

내장형 위상자를 이용한 반사형 45° 비틀린 네마틱 액정 디스플레이의 전기광학 특성에 관한 연구

Study on Electro-optic Characteristics of 45° Reflective Twisted Nematic Mode using an In-cell Retarder

최민오¹, 임영진¹, 송제훈², 장원근³, 이승희^{1,a}

(Min Oh Choi¹, Young Jin Lim¹, Je Hoon Song², Jang Won Gun³, and Seung Hee Lee^{1,a})

Abstract

We have studied electro-optic characteristics of reflective 45° twisted nematic liquid crystal display which implement the new LC orientation using of in-cell retarder film. For the embodiment of reflective liquid crystal display, essentially the optic compensation films was always needed and attached to the outside of glass substrate. In our study, these optic compensation film were not employed in reflective LC cell. On other hand we have employed the in-cell retarder to substitute the optic compensation film and were able to orient the LC molecules using this in-cell retarder. So we have developed the reflective LC cell that has good optical performances without any additional coating process on the in-cell retarder.

Key Words : Reflective liquid crystal display, In-cell retarder, LC alignment effect

1. 서론

반사형 액정 디스플레이는 backlight를 사용하지 않기 때문에 얇고 가벼우며 소비전력이 적은 장점을 가지고 있어 투과형 액정 디스플레이와 다르게 mobile information display 소자로써 차츰 일반화되어가고 있다[1,2]. 반사형 액정 디스플레이가 갖춰야 할 성능에는 반사율과 명암 대비비(CR)등의 전기-광학적 특성 외에는 생산하기 쉬운 구조와 옥내의 시인성이 뛰어나야 한다. 반사형 LCD 모드에는 twisted nematic (TN)모드[3,4]와 고속응답성을 가지는 optically compensated bend (OCB)모드[5], 넓은 시야각의 fringe field switching(FFS)모

드[6], 그리고 편광판이 없는 guest-host (GH)모드[7] 등이 제안되었고, TN모드와 OCB모드는 광학 위상 필름을 최적화시켜 좋은 화질을 구현할 수 있다. 하지만 이러한 반사형 액정 디스플레이는 광학 위상 필름의 수가 증가하기 때문에 생산 공정이 복잡해지고 두께 증가, 화질 저하 등의 투과형 디스플레이에 비해 생산성이 떨어진다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 내장형 위상자를 액정셀 내부에 형성하는 반사형 디스플레이가 연구되어지고 있다. 하지만 액정을 특정 방향으로 정렬하기 위해서는 내장형 위상자 형성 후 추가의 배향막을 형성하고 이에 따른 Rubbing 공정을 해야만 된다[8]. 하지만 본 연구실에서 연구한 내장형 위상자의 특성연구를 보면 수평 배향막의 정렬 방향으로 내장형 위상자면 박막의 Reactive mesogenic 분자들이 정렬하여 이 방향으로 액정 분자들이 배향되는 특성이 있기 때문에 기존의 반사형 액정 디스플레이의 추가적인 배향막 형성과 이에 따른 Rubbing 공정을 하지 않고 반사형 액정 디스플레이를 구현할 수 있었다[9]. 본 논문에서는 이런 내장형 위상자의 액정 배향 효과를 이용

1. 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)
2. BOE-HYDIS, TECHNOLOGY CO., LTD
3. Korea Photonics Technology Institute, Camera Module Team
a. Corresponding Author : lsh1@chonbuk.ac.kr
접수일자 : 2006. 2. 1
1차 심사 : 2006. 3. 27
심사완료 : 2006. 4. 6

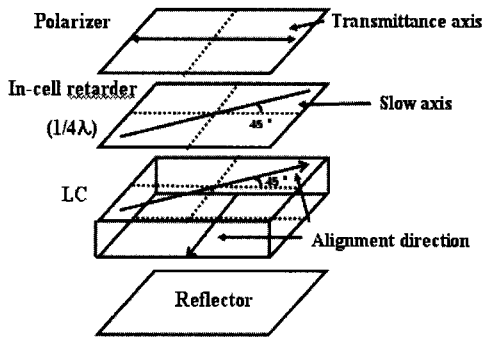


그림 1. 내장형 위상지연 박막을 이용하여 제안한 반사형 액정 디스플레이의 셀 구조.

