

유전율 이방성이 양인 액정을 이용한 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 Cell using a Liquid Crystal with Positive Dielectric Anisotropy

송제훈¹, 최민오², 임영진², 이승희^{2,a}

(Je Hoon Song¹, Min Oh Choi², Young Jin Lim², and Seung Hee Lee^{2,a})

Abstract

Electro-optic characteristics of reflective hybrid aligned liquid crystal (LC) cell driven by fringe field using a nematic LC with positive dielectric anisotropy have been studied. Optimized optical configurations are achieved by using a single polarizer, half-wave film and a cell with quarter-wave retardation. The simulation results shows an optimum cell retardation of 0.30 μm . This value may allow a practical cell gap larger than 3 μm , which makes it easy to control in the manufacturing process. Furthermore, this LC cell with optimized cell parameters shows low wavelength dispersion and the contrast ratio greater than 5 over exists about 100° in vertical direction and 160° in horizontal direction. Also, when using the LC with positive dielectric anisotropy rather than negative dielectric anisotropy, the display shows low power consumption and fast response time.

Key Words : Reflective hybrid aligned LC cell, Fringe-field, Wide viewing angle

1. 서론

반사형 액정 디스플레이 (LCD)는 내부광원을 사용하지 않고 외부 광원을 사용하기 때문에 전력 소비가 적고 박형이 가능하고 경량화가 가능하며 옥외 시인성이 뛰어나기 때문에 personal digital assistants (PDA)와 같은 이동형 장치의 디스플레이에 많이 응용되고 있다[1].

근래에 반사형 twisted nematic (TN) 모드와 고

속 응답성을 가지는 반사형 optically compensated bend (OCB) 모드, 반사형 vertical aligned (VA) 모드, 그리고 편광판이 없는 guest-host (GH) 모드 등이 제안되어 졌다[2-4]. 하지만 이들 모드들은 고화질을 얻기 위해서 보상 필름을 사용해야만 한다. 최근에 본 연구실에서 배향막에 수평 배열된 액정이 전계 인가시 기관에 거의 평형을 유지하면서 구동되기 때문에 보상필름 없이 고화질을 보여주는 Fringe-Field Switching (FFS) 모드를 이용한 반사형 FFS 모드를 발표하였다[5,6]. 뿐만 아니라 유전율 이방성 ($\Delta \epsilon$)이 음인 액정을 이용한 반사형 Hybrid Aligned Nematic (HAN)-FFS 모드도 발표하였다[7,8]. 하지만 $\Delta \epsilon$ 이 음인 액정을 사용할 경우, $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정에 비해 상대적으로 액정의 유전율값이 작기 때문에 구동 전압이 높으며 액정의 회전점도가 높기 때문에 응답 시간이

1. BOE-HYDIS TECHNOLOGY 선행기술그룹
2. 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)
a. Corresponding Author : lsh1@chonbuk.ac.kr
접수일자 : 2005. 5. 26
1차 심사 : 2005. 6. 10
2차 심사 : 2005. 6. 27
심사완료 : 2005. 6. 28

느리다. 그리고 음의 액정은 $\Delta \epsilon$ 을 크게 하는 것이 어렵지만 양의 액정은 $\Delta \epsilon$ 을 크게 하는 것이 쉽기 때문에 저 전압 구동이 많이 요구되는 mobile용 디스플레이에는 주로 양의 액정을 사용하는 것이 유리하다. 또한 상대적으로 양의 액정이 음의 액정보다 액정의 제조 단가가 낮기 때문에 가격 측면에서도 유리하다. 본 논문에서는 일반적인 반사형 모드에 비해 넓은 셀 갭을 가질 수 있으며 고화질을 구현하는데 용이하며, 또한 $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정을 이용하기 때문에 낮은 구동 전압과 빠른 응답 시간을 가능하게 하는 반사형 HAN-FFS 모드의 전기-광학 특성에 대하여 연구하였다.

