



Design of a Coated Blue-light Blocking Lens and Study of Its Optical Characteristics according to the Blue-light Blocking Rate

Moonchan Park*

Dept. of Ophthalmic Optics, Shinhan University, Professor, Uijeongbu 11644, Korea
(Received August 9, 2019; Revised August 20, 2019; Accepted September 10, 2019)

Purpose: This study was to design a coated blue-light blocking lens and observe its optical properties according to the blue-light blocking rate. **Methods:** The optical constants of Ti_3O_5 and SiO_2 thin films were determined using the envelope method following the coating of Ti_3O_5 and SiO_2 thin films, and the transmittances were obtained. Using the Essential Macleod program, the study designed a blue-light blocking lens having a Gaussian distribution curve with a peak wavelength of 450 nm and a line width of 27 nm at a wavelength of 380 to 500 nm. Visible light having a wavelength of 500 nm or more was nearly transmitted, and ultraviolet light having a wavelength of 380 nm or less was blocked. **Results:** The designed antireflective coating layers consisted of 6 layers and were found to have a transmittance of 95.5% or greater in the visible light region. In the case of the designed blue-light blocking layers, the numbers of coating layers were 16, 24, 28, and 32 layers for 10%, 20%, 40%, and 60% blue-light blocking rates at the peak wavelength of 450 nm, respectively. The blue-light blocking rates, transmittances, and luminous transmittances were (4.9%, 8.8%, 17.2%, 25.7%), (95.8%, 94.6%, 92.7%, 90.7%), (99.5%, 98.9%, 98.5%, 98.0%), respectively. CIE chromaticity diagrams were (0.3371, 0.3395), (0.3400, 0.3450), (0.3479, 0.3578), and (0.3563, 0.3731) for the blue-light blocking rates of 10%, 20%, 40%, and 60% at the peak wavelength of 450 nm, respectively. It was found that the colors of these blocking lenses shifted from transparent to a light yellow. **Conclusion:** As the number of coating layers increased, the blue-light blocking rates increased, the luminous transmittances decreased slightly, and the colors of the blocking lenses shifted from transparent to a light yellow.

Key words: Blue-light blocking lens, Blue-light blocking rate, Luminous transmittance, CIE chromaticity diagram

서 론

Light emitting diode(LED)를 사용하는 휴대폰, 노트북 컴퓨터, 데스크톱 컴퓨터는 스크린에서 다른 파장의 빛에 비해 짧은 파장의 빛인 청색광이 많이 나오는데, 이러한 청색광에 저녁때 오랫동안 노출되면 멜라토닌 분비가 억제된다고 알려져 있다.^[1] 반면에 저녁에 오렌지색으로 착색하여 청색광을 차단한 안경렌즈를 착용한 사람들은 착색하지 않은 안경렌즈를 착용한 사람들에 비해 멜라토닌 분비 억제가 현저히 줄어드는 것을 보고되었고,^[2] 그리고 오렌지색의 안경렌즈와 회색 안경렌즈 착용자의 멜라토닌 분비 억제를 비교한 결과 오렌지색인 청색광 차단 안경렌즈 착용자가 멜라토닌 분비 억제가 덜 되는 것으로 연구 결과가 나타났다.^[3]

청색광 차단 렌즈는 나이 관련 황반변성(ARMD)환자에게 도움을 줄 수도 있을 수 있으나, 청색광 차단 렌즈인

노랑색 렌즈가 ARMD 진행을 막는 효과가 있는지 관해서는 임상적인 연구가 필요하다고 보고되었고,^[4] 연구가 점점 진행되면서 무수정체나 인공수정체 안을 갖는 환자에 있어서 빛으로 인한 망막의 손상될 위험이 증가된다고 발표하였다.^[5] 청색광을 이용하여 쥐의 망막 손상 실험을 한 결과, 청색광이 선택적으로 광수용체세포 손상을 유도하고 망막손상을 야기 할 수 있다는 새로운 기전 존재 가능성을 확인하였고,^[6] 청광차단렌즈를 통해 광산화가 약 10% 정도 억제되는 것을 확인한 연구도 있지만 황반변성에 큰 도움을 줄지는 아직 확신할 수 없다고 결론지었다.^[7]

청색광 차단 렌즈 제작에는 착색에 의한 방법이나 코팅 방법이 있다. 착색인 경우 청색광을 흡수하는데 흡수스펙트럼의 선폭이 커 가시광선영역도 흡수하므로 시감투과율이 낮으나, 코팅으로 하는 방법은 청색광 차단 피크 파장과 선폭을 조절하여 원하는 청색광 차단율을 차단할 뿐만 아니라 시감투과율이 떨어지는 것을 방지할 수도 있다.^[8]

*Corresponding author: Moonchan Park, TEL: +82-32-870-3432, E-mail: mcpark@shinhan.ac.kr

본 연구에서는 코팅방법을 사용하여 이상적인 청색광 차단 설계를 하고자 한다.

