Polymer(Korea), Vol. 31, No. 2, pp 148-152, 2007

반사형 콜레스테릭 칼라필터의 시야각에 따른 광특성 향상에 관한 연구

김태현 · 임영진 · 황성진 · 이명훈 · 장원근* · 이승희†
전북대학교 신소재개발연구소, *한국광기술원
(2006년 12월 18일 접수, 2007년 2월 15일 채택)

Improvement of Optical Characteristics in Viewing Directions in a Reflective Cholesteric Liquid Crystal Color Filter

Tae Hyun Kim, Young Jin Lim, Seong Jin Hwang, Myong-Hoon Lee, Won-gun Jang*, and Seung Hee Lee†
Research Center of Advanced Material Development, Chonbuk National University, Jeonju, Jeonbuk 561-756, Korea
**Korea Photonics Technology Institute, Wolchul-dong, Buk-gu, Gwangju 500-460, Korea*
(Received December 18, 2006;accepted February 15, 2007)

초록 : 콜레스테릭 액정모노머를 이용하여 액정표시장치용 선택반사 칼라필터 원형을 개발하였다. 콜레스테릭 액정은 특정한 기판처리 조건에서 나선(helical twist) 구조를 갖는 액정으로서 피치와 비슷한 크기의 입사 파장을 반사시키는 독특한 선택반사의 광특성을 갖는다. 실험결과 R, G, B의 파장영역을 반사시키는 반구형으로 패턴된 콜레스테릭 반사 필름을 개발하여 그 반사파장의 피크 값을 살펴본 바, 시야각 방향 변화에 따라 적색, 녹색필름은 단파장쪽으로 반사파장 피크가 이동하였으며 청색의 경우 별다른 변화가 없었다. 포토리소그래피를 이용하여 포토레지스트(Photo-resist)를 thermal reflow방식으로 마이크로미터 크기의 반구형의 주기적인 패턴을 얻을 수 있었으며 그 위에 형성된 적색, 녹색, 청색의 필름은 패턴이 없는 경우에 비하여 시야각에 따른 반사파장의 변화가 적음을 육안을 통하여, 그리고 Lab좌표를 통해서 각각 정량적으로 확인할 수 있었다.

Abstract : The prototype of color filters for the liquid crystal displays (LCD) using cholesteric liquid crystal monomers was produced. Cholesteric liquid crystal is characterized by the unique optical features of selective reflection, which is due to the helical twisting structures of LCs comparable to the wavelength of the incident light under certain conditions of substrate treatment. In the results of the experiment, cholesteric films for red, green, and blue light reflections respectively were produced and the viewing angle dependence of these films were investigated. Reflective light of red and green films shifted to shorter wavelength regions as viewing angle becomes greater, but blue one shifted very little. Periodic micrometer-sized half-spherical photoresist formed by thermal reflow method after photo-lithography was patterned on glass substrates. The viewing angle dependence of reflective light colors of red, green, and blue films on the patterned substrates compared with those on no patterned substrates was investigated. We could confirm the dependences were much smaller on the patterned substrates by bare eyes and Lab-color coordination methods qualitatively.

Keywords : color filters, cholesteric liquid crystal, photo-lithography, half spherical pattern, color shift.

서 론

액정디스플레이(liquid crystal display : LCD)는 비발광재료인 액정을 사용하는 까닭에 타 발광디스플레이에 비해 시야각에 따라 정면의 색이 이동하는 문제와 응답속도가 느린 단점 등이 존재하였다.[1] 하지만 최근 새로운 기술들의 개발로 시야각 문제와 응답속도 문제들을 해결해 화질 개선에 큰 진전이 있었다. 이러한 개선에도 불구하고 LCD는 액정을 이용하여 빛의 편광을 제어하기 때문에 반드시 편광판을 써야 하고 색을 표현하기 위해선 흡수형 칼라필터를 써야만 한다. 현재 편광판의 경우 투과율이 50% 이하이고 액정 텔레비전용 칼라필터의 투과율도 30% 이하로 액정 패널 전체의 투과율은 10% 이하로 떨어진다. 광효율의 저하는 패널 표면의 밝기를 떨어뜨려 충분한 밝기를 위해서는 광원의 휘도가 증가되

