

논문 21-5-14

감광성 도판트를 이용한 풀컬러 구현 가능 반사형 콜레스테릭 액정

Full Color Reflective Cholesteric Liquid Crystal using Photosensitive Chiral Dopant

박서규^{1,2}, 김정수¹, 조희석², 권순범^{2,3a}, 유리 레즈니코프⁴
(Seo-Kyu Park^{1,2}, Jeong-Soo Kim¹, Hee-Suck Cho², Soon-Bum Kwon^{2,3a}, and Yuri Reznikov⁴)

Abstract

In order to make full color cholesteric displays, color filter-less R, G, B sub-pixel structured cholesteric LC cells have been studied. To make R, G, B colors, UV induced pitch variant chiral dopant was added to cholesteric LC mixtures. The concentration of the photo-sensitive chiral dopant was adjusted so that the initial state showed blue color and the color was changed from blue to green and red with increase of UV irradiation to the cholesteric cells. To prevent the mixing of R, G, B reflective sub-pixel liquid crystals, separation walls were formed using negative photo resister in boundary area between sub-pixels. Through the optimization of the material concentrations and UV irradiation condition, vivid R, G, B colors were achieved.

Key Words : Photosensitive chiral dopant, Cholesteric liquid crystal, Color rendering, Bragg reflectance, Bistability

1. 서론

일반적으로 액정표시소자로는 색 재현성이 우수하고 박형인 박막 트랜지스터형 액정표시소자(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display; TFT-LCD)가 주류를 이루고 있다. 일반적인 TFT-LCD는 투과형 액정표시소자로서, 하부기판이라 불리는 박막트랜지스터 어레이기판(TFT array substrate)과 상부기판이라고 불리는 컬러필터기판(color filter substrate) 등으로 구성된다. 그러나 밝기를 개선키 위한 백라이트를 사용함에 따른 전력소모량의 증대로 반사형 액정표시소자로의 전환을 시도해 왔으나 외부 광이 컬러필터를 2번통과 하면

서 빛의 투과율이 떨어져서 휘도가 상당히 떨어지는 문제점이 있다.

상술한 문제점을 해결하기 위해서는 컬러필터기판의 두께를 얇게 하여 투과율을 높이고 색 순도를 낮추어야 하나, 컬러필터로 이용되는 레진의 특성상 컬러필터를 일정 두께 이하로 제조하는 데에는 한계가 있다. 최근에는 빛을 선택적으로 반사 또는 투과하는 특성을 가지는 콜레스테릭 액정(CLC)을 이용하여 컬러필터기판이 없는 액정표시소자가 연구 개발되어지고 있다. 이 콜레스테릭 액정표시소자는 브래그 반사를 이용한 반사형 액정표시소자로서, 콜레스테릭 액정은 층의 구조를 가지며, 각 층에서 액정들은 일반 네마틱의 규칙성을 가지고 있다. 하지만 각 층에서 액정들은 한 방향으로 회전을 하며, 이 회전에 의해 층간 반사율의 차이를 나타내며 색상이 표시된다. 이러한 콜레스테릭 액정의 원리를 이용하여 액정의 층간 간격을 높이고 줄이는 방식으로 액정의 반사대역을 조절할 수 있다. 콜레스테릭 액정은 나선 구조로 꼬여 있으며, 그 꼬임각이 360도가 되는 거리를 피치라고 한다. 이 피치가 콜레스테릭 액정 색의 반사 대

1. 충남대학교 바이오응용화학부 고분자공학과
 2. (주)엔디스 차세대디스플레이연구소
 3. 호서대학교 디지털디스플레이공학부
(충남 아산시 배방면 세출리 165)
 4. 우크라이나 물리연구소
- a. Corresponding Author : sbkwon@hoseo.edu
접수일자 : 2008. 3. 28
1차 심사 : 2008. 4. 18
심사완료 : 2008. 4. 24

