

꼬인 네마틱 액정 셀의 Normally Black 모드 광학설계

김기한 · 백종인 · 김재창 · 윤태훈[†]

부산대학교 전자전기통신공학부
☎ 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지

(2008년 1월 7일 받음, 2008년 1월 25일 수정본 받음)

본 논문에서는 90° 꼬인 네마틱 액정 셀에 전계를 인가하지 않았을 때 어두운 상태를 나타내는 normally black 모드 구현 시, 높은 명암비를 제공하는 광학구조를 제안하였다. 제안된 구조에서 +A 필름과 λ/2 필름을 각각 1 장씩 사용하여 90° 꼬인 액정층을 통과한 빛의 가시광 파장대에서 편광 상태가 거의 동일하게 만들어 줌으로써, 어두운 상태의 분광특성을 향상시킬 수 있다. PSD(Parameter Space Diagram) 방법을 사용하여 최적조건을 구해 계산한 결과 500: 1 이상의 높은 명암비를 확보할 수 있었으며, 어두운 상태뿐만 아니라 밝은 상태의 분광특성도 향상됨을 시뮬레이션 및 실험을 통해 확인할 수 있었다.

주제어 : Twisted nematic, Liquid crystal display, Normally black mode

I. 서 론

액정표시소자는 경량, 박형, 저 소비전력 등의 장점으로 휴대전화, PDA 등의 소형 기기에서부터 노트북이나 TV와 같은 중대형 기기까지 널리 사용되어 왔다. 액정표시소자에는 TN (Twisted Nematic),^[1] VA (Vertical Alignment),^[2] IPS (In-Plane Switching),^[3] FFS (Fringe-Field Switching)^[4] 등 여러 가지 모드가 있는데, 그 중에서도 TN 모드는 높은 개구율, 우수한 분광특성 및 높은 셀 갭 마진 등의 장점으로 널리 사용되어 왔다.

일반적으로, 대형 TV에 주로 사용되는 VA 모드 및 IPS 모드는 NB (normally black) 모드로 주로 사용된다. 하지만 TN 모드에서는 액정이 90° 꼬이게 배열하므로, 다른 모드들과는 다르게 편광판의 투과축이 서로 수직하게 두면 전계를 인가하지 않은 상태에서 밝은 상태를 나타내는 NW (normally white) 모드가 되고, 평행하게 두면 어두운 상태를 나타내는 NB 모드가 된다. NB-TN 모드는 전계를 인가하지 않은 상태에서 중심 파장 이외의 영역에서는 빛샘이 발생하므로 명암비가 저하되는 문제가 발생하기 때문에, 상대적으로 높은 명암비와 밝은 상태에서의 우수한 분광 특성을 나타내는 NW-TN 모드가 현재까지 주로 사용되어 왔다. 그러나, NW-TN 모드는 단위 화소의 불량 발생률 경우 불량 화소는 항상 밝은 상태를 나타내므로, 명암비의 저하로 시인성이 감소되는 문제가 발생하였다. NB-TN 모드는 전계를 인가하지 않았을 때 어두운 상태를 나타내기 때문에, 불량 화소가 발생하더라도 시인성에 크게 영향을 주지 않는 장점을 가질 수 있다.

NB-TN 모드의 초기 빛샘을 줄이기 위하여 네 장의 광학 필름을 사용하여 어두운 상태의 분광특성을 개선한 방법이

보고된 적은 있었으나, 다수의 필름을 사용함으로써 단가가 상승될 뿐 아니라, 일반적으로 쉽게 구할 수 없는 negative uniaxial 필름을 사용함으로써 수급 측면에서도 문제가 발생할 수 있다.^[5] 본 논문에서는, NB-TN 모드 구현 시 두 장의 positive uniaxial 필름을 사용하여 NB-TN 모드 구현 시 우수한 분광특성을 확보할 수 있는 광학구조를 제안하였다.