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: lsh1@chonbuk.ac.kr

어야만 한다. 광원 휘도의 증가는 소비전력를 크게 증가시켜 휴대용 디스플레이로의 적용은 어렵다. 결과적으로 휴대용 디스플레이에서 종래의 칼러필터를 사용시 흡수로 인한 광효율이 저하되어 화면의 밝기에 문제점을 가져오기 때문에 이에 대한 개선이 요구된다. 개선책으로 콜레스테릭 액정(cholesteric liquid crystal : CLC) 고분자를 이용한 반사형 칼라필터가 최근에 많이 개발되어 보고되고 있다.[2-8] 콜레스테릭 반사형 칼라필터는 기존의 칼라필터가 50% 이상의 입사된 빛을 흡수하는데 반하여 반사된 광을 다시 활용할 수 있는 장점을 가지고 있는 광학필름이라고 할 수 있다. 콜레스테릭 액정은 콜레스테릭 메소젠을 갖는 구조의 액정 또는, 네마틱 액정에 카이랄 도핑을 하는 두 가지 방법으로 구현할 수 있다. 콜레스테릭 액정의 최대 특징은 분자 배향이 기판에 평행한 homogeneous(수평) 배향에서 네마틱 액정분자가 나선형의 꼬임 구조를 갖는 액정상을 갖는다. 이에 따라 입사광의 파장이 피치와 비슷할 때 특정 파장의 우원편광 또는 좌원편광을 선택적으로 반사시키는 고유한 광학특성을 갖으며 광학적으로 매우 유용한 응용분야를 갖고 있다. 이러한 광특성을 이용한 반사판이나 반사형 편광판 등의 개발은 이미 일부 액정디스플레이 광학소자로서 상용화가 되고 있다.[9,10] 하지만 선택반사형 칼라필터의 단점은 정면이 아닌 다른 시야각에서 선택반사된 파장이 정면과 달라 시야각에 따라 색띰이 크게 존재한다는 것이다.[11]

본 논문에서는 종래 선택반사 칼라필터가 가지고 있는 고질적인 문제점인 시야각에 따른 색좌표 이동의 문제를 다중 도메인 개념의 방식으로 접근하여 해결하는 방식을 연구하였다.

반사형 칼라필터의 동작원리 및 이론적 배경

Figure 1은 빛이 CLC 칼라필터에 의해 선택반사되는 형상을 보여주고 있다. 정량적으로 백색광이 입사할 때 반사파의 파장은 액정의 피치(pitch)와 나선구조의 방향성에 의존한다. 즉 액정의 피치가 우향으로 꼬여 있다면 입사광 중 우향편광(right-circularly polarized light : *r*-CPL)된 빛이 반사되고 반면에 좌향편광(left-circularly polarized light : *l*-CPL)된 빛은 투과광이 된다.

액정 셀에 수직으로 입사할 때 반사파 $\lambda_{\perp}$는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\lambda_{\perp} = n \times p \tag{1}$$

여기서 n은 액정의 평균 굴절률, p는 피치이다. 이 반사파장은 입사각 $\lambda(\alpha)$에 따라 심하게 의존하여 다음의 식 (2)와 같이 나타내어진다.[12]

$$\lambda(\alpha) = n \times p \times \cos[\sin^{-1}(\sin\ \alpha/n)] \tag{2}$$

여기서 α=0(수직입사) 일 때 식 (1)로 환원된다. CLC로 칼라필터를 개발할 때 band-pass filter의 폭은 $\Delta\lambda = \Delta n \cdot p$에 의해 결정되는데[13,14] planar texture의 액정상의 경우는 정면에서의 $\Delta\lambda_1$ (α=0) 값이 경사각에서의 $\Delta\lambda_2$($\alpha \neq 0$) 값과 크게 달라 정면에서의 특정색이 경사각에서는 다른 색으로 보이게 된다.

