

수평 배향된 네마틱 액정 디스플레이에서 액정의 광축과 편광판축의 편향각에 따른 명암 대비비 값 비교

송일섭, 원해경, 이승희
전북대학교 신소재공학부

Comparison of Contrast Ratio in a Homogeneously Aligned Nematic Liquid Crystal Display Depending on an Angle Between Polarizer Axis and Optic Axis of a Liquid Crystal

Il Sub Song, Hae Gyung Won, Seung Hee Lee
School of Advanced Materials Engineering, Chonbuk National University

Abstract

We have studied contrast ratio of a homogeneously aligned nematic liquid crystal (LC) display as a function of the angle between the polarizer axis and LC director. The results show that a cell configuration in which a polarizer axis facing a light source coincides with a short LC axis has a better process margin in terms of high contrast ratio than that of the cell coinciding with a long LC axis.

Key Words : contrast ratio, homogeneously aligned liquid crystal

1. 서론

최근 들어 액정 디스플레이 (LCD)의 연구가 활발해지면서 cathode-ray tube (CRT)를 대체할만한 우수한 특성의 모드들이 많이 개발되었다. 그중 가장 대표적인 것이 twisted nematic (TN)[1,2] 모드이다. TN 모드는 광효율이 우수하며 전력 소비가 적고 공정 마진이 넓은 장점이 있으나 좁은 시야각 특성을 가진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 in-plane switching (IPS)[3], fringe field switching (FFS)[4] 등 다양한 모드가 개발되었다. 그럼에도 불구하고 LCD의 응답속도는 여전히 완벽한 비디오 영상을 구현하기에는 충분하지 못하며[5-6], 명암대비율(CR)은 편광판의 사용으로 인해 여전히 만족스럽지 못하다[7]. IPS와 FFS 모드에서, 액정들은 90° 교차한 편광판에서 편광판 축과 액정의 광축이 일치하게 수평배열을 한다. 일반적으로 두 편광판 사이에 존재하는 단축 매질의 투과율 공식은 다음과 같이 주어진다.

$$T = T_0 \{ \cos^2(a + \beta) + \sin(2a) \sin(2\beta) \sin^2(\pi d \Delta n / \lambda) \}$$

여기서, T_0 는 입사광, a 와 β 는 그림 1에서 정의된 각으로 표현되며, d 는 셀의 두께, Δn 은 액정의 복굴절률, λ 는 입사광의 파장이다. 그러므로 전압인가 전에 어둡 상태를 보이는 normally black mode를 구현하기 위해서는 90° 교차 편광판에서($a + \beta = 90^\circ$) 두 가지 다른 구조를 가질 수 있다. : $\beta = 0^\circ$ (E -모드) 와 90° (O -모드). $a + \beta = 90^\circ$ 인 조건에서, E - and O -모드에 관계없이 동일한 dark 상태를 얻을 수 있다. 현재, 편광판은 유리기판 위에 부착되는데, 수평 배향된 액정의 광축과 편광판의 투과축 사이에서 배열 오차를 유발한다.

본 논문에서는 편광판의 투과축으로부터 액정의 광축이 편향되었을 때, 수평 배향된 액정 셀에서 E -모드와 O -모드의 CR변화를 계산과 실험을 통해 알아보았고, 또한 어떠한 모드가 셀 제조 공정시, 넓은 마진을 갖는지 연구하였다.