역의 변수이며, 콜레스테릭 액정은 이러한 일정한 피치를 가지고 있는 액정 분자들이 지속적으로 배열되어 있어 브래그 법칙에 의해 파장을 선택적으로 반사하여 색을 표시하며 두 가지 안정된 쌍안정성 (Bistability)를 가지고 있어서 저 소비 전력 액정표시소자로 각광받고 있다[1-4]. 콜레스테릭 액정의 쌍안정성은 포컬코닉상태와 플래너 상태로 두 상으로 나눌 수 있는데 브래그 반사에 의해 풀 컬러를 구현하기 위해서는 R, G, B 각각의 액정 층을 적층하거나 격벽(column spacer)으로 각각의 액정을 분리 주입하여 컬러를 구현하는 방식의 연구가 진행되어 오고 있으나 적층으로 인한 패널 두께 증가와 R, G, B 각각의 컬러를 나타내는 액정을 주입해야 하는 공정시간의 증대를 유발하고 있는 실정이다[5-8]. 이에 본 연구에서는 컬러필터 없이 감광성 카이랄 도판트를 콜레스테릭 액정에 첨가하여 액정을 주입하고 gray mask를 이용하여 365 nm의 파장을 갖는 UV 빛을 1회 조사하여 동시에 R, G, B를 구현하는 실험을 진행 하고자 한다[9,10].

2. 실험

본 실험에서 테스트 액정 셀은 ITO가 증착된 플라스틱 기판(PC)에 포토리소공정을 통하여 ITO 전극을 형성하였고 이후 ITO 패턴이 되어있는 기판위에 격벽을 통한 sub pixel별로 액정을 격리하기 위해 격벽을 형성시켰다. 격벽은 N-PR (Negative Photoresist: Dong Jin chemical)를 스핀코팅 방법을 이용하여 코팅한 후, 365 nm파장의 자외선을 약140 mJ/cm²의 에너지를 일정 패턴이 있는 마스크를 통하여 노광한 후 현상액(DCD260CF)을 초순수에 1 %로 희석시킨 후 기판을 현상액에 담가서 현상을 해 주어 격벽을 형성 시킨 다음 clean oven에서 컬럼(column)단위로 패터닝 되어있는 N-PR을 경화시켜 높이 3.5 um의 격벽을 얻었다. 셀 갭을 유지하는 격벽의 높이는 액정의 피치를 고려하여 결정하였다[11]. 격벽이 형성된 하 기판과 다른 상 기판에 UV 경화 형 접착제를 1 μm의 두께로 코팅을 하여 합착 공정을 진행하였다. 합착 후 365 nm의 수은 램프를 이용하여 합착 된 셀에 2 J/cm²의 UV 에너지를 조사하여 상 기판의 접착제와 하 기판의 격벽의 접착을 유도하였다. UV 조사 시 조건은 합착된 상, 하 기판 내에 공기를 완전히 제거하여 UV 빛에 의한 접착제와 산소간의 산화반응이 발생되어 오존이 생성되는 것을 방지

하고 균일한 압력을 가해 주어 상, 하 기판의 완전 접착을 시키기 위해 진공 합착 지그에 합착된 상, 하 기판을 넣고 진공 펌프로 공기를 완전히 제거 하면서 지속적인 압력을 가해 주어 UV 빛을 조사하여 경화 시켰다. Empty셀 내에 주입될 액정은 표 1에서 보는 바와 같이 3종류의 액정들과 감광형 카이랄 첨가제(Institute of Physics, Ukraine)를 혼합하여 UV에 의한 액정내의 피치가 변화하여 컬러 구현이 가능한 LCM#1, LCM#2, LCM#3 혼합 액정을 제조 하였다. 본 연구에서는 네마틱 액정과 네마틱 액정을 호스트(host)로 사용하는 콜레스테릭 액정 그리고 감광형 카이랄 첨가제(photosensitive chiral dopant)를 일정 비율로 혼합하여 액정을 제조한 후 혼합되어진 액정에 원하는 피치에 해당하는 UV를 조사하여 red, green, blue의 컬러를 가지는 액정을 제조하였다. 콜레스테릭 액정의 피치는 반사파장을 결정하며 호스트 액정과 카이랄 첨가제의 농도에 의해 결정되어지며 다음 식 (1)에 의해 결정되어 진다.

$$p = \frac{\lambda}{c} \tag{1}$$

여기서 P는 콜레스테릭 액정의 피치, c는 카이랄 첨가제의 농도를 나타내며 λ는 물질에 따른 피치와 카이랄 첨가제의 농도의 곱에 대한 비례 상수이다. 액정 셀 제조 공정에 사용할 액정을 제조하기 위해서 먼저 Blue 컬러의 콜레스테릭 액정과 콜레스테릭 네마틱 호스트를 일정 비율로 혼합해서 Red 컬러의 액정을 만든 후 그 액정에 감광성 카이랄 첨가제를 첨가하여 액정의 피치를 첨가제에 의해 다시 짧게 만들어 주어서 blue 컬러를 띄는 액정을 표 1과 같이 제조 한다. 이렇게 제조 되어진 액정은 감광성 카이랄 첨가제의 영향으로 UV가 조사되어 지게 되면 액정의 피치가 길어져서 UV 조사량에 따라 액정의 피치가 red로 바뀌게 된다.