II. 제안된 구조와 보상기법

그림 1은 편광판에 의해 0°로 선형 편광된 빛이 90° TN 액정 층을 통과할 때, 450 nm (Blue), 550 nm (Green), 650 nm (Red) 각 파장의 편광 상태의 변화를 뽀양까레 구면 상에 나타낸 것을 S₁-S₂ 평면과 S₂-S₃ 평면으로 각각 옮겨 그린 것이다.^[6] 그림에서, 전파장대에서 동일한 편광상태를 갖는 빛이 입사하더라도 TN 액정층을 통과한 후에는 파장 별로 서로 다른 편광상태를 갖게 되는 것을 확인할 수 있다. Green (G) 을 기준으로, 액정 층을 통과 시 파장이 짧은 Blue (B) 가 더 큰 위상지연 값을 갖게 되어 뽀양까레 구면상에서는 더 작은 곡률반경을 갖게 되고, 파장이 긴 Red (R) 는 더 작은 위상지연 값을 갖게 되어 뽀양까레 구면상에서는 더 큰 곡률반경을 갖게 된다. 이러한 분산 특성으로 인해, NB-TN 모드는 전계를 인가하지 않은 어두운 상태에서 상하 편광판의 투과축을 서로 평행하게 위치시켰을 때 중심파장 이외의 영역에서 빛샘이 발생하게 되며, 이는 명암비를 저하시키는 주 원인이 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해, TN 액정 층에 파장별로 서로 다른 편광상태를 갖는 빛을 입사시키는 방법을 생각해 볼 수 있다. 그림 2는 그림 1과 반대로 90도 선편광된 빛이 -90°로 꼬여있는 TN 액정 층을 통과한 후의 편광 상태를 나타낸다. 90°도 꼬여있는 TN 액정 층에 입사하는 빛이 그림 2의 출사광과 같이 파장별로 서로 다른 편광상태를 갖도록 할

[†]E-mail: thyoon@pusan.ac.kr

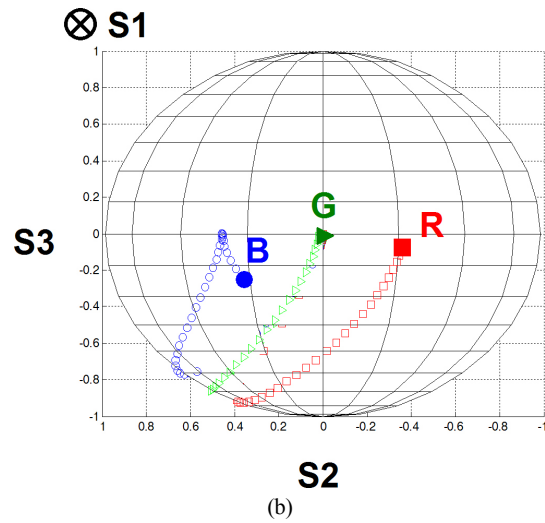
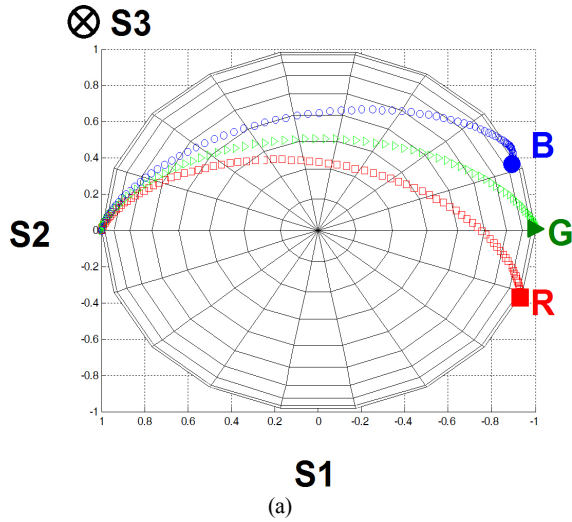


그림 1. 0° 선편광된 RGB 각 파장의 빛이 90° 꼬인 TN 액정층을 통과 시, 편광상태의 변화를 (a) S₂-S₃ 평면과 (b) S₁-S₂ 평면에 그린 궤적.