Fig. 1. The proposed reflective LC cell using thin layer prepared from in-cell retarder.

하여 제조공정이 간단한 반사형 45° 비틀린 네마틱 액정셀을 제작하고 그에 따른 전기-광학적 특성을 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다.

2. 셀 구조 및 시뮬레이션 결과

2.1 셀 구조

본 논문에서 우리가 제안한 반사형 LCD의 전기광학특성에 대해서 2 X 2 Jones extended matrix 방법에 의해서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다[10]. 시뮬레이션에 사용된 액정은 입사광원의 파장(λ)이 550 nm일 때 액정의 굴절률 이방성(Δn)이 0.09이고 유전율 이방성($\Delta \epsilon$)이 7.4, 탄성 계수가 $K1 = 11.7$ pN, $K2 = 5.1$ pN, $K3 = 16.1$ pN인 액정을 사용하였으며, 상부와 하부 기관의 프리틸트각은 두 영역 모두 3°로 하였다. 상부 기관의 러빙 방향은 내부 위상자 박막의 지연 축과 같은 45°로 하였고 하판의 러빙은 액정셀이 45° 꼬아져야 하기 때문에 편광판의 투과축을 기준으로 하여 90° 방향으로 러빙 하였다. 액정 셀의 최적 위상 지연값은 액정의 Δn 을 고정시켜 놓고 셀 갭을 변화 시켜 최적 위상 지연값 ($d\Delta n$)을 구했다.

그림 1은 반사형 45° TN 모드의 셀 구조를 보여준다. 이 구조에서는 상부 내장형 위상자의 지연 축 방향으로 액정 분자들이 정렬하는 구조로써 수평축에 대해서 편광판의 투과축은 0°, 내장형 위상자의 지연축은 45°, 액정셀의 상부와 하부 기관의 러빙 방향은 각각 45°, -90°의 각을 이루고 있다. 전압이 인가되지 않았을 때, 입사광이 편광판

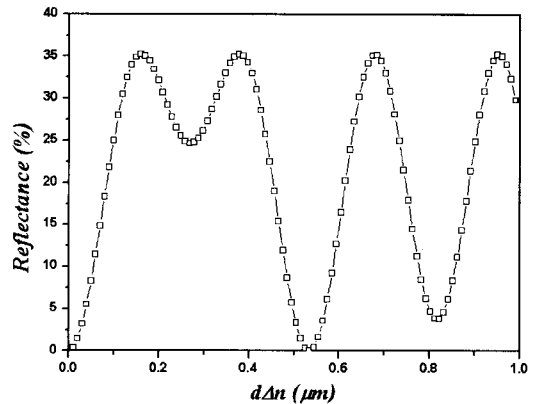


그림 2. 입사파장이 550 nm일 때에 $d\Delta n$ 에 따른 반사율.

Fig. 2. The reflectance of a function of $d\Delta n$ for incident light of 550 nm.

을 지나면 0°로 선편광된 빛이 되고 이 선편광된 빛이 위상지연축이 45°인 내장형 위상자를 지나면 좌원 편광된 빛이 되고 다시 좌원편광의 빛이 액정층을 지나면서 112.5°로 진동하는 선편광된 빛이 되고 반사판에 의해서 다시 액정층을 통과하게 되면 우원편광된 빛이 되고 이 우원편광된 빛이 내장형 위상자를 지나면서 0°로 선편광된 빛이 된다. 그러므로 편광판의 투과축과 일치해서 빛이 투과되므로 밝음 상태가 구현된다. 전압이 인가되면 액정 방향자가 전기장 방향에 대해서 평행하게 배열되기 시작해서 어느 전압 하에서는 액정셀이 위상지연을 일으키지 않으므로 좌원 편광된 빛이 액정 셀을 그대로 통과하고 반사판과 액정셀, 내장형 위상자를 통과하게 되면 처음 들어온 빛에 대해서 90° 회전된 빛이 되어 편광판에 의해 빛이 차단됨으로 어둡 상태를 구현한다.

