

조명 설계 소프트웨어의 사용자 정의 코팅 기능을 사용한 콜레스테릭 액정 컬러 필터 시뮬레이션에 관한 연구

범태원 · 최 호 · 이학석 · 양정문 · 박종락[†]

조선대학교 광기술공학과
☎ 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

윤기철

삼성정밀화학(주) 제품개발연구소
☎ 305-380 대전광역시 유성구 문지동 103-1

장원근

한국광기술원 마이크로옵틱스팀
☎ 500-460 광주광역시 북구 월출동 971-35

(2008년 7월 5일 받음, 2008년 8월 14일 수정본 받음, 2008년 8월 18일 게재 확정)

콜레스테릭 액정 컬러 필터의 광학적 특성 분석을 위한 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였다. Berreman 4×4 행렬법을 사용하여 입사각도별 콜레스테릭 액정 컬러 필터의 반사 스펙트럼을 계산하였고, 이를 광선 추적법에 기초한 조명설계 소프트웨어인 LightTools의 사용자 정의 코팅 파라미터로 입력하였다. LightTools를 이용하여 평면 투과형 콜레스테릭 액정 컬러 필터의 시야각에 따른 색변화를 시뮬레이션 하였다. 5도 간격 이하의 입사각도별 반사 스펙트럼을 LightTools의 사용자 정의 코팅 파라미터로 사용하였을 때, Berreman 4×4 행렬법의 결과와 부합하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 반구형 패턴을 갖고 있는 반사형 콜레스테릭 액정 컬러 필터의 시야각에 따른 색변화를 시뮬레이션 하였는데, 본 논문의 시뮬레이션 방법을 비 평면형 구조에도 적용할 수 있음을 확인하였다.

주제어: 콜레스테릭 액정, 컬러 필터, 조명설계

I. 서 론

콜레스테릭 액정(cholesteric liquid crystal, CLC)은 그 특유의 나선형 구조로 인하여 원편광에 대한 선택적 반사 등 매우 흥미로운 광학적 특성을 보이고 있다.^[1-3] 현재 광의 선택적 반사 및 반사된 광의 재활용에 기초한 휘도 향상 기술을 통해 소비 에너지를 절감하고자 하는 노력이 꾸준히 진행 중에 있으며, 그 중 특히 원편광의 반사 및 재활용에 기반을 둔 CLC 편광판, CLC 컬러 필터 개발에 대한 연구가 최근 활발히 보고되고 있다.^[4-8] 컬러 필터는 액정표시장치의 색 구현을 위한 필수적인 소자이다. 현재 상업적으로 사용되고 있는 컬러필터는 광의 흡수를 기반으로 동작하기 때문에 액정표시장치에서 전체적 광 효율 저하의 큰 원인으로 작용하고 있다. 이에 반해 CLC 컬러 필터는 광의 반사를 기초로 색을 구현할 수 있어 차세대 컬러 필터로 큰 주목을 받고 있다.

CLC 구조에 대한 수치적 모델링은 기본적으로 평면구조에 대한 모델링 및 시뮬레이션에 적용이 가능한 Berreman의 4×4 행렬법을 사용하여 수행될 수 있다.^[4,5,9,10] 최근 들어 CLC 컬러 필터의 시야각 특성을 향상시키기 위해 반구형 구조 등 새로운 비 평면 구조에 대한 제안이 이루어지고 있는

데,^[6] 이에 대한 모델링 및 특성분석에 Berreman의 4×4 행렬법을 직접 적용하기 위해서는 비 평면 구조를 다수의 평면 영역으로 분할하여 각 영역에 대한 시야각 특성을 개별적으로 시뮬레이션 하고 그 결과를 다시 통합하는 번거로운 과정을 거쳐야 한다. 만일 입사광이 평행광이 아닌 일반적인 LCD 디스플레이의 BLU로부터 발생한 임의의 배광분포를 갖고 있는 광이라면 문제는 더욱 복잡하게 되어 실제적으로 Berreman의 4×4 행렬법을 직접 적용하는 것은 실용적이지 못하다. 본 논문에서는 Berreman의 4×4 행렬법을 이용한 맥스웰 방정식 해법(입사각도별 CLC 컬러 필터의 반사 스펙트럼 계산)과 광선추적방법에 기반을 둔 상용 조명설계 소프트웨어를 복합적으로 활용하여 평면 및 비 평면 CLC 컬러 필터 구조의 광학적 특성에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. CLC 컬러 필터의 입사각도별 반사 스펙트럼을 상용 조명설계 소프트웨어의 사용자 정의 코팅 파라미터에 입력하여 비교적 간단한 방법으로 평면 구조를 갖는 투과형 CLC 컬러 필터와 비평면 구조를 갖는 반사형 CLC 컬러 필터에 대한 시뮬레이션을 수행할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Berreman의 4×4 행렬법을 이용한 입사각도별 CLC 액정 컬러 필터의 반사 스펙트럼 계산법에 대해 소개하였다. 3장에서는 이 결과를 상

[†]E-mail: ejrpark@chosun.ac.kr

용 조명설계 소프트웨어인 LightTools(Optical Research Associates)의 사용자 정의 코팅 파라미터로 입력하여 수행한 평면 및 비 평면 구조를 갖는 CLC 컬러 필터에 대한 시뮬레이션 결과(시야각에 따른 색변화)에 대해 논하였다. 사용자 정의 코팅 파라미터로 제한된 수의 특정 입사각에 대한 코팅 특성만을 입력할 수 있기 때문에 상용 조명 설계 소프트웨어인 LightTools는 입력되지 않은 각도에 대한 특성을 보간법(interpolation)을 통해 자동 처리하는 역할을 한다. 되도록 세밀한 입사각도 간격으로 코팅 특성을 입력하면 보간법에 의한 오차를 줄일 수 있겠지만, 시뮬레이션 용량과 계산 시간을 증가 시키는 요인이 된다. 3장에서는 입사각도 간격을 어느 정도까지 세밀하게 결정해야 하는지에 대해서도 살펴보았다. 마지막으로 4장에서 본 논문의 내용을 요약 정리하여 결론을 맺도록 하겠다.