표 1. 콜레스테릭 액정 혼합물.

Table 1. Cholesteric liquid crystal mixture.

	Cholesteric LC	Nematic host
LCM#1 (Slichem사)	CH-100-450	CH-100
LCM#2 (Merck사)	MDA-00-1824	BL-087
LCM#3 (Merck사)	MDA-02-2510	MDA-04-548

표 1의 플레스테릭 액정 호스트로 사용되는 CH-100-450, MDA-00-1824 및 MDA-02-2510의 파장은 각각 452, 445, 468 nm이고 네마틱 호스트로 사용되는 CH-100, BL-087 및 MDA-04-548의 굴절률(Δn)은 각각 0.159, 0.236 및 0.2568이다.

Empty셀을 제조한 후 액정은 진공 중 가압 방식으로 액정을 주입하였다. 액정 주입 챔버 내에 empty셀과 액정 쟁반을 넣은 후 진공 펌프로 챔버 내의 공기를 제거 시킨다. 이때 empty셀 내의 공기를 완전히 제거 하는 탈기 공정과 액정 내의 공기를 제거하는 탈포 공정이 동시에 이루어진다. 이후 empty셀을 액정 쟁반에 접촉 시킨 후 질소를 챔버 내로 일정한 간격으로 주입하여 액정을 empty 셀 내로 주입을 시킨다. 액정 주입이 완료된 후 주입구를 UV 경화 형 방지제로 밀봉한 후 365 nm의 고압 수은 램프를 조사하여 경화 하였다.

본 연구에서 제조된 액정혼합물이 주입된 액정 셀의 구동전압에 따른 반사율을 측정하기 위해서 임의의 파형발생기로 신호를 발생하고 오실로스코프를 통해 인가되는 파장을 확인하여 광대역 증폭기를 이용하여 1 V씩 30 V까지 전압을 액정 셀에 인가하여 LCMS-200(Sesim Photonics Technology)을 통하여 데이터를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 격벽을 형성하기 위해 N-PR코팅을 균일하게 얻는 공정 조건 실험 결과이다. 스핀코팅 속도에 따라 형성되는 코팅 막의 두께의 결과를 보면 550 rpm에서 3.5 μm 의 코팅 막이 형성됨을 알 수 있었다. 이를 그림 2의 SEM사진을 통하여 확인 할 수 있었다. SEM사진에서 보듯이 포토리소 공정을 통해 형성된 ITO 전극은 115 μm 의 폭을 나타내었다. ITO 전극 형성은 positive PR AGHKT501(AZ사)을 사용하여 100 $^{\circ}\text{C}$, 2분간 hot plate에서 soft bake을 실시 한 후 16 mW/cm^2 의 조도를 갖는 365 nm 파장의 UV 빛을 7초간 마스크를 통과하여 기판에 조사한 후 강 알칼리성을 갖는 원액 developer에 10초간 침적하여 develop을 실시하고 초순수로 세정 및 건조를 한다. 이후 130 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10분간 오븐에 넣어 PR에 있는 용매를 휘발 시키고 PR을 경화 시킨다. 경화 완료 후 PR외에 존재하는 ITO를 제거하기 위하여 상온에서 40분간 에천트에 침적 시킨 후 초순수로 세정한 다음 강알칼리성의 원액 stripper에 2분간 침적하여

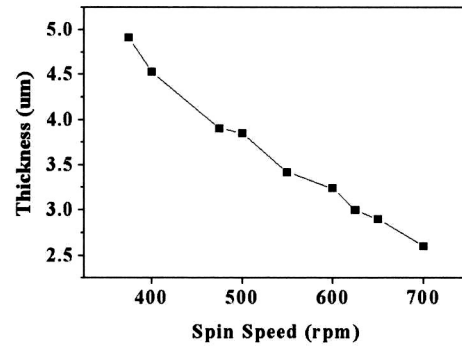


그림 1. 스핀속도에 따른 코팅 막 두께 형성 조건.
Fig. 1. The coating condition of PR layer for spin speed.

