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

정태봉, 박지혁, 손정석, 이종문, 이승희
전북대학교 신소재공학부

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

T. B. Jung, C. H. Park, J. S. Son, J. M. Rhee, S. H. Lee
Jeonbuk National Univ.

Abstract

We have performed computer simulation to obtain electro-optic characteristics of reflective hybrid aligned nematic liquid crystal displays driven by fringe field. The results show that the optimal retardation value of the cell is 0.289㎛, which allows for the cell to have a practical cell gap of larger than 3㎛ when manufacturing. A reflectance of the dark state is only 0.114% for an incident light 550nm. At this condition, the light efficiency of white state reaches 92.7%. Further, we have studied a new reflective display with polarizer, optical compensation with half plate, LC plus reflector. The display with optimized cell parameters shows low wavelength dispersion and the contrast ratio greater than 5 over exists about 120° in vertical direction and 160° in horizontal direction.

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. 내부 backlight를 사용하지 않고 외부 광원을 사용하기 때문에 소비 전력이 낮고, 박형이 가능하고, 경량화가 가능하며, 옥외 시인성이 뛰어나 이동 정보 디스플레이에 적당하기 때문이다[1]. 현재까지 많은 반사형 모드가 제안되었지만, 디스플레이 화질이 투과형 모드만큼 완벽하지 못하다. 또한, 반사형 액정 디스플레이는 외부 광원을 사용하기 때문에 휘도가 중요하다. 일반적으로 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 전기장 에 대해서 평행하게 배열한다. 그래서 특정 방향에서 투과율 차이가 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 제안되어졌다[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 전기광학특성에 대해서 보고하였다[8,9]. 뿐만 아니라 투과형 hybrid aligned nematic (HAN) 모드의 전기-광학 특성 및 응답 속도에 관한 연구도 보고하였다[10-12]. 현재 상용화되고 있는 액정의 굴절률 이방성 ($\triangle n$)이 가장 작은 것은 대략 0.067정도로 반사형 HA-FFS 모드의 위상지연값 ($d\triangle n$)인 $\lambda/4$를 만족하기 위해서는 셀 갭 (d)이 2.3㎛ 이하가 돼야한다. 너무 낮은 셀 갭은 제조상의 어려움이 있다.

본 논문에서는 기존의 반사형 HA-FFS 모드에 비해 넓은 셀 갭을 가질 수 있는 반사형 HAN-FFS 모드의 전기-광학 특성에 대해서 연구하였다.

2. 본 론

HAN-FFS는 그림 1과 같이 상부 기판은 수직 배열을 하고, 하부 기판은 일반적인 FFS 모드와 같이 수평으로 배열되어 있다. 본 연구의 컴퓨터 시뮬레이션 조건은 종래에 보고된 내용과 동일하다[8]. 전압이 인가되지 않았을 때에는 액정층이 하판의 수평 배열된 액정으로부터 상판의 수직 배향된 액정까지 균일하게 펼쳐진 모양으로 배열되어 있다. 전압이 인가될 때는 펼쳐진 모양 그대로 전계에 반응하여 회전하는데, 전체적으로 보면 펼쳐지면서 꼬인 모양이 된다.

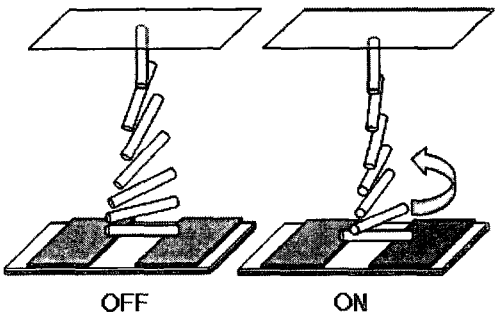

그림 1. 유전율 이방성이 음인 액정을 사용한 HAN-FFS 모드의 on-off 시의 액정 배열.

본 논문의 컴퓨터 시뮬레이션은 LCD Master (Shintech, Japan)에 의해서 행해졌으며, 계산 방법은 2×2 Jones matrix 방식[13]을 이용하였다.

표 1은 컴퓨터 시뮬레이션에 사용되어진 액정의 유전율 이방성 ($\Delta\varepsilon$), 액정의 탄성계수, 셀 갭을 보여주고 있다.

