at $\lambda = 550 \text{ nm}$ )	

### 3. 시뮬레이션 결과 및 토의

그림 2는 FFS 모드에서  $T_p$ 에 따른 최대 투과율과 구동전압의 변화를 보여주는 그림으로  $T_p$ 가

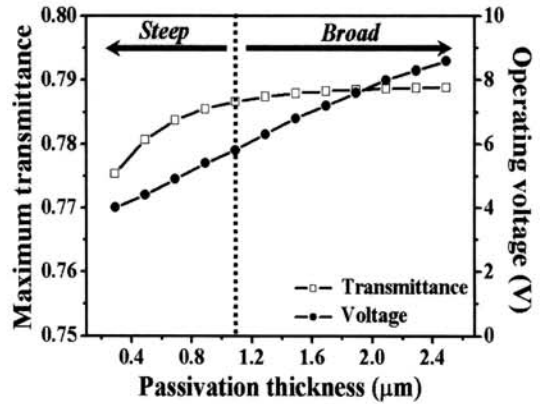


그림 2. 절연층 두께에 따른 최대 투과율과 구동전압의 변화.

Fig. 2. Maximum transmittance and operating voltage difference curve as a function of passivation thickness.

증가 할수록 최대 투과율과 구동전압 모두 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 구동전압의 경우  $T_p$ 가 증가 하는 것에 선형적으로 증가하지만 최대 투과율의 경우  $T_p = 0.29 \mu\text{m}$ 에서 약  $1.09 \mu\text{m}$ 까지 비선형적으로 증가 하다가  $T_p = 1.09 \mu\text{m}$  이상에서는 최대 투과율 그래프가 완만하게 되어 투과율이  $T_p$ 에 의존성을 보이지 않는다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 바탕으로 셀 제작 시 절연층의 두께를 설정 할 수 있다. 그림 2에서  $T_p = 1.09 \mu\text{m}$  이하에는 FFS모드의 투과율의 기울기가 급격하게 변하기 때문에 실제 공정상에서 절연층 두께 공정마진 폭이 매우 좁아 우리가 원하는 두께의 절연막을 형성 시켰더라도 미세하게나마 두께의 차이가 발생할 수 있고, 이는 셀의 투과도와 구동전압은 크게 변하게 될 것이다. 이로 인해서 실제 패널 내에 화소 별로 휘도 차이가 발생 하는 문제점이 발생 할 수 있다. 즉,  $T_p = 1.09 \mu\text{m}$  이하에서는 투과율의 변화가 크기 때문에 공정 마진을 고려 할 때, FFS 모드의 절연층 두께는  $1.09 \mu\text{m}$  이상을 선택 하는 것이 공정상 유리하다.  $T_p = 1.09 \mu\text{m}$  일 때의 투과율의 경우  $T_p = 0.29 \mu\text{m}$  일 때와 비교 할 때 약 1.5 % 상승효과가 발생 할 뿐만 아니라, 공정상 절연층의 증착 과정에서 발생하는 단차에 FFS 모드의 전기 광학 특성은 크게 변하지 않게 되어 공정상 발생하는 절연층 형성 과정에서의 절연층 단차에 의한 셀 내의 전기·광학 특성 변화를 최소화 할 수 있을 것이다.

위에서도 언급 했듯이 FFS 모드에서의 투과율은 전극 위치에 따라서 서로 다른 전기장의 영향과 이로 인한 광학 변조가 서로 상이해서 전극 위치에 따라 요동을 친다. 즉, FFS 모드에서 투과율의 변화가 발생을 했다는 것은 전극 위치에 따라서 액정의 거동이 변했다는 것을 의미한다. 그림 3은 위와 같은 투과율의 차이가 크게 발생하는 곳과 그 원인을 파악하기 위해서  $T_p$ 에 따른 전극 위치별 투과율을 확인 하였다. FFS 모드의 전극 위치에 따른 투과율의 경우 주변의 액정의 탄성 토크에 의해서 구동되는 A위치와 D위치(그림 1 참조)의 경우 같은 경향성을 보이는 것이 일반적이다. 하지만 그림 3에서  $T_p$ 에 따른 FFS 모드의 전극 위치별 투과율을 확인한 결과 A위치와 D위치의 투과율은 서로 상이한 경향성을 보이고 있다. 즉,  $T_p$ 가 증가 할 때 A위치의 경우 투과율은 감소하게 되고 D위치의 투과율은 크게 상승 하고 있다. 하지만 A위치의 투과율 감소는 크지 않고 D위치의 투과율 변화가 크기 때문에  $T_p$ 가 증가 할 때 투과율은 전반적으로 증가하게 되고  $T_p = 1.09 \mu\text{m}$  이상 일 때에는 A위치의 투과율 감소와 D위치의 투과율 증가 변화가 비슷하게 되어 전체적인 투과율의 변화는 크지 않게 된다는 것을 확인 할 수 있었다.

