

반사형 TN mode의 Twist angle에 따른 소비전력과 시야각 특성

Power Consumption and Viewing Angle Characteristics Dependent on Liquid Crystal's Twist Angle in Reflective Twisted Nematic Mode

송제훈¹, 정태봉¹, 이승희^{1,a}

(Je Hoon Song¹, Tae Bong Jung¹, and Seung Hee Lee^{1,a})

Abstract

We have performed computer simulation to obtain a global optimization of power consumption and viewing angle characteristic of reflective twisted nematic (R-TN) mode liquid crystal display (LCD) with single polarizer and $\lambda/4$ plate. Our studies show that with increasing the twist angle, a steepness of reflectance-voltage curve increase, operation voltages decreases, the region where contrast ratio (CR) greater than 10 increases but the reflectance of the white state starts to decrease at above the twist angle of 75° . Above the twist angle of 90° , the R-TN mode LCD shows the most favorable combination of low consumption and good viewing angle characteristic.

Key Words : Power consumption, Viewing angle, Twist angle, R-TN

1. 서론

액정 디스플레이 (LCD)는 최근 많은 분야에서 널리 사용되고 있다. 이런 LCD에는 크게 투과형, 반사형, 그리고 반투과형 LCD로 나눌 수 있는데 투과형 LCD에는 일반적으로 백라이트와 2장의 편광판이 사용되어 지고, 높은 대비비 (>300:1)를 가지며 좋은 색특성을 나타낸다. 이런 투과형 LCD는 컴퓨터 모니터, 노트북, large-screen projector등에 많이 쓰이고 있다[1]. 하지만 백라이트를 사용하기 때문에 소비전력이 높고 주변광원이 강하면 시인성이 떨어지는 단점이 있다. 반사형 LCD는 주변광원을 이용해서 이미지를 생성하기 때문에 백라이트가 필요하지 않으므로 소비전력이 낮고 두께가 얇으며, 가벼운 장점이 있다. 그래서

이동 정보 디스플레이나 outdoor applications, 그리고 personal digital assistants(PDA)등에 주로 쓰이고 있다. 하지만 이런 반사형 LCD는 표면과 계면반사 때문에 낮은 대비비 (<50:1)를 가지며 주변광원이 어두우면 시인성이 떨어진다. 이런 반사형 LCD의 단점을 보완하기 위해 반투과형 LCD가 최근 개발되었다. 반투과형 LCD의 픽셀은 두 개의 하부 픽셀로 나뉘어 있는데 하나는 반사형 디스플레이의 역할을 하고 다른 하나는 투과형 디스플레이의 역할을 한다[2].

반사형 LCD 모드에는 twisted nematic (TN)모드와 고속 응답성을 가지는 optically compensated bend (OCB)모드, vertical aligned (VA)모드, 그리고 편광판이 없는 guest-host (GH)모드 등이 제안되어 졌다. 여기에서 TN모드와 OCB모드는 광학 위상 필름을 최적해해서 좋은 화질을 구현할 수 있다[3,4]. 그리고 배향막에 수평 배열된 액정이 전개 인가시 기판에 거의 평형을 유지하면서 구동되는 Fringe-Field Switching (FFS)모드를 이용한 반사형 FFS 모드도 발표되었다[5,6].

1. 전북대학교 신소재공학부

(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)

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

접수일자 : 2003. 7. 31

1차 심사 : 2003. 8. 30

심사완료 : 2003. 9. 19

두 장의 편광판을 사용하는 TN모드는 높은 대비와 낮은 구동전압, 적은 색 산란, 그리고 빠른 응답시간을 가지기 때문에 투과형 디스플레이에 많이 쓰이고 있다. 그렇지만 반사형 디스플레이에 적용하면 하부 편광판이 액정층과 반사판 사이에 놓여져서 디스플레이의 반사율을 떨어뜨리고 시차의 원인이 된다. 이런 이유로 하부 편광판을 제거한 TN모드가 개발되었는데 이는 시차를 없앨 수는 있지만 대비비가 많이 떨어지기 때문에 높은 해상도를 요구하는 디스플레이 장치에는 사용할 수 없다. 이를 극복하기 위해서 편광판과 액정층 사이에 $\lambda/4$ 필름을 넣어줌으로써 시차도 없애고 대비비도 향상되는 반사형 mixed-twist-nematic (MTN)가 제안되어 졌다[7]. 이런 반사형 MTN 모드에서 보고된 논문 내용에 의하면 액정셀의 상판과 하판의 액정 방향자들이 이루는 각인 twist각 (ϕ)에 따른 소비전력과 정면에서의 성능에 대해 발표되었다[8].