청색광차단렌즈의 청색광 차단율을 고려할 때 국제표준에 의거한 청색광 위험함수의 가중치를 고려하여야 하며,^[8] 이러한 가중치를 고려하여 41종의 LED 광원을 분석하여 청색광 차단 렌즈의 이상적인 설계를 제시한 연구^[9]에 의하면 청색광 차단 렌즈는 차단 곡선이 파장 450 nm를 중심으로 하고 반치폭을 27 nm인 가우시안 분포를 하여야 한다고 보고하였다.

이를 근거로 본 연구에서 설계한 청색광 차단 렌즈는 차단 곡선이 파장 450 nm를 중심으로 하고 반치폭을 27 nm인 가우스 분포를 고려하고 가우스곡선 이외의 영역에서인 380 nm 이하 자외선은 완전 차단하고 480 nm에서 780 nm 사이의 가시광선 투과율은 100%로 유지하여 시감투과율을 최대한 높이하고자 하였다. 이때 45 nm 피크 파장에서의 차단율을 10%, 20%, 40%, 60%이 되도록 설계하고 청색광 피크 파장 차단율에 따른 박막의 층수, 청색광 차단율, 투과율, 시감투과율, CIE 색도도의 변화를 관찰하고자 한다.

대상 및 방법

먼저 Ti₃O₅박막과 SiO₂박막의 굴절률과 소멸계수를 구하기 위해 박막을 BK7 유리 위에 임의의 두께로 전자 빔 증착 장치(electron beam evaporation, 새한, 1200)를 사용하여 제작하였다. BK7 유리는 알코올 및 아세톤이 혼합된 용액으로 세척하였으며 박막의 균일도를 유지하기 위해 기판을 20 rpm으로 회전시켰고, 증착온도는 할로겐램프를 이용하여 270°C로 하였다. Ti₃O₅ 박막 증착 시 O₂가스를 공급하였으며 박막 증착율(deposition)은 3.0 A/sec이며, 박막 증착 중 챔버의 진공도는 1.3×10⁻⁴ torr이었고, SiO₂ 박막 증착율은 9.0 A/sec이며, 박막 증착 중 챔버의 진공도는 2.0×10⁻⁵ torr이었다.

분광광도계를 이용하여 BK7 유리 기판의 투과율과 기판위에 코팅된 Ti₃O₅박막과 SiO₂박막의 투과율을 구한 후, 포락선방법^[10]을 이용하여 Ti₃O₅박막과 SiO₂박막의 파장에 따른 광학상수를 구하였다.

Essential Macleod 프로그램을 이용하여 청색광 차단 렌즈의 한 면은 청색광 차단 면으로 다음과 같이 설계한다. 자외선영역은 차단하기 위해 380 nm 이하 파장에서는 투과율을 0으로 하고, 480 nm 이상에서 780 nm까지의 투과율은 가능한 한 크게 100%에 가깝게 하고, 380 nm과 480 nm 사이의 파장에서는 피크 파장이 450 nm이고 반치폭이 27 nm이며 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%인 가우시안 곡선으로 설계하였다. 청색광 차단 유리의 다른 한 면

은 가시광선에서 빛이 모두 투과하게끔 반사방지막 코팅을 설계하였다.

450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%인 가우시안 곡선에 대해서 국제표준에 의거한 청색광 위험함수 가중치^[11]를 고려한 청색광 차단율(R_{BL})과 380 nm와 780 nm 사이의 가시광선에서의 투과율(T), 시감투과율(τ)을 다음 식 (1)~(3)에 의해서 구하였고^[8] 각각을 비교하였다.

$$R_{BL} = 100 - \frac{\int_{380}^{780} t(\lambda)B(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_{380}^{780} B(\lambda)S(\lambda)d\lambda} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$T = \frac{\int_{380}^{780} t(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_{380}^{780} S(\lambda)d\lambda} \quad (2)$$

$$\tau = 100 - \frac{\int_{380}^{780} t(\lambda)V(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_{380}^{780} V(\lambda)S(\lambda)d\lambda} \times 100(\%) \quad (3)$$

여기서, $t(\lambda)$ 는 렌즈의 분광투과율이고, $B(\lambda)$ 는 청색광 위험함수이고, $S(\lambda)$ 는 CIE 표준광원 D65의 분광분포이고, $V(\lambda)$ 는 주간 시 분광 시감효율이다.