하지만 A위치와 D위치에서 서로 다른 투과율 경향성을 보이는 현상은 FFS 모드에서 이례적인 현상으로 그 원인을 파악하기 위해서 그림 4에서

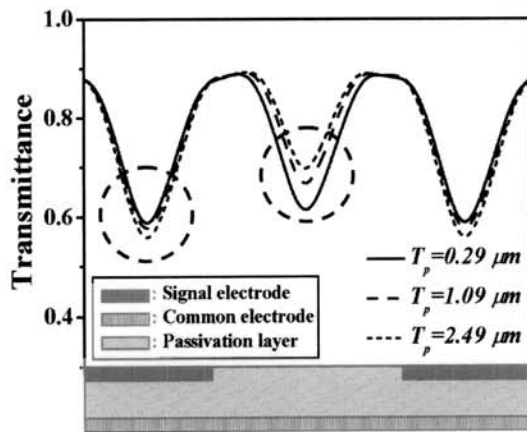
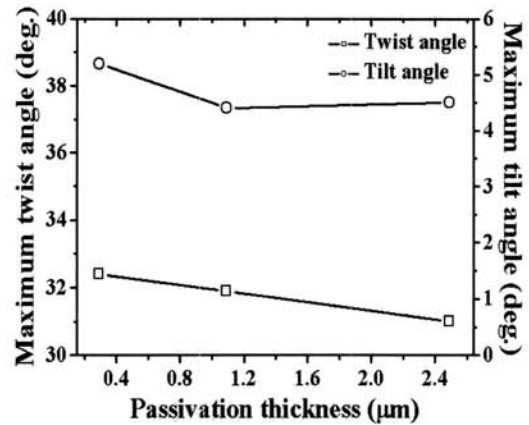
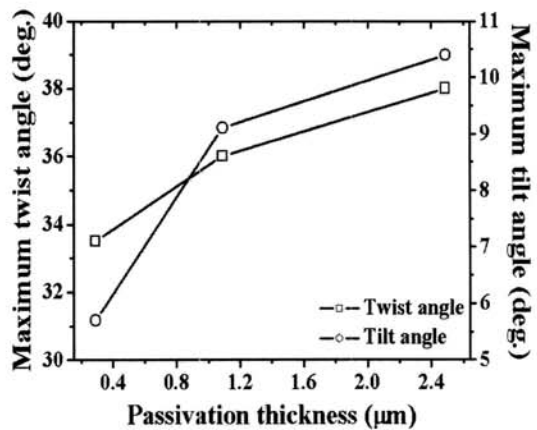


그림 3. 절연층 두께에 따른 전극 위치별 투과율 곡선( $T_p = 0.29, 1.09, 2.49 \mu\text{m}$ ).

Fig. 3. Electrode position dependent transmittance according to passivation thickness( $T_p = 0.29, 1.09, 2.49 \mu\text{m}$ ).



(a)



(b)

그림 4. 절연층 두께에 따른 액정의 최대 twist, tilt 각; (a) A 위치, (b) D 위치

Fig. 4. Maximum LC's director profiles (twist and tilt angle) according to passivation thickness: (a) A position, (b) D position

$T_p$ 에 따른 전극 위치별 액정 거동을 확인 하였다. FFS 모드의 투과율은 셀 내에 존재하는 액정 분자들의 twist각과 tilt각에 의존성을 보이는데 A위치에서는 그림 4(a)에서와 보여주듯이  $T_p$ 가 증가할수록 액정의 최대 twist각이  $z/d = 0.35$  지점에서 약  $32.4^\circ$ 에서  $31.0^\circ$ 로 감소하게 되고 액정의 최대 tilt각의 경우  $T_p = 1.09 \mu\text{m}$  까지는 감소하다가 그 이상의  $T_p$ 에서 다시 증가하는 경향을 보였다.  $T_p$ 가 증가 할수록 위상지연 효과에 의해 광학변조가 발생하는 A 및 D위치의 경우에는 식 (2)에서 보았듯이 빛의 투과는  $\psi$ 가  $45^\circ$ 가 되었을 때 최대가 되기 때문에 액정의 twist각이 감소하는 것은