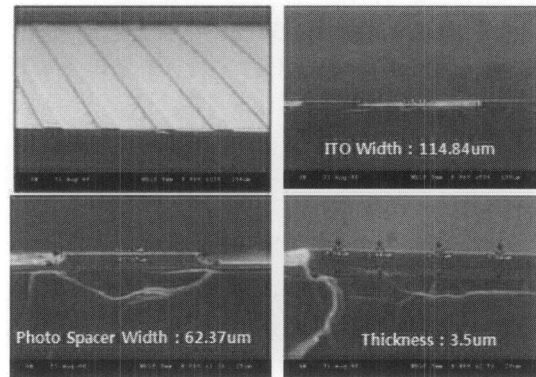


그림 2. 포토스페이스서 단면의 SEM 미세구조.
Fig. 2. The cross-sectional SEM micrograph of photo spacer.

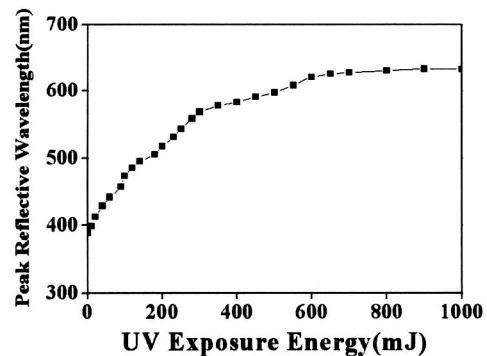


그림 3. UV 조사 에너지에 따른 컬러 구현.
Fig. 3. The condition of color rendering by UV energy.

PR을 제거한다. 격벽은 실험항목에서 언급한 공정 방법을 통하여 3.5 μm 와 62 μm 의 높이와 폭이 각각 얻어짐을 SEM사진(Model:S-4300, HITACHI사)을 통해 관찰하였다. 이를 통해 균일한 높이의 격벽을 형성함으로써 균일한 셀 갭을 유지 할 수 있는 기본 조건을 확보 하였다.

그림 3은 LCM#1의 액정 혼합물에 5.4 wt%의 농도로 첨가된 감광성 카이랄 도판트를 함유한 콜레스테릭 액정 혼합물에 365 nm 파장을 갖는 UV 에너지를 조사함으로써 UV에너지양이 증가함에 따라 콜레스테릭 액정 혼합물의 파장의 변화율을 측정 한 것이다. 그림 3에서 보듯이 초기에 혼합 액정은 400 nm의 영역의 blue 컬러를 나타내고 있다 가 UV 에너지 량이 300 mJ/cm^2 에서는 green영역으로 파장이 이동하고 900 mJ/cm^2 에서 red영역으로 파장이 이동함을 관찰 할 수 있다. UV 에너지 양이 증가함에 따라 컬러가 변화하는 원인은 혼합 액정에서 감광성 카이랄 도판트의 역할이 매우 중요하다. 카이랄 도판트가 혼합 액정 내에 첨가됨으로써 콜레스테릭 액정의 피치가 짧아져서 단파장의 빛을 반사하게 되고 UV 에너지를 흡수하는 기능성 그룹을 갖는 카이랄 도판트가 UV 에너지에 따라 혼합 액정의 피치를 점점 증가 시켜 주어 장파장 쪽으로 컬러를 변화 시켜주는 효과를 발휘하게 된다[13-15]. 따라서 본 실험에서는 blue에서 red까지 컬러가 변화되는 최적의 UV 에너지 량을 산출 하였고 이를 통하여 R, G, B 각각의 컬러를 구현 할 수 있는 기본 조건을 확보 할 수 있었다.