2. 본 론

반사형 HAN-FFS 모드의 전기-광학 특성을 최적화하기 위해서 광학적 계산은 2×2 Jones extended matrix 방법[9]을 이용하였고 시뮬레이션은 LCD Master/1D(Shintech, Japan)로 행하였다. 시뮬레이션에 사용된 액정은 $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정의 경우, 굴절률 이방성 (Δn)이 입사파장이 550 nm에서 0.075이고 $\Delta \epsilon$ 이 7.4이고 $K_1 = 11.7$ pN, $K_2 = 5.1$ pN, $K_3 = 16.1$ pN이고 회전점도는 0.063 Pa·s인 액정을 사용하였다. 그리고 $\Delta \epsilon$ 이 음인 액정의 경우, Δn 이 입사파장이 550 nm에서 0.075이고 $\Delta \epsilon$ 이 -4.0이고 $K_1 = 13.5$ pN, $K_2 = 6.5$ pN, $K_3 = 15.1$ pN이고 회전점도는 0.136 Pa·s인 액정을 사용하였다. 하판의 러빙 방향은 프린트 전기장의 수평 성분에 대해서 80° 로 하였고 하판의 초기 프리틸트각은 2° , 상판의 초기 프리틸트각은 90° 로 하였다. 이때, 편광판 한 장과 평행하게 놓여있는 두 장의 편광판들의 투과율은 각각 41%와 35%이며 $\lambda/2$ 필름의 투과율은 99%이다.

HAN-FFS 모드는 그림 1과 같이 상부 기판은 수직 배열을 하고, 하부 기판은 일반적인 FFS 모드와 같이 수평으로 배열되어 있다. $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정인 경우, 전압이 인가되지 않았을 때에는 액정 층이 하판의 수평 배열된 액정으로부터 상판의 수직 배열된 액정까지 균일하게 펼쳐진 모양으로 배열되어 있다. 전압이 인가되면 펼쳐진 모양 그대로 전계에 반응하여 전계 방향으로 회전하는데, 전체적으로 보면 펼쳐지면서 꼬인 모양이 된다.

그림 2는 한 장의 편광판과 $\lambda/2$ 필름, 액정층 그리고 반사판으로 구성된 반사형 HAN-FFS 모드의 광학 셀 구조를 보여주고 있다. 여기에서 편광

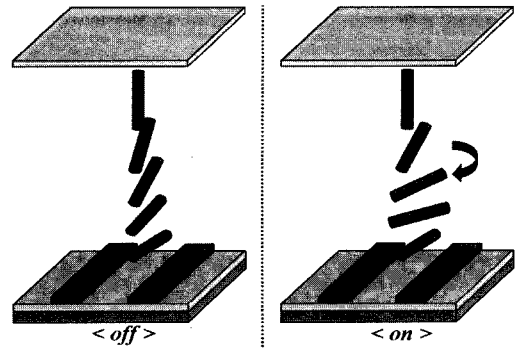


그림 1. 유전을 이방성이 양인 액정을 사용한 HAN-FFS 모드의 on-off 시의 액정 배열.

Fig. 1. The configuration of the LC molecules in on-off states in the HAN-FFS mode using the LC with positive dielectric anisotropy.

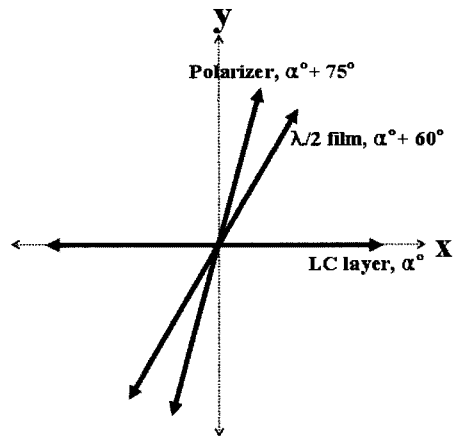


그림 2. 반사형 HAN-FFS 모드의 광학 셀 구조.

Fig. 2. Optical cell structure of the reflective HAN-FFS mode.

판의 투과축 방향이 $\lambda/2$ 필름의 지연축 방향과 액정의 광축 방향에 대해서 각각 75° 와 60° 틀어져 있다. 반사형 HAN-FFS 모드는 초기 전압 인가 전에는 편광판을 통과한 선편광된 빛이 $\lambda/4$ 만큼의 위상지연값 ($d\Delta n$)을 가지는 액정 셀을 두 번 통과 하면서 초기 상태의 선편광된 빛에 대해서 90° 회전된 선편광된 빛이 나오기 때문에 편광판에 의해서 빛이 차단되어 초기 상태가 어둡상태인 nor-

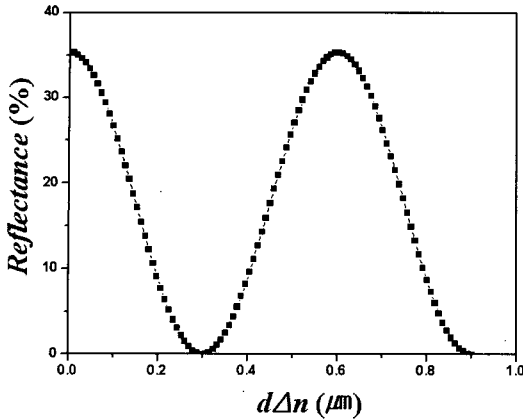


그림 3. 반사형 HAN-FFS 모드에서 어둡 상태에서의 $d\Delta n$ 에 따른 반사율.