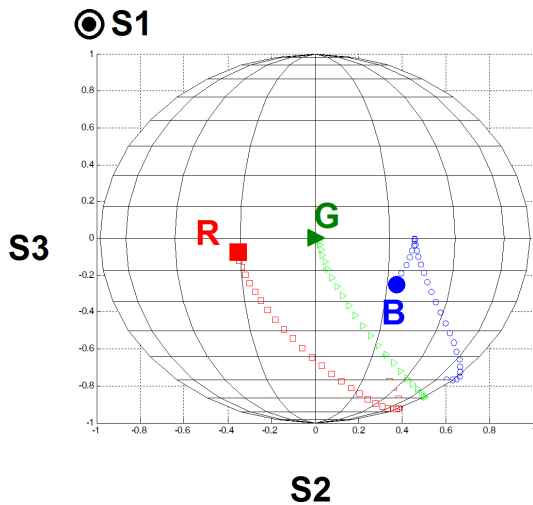


그림 2. 90° 선편광된 RGB 각 파장의 빛이 -90° 꼬인 TN 액정층을 통과 시, 편광상태의 변화를 S₂-S₃ 평면에 그린 궤적.

수 있다면, TN 액정 층을 통과한 후에 RGB 모두가 한 점으로 모이게 되어 우수한 분광특성을 확보할 수 있을 것이라 예상할 수 있다.

제안하는 원리로 NB-TN 모드에서 높은 명암비를 확보하기 위해, 본 논문에서는 그림 3과 같은 광학 구조를 제안한다. 그림 4는 제안하는 구조의 동작 원리를 나타낸다. 투과축

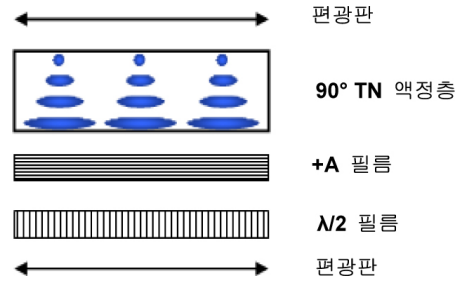


그림 3. NB-TN 모드의 어두운 상태에서 분산특성을 개선하기 위해 제안하는 구조.

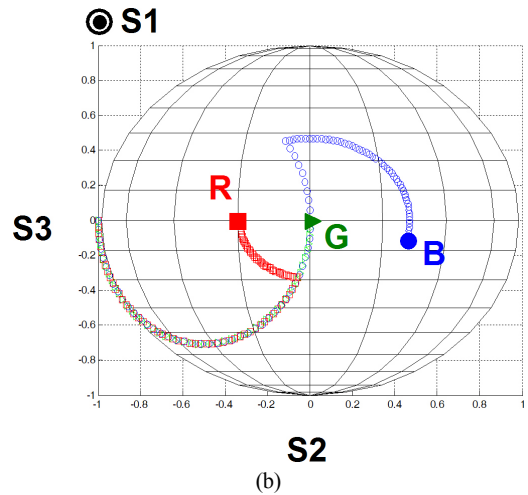
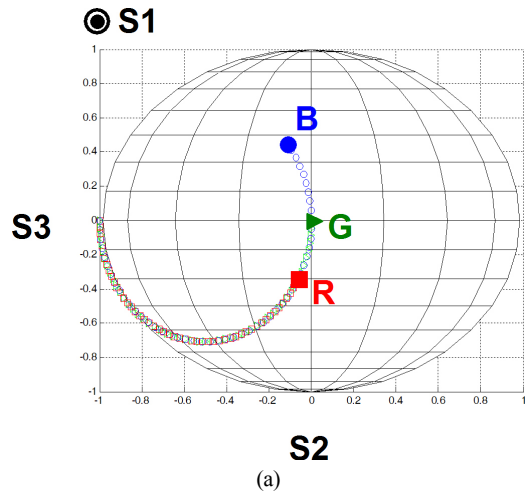


그림 4. 편광판을 통과한 빛이 (a) λ/2 필름을 통과한 후와 (b) λ/2 필름과 +A 필름을 통과한 후에 뽀양까레 구면에서 RGB 각 파장의 궤적.