그림 2는 편광판과 액정 러빙 방향이 45°를 이룰 때, 액정의 위상지연값 ($d\Delta n$) 에 따른 전압 인가전의 반사율을 측정한 것이다. 최적 $d\Delta n$을 도출하기 위해 액정의 Δn을 일정하게 놓고 액정 셀 갭을 변화시켰다. 액정의 $d\Delta n$이 0.289㎛일 경우, 반사율이 최저인 첫 번째 조건이다. 이는 기존의 반사형 HA-FFS 모드의 최적 조건인 0.1365㎛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.

표 1. 컴퓨터 시뮬레이션에서 사용한 액정 물성값.

유전율 이방성 ($\Delta\varepsilon$)	8.2	
탄성계수	K_{11}	9.7pN
	K_{22}	5.2pN
	K_{33}	13.3pN
굴절률 이방성 (Δn)	0.074 (λ = 550nm)	
셀 갭 (d)	3.9㎛	

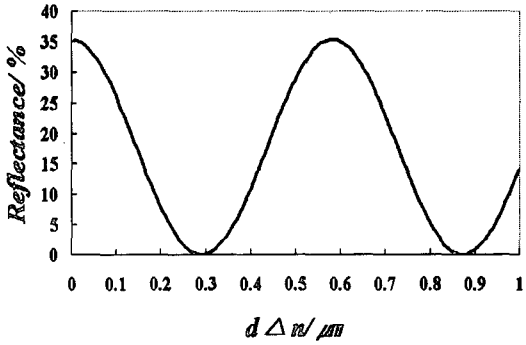

그림 2. 반사형 HAN-FFS 모드에서 전압 무인가시 $d\Delta n$별 반사율(λ=550nm).

그림 3은 편광판과 액정 그리고 반사판만으로 구성된 반사형 HAN-FFS 모드에서 액정의 $d\Delta n$이 0.289㎛일 때, 전압 인가에 따른 입사 파장별 반사율 곡선이다. 최대 반사율의 98%가 되는 전압(V_{98})은 3.5V이고, 광효율은 대략 90%이다. 종래의 반사형 HA-FFS 모드와 비교하면, 보다 낮은 구동 전압을 가진다. 반사율 곡선에서 파장별 반사율이 상이한 데, 이는 액정의 Δn이 파장 의존성을 가지고 있어서, 파장별 최적 $d\Delta n$이 틀리기 때문이다. 그렇기 때문에 특정 파장에서만 완벽한 어둠 상태를 가진다.

그림 4는 그림 3에서 액정의 파장 의존성을 줄이기 위해서 상기 반사형 HAN-FFS 모드에 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° 틀어져 있고, 액정 러빙 방향은 75° 틀어져 있다. 그림 3과는 달리 파장별 초기 어둠 상태가 매우 우수함을 알 수 있다.

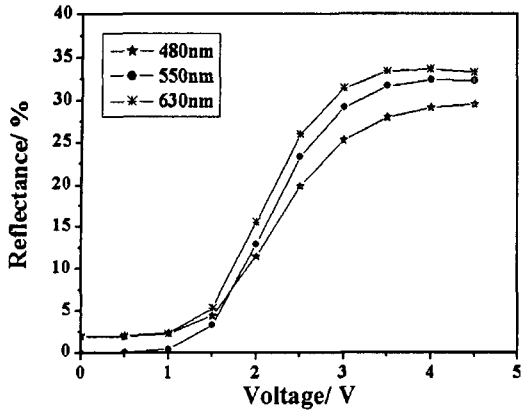

그림 3. 편광판 1매와 액정 $d\triangle n$이 0.289㎛인 반사형에서 입사 파장별 전압에 따른 반사율 곡선.

