

국제표준에 의거한 청색광차단렌즈의 청색광차단율 및 시감투과율 평가

김창진, 최성욱, 양석준, 오상영, 최은정*

건양대학교 안경광학과, 대전 302-718

투고일(2014년 05월 11일), 수정일(2014년 06월 2일), 게재확정일(2014년 6월 18일)

목적: 국제표준에서 규정한 청색광위험함수를 도입하여 청색광차단렌즈에 대한 청색광차단율과 시감투과율을 평가한다. **방법:** 8개사 총41종의 청색광차단렌즈에 대한 청색광차단율과 시감투과율을 구하기 위해 UV-VIS 분광광도계로 380~780 nm 범위에서의 분광투과율을 측정하였다. 청색광차단율은 ANSI Z80.3:2010 및 ISO 13666(한국표준 KS B ISO 13666:2004)에서 규정된 청색광위험함수를 도입하여 산출하였다. **결과:** 전체 렌즈에 대한 청색광차단율 범위는 9.3%~96.8%, 투과율 범위는 53.5%~92.7%, 시감투과율 범위는 58.0%~98.1%이었다. 전반적으로 코팅 청색광차단렌즈는 시감투과율이 높은 경향이 있었고, 착색 청색광차단렌즈는 청색광차단율이 높은 경향이 있었다. **결론:** 렌즈분광분포곡선의 분석으로부터 청색광차단렌즈의 성능을 향상시킬 수 있는 가능성이 있음을 확인할 수 있었다. 제조업체는 국제표준의 규정에 맞춰 성능을 평가할 수 있는 자체기술을 확보할 필요가 있다.

주제어: 청색광차단렌즈, 청색광위험함수, 청색광차단율, 투과율, 시감투과율

서 론

과거 일상생활에서 많이 접해왔던 광원에서는 청색광(blue light)이 그다지 문제시 되지 않았다. 그러나 최근 청색광비율이 높은 스마트폰, 컴퓨터, TV, 디스플레이 등이 개발되고, 이에 장시간 노출되면 눈부심, 시력감퇴, 안구 건조, 시야흐림, 망막손상, 불면증, 두통, 시세포 노화 등이 유발된다는 기사들이 인터넷, 신문 및 방송 매체 등을 통해 보도되기 시작하면서 시력보호에 관심을 갖는 소비자들이 꾸준히 늘어나고 있다.^[1-3]

그러나 청색광차단렌즈(blue-light blocking lens)에 대한 성능평가나 임상평가에 대한 연구가 거의 전무한 상태에서 제조사들이 무리하게 진출하고 있는 관계로 청색광차단율(blue-light blocking ratio)에 대한 과장논란이나 제조법과 관련된 우수성 논란이 끊이지 않고 있다.^[4] 이러한 논란과 더불어 저가의 가격경쟁은 소비자들을 혼란에 빠뜨려 이제 막 성장기에 접어들기 시작하려는 청색광차단렌즈 시장에 악영향을 미치고 있다. 게다가 정작 안경계의 들뜸과는 달리 청색광차단렌즈를 의심의 눈초리나 현혹의 대상으로 생각하는 소비자들이 아직 많다는 점은 안타까운 일이라 하지 않을 수 없다. 이러한 소비자들의 인식 변화를 위해서는 청색광에 대한 올바른 이해와 청색광차단의 중요성 등을 과학적이면서 체계적으로 알릴 수 있는 연구결과 및 교

육자료가 있어야 하는데, 우리 안경계의 현실이 그렇지 못하다는 점은 학계의 책임이 크다 하지 않을 수 없다.

일반적으로 눈은 가시광선을 파장에 따라 다음과 같은 색상 즉, Violet(400 nm), Blue(460 nm), Blue-Green(507 nm), Green(530 nm), Yellow-Green(555 nm), Yellow(590 nm), Orange(600 nm), Red(650 nm)로 느낀다고 알려져 있다.^[5] 이에 따르면 청색광은 파장 460 nm를 중심으로 한 일정 범위의 가시광선을 말한다. 그러나 일반적으로 청색광차단과 관련해서는 산란성과 굴절성이 큰 Violet, Indigo를 포함한 380~500 nm 대역의 단파장 가시광선(short-wavelength visible light)을 청색광이라 한다.^[6,7]