그림 4는 각각의 혼합된 액정을 color rendering 한 후 액정의 반사율을 측정 한 결과이다. 그림 4에서 보듯이 액정 혼합물에서 감광형 카이랄 첨가제가 UV 빛을 흡수하여 액정의 피치를 변화시켜 주어 blue, green, red 영역으로 빛의 반사 영역이 이동함을 (a)~(c)의 그래프를 통해 알 수 있었다. 그림 4의 (a) 경우 LCM#1의 혼합 액정에서 blue 영역은 15 mJ/cm^2 의 UV 에너지를 조사한 후 440 nm 의 파장에서 발현 되었고 100 mJ/cm^2 의 UV 에너지에서 560 nm의 green 컬러를 나타내었으며 750 mJ/cm^2 의 UV 에너지에서 650 nm의 red 컬러를 나타냄을 확인 하였다. 그림 4의 (b) LCM#2 혼합물인 경우는 UV 에너지를 조사하기 전에 450 nm의 blue컬러를 이미 나타내는 특징을 보였고 125 mJ/cm^2 의 UV 에너지를 조사한 후에 550 nm의 green 컬러를 반사하였다. 900 mJ/cm^2 의 UV 에너지에서 630~680 nm의 넓은 폭의 red 컬러를 반사하는 특징을 보였다. 그림 4의 (c) LCM#3의 경우

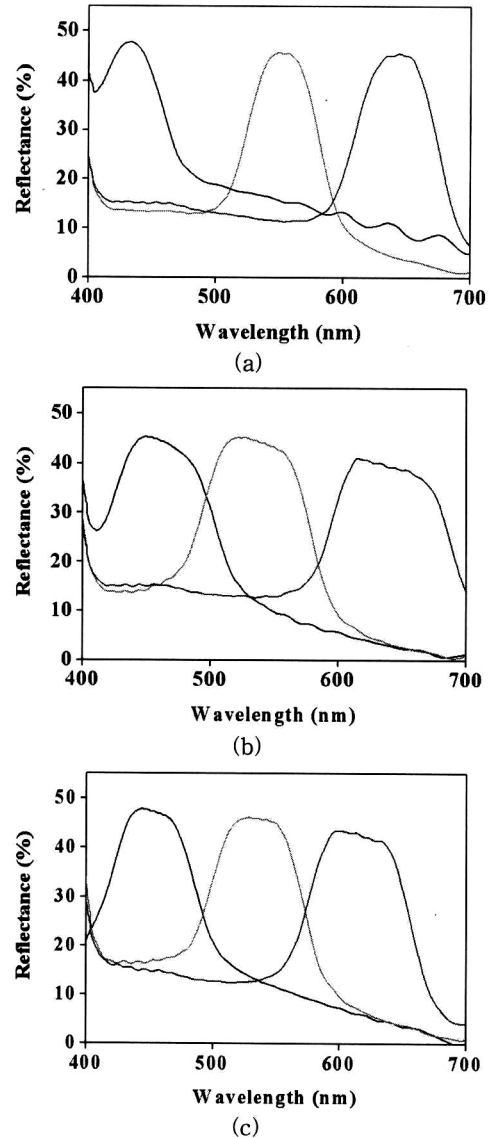


그림 4. 액정 혼합물의 color rendering에 따른 파장 변화:

(a) LCM#1 (b) LCM#2 (c) LCM#3

Fig. 4. Reflectance data of LC mixtures.

(a)LCM#1 (b)LCM#2 (c)LCM# 3

초기에 약 15 mJ/cm^2 의 UV 에너지를 조사함으로써 450 nm의 blue컬러를 나타내었고 125 mJ/cm^2 의 UV를 조사함으로써 540 nm의 green 컬러를 반사하였다. red 영역 또한 600 mJ/cm^2 의 UV 에너지를 조사함으로써 625 nm의 파장 영역에서 반사하는 특징을 보였다. 그림 4의 결과를 통해 액정

혼합물 (a), (b), 그리고 (c) 각각의 경우 모두 red, blue, green 컬러 영역에서 40 %이상의 높은 반사율을 나타냄을 알 수 있었고 이를 통해 시인성이 좋은 액정 디스플레이 구현의 기본 조건이 확보되었음을 알 수 있다.