II. CLC 컬러 필터 반사 스펙트럼 계산

CLC 컬러 필터의 반사 스펙트럼 계산을 위해 Berreman의 4×4 행렬법^[9,10]을 사용하였다. Berreman의 4×4 행렬법은 맥스웰 방정식으로부터 유도된 것으로 임의의 입사각에 대한 다층박막의 투과 및 반사 스펙트럼 계산에 널리 사용되고 있다. Berreman의 4×4 행렬법에서 균질 매질(homogeneous medium)은 전파행렬(propagation matrix)이라 불리우는 4×4 행렬로 표현되며, 매질의 유전상수 텐서에 의해 그 값이 결정된다. CLC는 전체적으로 볼 때 비균질 매질이나 네마틱 액정 방향자의 변화를 무시할 수 있을 정도로 매우 얇게 이를 다층으로 분해하면 각 층은 광학적으로 단축 결정(uniaxial crystal)과 동일하게 다룰 수 있게 된다. Berreman의 4×4 행렬법에서 다층박막에 대한 전파행렬은 각 박막 층에 대한 전파행렬의 곱으로 표현되므로, CLC의 경우 균질 매질로 근사된 각 박막 층에 대한 국소 전파행렬을 모두 곱하여 CLC 전체에

대한 전파행렬을 구할 수 있다. 전체 전파행렬이 얻어지면, 입사면과 반사면에서의 경계조건 적용을 통해 투과 및 반사 스펙트럼을 구하게 된다. 본 논문에서는 참고문헌 [10]에 정리되어 있는 수식을 사용하여 CLC 컬러 필터의 반사 스펙트럼에 대한 계산을 수행하였다.

본 논문에서는 투과형 CLC 컬러 필터와 반사형 CLC 컬러 필터에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. CLC 컬러 필터의 반사 스펙트럼 계산을 위해 Merck사의 RMS03-001에 대한 굴절률 데이터(정상 굴절률: 1.529, 이상 굴절률: 1.684)를 사용하였다.^[6] 투과형 CLC 컬러 필터에 대해서는 입사각도가 0도일 때 반사중심 파장이 640 nm(RED_CLC)인 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때, 반사 스펙트럼의 반사중심 파장이 640 nm가 되도록 CLC의 피치(pitch)를 398 nm로 결정 하였으며, CLC 필름의 두께는 3000 nm로 하였다. 그림 1은 입사각도 0도, 10도, 20도, 30도, 40도에 대해 반사 스펙트럼을 계산한 결과를 보여주고 있다. 입사광은 유리기판(굴절률 1.5)에서 그 위에 코팅된 CLC 컬러 필터 쪽을 향하는 것으로 가정하였다. 각 입사각도별 공기 층으로의 투과각도는 각각 0도, 15.1도, 30.9도, 48.6도, 74.6도이다. 입사각도가 0도일 때, 반사 밴드의 중심 파장이 640 nm이며, 입사각도가 증가함에 따라 반사밴드의 중심 파장이 단파장 쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 반사형 CLC 컬러 필터에 대해서는 입사각도가 0도일 때 반사중심 파장이 640 nm(RED CLC), 530 nm(GREEN CLC), 470 nm(BLUE CLC)인 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때, RED, GREEN, BLUE CLC에 대한 각각의 피치는 398 nm, 320 nm, 292 nm이었으며, 이 경우에도 CLC 필름의 두께는 3000 nm로 하였다. 반사형 CLC 컬러 필터의 경우 입사광은 공기(굴절률 1.0) 중에서 CLC 컬러 필터 쪽을 향하는 것으로 가정하였다.

III. 시뮬레이션 결과 및 논의

3.1. 평면 구조를 갖고 있는 투과형 CLC 컬러 필터

앞 장에서 계산한 CLC 컬러 필터의 입사각도별 반사 스펙트럼을 조명설계 소프트웨어인 LightTools의 사용자 정의 코팅 파라미터로 입력하여 평면 구조를 갖고 있는 투과형 CLC 컬러 필터의 광학적 특성에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2는 시뮬레이션 수행을 위한 레이아웃 및 광원의 분광세기 분포(spectral power distribution)를 보여주고 있다. 광원의 크기는 70 mm × 70 mm × 4 mm로 하였고, 유리기판의 크기는 70 mm × 70 mm × 25 mm로 하였다. 광원의 분광세기 분포는 Cree 사의 백색 LED 모델인 Xlamp XR-E의 데이터를 적용하였고,^[11] 각도별 배광 형태는 균등분포(uniform distribution)로 가정하였다. 유리기판의 상부에는 CLC 코팅에 대한 분광 반사 특성이 사용자 정의 코팅 파라미터를 통해 적용되었다. 그림 3은 유리기판의 상부에 적용된 사용자 정의 코팅 특성(사용자 정의 코팅 특성 파일: RED_CLC)에 내장된 입사각도별 반사 스펙트럼을 보여주고 있다. 반사 스펙