2.2 시뮬레이션 결과

그림 2는 그림 1과 같은 구조에서 시뮬레이션을 통한 $d\Delta n$ 에 따른 반사율의 그래프이다. 1개의 편광판의 투과율은 35% 정도이며 이를 광효율 100%로 설정했을 때 광효율 최대인 지점의 액정 셀의 최적 위상지연 값은 0.17 μm 이고 이를 반사형 45° 비틀린 액정셀의 $d\Delta n$ 으로 설정하였다.

그림 3은 그림 1과 같은 구조에서 입사파장이 550 nm일 때 시뮬레이션을 이용하여 계산한 본 액정셀의 V-R Curve 이다. 액정 분자들이 45° 꼬아져 있는 구조로서 초기 액정 셀의 최적 위상지연

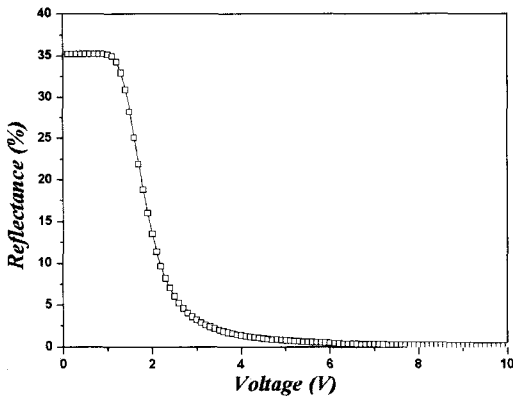


그림 3. 입사파장이 550 nm일 때에 전압인가에 따른 반사율.

Fig. 3. The reflectance of a function of applied voltage for incident light of 550 nm.

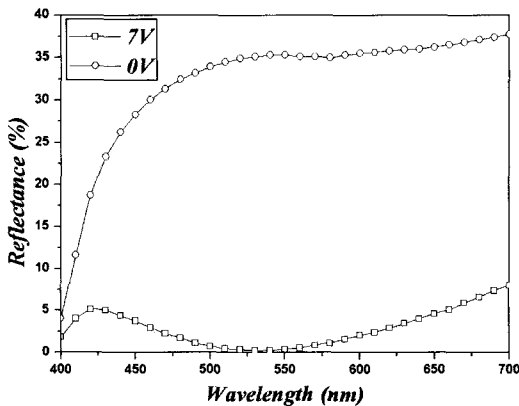


그림 4. 밝음 상태와 어둠 상태의 입사파장에 따른 반사율.

Fig. 4. Wavelength dispersion of reflectance for dark state(7 V) and white state(0 V).

값인 0.17 μm 이므로 좋은 밝음 상태를 보여주고 문턱전압은 1.0 V이며 전압 인가 시 형성되는 수직 전기장 방향으로 액정 분자들이 정렬하기 때문에 7 V 이상에서는 좋은 어둠 상태를 보여주고 있다.

그림 4는 입사 파장에 따른 45° 비틀어진 액정 셀에서 전압을 인가 할 때와 인가하지 않았을 때 파장에 따른 반사율을 보여주는 것이다. 전압 무인 가시 550 nm 근처의 파장에서는 좋은 밝음 상태를 보이는 반면 짧은 파장 대에서 반사율은 좋지

못한 밝음 상태를 보이고 있다. 전압 인가 시 550 nm 근방의 파장에는 좋은 어둠 상태를 보이는 반면 긴 파장과 짧은 파장 대에서는 light leakage가 존재하는 어둠 상태를 보여주고 있다.