한편, 미국표준(American National Standard Institute ANSI Z80.3:2010), 유럽표준(European Standard EN 1836:2005/A1; 2007), 오스트레일리아/뉴질랜드 표준(Australian/New Zealand Standard AS/NZS 1067:2003) 뿐만 아니라 한국표준(Korean Standard Association KS B ISO 13666:2004)의 안과학적 위험도를 고려한 표준에 따르면, 청색광투과율(blue-light transmittance)은 청색광위험함수(blue-light hazard function, ISO 13666)를 가중함수(weighting function)에 포함시켜 산출하도록 되어있다.^[8-10] 이 청색광위험함수에 따르면 단파장 가시광선이 눈에 미치는 안과학적 위험도는 435~440 nm 대역의 가시광선에서 가장 크며, 일부 Blue-Green을 포함하는 500~550 nm 대역의 가시광선도 어느 정

*Corresponding author: Eun Jung Choi, TEL: +82-42-600-6331, E-mail: ejchoi@konyang.ac.kr

도의 위험을 가하는 것으로 알려져 있다. 그러나 제조사들이 청색광차단렌즈를 개발하고 생산하고 있음에도 불구하고, 이러한 표준에 의해 청색광투과율 혹은 청색광차단율이 산출되어야 한다는 점을 인식하지 못하고 있다는 것은 개선되어야 할 문제이다. 따라서 제품개발, 품질향상, 신뢰성을 위해 제조사는 우선적으로 국제표준에 맞춰 성능을 평가할 수 있는 기술을 갖추는 것이 무엇보다도 시급한 일이라 하겠다.

이에 본 연구에서는 제조사들이 자체적으로 청색광차단렌즈의 성능을 평가할 수 있는 기술을 확보하고, 안경사들이 청색광차단율을 올바르게 이해하고 상담, 처방을 하는데 도움이 되도록 현재 시중에서 유통되고 있는 청색광차단렌즈를 대상으로 ANSI Z80.3:2010 및 ISO 13666(한국표준 KS B ISO 13666:2004)에 따라 청색광차단율, 투과율, 시감투과율 등을 산출하고 평가하는 연구를 수행하였다. 차후, 청색광차단렌즈와 관련된 모든 연구·평가·비교, 제조사에서의 청색광차단렌즈 개발·표기·홍보, 그리고 안경원에서의 상담·처방 등에는 이러한 국제표준에 따른 청색광차단율이 통일적으로 사용되어야 할 것으로 사료된다.

앞서 언급한 바와 같이 청색광차단렌즈 분야의 발전을 위해서는 무엇보다도 제조사가 청색광차단렌즈를 설계·개발·표기·홍보할 때, 그리고 안경사들이 소비자와 상담·처방할 때 유용하게 활용할 수 있는 연구자료 및 교육자료가 필요하다. 여기에는 성능평가는 물론, 청색광위험함수, 광원 위험도, 그리고 이들 간의 상호연계성, 청색광차단렌즈에 의한 청색광차단 세기 및 분포의 변화, 청색광차단율과 망막조도(retinal illuminance)와의 관계, 청색광차단렌즈와 디스플레이 작업자의 작업환경에 따른 상관관계 등 기타 여러 가지 임상자료도 포함되어야 할 것이다. 이번 연구가 이러한 연구자료 및 교육자료 구축을 위한 기초자료가 되고, 많은 연구자들이 청색광차단렌즈 연구에 참여하여 이 분야가 발전될 수 있기를 기대한다.

연구를 수행함에 있어 한 제조사로부터 2013년 9월 24일 JSOI(Japan Spectacles and Popular Optics Inspection Institute)에서 평가받은 두 렌즈(본 연구에서의 렌즈명은 ED1c, ED2)에 대한 검사증명서(Inspection Certificate)를 제공받을 수 있었는데, 이때 JSOI에서는 ANSI Z80.3:2010에 근거하여 청색광투과율을 산출하였다. 그 결과값은 렌즈명 ED1c, ED2에 대하여 각각 86.5%, 58.7%이었다. 본 연구에서는 2014년 4월 생산된 같은 사양의 렌즈를 연구에 포함시켜 역시 ANSI Z80.3:2010와 CIE 표준광원 D65 하에서 청색광차단율을 산출하였다. 그 결과값은 각각 86.7%, 58.3%로 JSOI에서 평가한 결과값과 2.31×10^{-3} , 6.81×10^{-3} 라는 작은 상대오차 범위 내에서 매우 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 검토가 본 연구에서의 결

과에 대한 신뢰성을 확보할 수 있는 계기를 마련해주었다.