UV 에너지에 대한 각각의 액정 혼합물의 컬러 구현 정도를 알아보기 위해 이들의 색 재현율에 대한 CIE 색좌표를 측정하였다. 그림 5의 (a)에서 보듯이 LCM#1은 색 재현율이 57 %, LCM#2는 33 %, LCM#3은 31 %로 측정 되었다. 3가지의 액정 혼합물 중에서 LCM#1의 경우 색 재현율이 다른 액정 혼합물보다 높게 나타남을 알 수 있다. 현재 출시되고 있는 대부분의 휴대폰의 색 재현율이 70 %안팎으로 측정되고 있으므로 LCM#1의 57 %의 색 재현율은 컬러필터 활용도 측면에서 가능성이 크다고 볼 수 있으며 특성이 향상된다면 실제 제품 적용 가능성이 아주 높다고 볼 수 있다. 그림 5의 (b)는 LCM#1을 이용하여 단위 셀을 제작하여 R, G, B 각각의 영역을 구현한 이미지이다. 그림에서 보듯이 각각의 영역에서 R, G, B 컬러가 선명하게 나타남을 확인 할 수 있었고 서로 다른 컬러가 서로 혼합되지 않도록 상부기판에 UV 경화형 접착제를 코팅하고 하부기판의 격벽과 합착 하여 상, 하 기판을 접착경화 하였다. 본 실험 결과를 통하여 영역별로 서로 다른 컬러를 구현 할 수 있는 기본 공정 조건을 확보 하였고 LCM#1의 높은 색 재현율을 확인 하였다. 그림 6은 동일한 액정의 피치를 함유한 액정 혼합물에 UV 에너지를 조사하여 액정 내 피치를 변화시켜서 R, G, B의 세 가지 컬러를 형성한 LCM#1, LCM#2, LCM#3 각각의 액정 샘플에 대한 전기 광학 특성을 나타낸 결과이다. 측정 조건은 reset전압이 30 V로 콜레스테릭 액정 분자들을 호미오트로픽 상태(homeotropic state)로 만들어 주고 이때 프레임 주파수는 1 kHz 이고 선택전압은 0~30 V, reset 전압 인가시간 (T1)은 0.2초, zero level 유지시간 (T2)은 0.2초, 구동 신호 인가시간 (T3)은 0.2초 이후 zero level 유지시간 (T4)은 0.2초순으로 구동전압을 인가하여 인가전압에 따른 반사율을 측정하였다. 그림 6에서 보듯이 액정 혼합물 내에 존재하는 액정 피치가 달라짐에 따라 서로 다른 세 가지 컬러로 나타나고 컬러별로 구동전압 특성이 다름을 알 수 있다. 그림 6의 (a)의 경우 R, G, B 각각의 컬러가 구현 될 수 있는 구동 전압이 24, 26, 28 V로 측정 되었고 (b)의 경우는 R, G, B 컬러를 각각 구현하는데 53, 55, 59 V로 상대적으로 높게 나타났다. (c)의

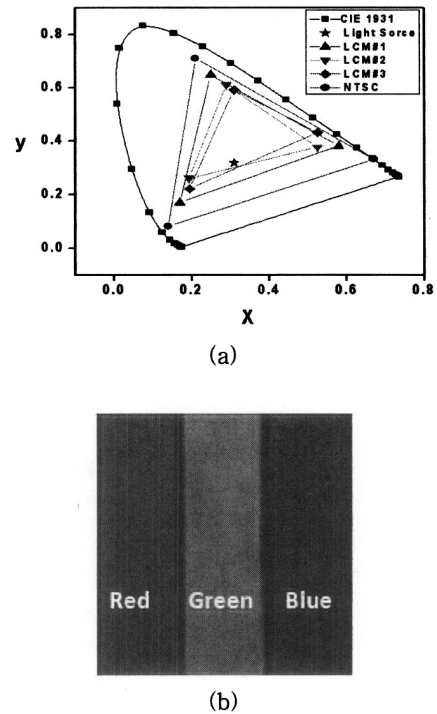
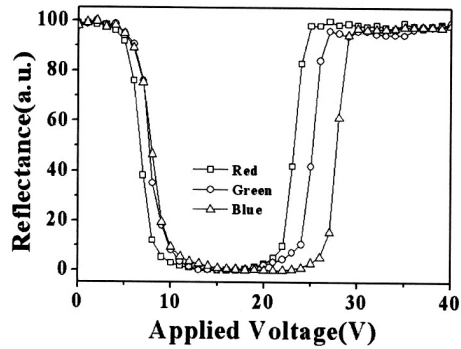


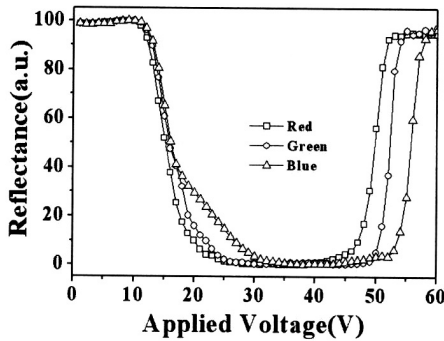
그림 5. 액정 혼합물의 색재현율; (a) 색좌표, (b) LCM#1을 이용한 단위 셀의 컬러 구현.