3. 실험

본 실험에서 먼저 RMS03-001(Merck, $\Delta n:0.155$)을 이용하여 내장형 위상지연 박막을 제작하였다. 내장형 위상자 박막을 형성하기 위해서 먼저 수평 배향막(AL16139)을 스핀 코팅하여 열 경화한 후 내부 위상지연 박막의 Reactive mesogen mixture 분자들이 지연 축으로 정렬시키기 위해 지연 축 방향으로 러빙하였다. 그 후 RMS03-001을 스핀 코팅 후 UV를 이용하여 경화해서 내부 위상지연 박막을 형성 하였다. 액정 분자들을 45° 비틀어진 구조를 형성시키기 위해 셀 상부 액정은 내장형 위상자의 지연축에 의해 배향 되게 하고, 반사판과 인접해 있는 하부 기판은 수평 배향막을 형성한 후 러빙하여 액정 분자들을 배열 시켰다. 제작된 내장형 위상지연 박막의 위상지연 값은 137.5 nm으로 필름 부착형태의 위상차 필름을 대체할 수 있는 정확한 위상지연을 얻을 수 있었다.

4. 실험 결과

그림 5는 본 실험에서 제작한 45° 비틀어진 네마틱 액정 셀에서 전압을 인가하지 않았을 시 밝음 상태(a)와 전압 인가 시 어둠 상태(b)를 보여주고 있다. 전압을 인가하지 않은 밝음 상태의 편광 현미경 사진에서 보듯이 전 영역에 걸쳐 균일한 밝음 상태를 보여 주고 있다. 이것으로 보아 내장형 위상지연 박막 위의 추가적인 러빙 공정이 없이도 내장형 위상 지연 박막이 편광판을 지난 선편광의 빛을 원편광으로 바꿔줄 수 있는 위상차 필름의 역할 뿐만이 아닌 액정 분자들을 특정 방향으로 정렬시키는 수평 배향막의 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 전압인가 시 어둠 상태의 편광 현미경 사진에서 보듯이 전압인가로 인해 액정 분자들이 수직 전기장 방향으로 정렬될 시 Disclination line이 발생하지 않은 것을 알 수 있는데 이런 사실로써 내장형 위상지연 박막의 Pretilt 각이 매우 작지만 하부 기판의 수평 배향막의 Pretilt 각의 영향으로 전압을 인가하지 않았을 때 액정 분자들이 안정적으로 45° 꼬여져 있는 구조에서 전압인가

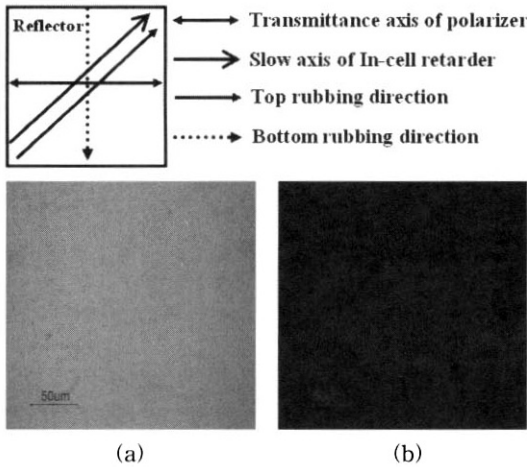


그림 5. 수직전기장에 의해 구동되는 45° 비틀어진 네마틱 액정 셀의 밝음 상태(a)와 어둠 상태(b)에서의 편광현미경 사진.

Fig. 5. Optical microphotographs of the vertical field driven 45° twisted nematic LC cell in (a)the white and (b)dark states.

시 수직 전기장에 의해 한쪽 방향으로 액정 분자들이 구동하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 초기 전압을 인가하지 않은 밝음 상태는 그림 5와 같이 밝음 상태의 빛이 노란색을 띠는 이유는 그림 4에서와 같이 높은 파장 근처의 반사율이 다른 파장 근처의 반사율 보다 상대적으로 높기 때문이다.

그림 6은 입사파장이 550 nm일 때 내부 위상 지연 박막을 사용한 45° 비틀어진 네마틱 액정 셀의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 하여 제작 후 측정을 통해 얻은 V-R Curve이다. 본 실험에서 제작한 45° 비틀어진 네마틱 액정 셀의 문턱전압은 1.7 V이며 명암 대비율은 전압을 인가하지 않은 밝음 상태와 7 V의 전압을 인가한 어둠상태를 비교했을 시 100대 1의 명암 대비율을 관찰 할 수 있었다.