각이 임의의 각도를 갖는 편광판의 상부에 $\lambda/2$ 필름이 위치하면, 편광판을 통과한 후의 RGB는 뿔앙카레 구면 상에서 그림 4(a)와 같은 궤적을 따라 편광상태가 변하게 된다. 이때, 광학설계 시 중심 파장이 되는 Green은, $\lambda/2$ 필름의 광축 각도를 편광판의 투과축 각도와 TN 액정층 입력단 액정의 배향 각도의 중심각을 갖도록 설계함으로써 뿔앙카레 구면 상의 점 (1, 0, 0)에 위치하도록 하였다. 그림 4(b)는 +A 필름이 $\lambda/2$ 필름과 TN 액정 층 사이에 위치하는 경우, TN 액정층을 통과 하기 전 RGB 각각의 편광상태의 변화를 나타낸다. +A 필름의 광축이 -90° 가 되게 설계함으로써, 그림 4(a)에서의 B와 R 파장의 편광 상태가 G를 중심으로 뿔앙카레 구면에서 시계 방향으로 궤적을 그리며 회전하게 된다. 이러한 방법으로, TN 액정 층을 통과하기 이전에, TN 액정 층에 의해 발생하게 될 분산을 상쇄시키도록 미리 가시광 파장별로 편광 상태를 변화시킬 수 있다.

III. 시뮬레이션 결과

앞서 제시한 그림 3의 광학 구조에서는 두 개의 변수를 설정할 수 있다. 첫 번째는 편광판의 투과축 각도이며, 이 값과 TN 액정층에서 입력단 액정의 배향 각도에 의해 $\lambda/2$ 필름의 광축 방향이 결정된다. +A 필름의 광축은 -90° 로 고정된 상태에서, 위상지연 값(Δnd)을 두 번째 변수로 설정하여 최적값을 찾을 수 있다. 두 변수들의 최적값을 찾기 위해, PSD(Parameter Space Diagram) 방법을 사용하였다.^[7] PSD 방법은 두 개의 변수에 대한 함수값을 계산하는 데 유용한 방법으로, 여기서는 변수로 지정한 두 가지 값들의 변화에 따른 초기 어두운 상태에서의 투과율 값을 확인할 수 있다. 이 때, 전체 광학 구조에서 G는 중심파장으로 초기에 항상 어두운 상태를 갖게 되므로 고려 대상에서 제외되었다.

그림 5는 B와 R 각각에 대해, 편광판의 투과축 각도와 +A 필름의 위상지연 값에 따른 어두운 상태의 투과율을 계산한 결과이다. 붉은색은 해당 파장에서의 높은 투과율, 파란색은 낮은 투과율을 나타낸다. 어두운 상태에서 우수한 분광특성을 갖는 조건을 확보하기 위해서는, B와 R에서 모두 가장 낮은 투과율 값을 갖는 조건을 찾아야 한다. 본 시뮬레이션에서는, 편광판의 투과축 각도와 +A 필름의 위상지연 값의 최적 조건으로 각각 $(-45^\circ, 145 \text{ nm})$, $(-37^\circ, 165 \text{ nm})$, $(-40^\circ, 170 \text{ nm})$ 인 세 가지 조합을 확보하여 고려하였다.

그림 6은 제안된 구조에서 PSD를 통해 얻은 편광판의 투과축 각도와 +A 필름의 위상지연 값의 세 가지 조합을 적용시킨 구조에서, TN 액정 층을 통과한 후 뿔앙카레 구면에서 확인한 RGB의 편광 상태 변화를 나타낸다. 보상 전보다 B와 R이 중심 파장인 G에 더 근접해 있으므로 우수한 분광특성을 나타낼 것으로 기대할 수 있다.