본 논문에서는 반사형 MTN 모드에서 ϕ 에 따른 소비전력과 시야각 특성의 관계에 대해서 연구하였고, 기존의 셀구조를 거의 변화시키지 않고 ϕ 만을 바꿔어 줌으로써 낮은 소비전력과 넓은 시야각 특성을 가지는 반사형 디스플레이를 제안하였다.

2. 셀구조 및 컴퓨터 시뮬레이션 결과

2.1 Cell structure

본 논문에서 반사형 MTN 모드의 전기-광학적 특성에 대해서는 2 X 2 Jones extended matrix 방법[9]에 의해서 ϕ 를 바꾸어주면서 전압에 따른 반사율을 계산하였으며, 디스플레이의 구조는 편광판 1매와 $\lambda/4$ 판, 액정 셀 그리고 반사판으로 이루어진 Normally White모드를 채택하였다.

시뮬레이션에서 사용된 액정은 유전율 이방성 ($\Delta\epsilon$)이 5.2이고 탄성 계수가 $K1 = 13.2 \text{ pN}$, $K2 = 6.5 \text{ pN}$, $K3 = 18.3 \text{ pN}$ 인 액정을 사용하였으며, 액정의 초기배열은 하판의 러빙 방향은 수평축에 대해서 -45° 의 각을 이루고 있고 상판의 러빙 방향은 하판의 러빙 방향에서 반시계 방향으로 ϕ 만큼 회전시켰고, 상·하판의 표면 pretilt각은 5° 로 두었다. 각각의 ϕ 에 대한 최적 위상지연값($d\Delta n$)은 액정의 셀갯을 일정하게 고정시켜 놓고 액정의 굴절률 이방성을 변화시켜 최적 $d\Delta n$ 을 구한 후에 전압에 따른 반사율을 구하였고 ϕ 를 변화시켜서 ϕ 에 따른 소비전력과 시야각 특성에 대해서 조사하였다.

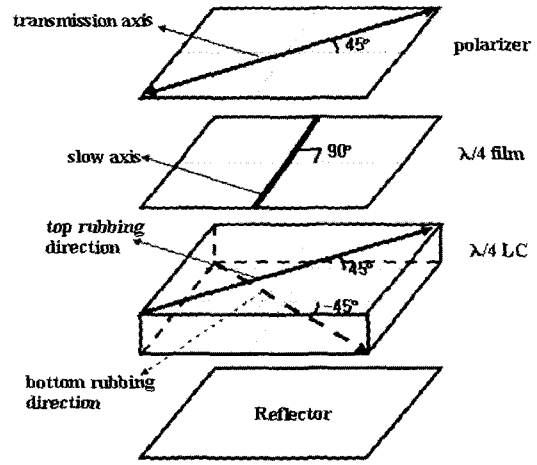


그림 1. 1매의 편광판으로 구성된 반사형 TN모드의 액정셀 구조.

Fig. 1. LC cell structure of reflective TN mode with a single polarizer.

그림 1은 반사형 MTN 모드의 셀구조를 보여주고 있다. 수평축에 대해서 편광판의 투과축, $\lambda/4$ 판의 위상 지연축, 그리고 액정셀의 상·하판의 러빙 방향이 수평축에 대해서 각각 45° , 90° , 45° , 그리고 -45° 의 각을 이루고 있다. 전압이 인가되지 않았을 때, 입사광이 편광판을 지나면서 45° 로 선편광된 빛이 되고 이 선편광된 빛이 $\lambda/4$ 판과 45° 틀어져서 좌원편광된 빛이 되고 다시 이 빛이 액정층을 지나면서 45° 로 선편광되어지고 반사판에 의해서 다시 액정층을 통과하면 좌원편광된 빛이 되고 이 빛이 $\lambda/4$ 판을 지나면서 45° 로 선편광된 빛이 되어진다. 그러므로 편광판 투과축과 일치될 해서 빛이 투과되므로 white상태가 구현된다. 전압이 인가되면 액정 방향자가 전기장 방향에 대해서 평행하게 배열되기 시작해서 어느 전압 하에서는 액정셀이 위상지연을 일으키지 않으므로 좌원편광된 빛이 액정 셀을 그대로 통과해서 반사판에 의해 우원편광된 빛이 되고 이 빛이 액정셀을 지나 $\lambda/4$ 판을 지남으로써 처음 들어온 빛에 대해서 90° 회전된 빛이 되어 편광판 투과축과 90° 틀어져서 편광판에 의해서 빛이 차단되어 지므로 dark 상태를 구현한다.