결과 및 고찰

1. Ti₃O₅박막과 SiO₂박막의 광학상수

Fig. 1(a)에 파장 380 nm과 780 nm 사이에서 Ti₃O₅ 박막의 굴절률과 소멸계수를 나타내었다. 굴절률은 2.22~2.60 정도를 나타내며, 소멸계수는 파장 380 nm에서 약 0.002로 작은 값을 갖다가 파장 570 nm에서는 약 0.00006값으로 아주 작은 값을 가지며 파장 630 nm 이상에서는 영의 값을 갖는다. Fig. 1(b)에 파장 380 nm과 780 nm 사이에서 SiO₂ 박막의 굴절률과 소멸계수를 나타내었다. 굴절률은 1.44~1.46 정도를 나타내며, 소멸계수는 가시광선 영역에서 영의 값을 갖는다. 이러한 수치를 이용하여 청색광 차단 렌즈의 한 면은 반사방지막 코팅을, 반대 면은 청색광 차단 코팅을 설계하였다.

2. 반사방지막 코팅설계

청색광 차단 렌즈를 설계 시 청색광 차단층의 다른 면은 반사방지막 코팅 층으로 설계하여야 한다. 먼저 Ti₃O₅ 박막과 SiO₂박막을 이용하여 반사방지막 코팅 층을 설계한 결과, Table 1과 같이 최적조건은 6층[air|SiO₂(93)|Ti₃O₅(26)|SiO₂(7)|Ti₃O₅(87)|SiO₂(27)|Ti₃O₅(17)|glass]이며 물질사이의 팔호안의 숫자는 실제 두께를 나타내며, QWOT는 1/4 파장 광학 두께(quarter wave optical thickness)이다. 코팅막

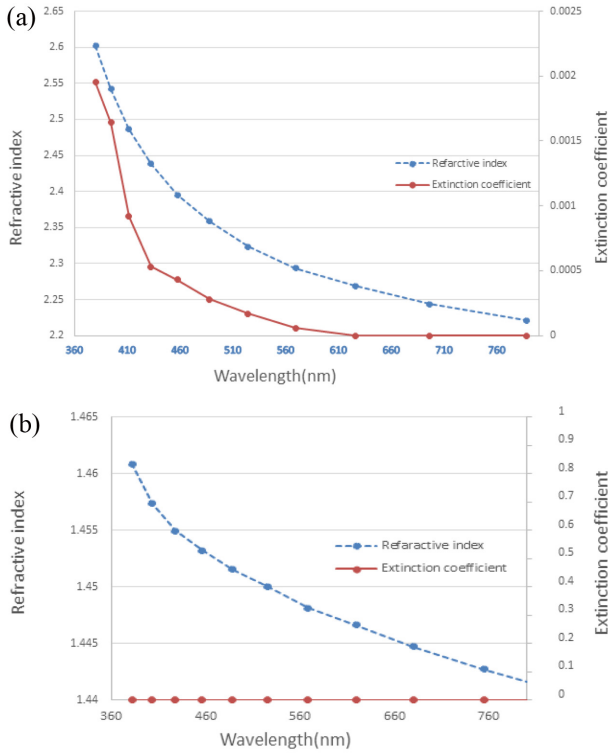


Fig. 1. Refractive indexes and extinction coefficients of (a) Ti_3O_5 and (b) SiO_2 thin films.

전체 두께는 257 nm이며, 이때 설계 기준 파장은 555 nm 이다. Fig. 2는 반사방지막 코팅 층의 투과율곡선으로 파장 380 nm와 400 nm 사이에서의 투과율은 91~98%로 무반사 코팅이 아니라, 청색광 차단코팅 설계 시 거의 차단 되므로 고려할 필요가 없었다. 파장 400 nm와 780 nm 사이에서 평균투과율은 식 (2)에 의해 99.6%로 무반사 코팅에 가까운 것을 알 수 있었고, 약 0.4%의 반사 효과는 청색광 차단 층 설계 시 약간의 오차가 발생할 수 있으나 문제가 되지 않을 뿐 아니라 코팅설계를 간단하게 할 수 있어 무시하였다.

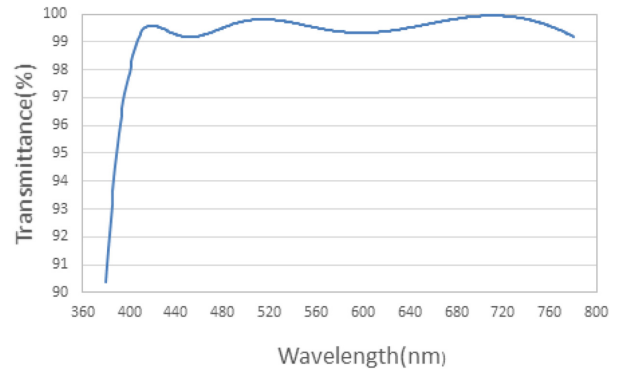


Fig. 2. Transmittance spectrum with respect to the visible wavelength of [air| $SiO_2(93)|Ti_3O_5(26)|SiO_2(7)|Ti_3O_5(87)|SiO_2(27)|Ti_3O_5(17)|glass$].