그림 7(a)는 제안하는 방법으로 보상의 구조와 기존의 NB-TN 모드, 그리고 투과축이 서로 직교하는 편광판 조건을 제외한 몇 가지 조합의 광학필름으로 어두운 상태를 만들

어서 분광특성을 비교하여 살펴본 것이다. 투과축이 서로 평행한 편광판 사이에서, 광대역 $\lambda/2$ 구조는 광축이 각각 22.5° , 67.5° 인 두 장의 $\lambda/2$ 필름을 사용하였고, 광대역 $\lambda/4$ 구조는 광축이 각각 15° , 75° , 15° 인 세 장의 $\lambda/2$ 필름을 사용하였다.^[8] PSD를 통해 얻은 최적값 중에서, 편광판의 투과축 각도와 +A 필름의 위상지연 값을 각각 $(-45^\circ, 145 \text{ nm})$ 로 설계할 경우, 전 파장 영역에서 어두운 상태의 우수한 분광특성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있다. 밝은 상태에서도 그림 7(b)와 같이 우수한 분광특성을 확보할 수 있었다. 이는 상하 편광판의 투과축이 이루는 각도가 90° 보다 작기 때문에 확보할 수 있는 추가적인 장점이다. 명암비는 밝은 상태에서의 투과율을 어두운 상태에서 투과율로 나누어 계산하였으며, 밝은 상태와 어두운 상태 각각의 투과율은 450 nm에서 700 nm까지의 파장별 투과율의 평균으로 구하여 계산하였다. 그 결과, 보상 전에는 50:1의 낮은 명암비를 나타내는

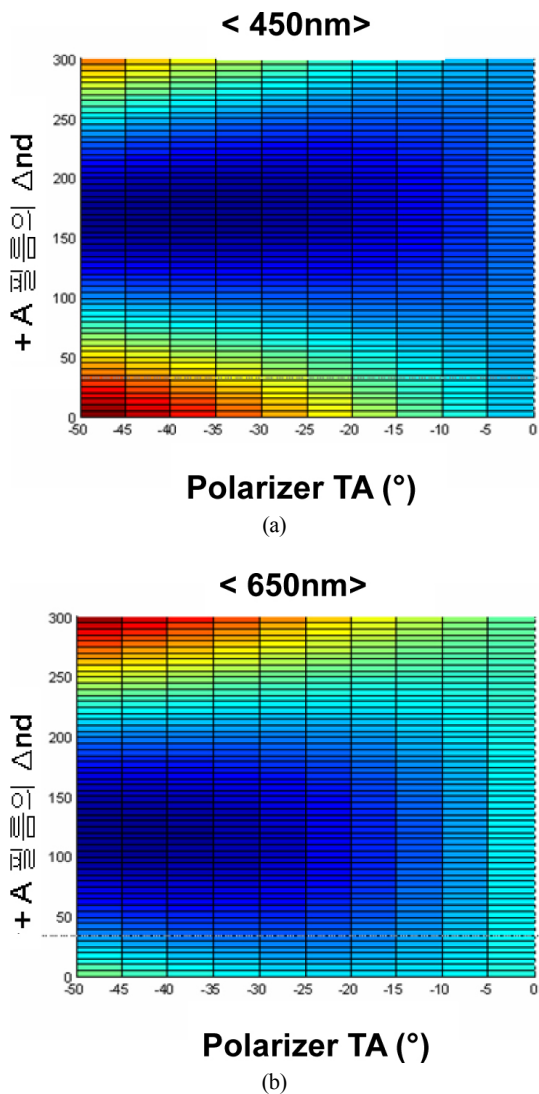


그림 5. (a) B와 (b) R 파장에 대해 편광판의 투과축 각도와 +A 필름의 Δnd 값에 따른 어두운 상태에서의 투과율 시뮬레이션 결과.