그림 2는 입사파장이 550nm일 때 ϕ 에 따른 최대투과율과 최적 $d\Delta n$ 을 보여주고 있다. 편광판 1매와 $\lambda/4$ 판이 있을 때의 반사율은 35%정도이며 이를 반사율 100%로 설정하였다.

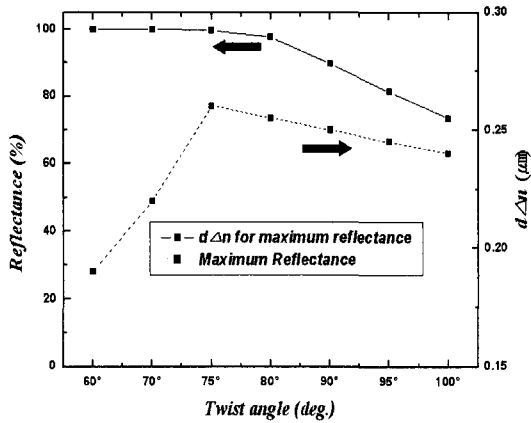


그림 2. NW모드 반사형 TN의 twist angle에 따른 최대 반사율(실선)과 최적 위상지연값(점선).

Fig. 2. Maximum reflectance (solid line) and optimum $d\Delta n$ (dashed line) as a function of twist angles for NW mode reflective TN.

그림에서 보듯이 ϕ 가 75° 이상일 때 최대 반사율이 감소하기 시작한다. 그리고 ϕ 가 95° 이하일 때에 반사율이 80%이하로 감소한다.

그림 3은 ϕ 에 따라 최적 $d\Delta n$ 에서 입사파장이 550nm일 때 전압-반사율(V-R) 그래프이다. 그래프에서 보는 것과 같이 ϕ 가 커짐에 따라서 초기 off-state일 때 반사율이 떨어지는 것을 알 수 있고, 그래프 기울기의 경사도가 증가함을 알 수 있다. 이렇듯 V-R 그래프의 경사도가 커질수록 소비전력이 낮아지므로 ϕ 가 큰 쪽이 소비전력측면에서 유리하다. 그리고 반사형 디스플레이에서는 white상태의 반사율도 중요하지만 그보다 dark상태에서 어느 정도 어둠을 나타내는가가 디스플레이의 화질을 좌우한다. ϕ 가 75° 일 때 white상태의 반사율이 가장 좋지만 다른 ϕ 의 dark상태의 반사율과 비교했을 때 좋은 dark상태가 매우 높은 전압에서 나타난다. 이는 ϕ 가 75° 이하일 때는 소비전력측면에서 좋지 않음을 알 수 있다.

그림 4는 액정의 표시소자가 on/off 될 때 걸리는 시간인 응답시간, 문턱전압 그리고 구동전압을 나타냈다. 액정의 표시소자가 on 될 때의 시간을 rising time (T_r), 그리고 off 될 때의 시간을 decay time (T_d)이라 정의했다. 그리고, 최대 반사율에서 반사율이 10% 변한 지점을 문턱전압 (V_{th})이라 하고, 최대 반사율에서 반사율이 99.8% 변한

지점을 구동전압(V_{op})이라 정의했다. 그림에서 보듯이 ϕ 가 커지면 액정의 꼬여진 정도가 더 커져서 T_r 이 증가하게 된다. 하지만 탄성상수는 같은 값을 가지므로 T_d 는 거의 비슷하게 나타난다. 디스플레이에서 문턱전압과 구동전압이 낮고 두 전압 사이의 차이가 적어야 만이 소비전력이 낮아진다. ϕ 가 커짐에 따라서 문턱전압은 거의 일정한데 구동전압이 현격하게 낮아져서 문턱전압과 구동전압의 차이가 작아져서 소비전력이 낮아짐을 알 수 있다.

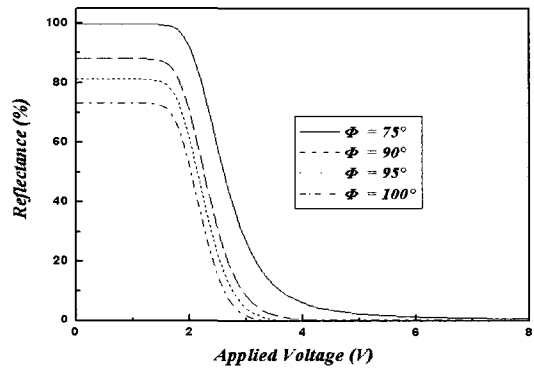


그림 3. 입사 파장이 550nm에서 액정의 twist angle에 따른 전압에 따른 반사율 곡선.