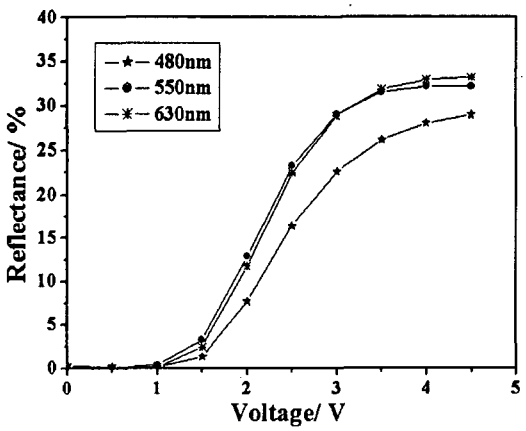

그림 4. 편광판 1매와 $\lambda/2$ 보상필름 그리고 $d\triangle n$이 0.289㎛인 액정을 사용한 반사형 HAN-FFS에서 입사 파장별 전압에 따른 반사율 곡선.

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

그림 6은 액정의 러빙 방향에서 계조별 시야각 특성을 보여준다. 최대 반사율의 0%인 계조 (R_0)와 최대 반사율의 20%인 계조(R_{20})에서 극각 55°에서 계조 반전이 일어나고, 다른 계조에서는 계조 반전이 일어나지 않는다.

그림 7은 입사 파장별 시야각 특성을 나타낸 것으로써, 명암대비비가 100, 50, 5인 영역을 보여준다. 입사 파장이 550nm의 시야각 특성을 보여준다. 명암대비비가 5인 영역을 살펴보면, 좌우에서는 60°까지이며, 상하에서는 80°까지로 매우 우수한 시야각 특성을 보여준다.

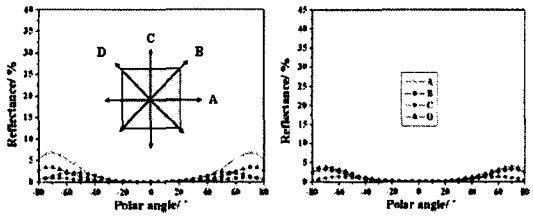

그림 5. (a) 보상필름을 사용하지 않은 경우와 (b) 보상 필름을 사용한 경우의 어둠 상태에서 빛샘.

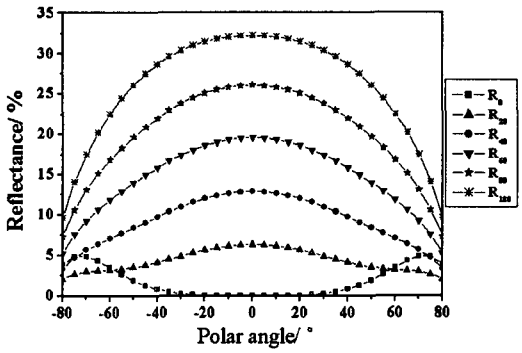

그림 6. 계조별 러빙 방향에 대한 시야각 특성.

3. 결 론

본 연구에서는 유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 반사형 HAN-FFS 모드의 전기-광학 특성에 대해서 연구하였다. 액정의 최적 $d\triangle n$이 0.289㎛로 반사형 HA-FFS 모드보다 큰 값을 가지기 때문에 동일한 액정 사용시 넓은 셀 갭을 가질 수 있다. 그로 인해 구동 전압도 종래 보다 낮은 3.5V이다.

또한 상판의 러빙 공정이 생략되기 때문에 제조상의 이점도 있다. 액정만 사용할 경우 입사 파장별 의존성을 가지므로 1매의 $\lambda/2$ 보상필름을 사용하여 파장 의존성을 줄였으며, 시야각 특성을 개선하였다.

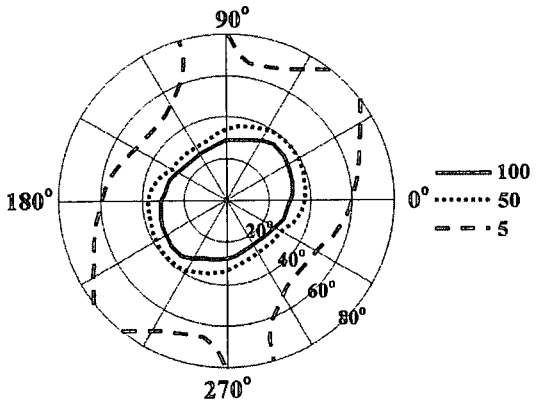

그림 7. 입사 파장이 550nm일 때, 등 명암대비비 곡선.

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, 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] 김향율, 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, 김향율, 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] 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.