3. 450 nm 피크 파장 차단율에 따른 청색광 차단 렌즈

렌즈의 청색 차단층은 파장 380 nm 이하는 완전 차단하고 파장 480 nm 이상의 가시광선 투과율은 100%로 유지하고 약 420 nm에서 480 nm 사이에서는 피크 파장이 450 nm이고 피크 파장 차단율을 10%, 20%, 40%, 60%로 설계하였다. 이때 설계 기준 파장은 450 nm이며, 설계 결과, 유리 기판 위에 고 굴절률 층 Ti_3O_5 와 저 굴절률 층 SiO_2 를 교번으로 쌓아올린 박막 구조로 Table 2에 나타내었다. 450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60% 일 때는 각각 층수는 16층, 24층, 28층, 32층이고 박막의 두께는 739 nm, 1099 nm, 1251 nm, 1502 nm이다. 피크 파장 차단율이 커짐에 따라 코팅 층수가 점점 커지고 코팅의 전체 두께는 늘어남을 알 수 있었다.

Fig. 3은 투과율 스펙트럼으로, 파장 380 nm 이하에서의 투과율은 0%이고, 파장 380 nm에서 400 nm까지의 투과율은 0%에서 증가하여 98%까지 커지며, 이 후 파장 400 nm에서 파장 420 nm까지의 투과율은 98%보다 조금 커진다. 파장 420 nm에서 480 nm까지의 투과율은 청색광 차단 곡선으로 가우시안 곡선을 나타내는데, 이때 차단곡

Table 1. Optimization of antireflective coating with six layers for [air| $SiO_2(93)|Ti_3O_5(26)|SiO_2(7)|Ti_3O_5(87)|SiO_2(27)|Ti_3O_5(17)|glass$]

Layer	Material	Refractive index	Extinction coefficient	Optical thickness (qwot)	Physical thickness (nm)
Substrate	Glass	1.5183	0		
1	Ti_3O_5	2.30318	0.0001	0.274352	16.53
2	SiO_2	1.44873	0	0.28166	26.98
3	Ti_3O_5	2.30318	0.0001	1.450489	87.38
4	SiO_2	1.44873	0	0.076724	7.35
5	Ti_3O_5	2.30318	0.0001	0.437903	26.38
6	SiO_2	1.44873	0	0.96596	92.51
Medium	Air	1	0		
Total thickness				3.487087	257.13

Table 2. Optimization of the 10%, 20%, 40%, 60% blue-light blocking rates at the 450 nm peak wavelength

Blue blocking rate for the 450 nm peak wavelength (%)	Numer of layers	Structure of SiO ₂ /Ti ₃ O ₅ multilayer (nm)	Total thickness (nm)
10	16	[air SiO ₂ (109) Ti ₃ O ₅ (40) SiO ₂ (29) Ti ₃ O ₅ (37) SiO ₂ (66) Ti ₃ O ₅ (20) SiO ₂ (70) Ti ₃ O ₅ (34) SiO ₂ (52) Ti ₃ O ₅ (28) SiO ₂ (73) Ti ₃ O ₅ (22) SiO ₂ (55) Ti ₃ O ₅ (34) SiO ₂ (47) Ti ₃ O ₅ (21) glass]	739
20	24	[air SiO ₂ (107) Ti ₃ O ₅ (43) SiO ₂ (24) Ti ₃ O ₅ (39) SiO ₂ (63) Ti ₃ O ₅ (19) SiO ₂ (71) Ti ₃ O ₅ (38) SiO ₂ (43) Ti ₃ O ₅ (32) SiO ₂ (78) Ti ₃ O ₅ (15) SiO ₂ (74) Ti ₃ O ₅ (31) SiO ₂ (50) Ti ₃ O ₅ (32) SiO ₂ (76) Ti ₃ O ₅ (21) SiO ₂ (64) Ti ₃ O ₅ (33) SiO ₂ (40) Ti ₃ O ₅ (36) SiO ₂ (51) Ti ₃ O ₅ (18) glass]	1099
40	28	[air SiO ₂ (113) Ti ₃ O ₅ (38) SiO ₂ (24) Ti ₃ O ₅ (39) SiO ₂ (43) Ti ₃ O ₅ (25) SiO ₂ (57) Ti ₃ O ₅ (24) SiO ₂ (40) Ti ₃ O ₅ (29) SiO ₂ (56) Ti ₃ O ₅ (25) SiO ₂ (76) Ti ₃ O ₅ (24) SiO ₂ (64) Ti ₃ O ₅ (20) SiO ₂ (85) Ti ₃ O ₅ (15) SiO ₂ (84) Ti ₃ O ₅ (28) SiO ₂ (61) Ti ₃ O ₅ (27) SiO ₂ (69) Ti ₃ O ₅ (22) SiO ₂ (56) Ti ₃ O ₅ (32) SiO ₂ (51) Ti ₃ O ₅ (23) glass]	1251
60	32	[air SiO ₂ (116) Ti ₃ O ₅ (36) SiO ₂ (37) Ti ₃ O ₅ (28) SiO ₂ (71) Ti ₃ O ₅ (20) SiO ₂ (66) Ti ₃ O ₅ (39) SiO ₂ (53) Ti ₃ O ₅ (25) SiO ₂ (86) Ti ₃ O ₅ (15) SiO ₂ (70) Ti ₃ O ₅ (25) SiO ₂ (73) Ti ₃ O ₅ (25) SiO ₂ (74) Ti ₃ O ₅ (31) SiO ₂ (51) Ti ₃ O ₅ (30) SiO ₂ (54) Ti ₃ O ₅ (31) SiO ₂ (53) Ti ₃ O ₅ (38) SiO ₂ (65) Ti ₃ O ₅ (18) SiO ₂ (101) Ti ₃ O ₅ (17) SiO ₂ (51) Ti ₃ O ₅ (36) SiO ₂ (43) Ti ₃ O ₅ (25) glass]	1502