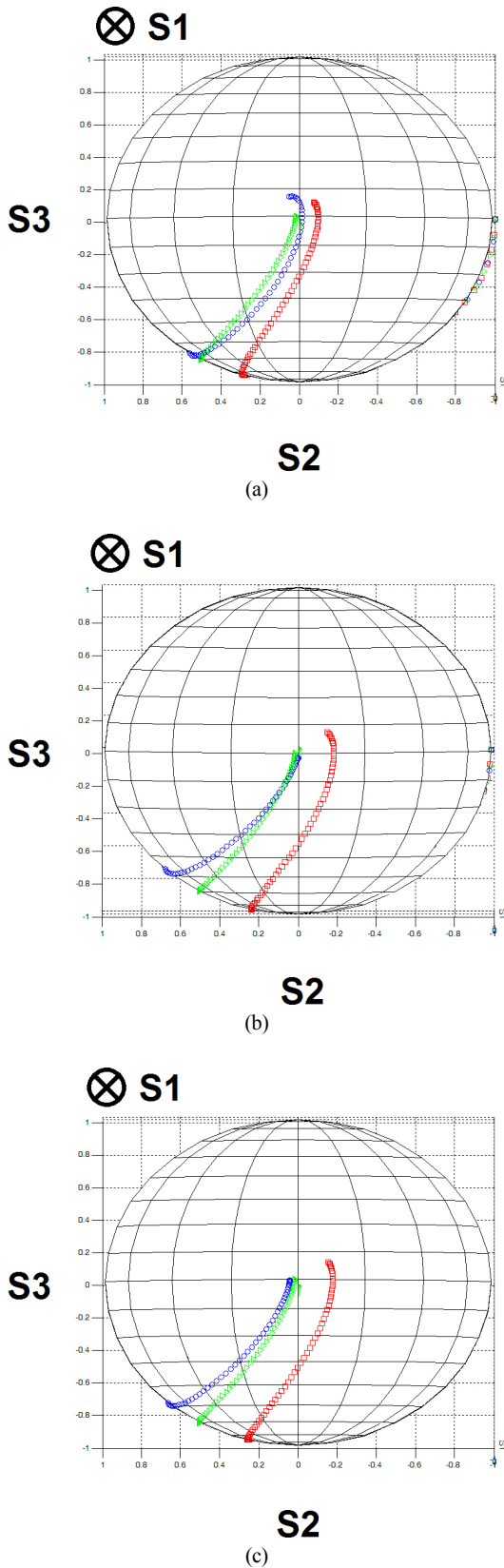


그림 6. PSD를 통해 확보한 +A 필름의 $\Delta n d$ 와 편광판 투과축 각도의 조합인 (a) (145 nm, -45°), (b) (170 nm, -40°), (c) (165 nm, -37°)를 적용하여 보상한 경우, TN 액정 층을 통과한 후 RGB 각각의 편광상태를 S_2 - S_3 평면에 그린 궤적.

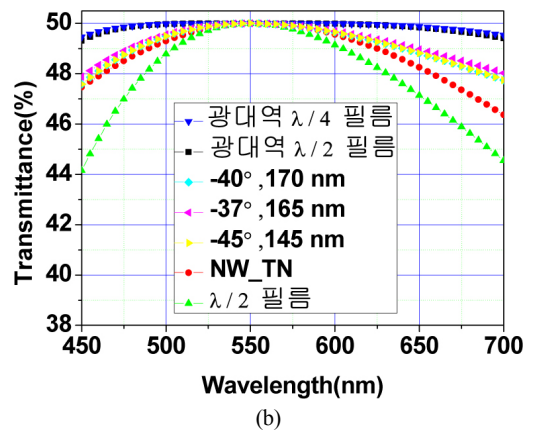
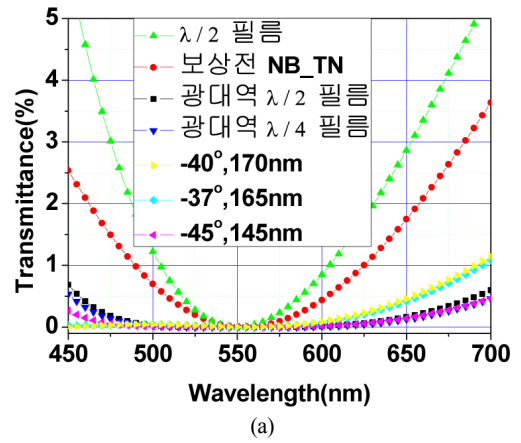


그림 7. 제안하는 방법으로 보상하기 전과 후의 NB-TN 모드 및 여러가지 조합의 광학필름으로 구현한 조건에서의 (a) 어두운 상태와 (b) 밝은 상태에서의 분산특성.

