

## 색 편광판을 이용한 3층 구조 TN LCD의 설계

박경호<sup>†</sup> · 이기동 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

⑨ 609-735 부산시 금정구 장전동 산30번지

(2001년 5월 14일 받음, 2001년 7월 19일 수정본 받음)

본 논문에서는 감색 혼법을 이용하는 3층 구조 LCD를 제시하였다. 제안된 구조는 1장의 무색 편광판과 3장의 색 편광판을 이용하여, 색 편광판만을 이용할 때 생기는 빛의 누설현상을 줄여, 명암 대비비를 향상시키는 효과를 얻었다. 그리고, 높은 색 특성을 나타내기 위해 색 편광판의 순서를 최적화 하였다.

분류코드 : DT.010.

### I. 서 론

일반적으로, 표시 소자에서 색을 표시하는 방법은 가색 혼법과 감색 혼법<sup>[1-3]</sup>이 있다. 가색 혼법은 3가지 광원(적색, 녹색, 청색)을 더함으로 색을 표현하는 방식이다. 가색 혼법을 액정 표시 소자에 적용할 경우 매우 높은 명암 대비비를 얻을 수 있으나, 밝은 상태의 광 세기가 이론적으로 입력광의 1/3로 줄어들기 때문에 투과율이 낮아지는 단점이 있다. 거기다 편광판으로 인해 LCD 소자의 최대 출력광은 입사광의 1/9가 된다. 감색 혼법은 기본 색인 시안, 마젠타, 노랑색으로 3층을 쌓아 색을 제거함으로 천연색을 구현한다. 감색 혼법은 이론적으로 밝은 상태에서 입력광의 모두를 출력광으로 얻을 수 있으며, LCD cell에 편광판을 사용한다고 해도 1/2의 출력광을 얻을 수 있다. 감색 혼법은 색 편광판이나 색염료를 사용하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 색염료를 사용하는 감색 혼법은 100%의 출력광이 나오지만 낮은 흡수율과 용해도와 같은 색 염료의 고유 특성으로 인해 명암 대비비가 낮아지게 되어 색 특성을 저하시키게 된다. 이러한 문제는 색 편광판을 사용하면 출력광이 1/2로 감소하더라도 해결될 수 있다. 이전의 3층 구조 TN LCD의 구조<sup>[4]</sup>는 총 4개의 색 편광판을 사용하였다. 그러나, 색 편광판의 불완전한 편광 특성 때문에 실제적으로 빛의 누설을 막는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 3개의 색 편광판과 1개의 무색 편광판을 사용하여 누설광을 줄임으로 명암 대비비를 높일 수 있는 3층 구조 LCD의 새로운 광학 구조를 제안하였다.

### II. 색 편광판의 모델링

액정 셀과 색 편광판의 순서를 최적화하기 위해 Jones 행렬 이용하여 색 편광판을 모델링하였다.

색 편광판은 투과축의 수평인 방향으로 진동하는 빛은 모두

통과시키는 반면, 투과 축에 수직인 방향으로 진동하는 빛은 선택적으로 흡수한다. 이러한 특성을 행렬에 적용시키려면, 각 파장에 따른 투과율의 의존성을 행렬에 포함시키면 된다. 그럼 1은 각 색 편광판의 투과축의 특성을 이상적으로 표현한 것이다. 이 특성을 행렬로 모델링한 것을 식 (1)에 표현하였다.

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \text{color}(\lambda) \end{pmatrix} \quad (\text{TA, vertical}) \quad (1)$$

### III. 3-stack color LCD의 새로운 구조

색 편광판을 사용하는 최적의 3층 구조 LCD는 4개의 색 편광판과 3개의 LC cell들로 구성되어 있다. 그러나 이렇게 간단한 구조임에도 불구하고 고 대비비는 쉽게 얻어지지 않는다. 그 이유는 색 편광판이 가시광 영역에서는 불완전한 편광 특성을 나타내어 어두운 상태에서 심각한 누설광이 발생하기 때문이다. 이런 누설광을 줄이기 위해, 한 개의 색 편광판 대신에 무색 편광판을 사용했다. 그럼 2에서는 색 편광판 4장을 이용한 어두운 상태와 무색 편광판과 색 편광판 3장을 이용한 어두운 상태를 비교하였다.