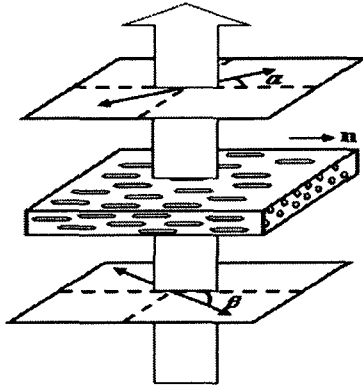


그림 1. 두 편광판 사이에서 수평 배향된 액정의 셀 구조

구조

Fig 1. Cell configuration of a homogeneously aligned LC under two polarizer

2. 본 론

우선, E-모드와 O-모드의 투과율을 계산하였고, 여기서 편광판은 서로 90° 교차되어 있으며 액정의 방향자 (n)와 편광판의 투과축이 아주 작은 각을 이루며 어긋나 있다고 가정한다. 이 경우에, 투과율 공식은 $T = T_0(\sin^2(2\phi)\sin^2(\pi d\Delta n/\lambda))$ 로 축소되며, 여기서 ϕ 는 90° 교차된 편광판과 n이 이루는 각으로 정의된다. ϕ 값이 0°에서 ±5° (E-모드) 혹은 90°에서 ±5° (O-모드)로 변할 때, $\sin^2(2\phi)$ 의 영이 아닌 값 때문에 투과율이 발생하고 또한 유효 복굴절률 (Δn_{eff})의 발생은 편광판을 통과한 선편광된 빛이 액정을 통과할 때 위상지연을 일으킴으로써 나타난다. 여기서, Δn_{eff} 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\Delta n_{eff} = n_e' - n_o = n_e n_o / (n_e^2 \sin^2 \phi + n_o^2 \cos^2 \phi)^{1/2} - n_o$$

n_e 와 n_o 는 각각 액정의 이상굴절률과 정상굴절률 값이다. 첫 번째 조건에서 E-모드와 O-모드의 동일한 편향 각은 E-모드와 O-모드에 상관없이 동일한 값을 가지게 한다. 그러나 Δn_{eff} 의 값은 E-

모드와 O-모드처럼 처음 구조에 따라 다르게 된다. 그림 2는 편향각의 함수인 Δn_{eff} 의 계산 결과이다. 여기서 n_e 와 n_o 는 550nm 입사 파장에서 각각 1.6과 1.5라고 가정한다. 그림 2에서 O-모드에서의 Δn_{eff} 의 값은 E-모드의 Δn_{eff} 값보다 훨씬 작다. 또한, 편향 각이 5° 까지 증가해도 거의 0에 가까운 값을 보인다. 이것은 하부 편광판의 투과축과 액정의 단축 혹은 장축이 1° 어긋나 있을 때 O-모드의 셀은 E-모드의 셀보다 적은 빛샘을 보인다는 것을 나타낸다.

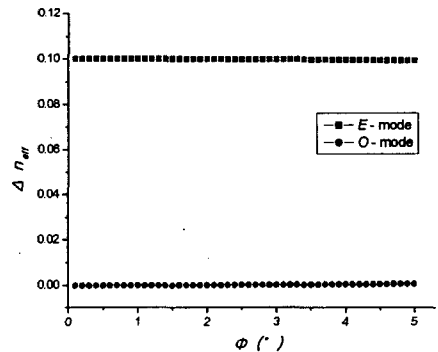


그림 2. E-모드와 O-모드 셀에서 이탈한 각의 함수에 따라 계산된 Δn_{eff}

Fig 2. Calculated effective Δn as a function of deviation angle for the cell with the E- and the O- mode

이러한 계산 값을 확인하기 위해서 수평배향 셀을 제작하여 관찰하였다. 여기서, 550nm 입사파장에서 $\Delta n=0.1$ 인 액정의 위상지연 값은 $0.25\mu m$ 이며 pretilt 각은 1°이다. 편향각의 함수로써 투과율을 측정하였으며 E-모드와 O-모드에 대해 최대투과율에 대한 최소 투과율의 비로 정의되는 정면에서의 CR을 측정했다. 여기서 T_{max} 는 액정의 방향자와 일치한 편광판의 투과축이 서로 평행하게 있을 때 얻어지는 투과율로 정의되며, T_{min} 는 편광판의 투과축이 서로 90°교차되어 있을 때 얻어지는 투과율로 정의한다. 그림 3에서 보이는 것처럼 편향각의 증가에 따라 투과율이 증가하고 CR은 감소한다. 액정의 광축이 편광판의 투과축과 편향되어 있을 때, E-모드가 O-모드보다 빛샘이 크다. 결과적으로 편향 각이 0°인 경우에 E-와 O-모드의 CR은 1510으로 동일하다. 그러나 1°의 편향 각을