대상 및 방법

1. 대상렌즈

연구에 사용된 청색광차단렌즈는 8개사 총 41종으로 A, B, C사 각 1종, D사 2종, E, F사 각 3종, G사 5종, H사 25종이다. 각 렌즈의 구분을 위한 렌즈명을 나타낼 때 이들 기호를 첫머리에 사용하였다. 보다 세분화된 구분은 포장지에 인쇄된 색상정보를 활용하였다. 조사대상 렌즈 중에는 코팅법만으로 제조된 것이 있었는데, 이러한 렌즈들의 구분을 위하여 렌즈명 뒤에 소문자 c를 붙였다. 기존제품을 개선하여 신제품으로 출시한 경우도 있었는데, 이러한 렌즈들에는 기존제품과의 구분을 위하여 렌즈명 뒤에 소문자 n을 붙였다. 예를 들어, 렌즈명 ED1nc는 코팅법만으로 제조된 렌즈명 ED1c의 신제품이다.

2. 청색광차단율, 투과율, 시감투과율

청색광차단렌즈들의 광학적 성능으로 청색광차단율, 투과율, 시감투과율을 평가하였다. 이를 위한 렌즈의 분광투과율(spectral transmittance) 측정에는 Shimadzu 사의 UV-VIS 분광광도계(UV-2450, Japan)가 사용되었다.^[11]

청색광차단율(blue-light blocking ratio, R_{BL}), 투과율(transmittance, T), 시감투과율(luminous transmittance, τ)은 ANSI Z80.3:2010 및 ISO 13666(KS B ISO 13666: 2004)에서 규정하는 식 (1)~(3)으로부터 산출하였다. 여기서 $t(\lambda)$ 는 렌즈의 분광투과율(spectral transmittance), $S(\lambda)$ 는 CIE 표준광원 D65의 분광분포(the spectral distribution of radiation of the signal lights and standard illuminant D65 as specified in ISO/CIE 10526:1991), $V(\lambda)$ 는 주간시 분광시감효율(the spectral visibility function of the average human eye for daylight vision as specified in ISO/CIE 10527:1991), $B(\lambda)$ 는 청색광위험함수(blue-light hazard function as specified in ISO 13666), 그리고 $\lambda(\text{nm})$ 는 파장이다.

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

$$T = \frac{\int_{380}^{780} t(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_{380}^{780} S(\lambda)d\lambda} \times 100(\%) \quad (2)$$

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

결과 및 고찰

가시광선 대역(380~780 nm)에서 측정된 청색광차단렌즈의 분광분포곡선을 Fig. 1~4에 제시하였다. 그림에서 500 nm에 수직으로 그어져 있는 점선은 청색광의 범위 380~500 nm에 대한 장파장 경계를 나타낸다. Table 1에 식 (1)~(3)으로부터 산출한 청색광차단율 R_{BL} , 투과율 T , 시감투과율 τ 을 제시하였다.

조사된 청색광차단렌즈의 광학적 성능에 대한 전반적인 성능을 살펴보면 청색광차단율 R_{BL} 은 DS2(96.8%)에서 가장 높고, HOR10(9.3%)에서 가장 낮게 나타났다. 투과율 T 은 BNc(92.7%)에서 가장 높고, DS2(53.5%)에서 가장 낮게 나타났다. 시감투과율 τ 은 ED1nc(98.1%)에서 가장 높고, DS2(58.0%)에서 가장 낮게 나타났다. 요약하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{(HOR10)} \quad & 9.3\% \leq R_{BL} \leq 96.8\% \quad \text{(DS2)} \\
 \text{(DS2)} \quad & 53.5\% \leq T \leq 92.7\% \quad \text{(BNc)} \\
 \text{(DS2)} \quad & 58.0\% \leq \tau \leq 98.1\% \quad \text{(ED1nc)}
 \end{aligned} \tag{4}$$

1. 코팅 청색광차단렌즈

식 (1)~(3)을 이용하여 산출된 7가지 코팅 청색광차단렌즈 ADc, BNc, ED1c, ED1nc, FDc, GWHc, HBc의 청색광차단율 R_{BL} , 투과율 T , 시감투과율 τ 을 Table 1의 1~7행에 제시하였다.

청색광차단율 R_{BL} 은 GWHc(24.1%)에서 가장 높고, ED1nc (10.2%)에서 가장 낮게 나타났다.

$$R_{BL} : \text{ED1nc} < \text{BNc} < \text{ADc} < \text{ED1c} < \text{FDc} < \text{HBc} < \text{GWHc} \tag{5}$$

투과율 T 은 BNc(92.7%)에서 가장 높고, GWHc(86.3%)에서 가장 낮게 나타났다.

$$T : \text{GWHc} < \text{HBc} < \text{FDc} < \text{ED1c} < \text{ADc} < \text{ED1nc} < \text{BNc} \tag{6}$$

시감투과율 τ 은 ED1nc(98.1%)에서 가장 높고, HBc (92.9%)에서 가장 낮게 나타났다.