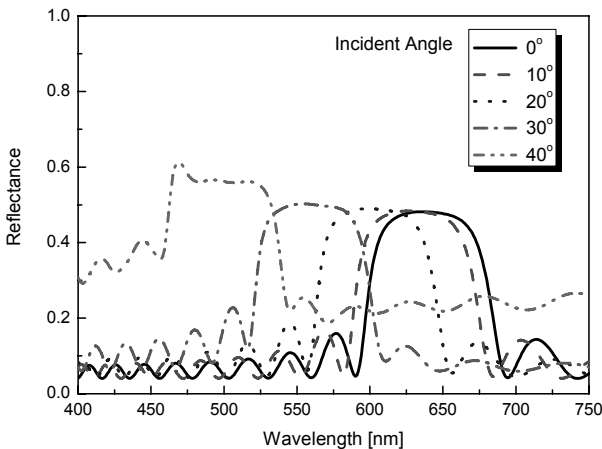


그림 1. Berreman의 4×4 행렬법을 사용하여 계산한 평면 구조 CLC 컬러 필터의 반사 스펙트럼(정상 굴절률: 1.529, 이상 굴절률: 1.684, 피치: 398 nm, 필름 두께: 3000 nm, 입사 매질 굴절률: 1.5, 투과 매질 굴절률: 1.0)

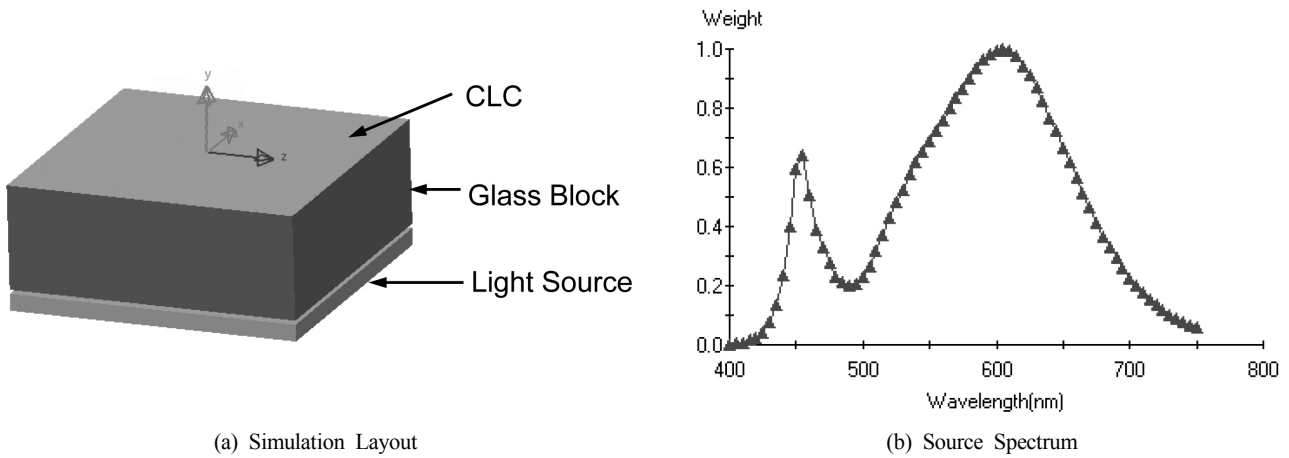


그림 2. (a) 평면 구조를 갖고 있는 투과형 CLC 컬러 필터 시뮬레이션에 사용된 시뮬레이션 레이아웃, (b) 광원의 스펙트럼.

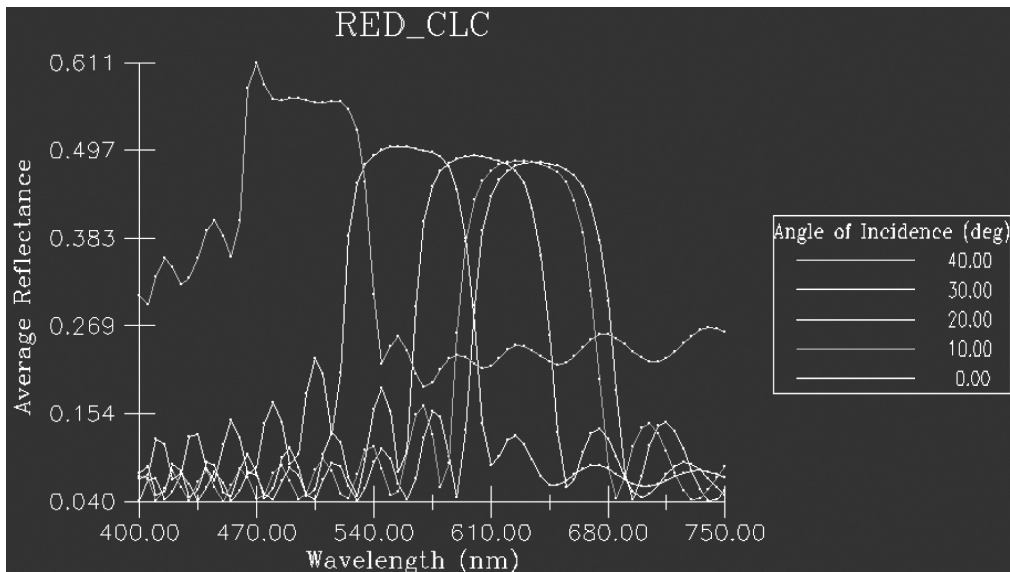


그림 3. 코팅 특성파일 RED_CLC에 내장된 입사각도별 반사 스펙트럼.