선의 최대치인 피크 파장은 450 nm이며, 파장 480 nm 이상인 가시광선 영역에서는 투과율이 거의 100%에 가까운 곡선을 나타낸다.

450 nm 피크 파장 청색광 차단율이 커짐에 따라 400 nm에서 420 nm 사이의 투과율이 약간씩 감소하고 480 nm 이상에서 500 nm까지의 가시광선 투과율도 약간 감소하나, 파장 500 nm 이상의 가시광선에서는 큰 변화 없이 거의 100% 투과율을 나타내었다. 그러므로 피크 파장 차단율이

증가함에 코팅 층수를 점차적으로 늘어나나 500 nm에서 780 nm 사이의 가시광선의 투과율은 거의 변화하지 않는 것을 알 수 있었다.

4. 450 nm 피크 파장 차단율에 따른 청색광 차단율, 투과율, 시감투과율

450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%인 가우시안 곡선을 설계하여 얻은 Fig. 3 곡선을 분석하기 위

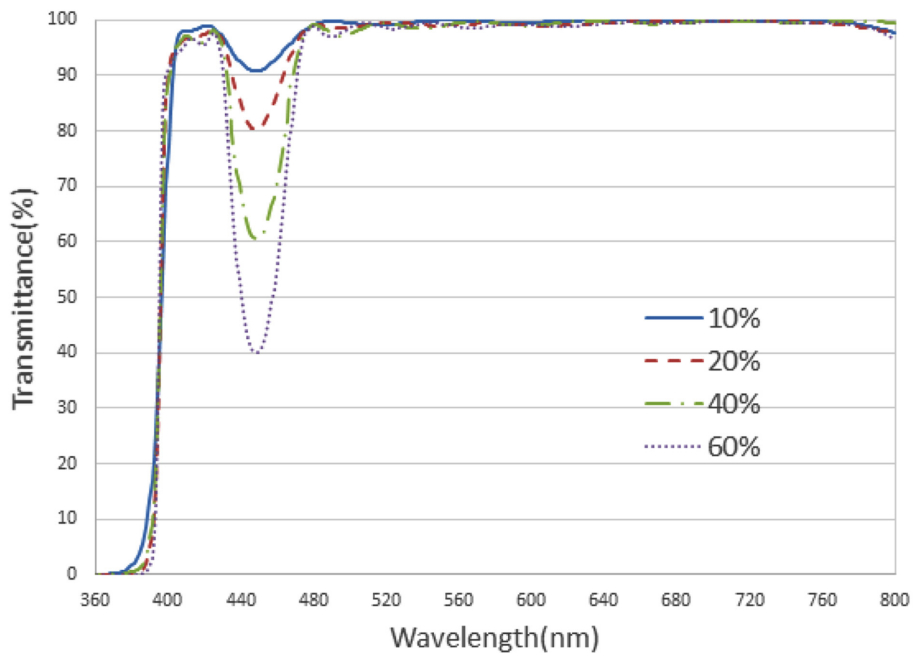


Fig. 3. Transmittance spectra for the 10%, 20%, 40%, 60% blue-light blocking rates at the 450 nm peak wavelength.