투과율 감소를 의미한다. 또한 액정의 tilt각이 증가한다는 것은 유효 위상지연 값이 감소했다는 것을 의미하고 이는 역시 투과율 감소를 의미한다. 반면에  $D$ 위치의 경우  $T_p$ 가 증가 할수록 액정의 최대 tilt각은 증가하지만  $z/d = 0.35$  지점에서 액정의 최대 twist각은  $33.5^\circ$ 에서  $38.0^\circ$ 로 크게 증가하게 되어 전체적으로  $D$ 위치에서의 투과율은 증가하게 된다. 하지만  $T_p = 1.09 \mu\text{m}$  이상에서는 액정의 최대 twist각 변화 기울기가 상대적으로 작게 되지만 최대 tilt각의 계속적으로 증가하게 되어  $T_p = 1.09 \mu\text{m}$  이상에서는 결국  $A$ 위치에서의 투과율 감소와  $D$ 위치에서의 미세한 투과율 증가의 상호작용으로 인해서 전체적인 투과율은 그림 2에서와 같이 큰 변화가 없는 상태에 이르게 된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 공통전극과 화소전극 사이에 존재하는 절연층의 두께에 따른 FFS모드의 전기광학 특성을 조사하였고 공정마진을 고려한 최적화된 절연층의 두께를 제안하였다. 흥미롭게도 FFS모드의 최대 투과율은 절연층의 두께가 증가할수록 증가하는 경향을 보였지만 절연층의 두께가 특정 이상이 되었을 때 더 이상 투과율이 증가하지 않는다는 것을 확인 하였다. 그 원인은 기존의 FFS모드에서는 볼 수 없었던 전극 위치별 빛의 투과 경향성 때문인 것으로 확인되었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 FFS셀 제작 시 절연층의 두께를 설정할 수 있고 실제 패널을 제작할 시  $1 \mu\text{m}$  이상의 두께로 절연막을 형성 하였을 때 공정 마진에 있어서 유리 할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

This work was supported by LCD R&D center of Samsung Electronics Cooperation.

#### 참고 문헌

- [1] A. Takeda, S. Kataoka, T. Sasaki, H. Chida, H. Tsnda, K. Ohmuro, Y. Koike, T. Sasabayashi, and K. Okamoto, "A super-high-image-quality multi-Domain vertical alignment LCD by new rubbing-less technology", Tech. Pap. Society for Information Display Int. Symp., p. 1077, 1998.
- [2] S. S. Kim, K. H. Kim, B. Berkeley, and T. Kim, "Super-PVA technology for high-end TV applications", Proc. Int. Display Research Conf., p. 154, 2006.
- [3] M. Oh-e and K. Kondo, "Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode", Appl. Phys. Lett., Vol. 67, No. 26, p. 3895, 1995.
- [4] I. S. Song, I. S. Baik, T. M. Kim, S. H. Lee, D. S. Kim, H. S. Soh, and W. Y. Kim, "Study on electro-optic characteristics of In-plane switching mode liquid crystal display using transparent electrode", J. Inf. Display, Vol. 5, No. 3, p. 18, 2004.
- [5] 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.
- [6] Y. J. Lim, M. H. Lee, G. D. Lee, W. G. Jang, and S. H. Lee, "A single-gap transmissive fringe field switching display using a liquid crystal with positive dielectric anisotropy", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 40, No. 9, p. 2759, 2007.
- [7] S. M. Oh, S. J. Kim, M. H. Lee, D. S. Seo, and S. H. Lee, "Film compensation of the optically compensated splay liquid crystal device", Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 433, p. 97, 2005.
- [8] M. S. Kim, Y. H. Jung, H. Y. Kim, S. Y. Kim, and S. H. Lee, "Study on electro-optic characteristics and dynamic stability depending on the pretilt angle for the twisted nematic(TN) and fringe-field switching(FFS) mode", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 17, No. 11, p. 1234, 2004.
- [9] S. H. Jung, H. Y. Kim, J. H. Kim S. H. Nam, and S. H. Lee, "Analysis of optimal phase retardation of a fringe field-driven homogeneously aligned nematic liquid crystal cell", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 3, p. 1028, 2004.
- [10] S. J. Kim, H. Y. Kim, S. H. Lee, Y. K. Lee, K. C. Park, and J. Jang, "Cell gap-dependent transmittance characteristic in a

- fringe field-driven homogeneously aligned liquid crystal cell with positive dielectric anisotropy", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 9A, p. 6581, 2005.
- [11] J. W. Ryu, J. Y. Lee, H. Y. Kim, J. W. Park, G.-D. Lee, and S. H. Lee, "Effect of magnitude of dielectric anisotropy of a liquid crystal on light efficiency in the fringe-field switching nematic liquid crystal cell", *Liq. Cryst.*, Vol. 35, No. 4, p. 407, 2008.
- [12] I. H. Yu, Z.-X. Zhong, W.-G. Jang, M.-H. Lee, and S. H. Lee, "Effect of surface anchoring energy on the electro-optical characteristics in the fringe-field switching mode", *J. of KIEEME(in Korean)*, Vol. 18, No. 11, p. 1028, 2005.
- [13] J. W. Ryu, J. Y. Lee, Y. J. Lim, S. H. Lee, K.-M. Kim, and G. D. Lee, "Analysis of light modulation in the fringe-field switching liquid crystal mode", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol. 476, p. 239, 2007.
- [14] S. H. Jung, H. Y. Kim, M.-H. Lee, J. M. Rhee, and S. H. Lee, "Cell gap-dependent transmission characteristics of a fringe-electric field-driven homogeneously aligned liquid crystal cell, for a liquid crystal with negative dielectric anisotropy", *Liq. Cryst.*, Vol. 32, No. 2, p. 267, 2005.
- [15] 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.