펙트럼은 0도 - 40도 사이의 10도 간격 입사각도에 대해 파장 400 nm - 750 nm 영역에서 5 nm 간격으로 입력하였다.

투과광의 시야각에 따른 색좌표 변화에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4(a)는 LightTools에서 시뮬레이션 된 시야각에 따른 색좌표 x 및 y 값의 변화에 대한 결과를 보여 주고 있다. 시야각 50도 근처에서 색좌표 y 값이 최소를 보이고 있는데, 이는 시야각 50도(입사각 약 30도) 근처에서 CLC 컬러 필터의 반사밴드 중심 파장이 약 550 nm에 해당되어 일어나는 현상이다. 시야각이 50도 이상으로 증가하게 되면 반사밴드 중심 파장이 단파장 쪽으로 급속히 이동하여 색좌표 x 값, y 값이 모두 증가하게 된다.

본 시뮬레이션의 경우와 같이 평면에 코팅된 CLC 컬러 필터의 경우에는 앞서 소개한 Berreman 행렬법을 이용하여 계산한 반사 스펙트럼과 광원의 분광 세기 분포를 사용하여 투과광에 대한 시야각에 따른 색좌표 변화를 곧바로 계산할 수 있다. 그림 4(b)는 Berreman 행렬법을 이용하여 얻은 결과를 보

여주고 있다. 두 결과가 비슷한 경향을 보이고 있으나, 세부적으로 비교해 보았을 때 미세한 차이가 존재함을 알 수 있다. 그림 5에 두 결과 사이의 색차 $\Delta xy (= \sqrt{(x_L - x_B)^2 + (y_L - y_B)^2})$ 를 도시하였다. 여기서 (x_L, y_L) 은 LightTools 시뮬레이션을 통해 얻은 색좌표이며, (x_B, y_B) 는 Berreman 방법을 통해 계산한 색좌표이다. 시야각 15도, 30도, 50도, 70도 근처에서 색차가 작음을 발견할 수 있는데, 이 각도들은 시뮬레이션을 위해 사용된 코팅 특성파일 RED_CLC에 내장된 반사 스펙트럼의 입사각(0도, 10도, 20도, 30도, 40도)에 대한 공기 중으로의 투과각도와 일치하고 있다. 전술한 바와 같이 LightTools에서는 코팅 특성파일에 입력되지 않은 입사각도에 대한 반사스펙트럼을 보간법을 사용하여 처리하고 있으며, 이에 의해 두 결과 사이의 오차가 발생한 것으로 판단된다.

두 결과 사이의 오차를 줄이기 위해 입사각 증분을 5도 간격으로 재조정하여 코팅 특성파일 RED_CLC_5(그림 6 참

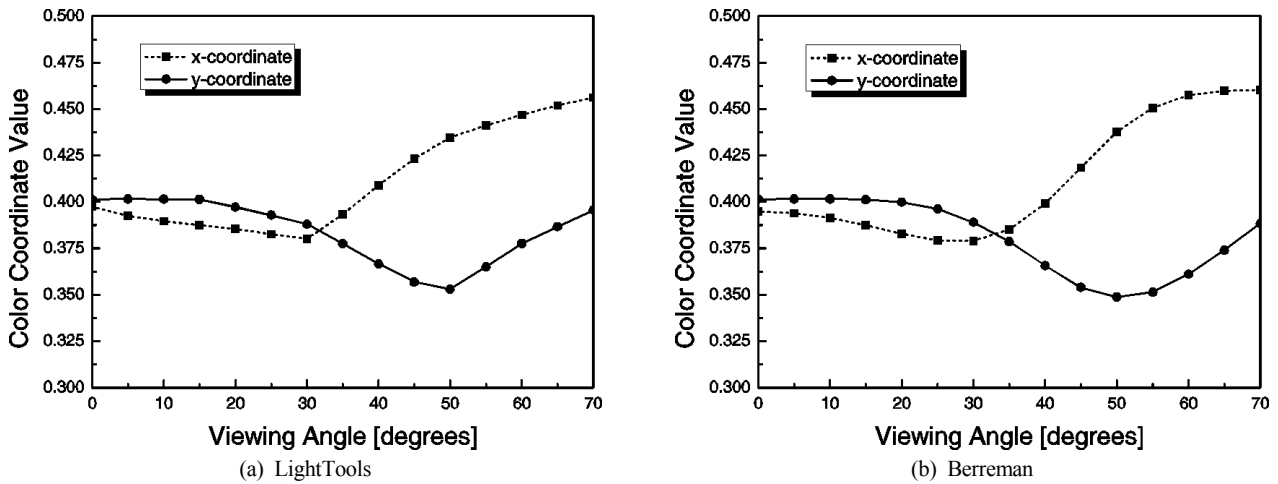


그림 4. (a) LightTools 시뮬레이션, (b) Berreman 방법을 통해 계산한 시야각에 따른 색좌표 변화.