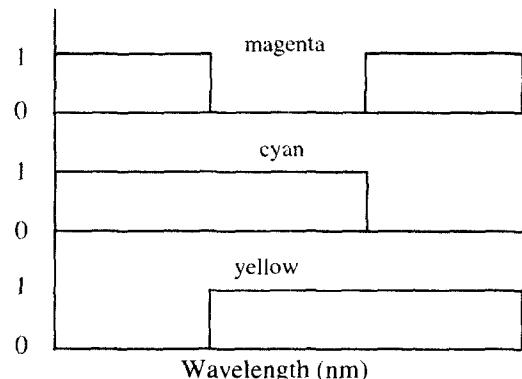


그림 1. Cross state에서의 색 편광판의 이상적인 spectra.

<sup>†</sup>E-mail: khopark@hyowon.pusan.ac.kr

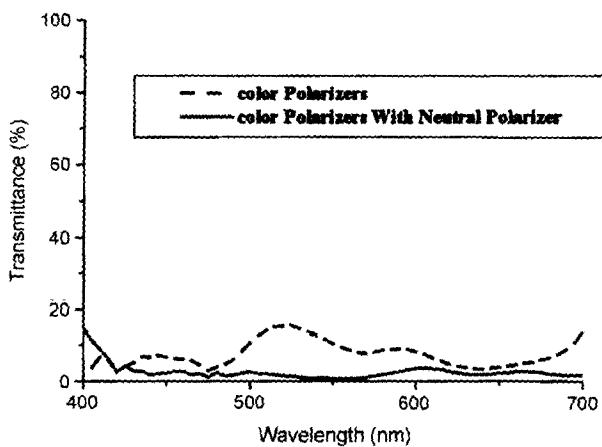


그림 2. 어두운 상태의 색 특성 비교.

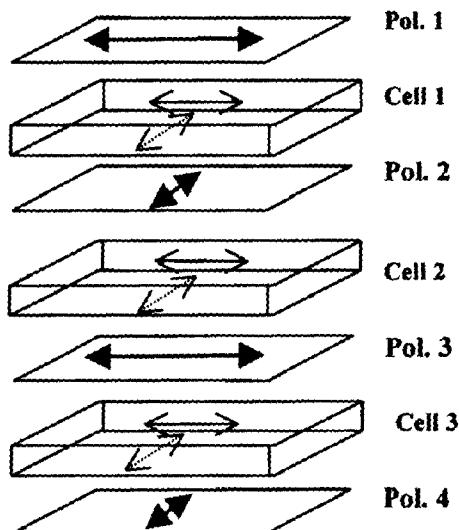


그림 3. 3층 구조 LCD의 광학구조.

그림에서 알 수 있듯 색 편광판의 불완전한 편광특성을 무색 편광판이 보상을 하는 것을 볼 수 있다. 이 결과를 이용하여 1개의 편광판과 3개의 색 편광판 마젠타, 시안 그리고 노랑, 그리고 3개의 액정 셀로 구성된 3층 구조 TN LCD의 광학구조 제안한다. 그림 3는 이 광학 구조를 설명하고 있다. 3 각 층의 액정 셀을 최적화하기 위해 셀의  $\Delta n d$ 와 각 편광판들의 순서의 결정을 위한 광특성을 계산하였다. 이 계산에 따라 각 셀은 second minimum 조건에서 각 셀의  $\Delta n d$ 를 얻었는데 이 조건을 사용한 이유는 second minimum 조건에서 Mauguin 조건을 만족하여 편광판을 지난 빛이 편광상태가 최대한 유지되면서 90°만큼 회전할 수 있기 때문이다. 각 셀의 조건은 시안 셀의  $\Delta n d$ 는 1.26  $\mu\text{m}$ , 마젠타 셀은 1.06  $\mu\text{m}$ , 그리고 노랑 셀은 0.89  $\mu\text{m}$ 로 얻었다.