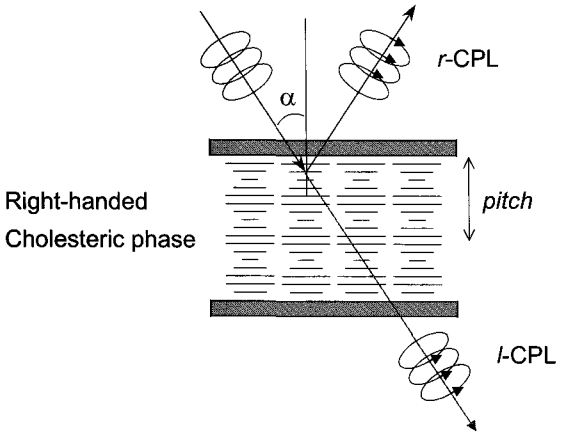
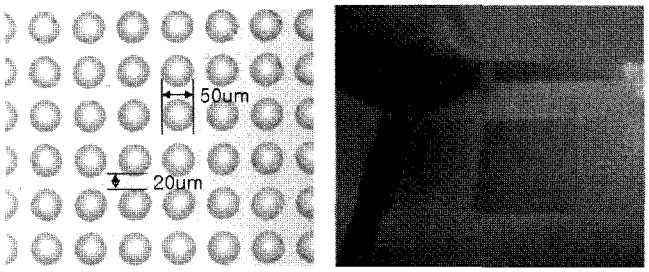


Figure 1. Schematic description of selective reflection by CLC color filter.

실 험

실험 방법. 본 연구에서는 CLC 칼라필터 제작시 액정모노머의 배열을 다중도메인의 형태로 형성하여 정면에서의 색특성이 경사 시야각 방향에서도 유지될 수 있도록 하였다. 이를 위하여 본 실험에서는 포토 리소그래피를 이용하여 thermal reflow 방식으로 포토레지스트(photoresist : PR)를 픽셀크기의 반구형의 규칙적인 패턴을 구현하였다. 이리하여 반구형상 위에서 모든 입사파의 입사각이 동일하도록 조절하였다.

반사형 CLC 칼라필터의 제조. 반구형상의 입체적인 패턴을 이용한 반사형 CLC 칼라필터의 특성을 연구하기 위해서, 먼저 포토리소그래피를 이용하여 반구형의 패턴을 제작하였다. Positive PR이 패턴을 위해서 사용되었으며 Figure 2는 반구형상으로 제작된 PR 패턴을 보여주고 있다. 반구형상의 고분자 박막을 형성시키기 위해서 PR을 포토리소그래피를 이용하여 패턴하고 200 ℃에서 열처리를 하면 PR이 녹아서 반구형상에 가깝게 된다.[15] 이때 PR 코팅시 500 rpm에서 60초 동안 스핀코팅하여 대략 10 μm 두께를 얻었다. CLC셀 제작과정을 살펴보면 우선 Figure 2와 같이 패턴된 PR로 된 기판 위에 수평배향막을 기판에 고루 코팅시키기 위해 초기 400 rpm에서 20초 정도 스핀코팅 후 박막 형태로 코팅하기 위해 연속해서 3000 rpm에서 70초 정도 스핀코팅 하였다. 그런 다음 열



(a) (b)

Figure 2. (a) Patterned PR with semi-spherical shape and (b) observed color by naked eye.

경화시킨 후 수평 배향막을 러빙하였다. 러빙 후 reactive mesogen (RM)과 chiral dopant의 혼합물은 수평배향막이 있는 PR 패턴 위에 코팅된 후 solvent를 제거하고 배향성을 주었다. RM과 chiral dopant의 혼합물인 CLC가 UV에 경화가 가능하면서 적색(R), 녹색(G), 청색(B)의 삼색을 반사시킬 수 있도록 하기 위해 RMS03-001(Merck)과 chiral dopant가 특정 비율로 혼합된 물질을 사용하였다. 구체적으로는 B는 RM 무게의 14%, G는 10%, R은 8.5%의 chiral dopant를 첨가하여 제조하였다. RMS03-001의 성분은 propylene glycol monomethyl ether acetate(PGMEA)에 RMs을 희석한 것으로 일반적으로 3~5% 가량의 광개시제가 들어가 있어 UV에 노출되면 광경화가 일어난다. 일반적인 수평 배향막 위에 카이럴 도펀트가 들어가지 않은 채 필름을 제작하면 필름의 Δn(굴절률 이방성)이 0.155이고 ordinary refractive index가 1.529이고 extraordinary refractive index가 1.684인 액정 위상지연 필름이 제작된다. RMS03-001의 가시적 특성은 무색의 솔루션으로 존재한다.[16] 마지막으로 UV 노광을 통해서 CLC 필름을 경화시키기 위해 Nanotek사의 StabiLight UV 노광기를 사용하였다. CLC 필름을 경화시키기 위해서는 질소분위기에서 350 W의 강도로 90~120초, 노광시키면 본 연구를 위한 반사형 CLC 칼라필터가 완성된다. 이와 같은 순서로 적색, 녹색, 청색을 반사하는 CLC 칼라필터를 제작하고 그 특성을 패턴이 사용되지 않은 경우와 비교 분석하였다. 제작된 반구의 크기는 30~50 μm 크기로 제작되었으며, 볼록 렌즈가 가지는 특성인 초점에 따라서 빛이 모이는 정도가 달라지는 것을 광학현미경으로 관측하였다. 이것으로 제작된 PR 패턴이 반구형상을 띠는 것을 간접적으로 판단할 수 있었다.