Table 3. Blue-light blocking rates, transmittances, and luminous transmittances for the 10%, 20%, 40%, 60% blue-light blocking rates at the 450 nm peak wavelength

Blue blocking rate for the 450 nm peak wavelength (%)	Blue-light blocking rate (%)	Transmittance (%)	Luminous transmittance (%)
10	4.9	95.8	99.5
20	8.8	94.6	98.9
40	17.2	92.7	98.5
60	25.7	90.7	98.0

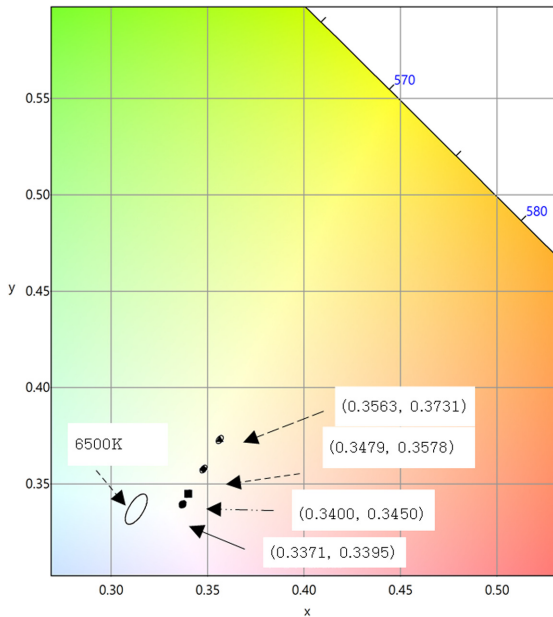


Fig. 4. CIE chromaticity of transmittance spectra for the 10%, 20%, 40%, 60% blue-light blocking rates at the 450 nm peak wavelength.

해 국제표준에 의한 청색광 위험함수를 고려한 청색광 차단율, 투과율, 시감투과율을 식 (1)~(3)에 의해서 계산하였다. 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 계산 결과 450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%일 때 청색광 차단율은 각각 4.9%, 8.8%, 17.2%, 25.7%이며 투과율은 각각 95.8%, 94.6%, 92.7%, 90.7%이며 시감투과율은 각각 99.5%, 98.9%, 98.5%, 98.0%이었다. 이러한 수치는 청색광 차단율이 4.9%에서 25.7%로 5배 이상 청색광을 차단시켜도 투과율과 시감투과율의 변화는 각각 5.1%, 1.5% 감소로 약간의 변화만 있는 것으로 나타났다.

5. 450 nm 피크 파장 차단율에 따른 CIE 색도도의 변화

450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%일 때 CIE 색도도를 알기 위해 분광투과율 스펙트럼 곡선을 OSRAM에서 개발한 Colorcalculator^[12] 프로그램에 입력하여 CIE 색도도와 색온도는 구했다. CIE 색도도는 450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%일 때 각각 (0.3371, 0.3395), (0.3400, 0.3450), (0.3479, 0.3578), (0.3563,

0.3731)으로 CIE 색도도에서 x, y 값이 증가하는 쪽으로 이동함을 알 수 있었다. 이 값을 CIE 색도도에 나타낸 결과, Fig. 4와 같이 투명한 색에서 옅은 노랑 쪽으로 이동되는 것을 알 수 있었으며, 또한 색온도도 마찬가지로 5294K, 5183K, 4918K, 4695K로 변해 투명한 색에서 옅은 노랑 쪽으로 이동되는 것을 알 수 있었다.

결 론

Ti₃O₅박막과 SiO₂박막을 전자 빔 증착 장치를 사용하여 제작하고 분광광도계를 이용하여 Ti₃O₅박막과 SiO₂박막의 투과율을 구한 후, 포락선방법을 이용하여 Ti₃O₅박막과 SiO₂박막의 파장에 따른 광학상수를 구하였다. 청색광 차단 렌즈의 한 면은 빛의 모두 투과하게끔 반사방지막 코팅으로 설계하였고, 다른 면은 청색광 차단층으로 설계하였다. 380 nm 이하 파장은 차단하고, 파장 480 nm 이상에서 800 nm까지 투과율이 100%에 가깝게 하고, 380 nm과 480 nm 사이의 파장에서는 피크파장이 450 nm이고 반치폭이 2 nm이며 피크 파장 차단율은 10%, 20%, 40%, 60%인 가우시안 곡선으로 설계하였다.