Fig. 3. Voltage-reflectance curve as a function of twist angles at incident wavelength 550nm.

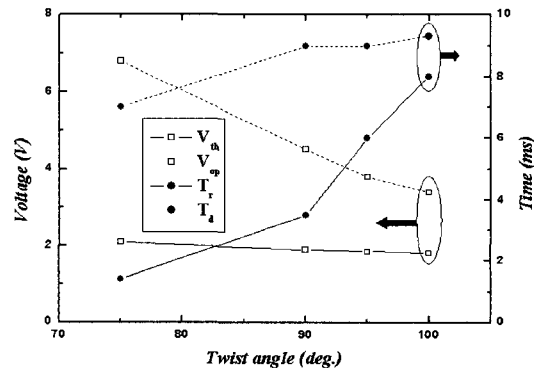


그림 4. Twist angle에 따른 rising time과 decay time, 문턱전압 그리고 구동전압에 대한 그래프.

Fig. 4. Rising time, decay time, threshold voltage, and operation voltage curve as a function of twist angles.

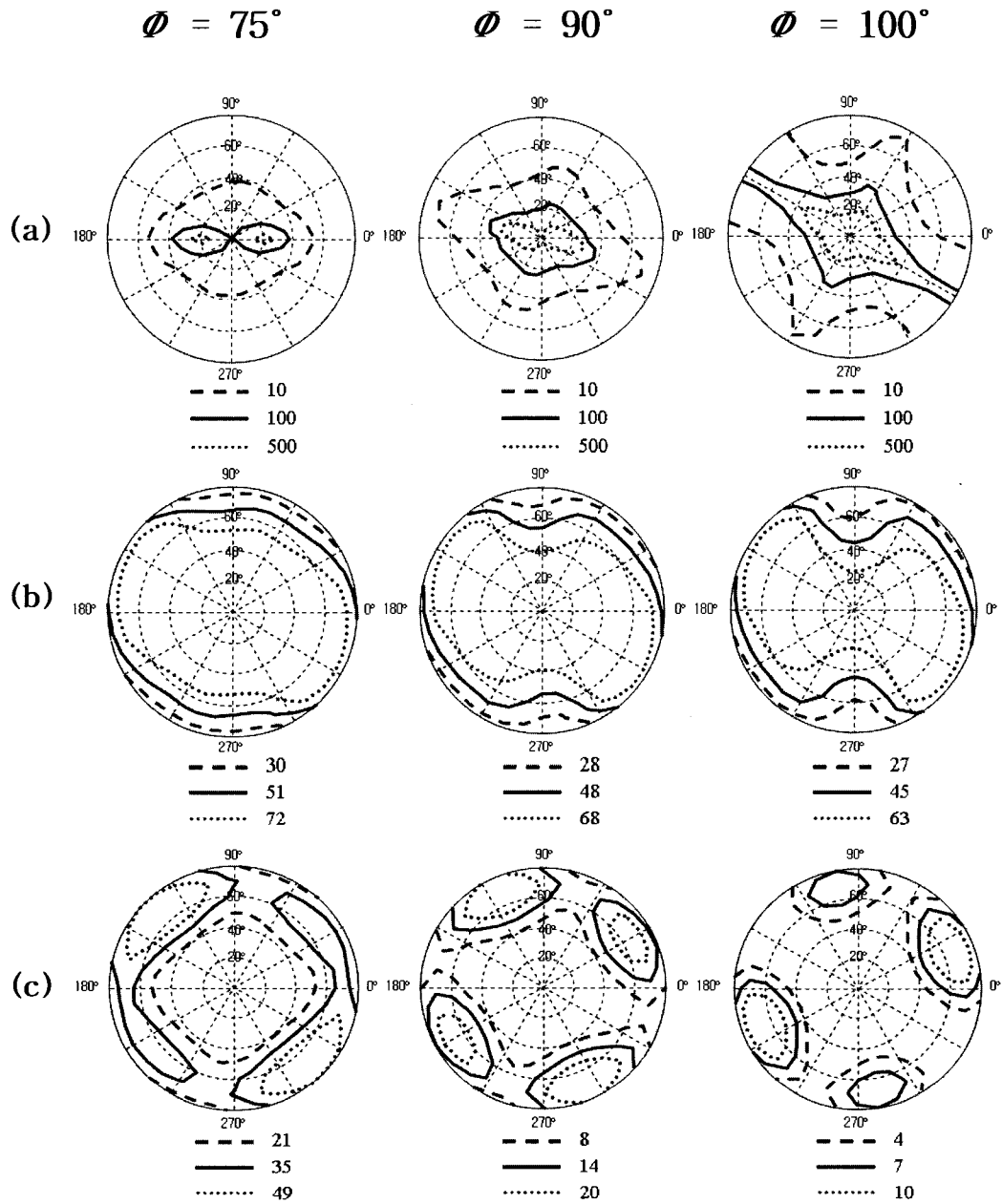


그림 5. (a) Twist angle에 따른 등 명암 대비율 곡선.
 (b) Twist angle에 따른 전압 무인가시 등 반사율 곡선.
 (c) Twist angle에 따른 전압 인가시 등 반사율 곡선.