Fig. 3. The reflectance of a dark state as a function of $d\Delta n$ for the reflective HAN-FFS mode.

mally black (NB)모드이다. 전압이 인가되면, fringe field에 의해서 액정 분자들이 전기장 방향으로 회전을 하게 되는데 약 45° 만큼 회전하면 편광판을 통과한 선편광된 빛이 액정의 광축과 일치하여 편광 상태의 변화 없이 액정 셀을 통과하여 밝음 상태가 얻어진다.

그림 3은 $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정을 이용한 반사형 HAN-FFS 모드에서 초기 전압 인가전에 액정의 $d\Delta n$ 에 따른 반사율을 측정된 그림이다. 이때 액정의 Δn 을 일정하게 놓고 액정 셀 갭을 변화시키면서 최적 $d\Delta n$ 을 조사하였다. 액정의 $d\Delta n$ 이 $0.30 \mu\text{m}$ 일 경우, 반사율이 최저인 첫 번째 조건이다. 이는 기존의 반사형 homogeneous aligned (HA)-FFS 모드의 최적 조건인 $0.137 \mu\text{m}$ 보다 훨씬 큰 값을 가진다[8]. 이는 동일한 액정을 사용할 경우, 반사형 HA-FFS 모드보다는 반사형 HAN-FFS 모드가 보다 큰 셀 갭을 가져갈 수 있어 제조상의 이점이 있다.

그림 4는 $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정과 음인 액정을 이용한 반사형 HAN-FFS 모드의 전압인가에 따른 반사율 곡선이며 표 1은 최대 반사율을 나타내는 지점에서의 전압과 반사율을 나타내었다. $\Delta \epsilon$ 이 음인 액정의 경우 구동 전압 (V_{op})은 5.0V 이며 반사율은 92% 정도이며, $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정의 경우에는 V_{op} 는 3.8V 이며 반사율은 89% 정도이다. 여기에서 편광 되지 않은 빛이 편광판과 $\lambda/2$ 필름, 그리고

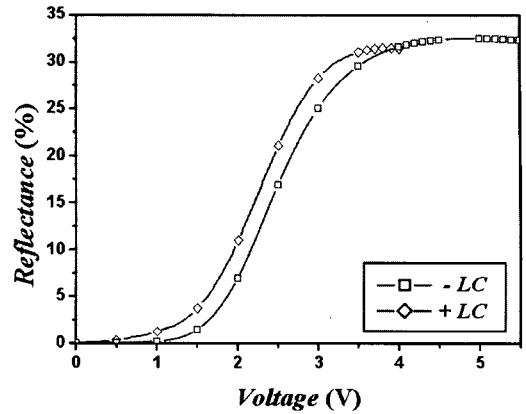


그림 4. 반사형 HAN-FFS 모드에서 입사 파장이 550nm 에서 전압에 따른 반사율 곡선.

Fig. 4. The voltage-dependent reflectance curve at incident wavelength 550nm for the reflective HAN-FFS mode.

표 1. 최대 반사율 지점에서의 전압과 반사율

Table 1. The voltage and reflectance at a point of maximum reflectance.

-LC		+LC	
전압 (V)	반사율 (%)	전압 (V)	반사율 (%)
4.9	32.525	3.7	31.451
5.0	32.540	3.8	31.510
5.1	32.524	3.9	31.502

반사판을 지나 다시 $\lambda/2$ 필름과 편광판을 지났을 때의 반사율이 35% 이므로 이 값을 광효율 100% 로 하고 ϵ 이 양인 액정과 음인 액정의 경우에서의 반사율을 구한 후 광효율 값으로 나타내었고 V_{op} 는 반사율이 최대인 전압이다. $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정을 사용할 경우 음인 액정을 사용할 경우보다 광효율은 약 3% 정도 감소하지만 V_{op} 은 1.2V 정도 감소하기 때문에 저소비전력 디스플레이에 유리하게 된다.