완전한 광학구조, 특히 무색 편광판의 위치 결정을 위해 편광판의 배치 순서를 연구하였다. 각 편광판의 순서를 결정하기 위해, 밝은 상태에서 밝기에 영향을 주는 무색 편광판의 위치에 의한 효과를 연구했다. 만약 편광판이 이상적이라고 가

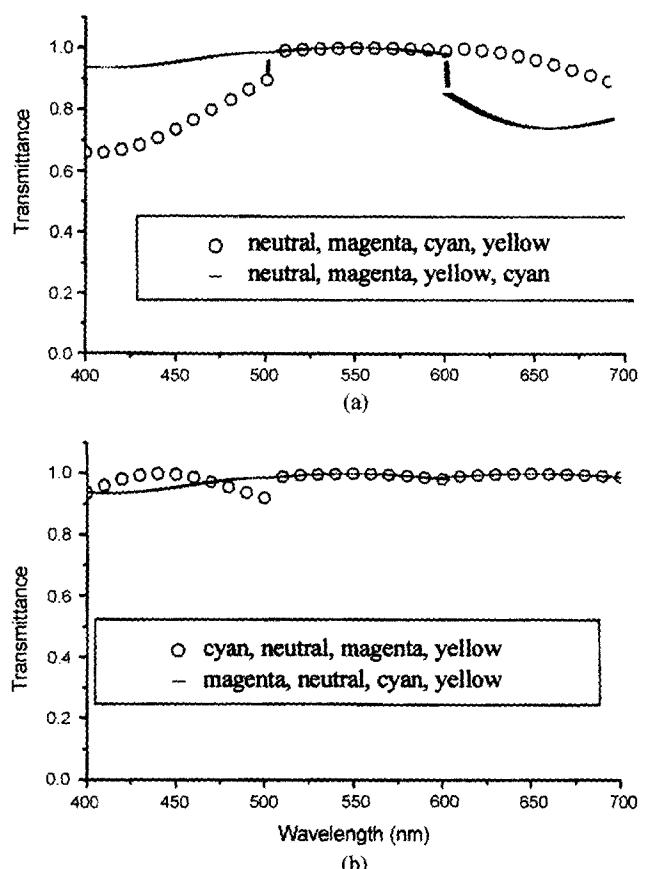


그림 4. 무색 편광판의 위치에 의존하는 밝은 상태의 투과율 계산치.

정하면 어두운 상태는 완벽할 것이다. 그림 4는 NW 모드에서의 3층 구조 TN LCD의 분광특성의 계산 결과를 보여주고 있다.

무색 편광판이 pol. 1이라면, cell 1은 통과하는 빛을 완벽하게 회전시킬 것이다. 왜냐하면 무색 편광판이 가시광 영역 전체를 편광시키기 때문이다. 그러나, cell 2와 cell 3를 통과하는 빛은 편광상태가 cell 1의 영향을 받기 때문에 감소하게 된다. 특히, cell 3를 통과하는 빛의 편광상태는 cell 1 뿐만 아니라 cell 2의 영향도 받게 된다. 이는 투과율의 감소를 가져온다. 이런 관점에서, 무색 편광판이 pol. 2라면 진행하는 빛의 투과율은 pol. 1일 때 보다 더 좋게 된다. 그 이유는 cell 3을 통과하는 편광상태만이 영향을 주기 때문이다. 그림 4(a)는 무색 편광판이 LCD의 앞(pol. 1)에 있을 때 계산된 투과율을 보여주고 있다. 원형선은 cell 3가 노랑 cell인 경우의 투과율이고, 실선은 cell 3가 시안 cell인 경우를 의미한다. 이 그림에서, 원형 선의 파랑 파장영역과 실선의 빨강 파장대의 투과율은 각 조건에서의 나머지 파장대와 비교하면 좋지가 않다. 앞의 조건과 비교해 볼 때, 투과율은 그림 4(b)에서와 같이 무색 편광판을 pol. 2의 위치에 두었을 때 더 향상된다. 즉, 광 투과율을 높이기 위해서 액정 셀들 사이에 무색 편광판을 두어야 한다는 것을 확인할 수 있었다. 가장 최적화 된 투과율을 얻기 위해 무색 편광판의 위치 뿐 아니라 색 편광판의 순서를 정하였다. 무색 편광판의 위치를 pol. 2에 두고, 색 편광판의