NB-TN 모드에 제안한 광학 구조 및 최적값을 적용하여 500:1 이상의 높은 명암비를 확보할 수 있었다.

IV. 실험결과

TN 모드 샘플의 제작에 사용된 액정은 Merck사의 ZLI-3412-000(Δn : 0.0792)이며, 셀 갭은 6.01 μm 로 설계하였다. 이러한 조건은 90° TN 액정 셀의 첫 번째 최소 조건을 만족한다.^[9] 실험에서 사용한 +A 필름의 위상지연 값은 159 nm 였는데, 이 값은 시뮬레이션에서 확보한 최적조건과 다르기 때문에 이에 맞는 편광판 투과축의 최적값을 PSD를 통해 다시 계산한 결과, -42° 에서 가장 우수한 특성을 확인할 수 있었다. 그림 8(a)는 보상 전후의 NB-TN 액정 셀 및 여러 광학 필름의 조합으로 실험을 통하여 측정된 분산특성을 나타낸다. 전 파장대에서 우수한 분산특성을 얻을 수 있었으며, 그림 8(b)와 같이 밝은 상태에서도 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 우수한 분광특성을 얻을 수 있었다. 보상이 없는 NB-TN의 밝은 상태에서 분광특성은 투과축이 서로 평행한 두 장의 편광판만 있는 조건과 거의 같을 것이기 때문에, 밝은 상태의 분광특성은 전압을 인가하지 않은 NW-TN모드와 비

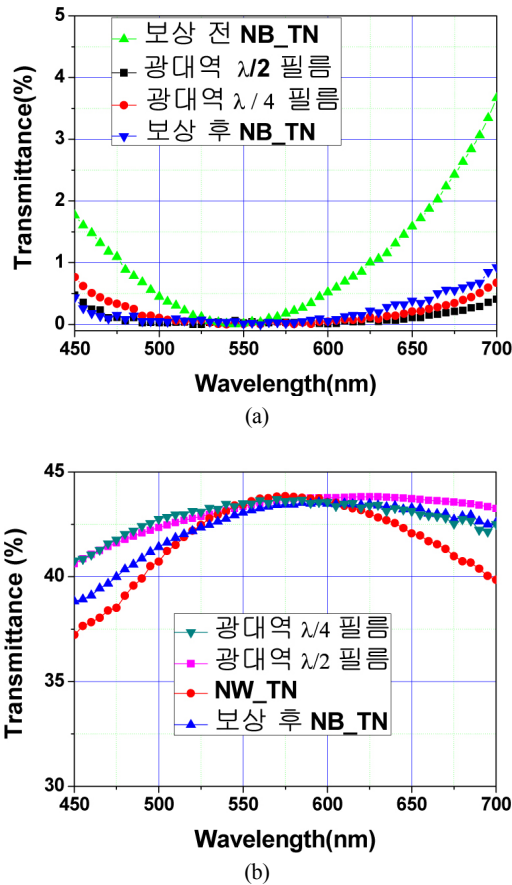


그림 8. 159 nm의 위상지연값을 갖는 +A 필름으로 편광판의 투과축 각도가 -42°인 조건에서 확인한 NB-TN 셀의 (a) 어두운 상태와 (b) 밝은 상태의 분산특성 측정 결과.

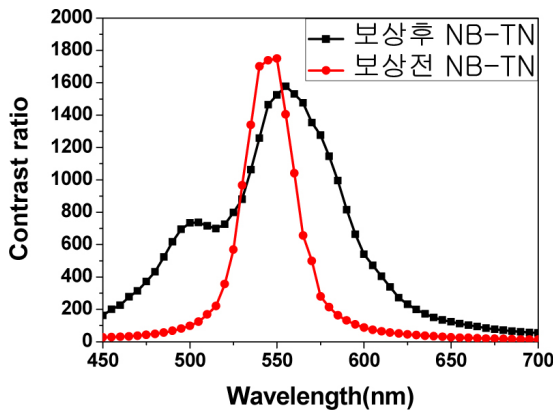


그림 9. 보상 전의 NB-TN 모드와 제안된 방법으로 보상한 NB-TN 모드의 파장별 명암비 측정 결과.