Fig. 5. (a) Iso-contrast contour for twist angles.
 (b) Iso-reflectance contour at off-state for twist angles.
 (c) Iso-reflectance contour at on-state for twist angles.

그림 5는 편광판 1매와 $\lambda/4$ 판과 그리고 액정셀로 구성되어진 반사형 셀구조에서 θ 가 각각 75° , 90° 그리고 100° 도 일 때의 등 명암 대비율(CR) 곡선들과 on-off 상태의 등 반사율 곡선들이다. on-state는 0V이며 off-state는 대비율이 500:1인 지점의 전압을 θ 에 따라서 구했다. 그림 5(a)는 θ 에 따른 등 명암대비율 곡선인데 θ 가 증가함에 따라서 정면에서의 대비율이 10:1이상인 영역이 증가함을 알 수 있다. 그림 5(b)는 off-state일 때의 θ 에 따른 등 반사율 곡선인데 초기의 white상태는 전 θ 에서 시야각에 따른 반사율의 변화가 상대적으로 균일하게 발생하고, θ 가 작을수록 시야각에 따른 반사율이 넓게 발생한다. 그림 5(c)는 on-state일 때의 θ 에 따른 등 반사율 곡선인데 θ 가 커질수록 빛샘이 발생하는 영역이 줄어든다는 것을 알 수 있다. 반사형 디스플레이에서는 white상태의 반사율도 중요하지만 dark상태에서 얼마나 어둠을 잘 나타내느냐가 중요하므로 θ 커짐에 따라서 대체적으로 우수한 시야각 특성을 나타낸다.

3. 결론

반사형 TN모드에서 소비전력과 시야각 특성 모두를 동시에 좋게 하기 위해서 θ 를 변화시키면서 컴퓨터 시뮬레이션 하였다. θ 가 낮은 값일 때는 white상태의 반사율은 99%이상으로 매우 좋지만 dark상태를 완벽하게 구현하지 못하고, 좁은 시야각을 가진다. 그리고 구동전압도 높아서 소비전력이 높다. θ 가 높은 값일 때는 white상태의 반사율이 80%이하로 만족 할 수준은 아니지만 dark상태를 잘 구현해서 높은 명암대비율을 가지며 그리고 넓은 시야각을 가지고 있으며 구동전압도 낮아서 낮은 소비전력을 갖는다. 소비전력을 낮추고 동시에 좋은 시야각 특성을 갖기 위해서는 θ 를 90° 이상에서 white상태의 반사율이 80% 이상이며 구동전압이 4V이하로 낮아서 낮은 소비전력을 갖는다. 그리고 정면으로부터 50° 이상의 영역에서 CR이 10:1이상으로 넓은 시야각 특성을 갖는다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000-00736)지원으로 시행되었습니다.

참고 문헌

- [1] A. R. Kmetz, "A single-polariser twisted nematic display", SID'80, p. 63, 1980.
- [2] R. Watanabe and O. Tomita, "Recent trends of the active matrix LCDs for mobile use", IDW'02, p.397.
- [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] 서대식, "반사형 LCD의 기술현황", 전기전자재료학회지, 12권, 2호, p. 19, 1999.
- [5] 박지혁, 정태봉, 김향윤, 이승희, "1매의 편광판으로 구성된 반사형 fringe-field switching mode의 전기광학 특성", 전기전자재료학회 2002 춘계학술대회논문집, p. 136, 2002.
- [6] 정태봉, 박지혁, 이종문, 김용배, 이승희, "1매의 편광판으로 구성된 반사형 fringe-field switching mode의 전기 광학 특성", 전기전자재료학회지, 16권, 2호, p. 131, 2003.
- [7] S. T. Wu and C. S. Wu, "Mixed twisted nematic mode for reflective liquid crystal display", Appl. Phys. Lett., Vol. 68, p. 1455, 1996.
- [8] S. J. Roosendaal and J. R. Hector, "The ultimate low-power AM-LCD", IDW'02, p. 303, 2002.
- [9] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid-crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, p. 2767, 1990.