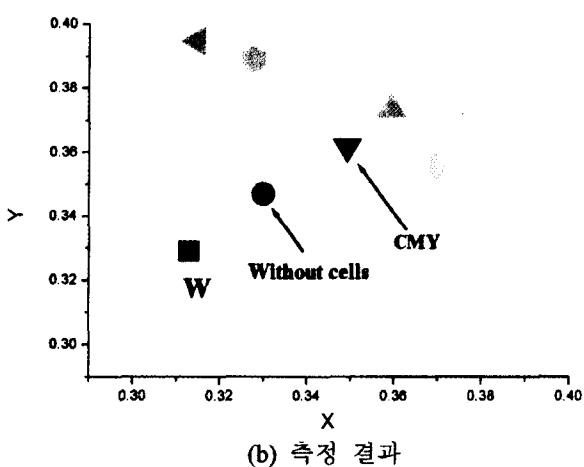
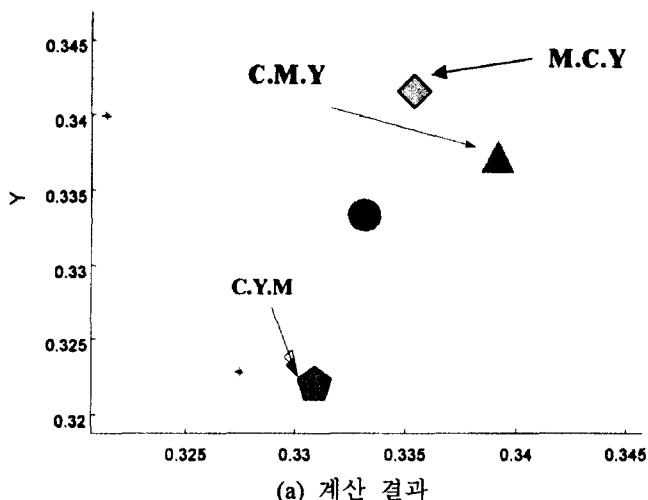


그림 5. 색 편광판 순서에 따른 분광특성.

표 1. 3층 구조 TN LCD의 색 구현 방법

Color	Cell 1	Cell 2	Cell 3
white	off	off	off
Black	on	on	off
Cyan	on	off	off
Magenta	off	on	on
Yellow	off	off	on
Red	off	on	off
Green	on	off	on
Blue	on	on	on

순서를 바꾸어 가면서 밝은 상태의 색을 계산하였다. 그림 5는 색 편광판 순서에 따른 색 특성을 나타내었는데, 그림 5(a)는 계산 결과이고, 그림 5(b)는 실험 결과이다. 그림에서 보듯 시안, 마젠타, 노랑의 순이 계산과 실험에서 무색 점에 가장 가까움을 나타낸다.

결과적으로, 시안 셀을 Cell 1, 마젠타 셀을 Cell 2, 그리고 노랑 셀을 Cell 3로 구성된 새로운 형태의 3층 구조 TN LCD의 최적 조건을 찾아내었다. 그림 6은 최적 조건을 설명하고 있다. 표 1은 새롭게 제안된 구조의 색 구현 방법을 표시한 것이다.

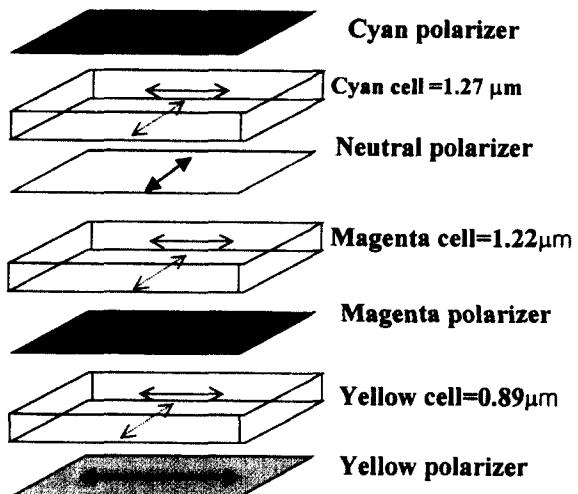


그림 6. 최적화된 3층 구조 LCD의 구조.

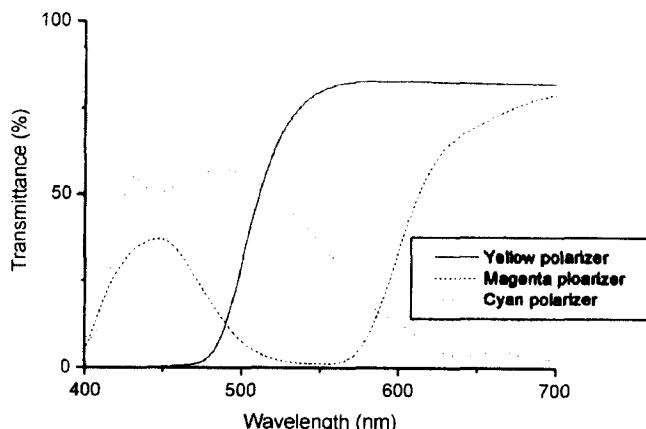


그림 7. 색 편광판의 분광 특성.