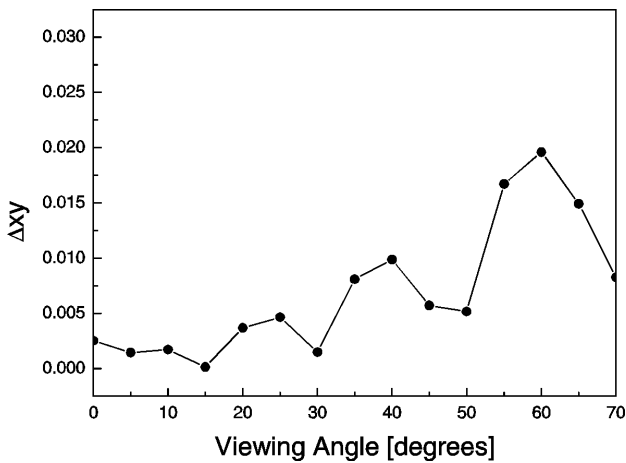


그림 5. LightTools 시뮬레이션과 Berreman 방법의 계산한 결과 사이의 색차 Δxy .

조)를 작성하고 이를 유리기관 상면의 코팅 특성으로 재입력 하였다. 이를 이용하여 시뮬레이션을 재 수행한 결과는 그림 7(a)와 같으며, 이 때 Berreman 방법에 의한 결과와의 색차 Δxy 는 그림 7(b)와 같다. 70도 이하 모든 시야각에서 색차 Δxy 가 0.005 이하를 보여 매우 우수한 일치도를 나타내고 있다. 일반적으로 Δxy 가 0.005-0.02 이하일 때 색의 차이가 거의 없는 것으로 보고되고 있다.^[12] 입사각 증분을 5도 간격 이하로 좀 더 세밀하게 입력하면 색차를 좀 더 줄일 수 있을 것으로 사료되나, 이는 시뮬레이션 용량과 시간을 크게 할 뿐 시뮬레이션 결과 향상에 미치는 실질적인 효과는 적을 것으로 사료된다.

3.2. 반구형 패턴을 갖고 있는 반사형 CLC 컬러 필터

현재 CLC 컬러 필터의 시야각 특성을 향상시키기 위한 새로운 구조의 제안이 활발히 이루어지고 있다. 최근, CLC 컬러

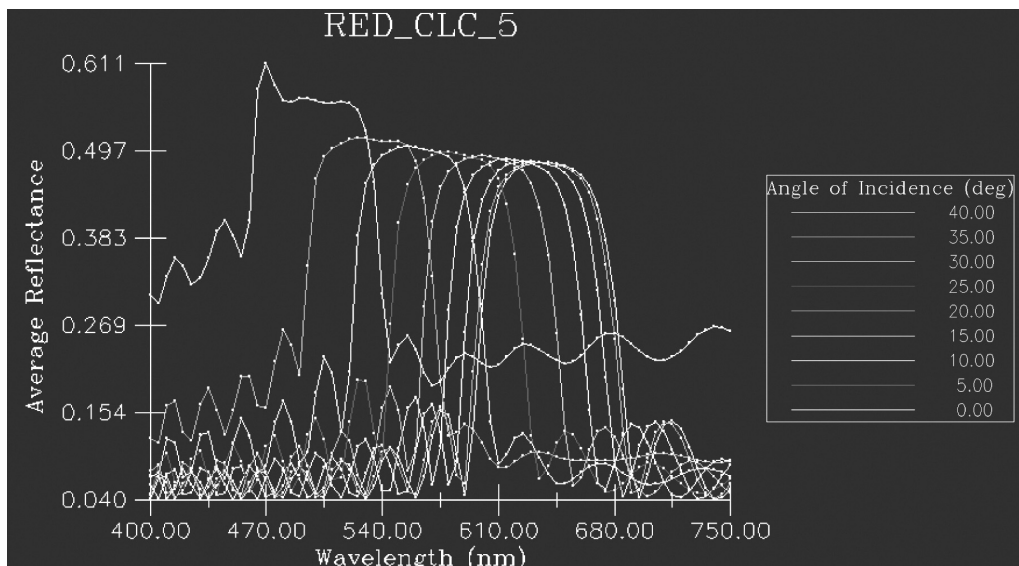


그림 6. 입사각 증분을 5도 간격으로 재조정하여 코팅 특성파일 RED_CLC_5에 내장된 입사각도별 스펙트럼.

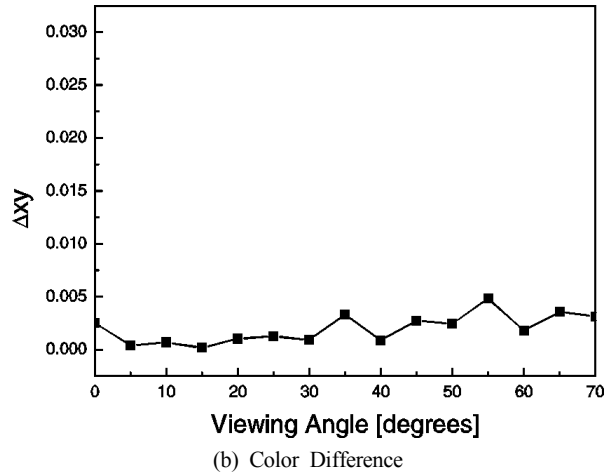
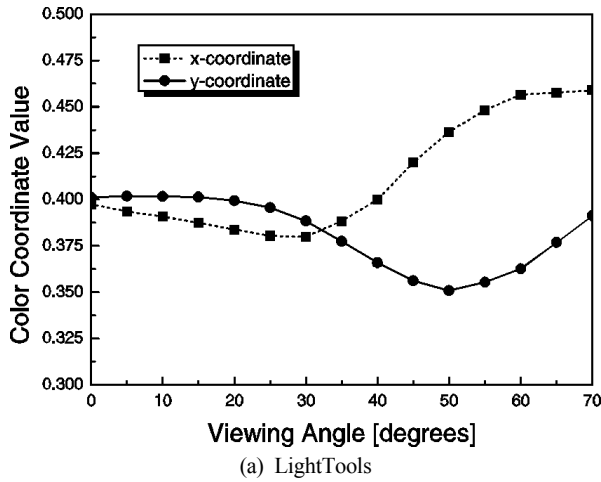