표 2는 $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정과 음인 액정의 on-off 시 응답시간 특성을 나타낸다. $\Delta \epsilon$ 이 음인 액정과 양인 액정의 rising time은 비슷하지만 decay time은 액정의 회전점도에 의한 차이에 의해서 $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정이 음인 액정에 비해 두 배 이상 빠르다.

그림 5는 $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정을 이용한 반사형 HAN-FFS 모드의 어둡 상태와 밝음 상태의 파장의존성을 보여주고 있다. 액정 자체가 굴절률 이방

표 2. $\Delta \epsilon$ 이 양인 액정과 음인 액정을 이용한 반사형 HAN-FFS 모드의 응답시간 비교.

Table 2. The comparison of response time for reflective HAN-FFS modes using the LC with negative and positive dielectric anisotropy.

	- LC	+ LC
Rising Time (ms)	17	22
Decay Time (ms)	51	23

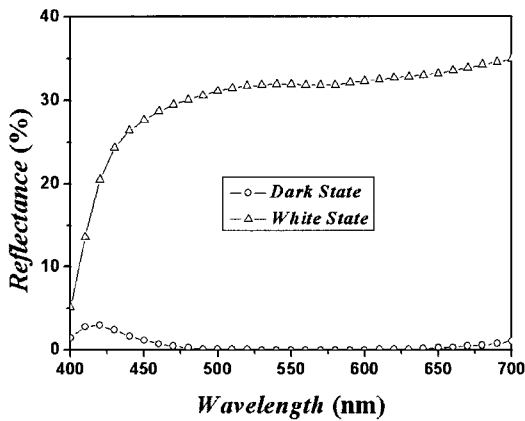


그림 5. 유전율이 이방성이 양인 액정을 이용한 반사형 HAN-FFS 모드에서 어둡 상태와 밝음 상태의 파장의존성.

Fig. 5. The wavelength dispersion of the dark and white states for the reflective HAN-FFS mode using the LC with positive dielectric anisotropy.

성을 갖고 있으며, 파장에 대해서도 Δn 이 변화하므로, 파장에 따른 최적 $d\Delta n$ 이 달라져서 특정 파장에 대해서만 완벽한 어둡 상태와 밝음 상태가 나타나는 특성을 가지고 있다. 이를 보완하기 위해서 $\lambda/2$ 필름을 편광판과 액정층 사이에 위치 시킴으로서 $\lambda/2$ 필름과 $\lambda/4$ 액정이 광대역 $\lambda/4$ 필름과 같은 역할을 하도록 구성하였다. 따라서 우리가 제안한 반사형 HAN-FFS 모드는 전과장에 대해서 완벽한 어둡 상태와 휘도 균일도가 우수한 밝음 상태를 보여준다.

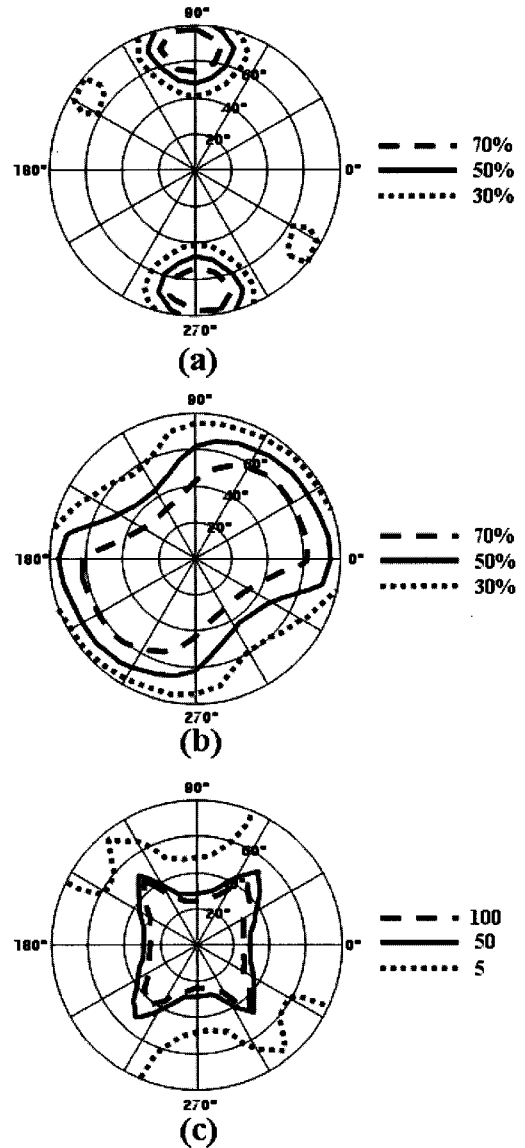


그림 6. 전과장 영역에서 어둡 상태 (a)와 밝음 상태 (b)의 등 휘도 곡선들과 등 명암 대비율 곡선(c).