결과 및 토론

반사형 콜레스테릭 액정 칼라필터의 특성. 일반적으로 반사형 콜레스테릭 칼라필터는 시야각에 따라서 반사되는 빛의 색상이 바뀔 정도로 시야각 의존도가 높다.[1] 그리하여 선택 반사되는 파장이 시야각에 따라서 얼마나 변하는지 광학적인 계산을 통해서 알아볼 필요가 있다(Figure 3). 식 (1)과 같이 CLC 칼라필터가 정면에서 반사시키는 파장의 빛은 $n \cdot p$에 의존하는데 p는 액정의 피치이고 n은 액정의 평균굴절률이다. 그리고 시야각에서는 $n \cdot p \cdot \cos\alpha$에 의존하여 시야각에 따라서 반사되는 빛의 파장이 단파장으로 이동하게 된다. 이러한 특성을 1차원 LCD 시뮬레이터(LCD Master from Shintech, Japan)로 확인해본 결과는 Figure 3과 같다. Figure 3은 적색, 청색, 녹색을 반사시키도록 액정의 피치를 조절하여 계산하였다. 적색에 해당하는 640 nm를 최대로 반사하도록 한 조건에서 시야각이 50° 정도 기울어지면 녹색에 해당하는 550 nm의 빛을 반사시켰고, 녹색에 해당하는 530 nm의 경우에 시야각이 50°에서 460~480 nm에서 최대 반사파장이 위치한다. 그리고 청색에 해당하는 470 nm의 경우에는 420~430 nm 사이의 빛을 시야각 50°에서 반사시켰는데, 결과들을 정리하면 적색은 녹색으로, 녹색은 청색으로, 청색은 색상이 짙어졌다. 실제로 제작된 샘플에서도 이러한 경향은 육안으로 관찰이 되었으며 파란색의 경우 시야각에서 관찰하여도 크게 색이 변하지 않는 것도 관측할 수 있었다.

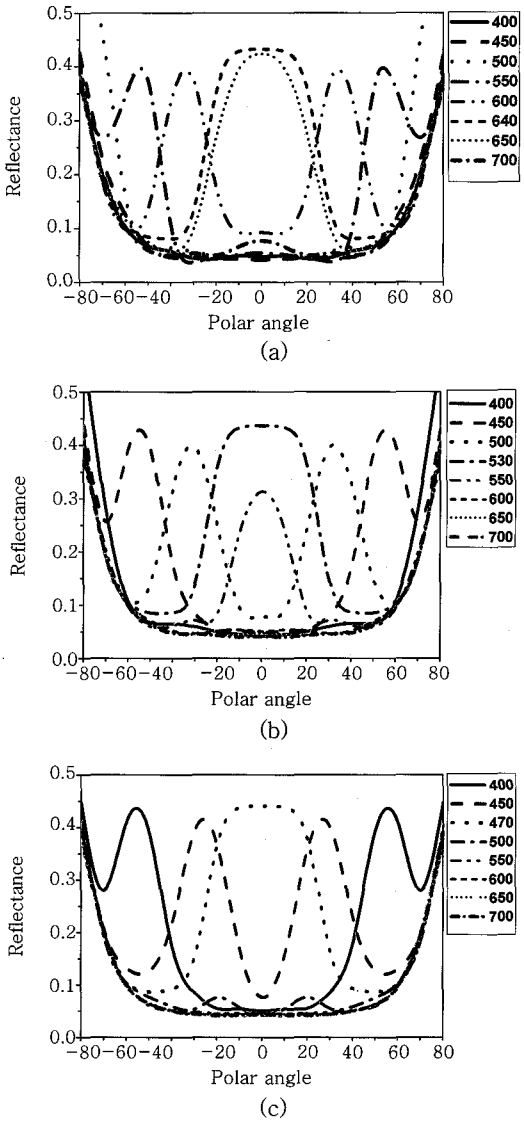


Figure 3. Characteristics of reflective CLC color filter depending on the polar viewing angle for (a) 640 nm, (b) 530 nm, and (c) 470 nm.