교하였다.

그림 9는 제안한 구조로 보상한 후 실험을 통해 측정된 NB-TN모드의 각 파장에 대한 명암비를 나타낸 것으로, 중심 파장 영역 부근에서 다소 명암비가 감소하는 파장대가 확인되지만 단파장과 장파장 영역에서도 80:1 이상의 명암비를 확보함으로써, 40:1의 낮은 명암비를 갖는 보상하지 않은

NB-TN 모드에 비해 200:1 이상의 높은 명암비를 확보할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는, λ/2 필름과 +A 필름을 사용하여 NB-TN 모드의 어두운 상태의 분광 특성을 개선하여 명암비를 향상시킬 수 있는 광학 구조를 제안하였다. PSD를 통해 최적값을 찾아서 기본 특성을 확인하였으며, 실험에서는 최적 조건이 아닌 +A 필름을 사용하였으나 역시 우수한 분광특성을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션을 통하여, 50:1 이하의 낮은 명암비를 갖는 NB-TN 액정표시소자에 제안하는 구조를 적용할 경우 500:1 이상의 높은 명암비를 확인할 수 있었다. 실험을 통해서도 확인한 결과, 명암비가 약 5배 이상 높아짐을 확인할 수 있었고, 밝은 상태의 분광 특성 또한 기존의 NW-TN 모드에 비해 개선됨을 확인할 수 있었다. 제안된 설계 방법은, 다양한 장점을 갖는 TN 액정표시소자로 NB 모드를 구현 시에 가장 문제되었던 명암비 특성을 개선시킬 수 있는 중요한 역할을 할 수 있으리라 기대된다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] C. Z. van Doorn, "Dynamic behavior of twisted nematic liquid-crystal layers in switched fields," *J. Appl. Phys.*, vol. 46, pp. 3738-3745, 1975.
- [2] M. F. Schiekel and K. Fahrenschon, "Deformation of nematic liquid crystals with vertical orientation in electric fields," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 19, pp. 391-393, 1971.
- [3] M. Oh-e and K. Kondo, "Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 67, pp. 3895-3897, 1995.
- [4] S. H. Lee, S. L. 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. 73, pp. 2881-2883, 1998.
- [5] T. Sergan, W. Liu, J. Kelly, and H. Yoshimi, "Achromatic normally black twisted nematic device with wide viewing angle using negative-in-plane compensation films," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, pp. 889-894, 1998.
- [6] J. E. Bigelow, and R. A. Kashnow, "Poincare sphere analysis of liquid crystal optics," *Appl. Opt.*, vol. 16, pp. 2090-2096, 1997.
- [7] H. S. Kwok, "Parameter space representation of liquid crystal display operating modes," *J. Appl. Phys.*, vol. 80, pp. 3687-3693, 1996.

- [8] Tae-Hoon Yoon, Gi-Dong Lee, and Jae Chang Kim, "Nontwist quarter-wave liquid-crystal cell for a high-contrast reflective display," *Opt. Lett.*, vol. 25, pp. 1547-1549, 2000.
- [9] C. H. Gooch and H. A. Tarry, "The optical properties of twisted nematic liquid crystal structures with twist angles $\leq 90^\circ$," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 8, pp. 1575-1584, 1975.

An Optical Configuration for the Normally Black Twisted Nematic Liquid Crystal Cell

Ki-Han Kim, Jong-In Baek, Jae Chang Kim, and Tae-Hoon Yoon[†]

School of Electrical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

[†]*E-mail: thyoon@pusan.ac.kr*

(Received January 7, 2008, Revised manuscript January 25, 2008)

We propose an optical configuration to compensate dispersion characteristics in the dark state of normally black twisted nematic (NB-TN) liquid crystal display (LCD). We employed a half-wave plate (HWP) and a +A plate to achieve the superior dark state. By using the parameter space diagram (PSD) method, we could obtain the optimum values of parameters and the high contrast-ratio over 500 : 1 could be obtained. Furthermore, excellent dispersion characteristics were also obtained in the bright state. We could confirm the performance of the proposed structure using both the numerical calculations and the experiments.