설계 결과, 반사방지막 코팅 층은 6층으로 [air|SiO₂(93)|Ti₃O₅(26)|SiO₂(7)|Ti₃O₅(87)|SiO₂(27)|Ti₃O₅(17)|glass]이며 코팅막 전체 두께는 257 nm이다. 반사방지막 코팅의 투과율곡선으로 파장 380 nm와 400 nm 사이에서의 투과율은 91%에서 98%로 무반사 코팅이 아니나, 청색광 차단코팅 설계 시 거의 차단되므로 고려할 필요가 없으며, 400 nm와 780 nm 사이에서는 평균투과율은 99.6%으로 무반사 코팅에 가까운 것을 알 수 있었다.

450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%일 때는 각각 층수는 16층, 24층, 28층, 32층이고 박막의 두께는 739 nm, 1099 nm, 1251 nm, 1502 nm이다. 피크 파장 차단율이 커짐에 따라 코팅 층수가 점점 커지고 코팅의 전체 두께 또한 늘어남을 알 수 있었다.

투과율 스펙트럼은 파장 380 nm 이하에서의 투과율은 0%이고, 파장 380 nm에서 400 nm까지의 투과율은 0%에서 증가하여 98%까지 커지며, 이후 파장 400 nm에서 420 nm까지는 투과율이 98%보다 조금 커지다가 420 nm

에서 480 nm까지는 투과율 곡선이 청색광 차단 곡선으로 가우시안 곡선을 그리는데, 이때 차단곡선의 최대치인 피크는 450 nm이다. 파장 480 nm 이상인 가시광선 영역에서는 투과율이 거의 100%에 가까운 곡선을 나타낸다.

450 nm 피크 파장 청색광 차단율이 커짐에 따라 400 nm에서 420 nm 사이의 투과율이 약간씩 감소하고 480 nm 이상에서 500 nm까지의 가시광선 투과율도 약간 감소하나, 파장 500 nm 이상의 가시광선에서는 큰 변화가 없이 거의 100% 투과율을 나타내었다. 그러므로 피크 파장 차단율이 증가함에 코팅 층수를 점차적으로 늘어나나 500 nm에서 780 nm 사이의 가시광선의 투과율은 거의 변화지 않는 것을 알 수 있었다.

청색광 가우시안 곡선을 분석하기 위해 국제표준에 의한 청색광 위험함수를 고려한 청색광 차단율, 투과율, 시감투과율을 식 (1)~(3)에 의해서 계산하였고, 계산 결과, 450 nm 피크 파장 청색광 차단율이 10%, 20%, 40%, 60% 일 때 청색광 차단율은 각각 4.9%, 8.8%, 10.3%, 25.7%이며 투과율은 각각 95.8%, 94.6%, 94.3%, 90.7%이며, 시감투과율은 각각 99.5%, 98.9%, 99.2%, 98.0%이다. 이러한 수치는 청색광 차단율이 4.9%에서 25.7%로 5배 이상 청색광을 차단시켜도 투과율과 시감투과율의 변화는 각각 5.1%, 1.5% 감소로 약간의 변화만 있는 것으로 나타났다.

450 nm 피크 파장 청색광 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%일 때 CIE좌표는 (0.3371, 0.3395), (0.3400, 0.3450), (0.3479, 0.3578), (0.3563, 0.3731)으로 x, y 값이 증가하는 쪽으로 이동하며 이 값을 CIE 색도도에 나타낸 결과, 투명한 색에서 옅은 노랑 쪽으로 이동되는 것을 알 수 있었으며, 또한 색온도도 5294K, 5183K, 4918K, 4695K로 변해 투명한 색에서 옅은 노랑 쪽으로 이동되는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 본 연구에서 청색광 차단 렌즈는 시감투과율을 최대한으로 하기 위해 청색광 이외의 가시광선은 거의 투과하게 하고 유해한 청색광을 효과적으로 차단하기 위해 국제표준에 의한 청색광 위험함수를 고려하여 피크 파장이 450 nm이고 반치폭이 27 nm인 가우시안 곡선으로 설계를 하였으며, 코팅 층수가 늘어나면 청색광 차단 렌즈의 청색광 차단율이 커짐을 알 수 있었다. 청색광 차단 렌즈의 박막 층수의 증가는 코팅 단가를 크게 하므로 청색광 차단 코팅 시 최적조건을 따져 청색광 차단 코팅에 적용해야 한다고 여겨진다.

감사의 글

본 논문은 2019년도 신한대학교 학술연구비 지원으로 연구되었습니다.