가지게 되면 E-모드의 경우 503으로 O-모드의 경우 E-모드의 셀보다 20% 높은 값인 604로 CR이 감소하게 된다. 이를 통해 O-모드의 셀 구조는 E-모드보다 정면에서 높은 CR을 달성할 수 있는 명백한 이점을 갖는다. 우리는 또한 O- 와 E-모드의 CR에 대한 시야각 의존성을 조사해 본 결과 거의 동일한 등명암대비율을 보였다. 상부기판과 하부기판의 배향 각을 서로 일치시키지 않은 경우에 대해서도 조사해 보았다. 하부기판의 배향 각을 5° 이상 상부기판과 편향되었을 때에 대해서 고려해 보았으며 그 결과 O-모드에서의 빛샘이 E-모드에서 보다 적음을 알아냈다. 그리하여 O-모드는 하부기판의 배향각이 편향되었을 때에도 E-모드보다 공정 마진이 우수하다.

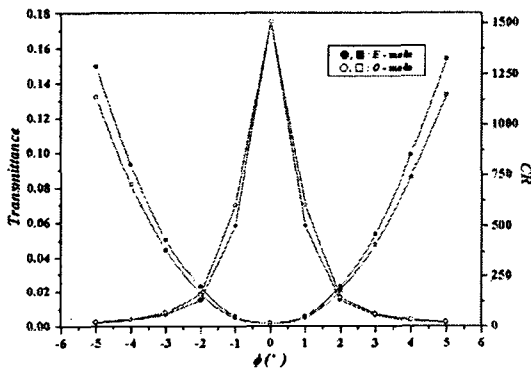


그림 3. E - 모드와 O - 모드 셀에서 이탈한 각의 함수에 따른 투과율 및 명암대비 값 비교.

Fig 3. Measured transmittance and contrast ratio as a function of deviation angle for the cell with the E- and the O- mode.

3. 결론

본 논문에서는 E- 모드와 O-모드의 셀 구조가 수평배열을 하는 액정에 있어서 CR에 얼마만큼 영향을 미치는지에 대해 셀 제조 공정에 관심을 가지고 조사하였다. 그 결과 편광판의 투과축과 액정 광축의 편향 각 그리고 하부기판의 배향각의 틀어짐이 언제든지 일어날 수 있는 상황이며 이런 경우 O-모드의 셀이 E-모드의 셀보다 뚜렷한 이점이 있다는 것을 보였다.

참고 문헌

- [1] M. Schadt, and W. Helfrich, "Voltage-dependent optical activity of twisted nematic liquid crystal", Appl. Phys. Lett., Vol. 18, No. 4, p. 127, 1971.
- [2] H. Yoshida, and J. Kelly, "Light behavior analysis of twisted nematic liquid crystal", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, p. 2116, 1997.
- [3] M. Oh-E, and K. Kondo, "Quantitative analysis of cell gap margin for uniform optical properties", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, No. 11, p. 6798, 1997.
- [4] H. Y. Kim, I. S. Song, and S. H. Lee, "Rubbing angle effects on the electro-optic characteristics of in-plane switching liquid crystal display", Trans. on EEM, Vol. 4, No. 1, p. 24. 2003.
- [5] J-D. Noh, H. Y. Kim, J-H. Kim, S-H. Nam, and S. H. Lee, "Rubbing Angle Effect on Response Time of the Fringe-Field Switching Nematic Liquid Crystal Display" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, p. 1290, 2003.
- [6] J-I. Hirakata, A. Shingai, K. Ono, K. Kawabe and T. Furuhashi, "Improvement of the Response Time of Super Thin Film Transistor Liquid Crystal Displays by Using a Backlight System" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, p. 1623, 2003.
- [7] P.Lazarev and M.Paukshto, "Low leakage off angle in E-polarizers" Journal of the Society for Information Display, 2001, in press