제작된 반사형 콜레스테릭 액정 칼라필터의 육안 관찰 결과. Figure 4는 디지털 카메라를 통해 제작한 CLC셀을 정면과 시야각 방향에서 기판이 패턴된 여부에 따라 색변화를 보여주고 있다. Figure 4의 R, G, B는 각각 순서대로 적색, 녹색, 청색을 나타내며, 적색 샘플에서 a, b는 각각 정면에서 패턴이 없는 경우와 있는 경우의 관측사진이고, c, d는 정면에서 30° 벗어난 시야각에서 관측한 사진이다. 관측된 결과에 의하면 시야각에서 패턴이 없는 경우가 먼저 녹색으로 변하는 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 녹색 샘플에서도 a, b는 각각 정면에서 패턴이 없는 경우와 있는 경우의 관측사진이고, c, d는 정면에서 35° 벗어난 시야각에서 관측한 사진이다. 관측된 결과에 의하면 적색 샘플과 비슷한 경향으로 동일한 시야각에서 패턴이 없는 경우가 먼저 청색에 가깝게 색이 변화하는 것을 확인하였다. 청색 샘플에서도 a, b는 각각 정면에서 패턴이 없는 경우와 있는 경우의 관측사진이고, c, d는 정면에서

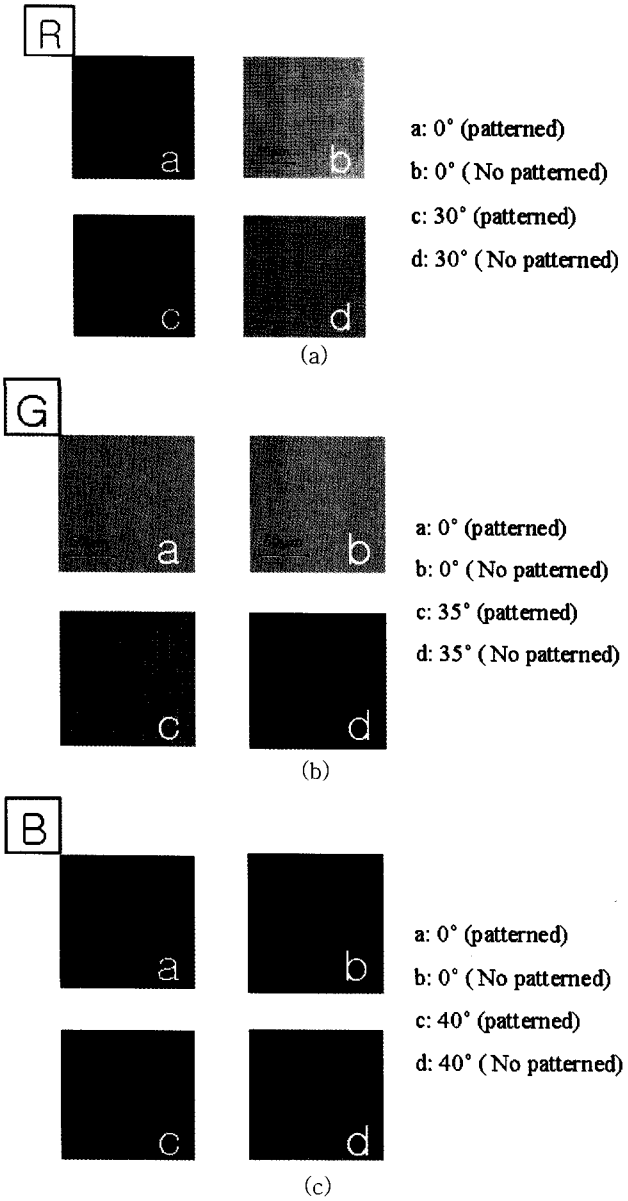


Figure 4. Characteristics of reflective CLC color filters depending on the existence of pattern and viewing direction. (a) red, (b) green, and (c) blue.