시뮬레이션을 통해 얻은 문턱전압(1.0 V)과 제작한 액정 셀을 통해 측정된 문턱전압(1.7 V)의 차이가 나타나는데 그 요인은 시뮬레이션을 통해 논문에서 제안한 45° 비틀어진 네마틱 액정 셀을 구성할 때 유전체 성질을 갖는 내장형 위상자의 실제 두께와 유전률을 고려하지 않았기 때문에 문턱전압의 차이가 있다.

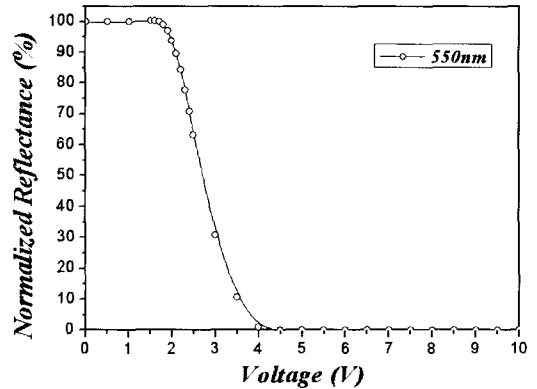


그림 6. 입사파장이 550 nm일 때, 전압에 따른 반사율의 시뮬레이션 결과와 실험적 결과.

Fig. 6. Experimental results and simulation results of voltage-dependent reflectance at an incident wavelength of 550 nm.

5. 결론

본 연구에서는 내장형 위상지연자를 수평 배향막으로 사용하여 추가적인 러빙 공정 없이 45° 비틀어진 네마틱 액정 셀의 구조를 가진 반사형 LCD를 제안하였다. 이와 같은 구조로 하여 최근의 생산 공정과 비용을 단축시키기 위해 기존의 위상차 필름 부착 방식을 대신하여 내장형 위상자를 사용하는데 있어서 추가의 수평 배향막 코팅 공정이 없이도 좋은 화질의 반사형 LCD를 제작 할 수 있었고 내장형 위상자가 액정분자들을 일정한 방향으로 정렬시킬 수 있는 수평 배향막의 역할을 확인하였다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] T. Ogawa, S. Fujita, Y. Iwai, and H. Koseki, "The Trends of Reflective LCDs for Future Electronic Paper", SID'98, p. 217, 1998.
- [2] R. Watanabe and O. Tomita, "Recent Trends Of The Active Matrix LCDs for Mobile Use", IDW'02, p. 397, 2002.

- [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] J. H. Song, T. B. Jung, and S. H. Lee, "Power consumption and viewing angle characteristics dependent on liquid crystal's twist angle in reflective twisted nematic mode", *J. of KIEEME(in Korean)*, Vol. 17, No. 2, p. 207, 2004.
- [5] J. H. Song, S. M. Oh, J. M. Rhee, and S. H. Lee, "Electro-optic characteristics of reflective optically compensated splay cell", *J. of KIEEME(in Korean)*, Vol. 17, No. 9, p. 983, 2004.
- [6] T. B. Jung, C. H. Park, H. Y. Kim, S. H. Hong, and S. H. Lee, "Reflective displays associated with fringe field switching", *Proc. of the 5th KLCC'02*, p. 77, 2002.
- [7] H. L. Ong, "Electro-optic properties of guest-host nematic liquid crystal display", *J. Appl. Phys. Lett.*, Vol. 63, No. 4, p. 619, 1977.
- [8] J. H. Song and S. H. Lee, "A single gap transreflective display using In-plane switching mode", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 43, No. 9A, p. 1130, 2004.
- [9] M. O. Choi, Y. J. Lim, and S. H. Lee, "The liquid crystal alignment effect of im-cell retarder using homogeneous alignment layer", *Proc. 2005 Annual Summer Conf. KIEEME*, Vol. 6, p. 449, 2005.
- [10] 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.