REFERENCES

- [1] Cajochen C, Frey S, Anders D, Späti J, Bues M, Pross A et al. Evening exposure to light-emitting diodes(LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *J Appl Physiol.* 2011;110(5):1432-1438.
- [2] van der Lely S, Frey S, Garbazza C, Wirz-Justice A, Jenni OG, Steiner R et al. Blue blocker glasses as a countermeasure for alerting effects of evening light-emitting diode screen exposure in male teenagers. *J Adolesc Health.* 2015;56(1):113-119.
- [3] Sasseville A, Paquet N, Sévigny J, Hébert M. Blue blocker glasses impede the capacity of bright light to suppress melatonin production. *J Pineal Res.* 2006;41(1):73-78.
- [4] Glazer-Hockstein C, Dunaief JL. Could blue light-blocking lenses decrease the risk of age-related macular degeneration?. *Retina.* 2006;26(1):1-4.
- [5] Algere PV, Marshall J, Seregard S. Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. *Acta Ophthalmol Scand.* 2006;84(1):4-15.
- [6] Kang S, Hong JE, Choi EJ, Lyu J. Blue-light induces the selective cell death of photoreceptors in mouse retina. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2016;21(1):69-76.
- [7] Park S. Effect of photooxidation of A2E, a lipofuscin in the retina, induced by smartphone light against the photooxidation by blue light blocking lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2018;23(4):511-517.
- [8] Kim CJ, Choi SW, Yang SJ, Oh SY, Choi EJ. Evaluation of blue-light blocking ratio and luminous transmittance of blue-light blocking lens based on international standard. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(2):135-143.
- [9] Son Y, Yang SJ, Kim CJ, Lee GS, Choi SM, Yu YG et al. Performance optimization of blue-light blocking lens through analysis of blue light emitted from LED light sources. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2016;21(4):393-400.
- [10] Hwangbo CK, Jin KH, Park DY, Lee MH. Determination of optical constants and thickness of weakly absorbing thin films using an envelope method. *Korean J Opt Photon.* 1992;3(1):1-10.
- [11] KSSN(Korean Standards Service Network). Photobiological safety of lamps and lamp systems-Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety, KS C IEC 62471-2. Korean Standards Association, 2014.
- [12] Osram. LED ColorCalculator, 2019. <https://www.osram.us/cb/tools-and-resources/applications/led-colorcalculator/index.jsp>(10 July 2019).

코팅 청색광 차단 렌즈의 설계와 청색광 차단율에 따른 광학적 특성 연구

박 문 찬*

신한대학교 뷰티헬스사이언스부 안경광학전공, 교수, 의정부 11644
투고일(2019년 8월 9일), 수정일(2019년 8월 20일), 게재확정일(2019년 9월 10일)

목적: 코팅 청색광 차단 렌즈를 설계하고, 이 렌즈의 차단율에 따른 광학적 특성 변화를 연구하고자 한다. **방법:** Ti_3O_5 와 SiO_2 박막을 코팅하고 투과율을 구하여 포락선 방법으로 Ti_3O_5 와 SiO_2 박막의 광학상수를 구한 후, Essential Macleod 프로그램을 이용하여 파장 500 nm 이상의 가시광선은 거의 투과하고 파장 380 nm 이하의 자외선은 차단하며 파장 380 nm에서 500 nm 사이에서는 피크 파장 450 nm이고 선평이 27 nm인 가우시안 분포곡선을 갖는 청색광 차단 렌즈를 설계하였다. **결과:** 코팅 청색광 차단 렌즈의 반사방지막 코팅 설계 층은 6층으로 가시광선 영역에서 투과율이 99.6% 이상인 거의 무반사 코팅임을 알 수 있었다. 청색광 차단 설계 시 450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%에서 코팅 층수가 각각 16층, 24층, 28층, 32층이며, 청색광 차단율은 각각 4.9%, 8.8%, 17.2%, 25.7%이고, 투과율은 95.8%, 94.6%, 92.7%, 90.7%이고, 시감투과율은 각각 99.5%, 98.9%, 98.5%, 98.0%이다. 또한 청색광 차단 설계 시 450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%일 때 청색광 차단 렌즈의 CIE 색도도는 (0.3371, 0.3395), (0.3400, 0.3450), (0.3479, 0.3578), (0.3563, 0.3731)로 투명한 색에서 옅은 노랑 쪽으로 이동되는 것을 알 수 있었다. **결론:** 450 nm 피크 파장 차단율이 10%, 20%, 40%, 60%인 코팅 청색광 차단 렌즈를 설계하였으며, 코팅 층수가 늘어나면 청색광 차단 렌즈의 청색광 차단율이 커지고, 시감투과율은 약간 감소하며, 청색광 차단 렌즈의 색은 투명한 색에서 옅은 노랑 쪽으로 이동되는 것을 알 수 있었다.

주제어: 청색광 차단 렌즈, 청색광 차단율, 시감투과율, CIE 색도도