40° 벗어난 시야각에서 관측한 사진이다. 청색 샘플에서는 적색과 녹색의 경우와 달리 시뮬레이션 결과에서처럼 큰 차이를 육안으로 확인하기 어려웠다. R, G, B의 시야각의 기울임 정도는 CLC 칼라필터의 반사되는 색이 크게 변하는 기점으로 했기 때문에 각각 다르다.

제작된 반사형 콜레스테릭 액정 칼라필터의 색특성 측정 결과. 앞절에서 언급한 바와 같이 패턴의 사용 유무에 따라서 확연하게 시야각에 따라 반사되는 파장의 변화 정도가 육안으로 관찰되었으며, 이를 정량화하기 위해 CIE-Lab[17] 색좌표를 측정하였다. CIE- Lab 색좌표란 우리 눈으로 느끼는 색의 감각을 색의 보색관계와 휘도를 통해 시스템화시킨 것으로 1976년 CIE가 개발하였다. 여기서 L은 휘도를 표현하고 +a는 적색 , -a는 녹색을 표현하고, +b는 황색, -b는 청색을 표현한다.

Table 1. Characteristics of R, G, B Sample with Lab Color Coordinate and Presence of Polymer Pattern

Color	Patterned	Lab color coordinate as the viewing angle		
		L	a	b
Red	Yes	−0.7	22.6	2.1
	No	−1.4	40.5	0.9
Green	Yes	16.1	−25.1	45.7
	No	43.1	−32	30.6
Blue	Yes	−18.6	−5.4	5.3
	No	−16.1	−8.1	15

Table 1은 L, a, b 칼라필터를 검은색 물체 뒤에 놓은 뒤, 정면과 R은 30°, G는 35°, B는 40° 기울여서 디지털 카메라로 찍은 화상을 프로그램을 이용하여 L, a, b 색표현 방식으로 색이 얼마나 변하는가를 보여주는 자료이다. 각각의 수치들은 정면에서의 Lab 값에서 시야각에서의 Lab 값을 빼준 것으로, 수치의 변화가 +, − 인 것을 무시한 절대변화량을 비교해보면 패턴 유무에 따라 얼마나 색이 변하는지를 확인할 수 있다. 좀 더 구체적으로 살펴보면 적색의 변화율을 보기 위해서는 a의 값을 비교하면 된다. Table 1을 보면 패턴을 한 경우가 22.6으로 패턴을 하지 않은 경우의 수치 40.5보다 훨씬 적은 것을 알 수 있다. 이는 패턴을 한 경우가 정면과 시야각에서의 색변화가 패턴을 하지 않은 것보다 적다는 것을 보여주고 있다. 녹색의 경우 a 값을 보면 패턴을 한 경우가 −25.1로 패턴을 하지 않은 것 −32보다 절대값 만을 비교해 볼때 차이가 적은 것을 알 수 있었다. 이는 색변화각이 적은 것을 의미한다. 청색의 경우는 b값을 보면 패턴을 한 것과 하지 않은 경우 둘 다 색변화가 적은 것을 알 수 있다. 여기서 b 값이 −가 아닌 이유는 시야각에서의 값이 정면 값보다 크게 나왔기 때문이다. 하지만 단순히 a와 b가 색의 변화를 모두 나타내는 것이 아니고 L도 상당한 비중을 차지하고 있으므로 L, a, b 모두를 동시에 고려해야 하며, 청색의 경우를 제외하면 패턴이 있는 경우가 L의 변화가 줄어드는 경향을 확인할 수 있다. 이것은 육안 관찰과 시뮬레이션을 통한 광학계산에서 나온 결과와 어느 정도 비슷한 경향을 보여주는 것이다. 시뮬레이션 데이터인 Figure 3은 패턴되지 않은 CLC를 보여 주고 있기 때문에 실험에서 패턴되지 않은 b, d 부분을 비교해보면 실험값에서의 적색은 정면에서의 파장이 650 nm에서 30° 시야각에서의 파장이 500 nm로 변하는 것을 알 수 있다. 이는 색으로 표현하면 적색에서 녹색으로 변한다는 것을 의미하는데 실험값인 Figure 4(a)의 b, d 부분과 비교해 보면 시뮬레이션 결과와 색이 일치하는 것을 보여주고 있다. 녹색의 시뮬레이션 데이터의 파장을 살펴보면 정면에서의 파장은 530 nm이고 35° 시야각에서의 파장은 500 nm와 450 nm가 조금 섞여 있기 때문에 이를 색으로 표현하면 녹색에서 파란색을 감미한 녹색으로 변한다는 것을 의미한다. Figure 4(b)의 b, d 부분과 비교해보면 색이 매치되는 것을 볼 수 있다. 청색의 시뮬레이션 데이터의 파장을 살펴보면 정면에서의 파장은 470 nm이고 40° 시야각에서의 파장은 450 nm로 이를 색으로 표현하면 청색에서 청색으로 색차이가 크게 나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이를 Figure 4(c)의 b, d 부분과 비교해보