Fig. 6. Iso-luminance curves in the dark state (a) and white state (b), and iso-contrast curve.

그림 6은 보상 필름을 사용한 구조에서 전과장 영역에 대해서 어둡 상태와 밝음 상태의 등 휘도 곡선들과 시야각 특성을 나타낸 그림이다. 등 휘도

곡선에서 70 %, 50 %, 그리고 30 %는 최대 반사율에 대한 상대적인 반사율들이다. 그림 6(a)는 어둠 상태에서의 휘도 곡선을 나타낸 것으로 주로 빛샘이 $\lambda/2$ 필름의 지연축 방향에 대해 좌, 우 영역에서 발생하고 있다. 그림 6(b)는 밝음 상태에서의 휘도 곡선을 나타낸 것으로 $\lambda/2$ 필름의 지연축 방향을 제외한 영역에서 균일한 휘도가 발생하고 있다. 그렇기 때문에 그림 6(c)에서와 같이 수직 방향으로는 명암대비가 5 이상인 영역이 극각 100°까지이며 수평 방향으로는 극각 160°까지로 넓은 시야각 특성을 보여준다.

3. 결 론

본 논문에서는 유전율 이방성이 양인 액정을 이용한 반사형 HAN-FFS 모드의 전기-광학 특성을 연구하였다. 액정의 최적 $d\Delta n$ 이 0.30 μm 로 수평 배향되어 있는 반사형 HA-FFS 모드와 비교했을 때 넓은 셀 갭을 가질 수 있기 때문에 제조 공정상의 이점이 있다. 유전율 이방성이 음인 액정에 비해 액정의 유전율값이 상대적으로 높은 유전율 이방성이 양인 액정을 사용하였기 때문에 구동 전압이 3.8 V로 낮으며 액정의 회전 점도값도 상대적으로 낮아 응답시간도 빠르다. 또한 상판의 러빙 공정이 생략되기 때문에 제조 공정상의 이점도 있다. 한 장의 편광판과 액정만을 사용한 반사형 셀 구조에서는 액정이 입사 파장에 따른 최적 $d\Delta n$ 이 다르기 때문에 파장 의존성을 가지기 때문에 $\lambda/2$ 보상 필름을 사용해서 특히 어둠 상태의 파장 의존성을 줄여서 전파장 영역에 대해서 넓은 시야각 특성을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10014-0)지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] 서대식, "반사형 LCD의 기술현황", 전기전자재료학회지, 12권, 2호, p. 19, 1999.
- [2] 송제훈, 정태봉, 이승희, "반사형 TN mode의 twist angle에 따른 소비전력과 시야각 특성", 전기전자재료학회지논문지, 17권, 2호, p. 207, 2004.
- [3] S. T. Wu, C. S. Wu, and C. L. Kuo, "Reflective direct-view and projection display using twisted nematic liquid crystal cells", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, No. 5A, p. 2721, 1997.
- [4] F. Yamada, D. Nakano, Y. Taira, and C. Hellermark, "Thin retardation film for parallax free reflective guest-host liquid crystal display", SID'01, p. 890, 2001.
- [5] S. H. Lee, S. H. Hong, H. Y. Kim, D-S. Seo, G-D. Lee, and T-H. Yoon, "Reflective display associated with in-plane rotation of nematic liquid crystal", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, No. 9A, p. 5334, 2001.
- [6] 정태봉, 박지혁, 이종문, 김용배, 이승희, "1매의 편광판으로 구성된 반사형 fringe-field switching mode의 전기 광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 16권, 2호, p. 131, 2003.
- [7] 정태봉, 박지혁, 손정석, 송제훈, 이승희, "Fringe-field 구동형 반사형 hybrid aligned nematic 액정 디스플레이의 전기-광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 17권, 2호, p. 201, 2004.
- [8] T. B. Jung, Y-B. Kim, H. C. Choi, and S. H. Lee, "A hybrid aligned nematic reflective liquid crystal display driven by a fringe-field", Liquid Crystal., Vol. 31, No. 10, p. 1393, 2004.
- [9] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid-crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, No. 2, p. 2767, 1990.