Fig. 5. Color Reproducibility of LC mixtures.

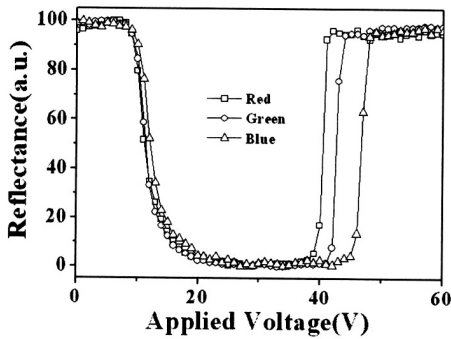
경우 또한 R, G, B 컬러를 구현하기 위한 구동 전압이 42, 44, 46 V로 나타남을 알 수 있었다. 세 가지 액정 혼합물에서 모두 red 파장대의 컬러에서 측정된 구동 전압이 다른 컬러를 구현 하는 구동전압보다 낮게 측정이 되고 blue 영역에서 가장 높게 측정 되었다. 이러한 특성은 액정의 피치가 짧을수록 전기인가량이 보다 많이 필요함을 의미하며 결국 외부에서 인가된 전기장 방향으로 액정 분자가 배열하는데 필요한 에너지가 액정 분자의 꼬임정도가 많을수록 보다 많이 필요로 함을 알 수 있다. 즉, helical twist power(HTP)값이 높을수록 구동 전압이 높아짐을 의미하며 R, G, B 각각의 컬러를 구현하기 위해서는 컬러별로 개별 구동할 수 있는 구동 시스템이 필요하며 이를 통해 풀 컬러를 구현 할 수 있다. 또한 세 가지 액정 혼합물 모두 재현성 있는 플래너 상태나 포컬 코닉 상태의 안정적인 쌍안정성을 볼 수 있었다. 특히, LCM#1의 경우 24~28 V의 낮은 구동전압을 보여 향후 LCD라인의 응용가능성이 큼을 확인 할 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 액정에 따른 전기광학특성.
Fig. 6. VT-curve of LC mixtures.

그림 7은 LCM#1의 혼합 액정을 사용한 경우로 단위 셀 내에 격벽을 이용하여 R, G, B 세 영역으로 컬러를 구분한 상태에서 전기를 인가하여 순차적으로 컬러를 구현한 이미지이다. (a)의 경우는 30 V의 reset 전압을 인가한 후 15 V의 전압을 인가하여 액정 상을 포컬코닉 상태로 전환 한 그림이다. 이 상태는 외부의 빛이 산란되거나 투과되어 특정한 컬러를 반사시키지 못하는 상태이며 쌍안

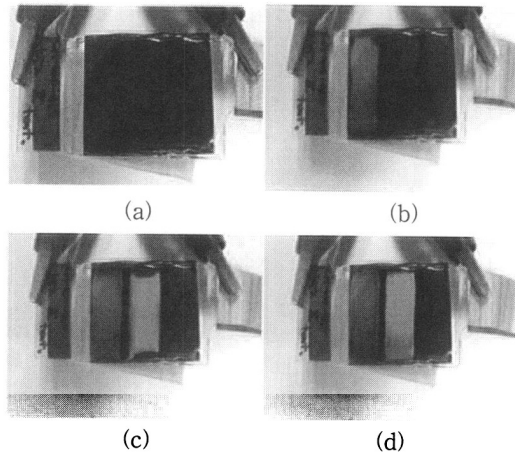


그림 7. 구동전압에 따른 컬러 구현 이미지.
Fig. 7. The sample image with R, G, B color.

정상태를 유지하고 있는 상이다. (b)의 경우 30 V의 reset 전압을 인가한 후 액정 구동전압을 24 V를 가함으로써 red 컬러를 반사하는 플래너 상태를 유지하고 있는 그림이다. (c)와 (d)도 순차적으로 30 V의 reset 전압을 인가한 후 26 V와 28 V를 각각 가하여 green과 blue 컬러를 구현하였다. 이들에 대한 쌍안정상태 또한 안정적으로 유지됨을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 하나의 셀 내에서 동일한 피치를 갖는 혼합 액정을 주입 후 UV 에너지를 이용하여 액정내의 피치를 변화시켜 줌으로써 반사 파장을 조절하여 R, G, B 컬러를 구현할 수 있음을 알 수 있었고 각각의 컬러를 개별적으로 구동시켜 구현함으로써 컬러 필터 없이 컬러가 구현되는 메모리 형 컬러 LCD를 제조할 수 있는 최적 조건을 확보하게 되었다.