그림 7. (a) 코팅 특성파일 RED_CLC_5를 사용하여 재 시뮬레이션을 수행한 결과, (b) Berreman 방법에 의한 결과와의 색차 Δxy .

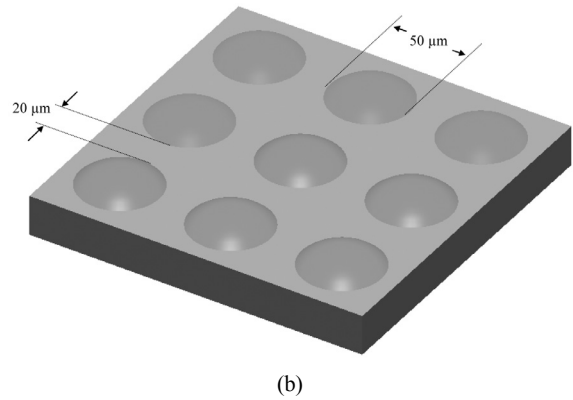
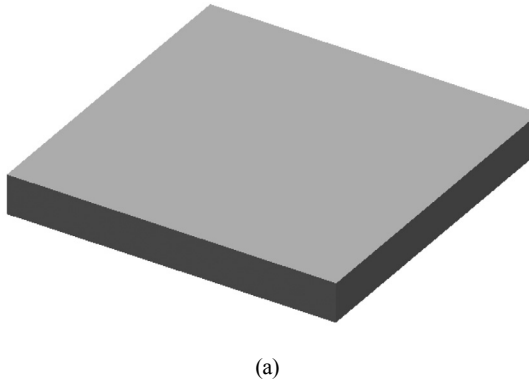


그림 8. 반사형 CLC 컬러 필터에 사용된 시뮬레이션 레이아웃. (a) 반구형 패턴이 없는 경우, (b) 반구형 패턴이 있는 경우.

러필터의 시야각에 따른 색 좌표 변화의 문제를 해결하는 방안 중 한 가지로 반구형 패턴이 형성된 반사형 CLC 컬러 필터가 제안되었다.^[6] 본 절에서는 이 구조에 대한 시뮬레이션 수행 결과에 대해 서술하도록 한다. 그림 8은 시뮬레이션에 사용한 CLC 컬러 필터의 레이아웃을 보여주고 있다. 그림 8(a)는 반구형 패턴이 없는 평면 CLC 컬러 필터를 보여주고 있으며, 그림 8(b)는 지름 50 μm , 높이 10 μm 형상의 반구형 패턴이 20 μm 간격으로 배열된 CLC 컬러 필터를 보여준다. 그림 8(b)의 형상은 참고문헌 [6]에 실험적으로 보고된 반구형 패턴을 갖는 CLC 컬러 필터의 형상과 동일하다.

앞서 서술한 바와 같이 입사각도 0도에서 반사 중심 파장이 640 nm(RED CLC), 530 nm(GREEN CLC), 470 nm(BLUE CLC)인 CLC 컬러 필터에 대한 반사 스펙트럼을 계산하여 LightTools의 사용자 정의 코팅 파라미터로 입력하였다. 반사 스펙트럼은 5도 간격의 입사각도(0도 - 50도)에 대해 파장 400 nm - 750 nm영역에서 5 nm 간격으로 입력하였다. 광원의 분광 세기 분포로는 Cree 사의 백색 LED 모델인 Xlamp XR-E의 데이터를 사용하였고, 각도별 배광 형태는 실제 CLC 컬러 필터의 관찰 상황과 유사한 ± 10 도 이내의 발산각을 갖는 균등 분포로 가정하였으며, 반사광에 대한 시뮬레이션을

수행하였다.

그림 9는 반구형 패턴 유무에 따른 색 좌표 변화에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 그림 9(a)의 왼쪽 그래프는 반구형 패턴이 없는 평면형 RED CLC 컬러 필터에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 시야각이 30도 이상 증가하게 되면 급격하게 색좌표가 변화함을 알 수 있다. 시야각이 0도에서 50도로 증가함에 따라 색좌표 x 는 0.583에서 0.412로 $|\Delta x| = 0.171$ 감소하였고, 색좌표 y 는 0.362에서 0.502로 $|\Delta y| = 0.140$ 증가하였다. 그림 9(a)의 오른쪽 그래프에 도시된 것과 같이 반구형 패턴을 갖고 있는 RED CLC 컬러 필터의 경우 시야각 50도까지도 거의 색좌표 변화가 없음을 알 수 있는데, 시야각 50도까지의 색좌표 x 및 y 의 최대 변화값의 절대값은 각각 $|\Delta x|_{\text{max}} = 0.027$, $|\Delta y|_{\text{max}} = 0.031$ 이었다. GREEN CLC 컬러 필터(그림 9(b))와 BLUE CLC 컬러 필터(그림 9(c))의 경우에도 반구형 패턴이 없는 평면형의 경우 시야각이 30도 이상 증가하게 되면 급격한 색좌표 변화가 일어나며, 반구형 패턴을 갖고 있는 비 평면형의 경우 시야각 50도까지도 거의 색좌표 변화가 없음을 확인할 수 있다. 이 결과는 참고문헌 [6]에 보고된 실험적 결과와 부합하는 결과이다.