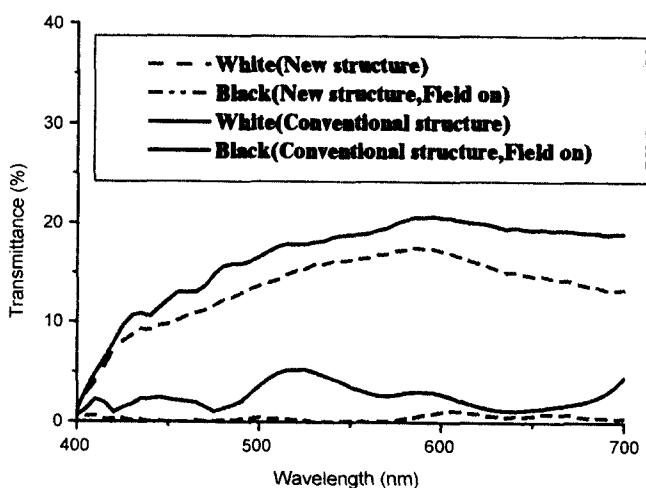


그림 8. 기존구조와 새로운 구조의 분광특성 비교(White, Black).

#### IV. 실험 결과

광학적 원리와 특성을 알아보기 위해, 3-stack color TN

LCD를 제작하였는데 여기에 사용된 각 셀(LC:ZLI-2293(cell 1), ZLI-2293(cell 2), ZLI-3276-100(cell 3))의 셀갭 d는 9  $\mu\text{m}$ , 8  $\mu\text{m}$ , 9  $\mu\text{m}$ 이다. 그럼 7은 교차상태에 있는 색 편광판의 색 특성을 나타낸다. 그림 8에서는 기존 구조와 새로운 구조의 밝은 상태와 어두운 상태의 분광 특성을 나타낸 것으로, 16:1의 명암 대비비를 실험적으로 얻을 수 있었고, 4개의 색 편광판으로 구성된 3층 구조 TN LCD(9.9:1)보다 명암 대비비가 더 높다는 것을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 1개의 무색 편광판과 3개의 색 편광판을 사용함으로써, 프로젝션 타입의 디스플레이 소자로서의 새로운 3-stack color LCD를 제안하였다. 세가지 종류의 cells의 위상 차이값과 각 편광판들의 순서를 최적화하였다. 1개의 무색 편광판이 실제로 명암 대비비를 향상시키며, 무색 편광판을

색 액정 셀의 중간에 놓으면 투과율의 향상을 가져옴을 확인 할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] T. Uchida, "Multicolored liquid crystal display," *Optical Engineering*, vol. 23, no. 3, pp. 247-252, 1984.
- [2] 진현석, 이기동, 윤태훈, 김재창, 제7회 광전자 및 광통신 학술회의, 한국광학회, 포항, pp. 359-360, 2000.
- [3] 박경호, 진현석, 이기동, 윤태훈, 김재창, 한국광학회 2000년도 학술발표대회, 한국광학회, 진주, pp. 236-237, 2000.
- [4] 박경호, 진현석, 이기동, 윤태훈, 김재창, 한국광학회 2001년도 학술발표대회, 한국광학회, 서울, pp. 138-139, 2001.
- [5] E.-S. Lee, "Design of a TN liquid crystal projector using subtractive color method," in *AMLCD '97*, The Japan Society of Applied Physics, Tokyo, Japan, 1997, pp. 115-118.

## Design of a 3-stack color LCD using color polarizers

Kyoung Ho Park<sup>†</sup>, Gi-Dong Lee, Tae-Hoon Yoon, and Jae Chang Kim

Department of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA

<sup>†</sup>E-mail: khopark@hyowon.pusan.ac.kr

(Received May 14, 2001 ; revised manuscript received July 19, 2001)

In this work, we propose a new optical configuration for a 3-stack color LCD using subtract color mixing method. This configuration consists of 3 color polarizers, a neutral polarizer and 3 LC cells. With the proposed configuration, we can increase the contrast ratio practically by using a neutral polarizer and reduce the manufacturing cost. To reduce wavelength dispersion, the sequence of polarizers is optimized.

Classification code : DT.010.