4. 결론

본 연구에서는 UV 빛에 반응하는 감광형 카이랄 첨가제를 액정에 혼합하여 R, G, B를 구현할 수 있는 기본 조건을 확보하였으며 이에 따른 색 재현율을 확인하였다. 컬러별 구동전압 특성과 이들의 포컬 코닉 및 플래너 상태를 유지하는 쌍안정성을 확인하여 플래너 상태에서의 브래그 반사에 의한 정보 표시와 포컬 코닉 상태에서의 오프 상태로 이용할 수 있음을 확인함에 따라 컬러 필터 없이 R, G, B 컬러를 구현 할 수 있는 특성을 이용하여 기존 TFT-LCD라인의 적용 가능성이 한층 높아짐을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 치소코리아 사업비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] G. P. Crawford, "Flexible Flat Panel Displays", Jon Wiley & Sons, Ltd., p. 331, 2005.
- [2] S.-T. Wu and D.-K. Yang, "Reflective Liquid Crystal Displays", John Wiley & Sons, Ltd., p. 197, 2004.
- [3] D. K. Yang, J. L. West, L.-C. Chien, and J. W. Doane, "Control of reflectivity and bistability in displays using cholesteric liquid crystals", J. Appl. Phys., Vol. 76, p. 1331, 1994.
- [4] G. A. Dir, J. J. Wysock, J. E. Adams, J. H. becker, W. E. Haas, B. Mechlowitz, L. B. Leader, E. D. Saeva, and J. L. Daily, "Cholesteric liquid crystal texture change displays", Proc. of SID, Vol. 3, No. 2, p. 106, 1972.
- [5] Hashimoto, K., Okada, M., Nishiguchi, K., Masaaumi, N., Yamakawa, E., and Taniguchi, T., "Reflective color display using cholesteric liquid crystals", SID Digest, p. 897, 1998.
- [6] Huang, X. Y., Khan, A., Davis, D., Jones, C., Miller, N., and Doane, J. W., "Full color reflective cholesteric liquid crystal display", Proceeding of Asia Ddisplay, p. 883, 1998.
- [7] Khan, A., Huang, X.-Y., Miller, N., Jones, C., and Doane, J. W., "Color stacked reflective cholesteric displays", Proceedings of the 20th International Display Research Conference, p. 245, 2000.
- [8] Okada, M., Hatano, T., and Hashimoto, K., "Reflective multicolor display using cholesteric liquid crystals", SID Digest, p. 1019, 1997.
- [9] H.-S. Yoon, H.-S. Cho, Y.-J. Kim, S.-B. Kwon, and Y. Reznikov, "Vivid Full Color Reflective Cholesteric LCDs with Bistable Switching", ILCC., p. 735, 2006.
- [10] S.-B. Kwon, "Full Color LCD and Manufacturing there of", PCT/KR2006/002134, 2006.
- [11] D.-K. Yang and X.-D. Mi, "Modeling of the reflection of cholesteric liquid crystals using the jones matrix", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 33, p. 672, 2000.
- [12] L.-C. Chien, U. Muller, M.-F. Nabor, and J. W. Doane, "Multicolor reflective cholesteric displays", SID Intl. Symp. Digest Tech. Papers, Vol., 26, p. 169, 1995.
- [13] F. Vicentini, J. Cho, and L. C. Chien, "Tunable chiral materials for multicolour reflective cholesteric displays", Liq. Cryst., Vol. 24, No. 4, p. 483, 1998.
- [14] L.-C. Chien, F. Vicentini, Y. Lin, and U. Muller, "Color pixelization of cholesteric materials", Proc. 3rd Color Imaging Conference, p. 58, 1995.
- [15] D.-K. Yang and J. W. Doane, "Cholesteric liquid crystal/polymer gel dispersion; reflective displays", SID Intl. Symp. Digest Tech. Papers, Vol. 23, p. 759, 1992.