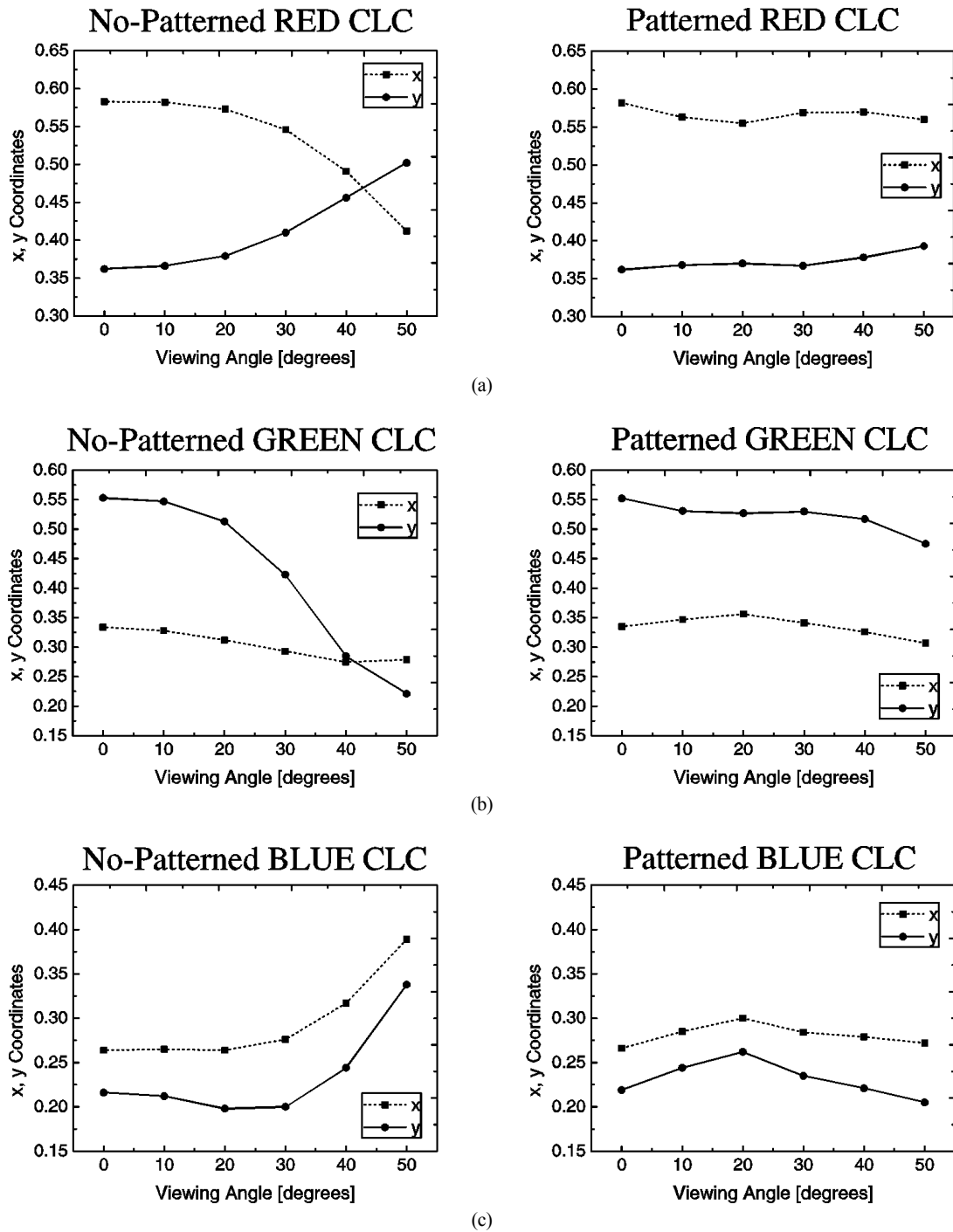


그림 9. (a) RED CLC(반사 중심 파장: 640 nm), (b) GREEN CLC(반사 중심 파장: 530 nm), (c) BLUE CLC(반사 중심 파장: 470 nm)에 대한 시야각에 따른 색좌표 변화 시뮬레이션 결과. 왼쪽 그래프들은 반구형 패턴이 없는 평면 구조에 대한 결과이며, 오른쪽 그래프들은 반구형 패턴을 갖고 있는 비평면 구조에 대한 결과이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 광선추적방법에 기반을 둔 상용 조명설계 소프트웨어인 LightTools의 사용자 정의 코팅 기능을 활용하여 CLC 컬러 필터의 시야각에 따른 색좌표 변화에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. Berreman의 4×4 행렬법을 이용하여