면 색이 매치되는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과들은, 정면과 시야각에서의 색변화가 패턴하지 않았을 때는 차이가 크게 나는 것을 의미한다. 따라서 Figure 4와 Table 1에서 말해주듯이 정면과 시야각에서의 색 변화 차이를 줄이기 위해서는 반구형상의 패턴을 반사형 CLC 칼라필터에 적용시켜야 할 것이다.

결 론

본 논문에서는 종래 선택 반사 칼라필터가 갖고 있는 시야각에 따른 색이동의 문제를 해결하는 방안에 대해 연구하였다. 해결 방안으로 반구형상으로 패턴된 기판 위에 CLC 칼라필터를 제작하였고 그에 따른 특성들을 분석하였다. 분석결과 반구형 패턴이 형성된 고분자막 위에 제작된 CLC 칼라필터가 패턴이 형성되지 않은 CLC 칼라필터에 비해 시야각 방향에서 색변화가 더 작은 것을 Lab 좌표계를 통해 알 수 있다. 따라서 기존의 CLC 칼라필터를 사용한 반사형 LCD의 문제점이었던 시야각 방향에서의 색변화를 본 연구에서 개발한 CLC 칼라필터를 사용함으로써 어느 정도 해결이 가능하다고 본다.

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

참 고 문 헌

1. S. H. Lee, S. H. Hong, J. M. Kim, H. Y. Kim, and J. Y. Lee, *J. SID*, **9/3**, 155 (2001).
2. A. Hochbaum, Y. Jiang, W. Niu, and S. Faris, *Proc. of the 6th International Display Workshops*, p. 379 (1999).
3. P. van de Witte and J. Lub, EP 1053493 (2000).
4. J. Lub, P. van de Witte, C. Doornkamp, J. Vogels, and R. Wegh, *Adv. Mater.*, **15**, 1420 (2003).
5. N. Moriya, T. Uchida, and K. Matsushima, *J. SID*, **11**, 409 (2003).
6. K. Kashima, M. Umeya, and M. Goto, *Proc. of the Asia Display/8th International Display Workshops*, p.585 (2001).
7. K. Ishizaki, Y. Iizuka, N. Ito, and N. Moriya, *Proc. of the 10th International Display Workshops*, p.641 (2003).
8. C. Doornkamp, R. T. Wegh, and J. Lub, *Society for Information Display Int. Symp.*, p.456 (2001).
9. D. J. Broer, J. Lub, and G. N. Mol, *Nature*, **378**, 467 (1995).
10. P. van de Witte, M. Brehmer, and J. Lub, *J. Mater. Chem.*, **9**, 2087 (1999).
11. N. Moriya, T. Uchida, and T. Honda, *Proc. of the 7th International Display Workshops*, p.347 (2000).
12. W. H. Bragg and W. L. Bragg, *X-rays and Crystal Structure*, G. Bell and Sons, London, 1915.
13. S. Chandrasekhar, *Liquid Crystals*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1977.
14. R. A. van Delden, M. B. van Gelder, Nina Huck, and Ben Feringa, *Adv. Funct. Mater.*, **4**, 319 (2003).
15. K. B. Park, I. H. Kim, S. W. Jeong, G. N. Kim, H. C. Mun, H. D. Park, and S. M. Sin, *Optical Society of Korea*, p.192 (2000).
16. M. O. Choi, Y. J. Lim, J. H. Song, J. W. Gun, and S. H. Lee, *J. of KIEEME*, **19**, 427 (2006).
17. M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, Massachussette, 1998.