계산한 입사각도별 CLC 컬러 필터의 반사 스펙트럼을 LightTools의 사용자 정의 코팅 파라미터로 사용하였다. 평면 구조를 갖고 있는 투과형 CLC 컬러 필터에 대한 시뮬레이션을 수행하여 반사 스펙트럼의 입사각 증분을 5도 간격 이하로 하였을 경우 LightTools를 사용하여 시야각에 따른 색변화를 정확히 예측할 수 있음을 알아내었다. 비 평면 구조인 반구

형 패턴을 갖고 있는 반사형 CLC 컬러 필터에 대한 시뮬레이션을 수행하여 실험 결과와 부합하는 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 사용한 시뮬레이션 방법은 평면형 이외의 다양한 기하학적 구조를 갖는 새로운 형태의 CLC 컬러필터 설계 및 기하학적 구조 파라미터 최적화에 유용히 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

- [1] S. -T. Wu and D. -K. Yang, *Reflective Liquid Crystal Displays* (John Wiley & Sons, New York, USA, 2001), pp. 197-241.
- [2] E. Lueder, *Liquid Crystal Displays* (John Wiley & Sons, New York, USA, 2001), pp. 119-122.
- [3] P. Yeh and C. Gu, *Optics of Liquid Crystal Displays* (John Wiley & Sons, New York, USA, 1999), pp. 282-305.
- [4] K. C. Yoon, H. Pak, S. T. Kim, J. C. Jung, H. D. Park, O. O. Park, and J. R. Park, "Measurement of Optical Constants for Polymerized Cholesteric Liquid Crystal Films by Using Transmittance and Reflectance Spectra," *J. Korean Phys. Soc.*, vol. 49, no. 1, pp. 359-364, 2006.
- [5] J. R. Park, G. Ryu, J. Byun, H. Hwang, S. T. Kim, and I. Kim, "Numerical Modeling and Simulation of a Cholesteric Liquid Crystal polarizer," *Opt. Rev.*, vol. 9, no. 5, pp. 207-212, 2002.
- [6] 김태현, 임영진, 황성진, 이명훈, 장원근, 이승희, "반사형 콜레스테릭 칼라필터의 시야각에 따른 광특성 향상에 관한 연구," *Polymer (Korea)*, vol. 31, no. 2, pp. 148-152, 2007.
- [7] H. Pak, K. I. Kim, K. C. Yoon, S. T. Kim, J. C. Jung, H. D. Park, and J. R. Park, "Optical Modeling and Simulation of a Cholesteric Liquid Crystal Polarizer," *Proceedings of The 12th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2005*, pp. 1407-1410, 2005.
- [8] W. J. Jeong, H. Pak, K. C. Yoon, S. T. Kim, J. C. Jung, H. D. Park, and J. R. Park, "Comparative Study on Reflective Polarizers: On-axis Properties," *Proceedings of The 13th International Display Workshops*, pp. 999-1002, 2006.
- [9] D. W. Berreman and T. J. Scheffer, "Reflection and Transmission by Single-Domain Cholesteric Liquid Crystal Films: Theory and Verification," *Mol. Cryst. And Liq. Cryst.*, vol. 11, pp. 395-405, 1970.
- [10] H. Wöhler, G. Haas, M. Fritsch, and D. A. Mlynski, "Faster 4×4 matrix method for uniaxial inhomogeneous media," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 5, no. 9, pp. 1554-1557, 1988.
- [11] <http://www.cree.com/xlamp>.
- [12] M. G. Robinson, J. Chen, and G. D. Sharp, *Polarization Engineering for LCD Projection* (John Wiley & Sons, Chichester, England, 2005), pp. 21-46.

Simulation of Cholesteric Liquid Crystal Color Filter by Using User-defined Coating Property of an Illumination Design Software

Tae Won Beom, Hao Cui, Hak Suk Lee, Jeong Mun Yang, and Jong Rak Park[†]

Department of Photonic Engineering, Chosun University 375 Seosuk-Dong, Dong-Gu, Gwangju 501-759, Korea

[†]*E-mail: ejrpark@chosun.ac.kr*

Ki Cheol Yoon

R & D Center, Samsung Fine Chemicals Co., Ltd. 103-1 Moonji-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-380, Korea

Won-Gun Jang

Microoptics Team, Korea Photonics Technology Institute 971-35 Wolchul-Dong, Buk-Gu, Gwangju 500-460, Korea

(Received July 5, 2008; Revised manuscript August 14, 2008; Accepted August 18, 2008)

We have performed modeling and simulations of optical characteristics for a cholesteric liquid crystal (CLC) color filter. Berreman's 4×4 matrix method was used for the calculation of reflectance spectra of the CLC color filter with respect to the incident angle. The results were employed as input parameters for a user-defined coating property of an illumination design software based on the ray-tracing method, LightTools. Color shift characteristics of a planar transmission-type CLC color filter were simulated using LightTools. The results were compared with the results obtained with Berreman's 4×4 matrix method. It was found that color shift characteristics of the CLC color filter could be simulated to a reasonable accuracy when the reflectance spectra with less than 5 degrees of incremental incidence-angle were used as the input data for the user-defined coating property of LightTools. We have simulated color shift characteristics of a reflection-type CLC color filter having hemi-spherical patterns. The simulation method reported in this paper has been found to be also used for a non-planar CLC color filter structure.

OCIS codes: (120.2440) Filters; (220.2740) Geometrical optics, optical design; (310.6860) Thin films, optical properties; (330.1690) Color.