$$\tau : \text{HBc} < \text{GWHc} < \text{FDc} < \text{BNc} < \text{ED1c} < \text{ADc} < \text{ED1nc} \tag{7}$$

Fig. 1에 코팅법만으로 제조된 렌즈 7종에 대한 렌즈분광분포곡선을 제시하였다. 분광분포곡선으로부터 모든 렌즈들은 청색광 대역이외의 영역(500~780 nm)에서보다 청색광 대역(380~500 nm)에서의 분광투과율이 낮다는 것을 알 수 있다. 이로부터 7종의 렌즈 모두 청색광차단 기능이 있음을 알 수 있다.

모든 렌즈들에 대하여 분광투과율은 630 nm(Orange와 Red의 중간 영역^{[5]) 부근에서 최댓값을 나타낸다는 공통적인 특징이 있다. 청색광 대역이외의 영역(500~780 nm)에}

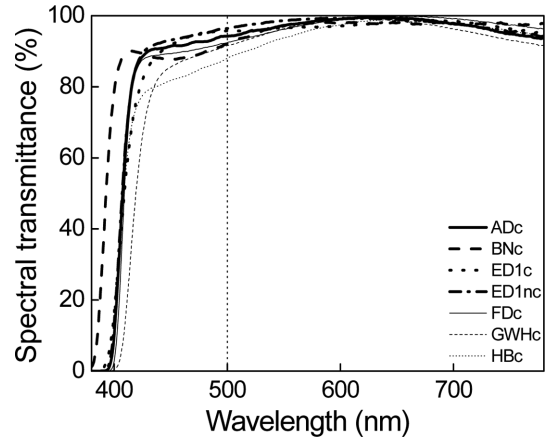


Fig. 1. Spectral transmittance curves for ADc, BNc, ED1c, ED1nc, FDc, GWHc, and HBc.

서 모든 렌즈들에 대한 분광분포곡선의 추세는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 청색광 대역(380~500 nm)에서의 각 렌즈에 대한 분광분포곡선의 추세는 각기 다른 양상을 띠고 있다. 이러한 거동과 청색광차단성능에 대한 관계를 아래와 같이 논의하였다.

1) BNc 분광분포곡선의 특성과 청색광차단성능

Fig. 1에서 다른 모든 렌즈들은 400 nm 부근에서 분광투과율이 거의 0으로 떨어지는데 반하여 BNc만 380 nm에서 거의 0으로 떨어진다. 그리고 다른 렌즈들과는 달리 BNc의 분광투과율은 450 nm에서 극소가 되었다가 415 nm에서 극대를 이룬 후, 0으로 떨어지는 거동을 하고 있다. 이러한 분광투과율의 거동은 식 (2)로 정의되는 BNc의 투과율을 높아지도록 한다. (6)에서 보듯이 실제로도 BNc의 투과율 T (92.7%)은 가장 높다. 그러나 (7)에서 보듯이 식 (3)으로 정의되는 BNc의 시감투과율 τ (95.6%)은 4번째로 낮아진다.

이는 다른 렌즈들은 380~400 nm에서의 분광투과율이 0으로 떨어져 투과율 T 에 기여하는 바가 없지만, BNc은 380~400 nm에서의 분광투과율이 0이 되지 않아 투과율 T 에 기여하는 바가 있기 때문인 것으로 식 (2)로부터 설명될 수 있다. 한편, BNc의 시감투과율 τ 이 낮게 나타난 이유는, 분광시감효율 $V(\lambda)$ 이 거의 0이 되는 380~400 nm에서는 다른 렌즈에 비해 분광투과율이 높고, 분광시감효율 $V(\lambda)$ 이 높은 500~600 nm에서는 다른 렌즈에 비해 분광투과율이 오히려 낮기 때문인 것으로 식 (3)으로부터 설명될 수 있다.

이러한 설명에 따르면 380~400 nm 대역에서의 분광투과율은 시감투과율에 큰 영향을 미치지 않으므로 낮춰주고 500~600 nm 대역에서의 분광투과율은 시감투과율에 큰 영향을 미치므로 높여주면, 청색광차단율 R_{BL} 도 높고

시감투과율 τ 도 높은 렌즈를 개발할 수 있다는 가능성이 있음을 알 수 있다. 게다가 380~400 nm의 광선은 대부분 수정체에 의해 흡수되므로 수정체의 보호를 위해서라도 380~400 nm의 광선은 차단시켜주는 것이 눈의 건강에도 도움이 될 수 있겠다.^[12]

2) GWHc와 HBc의 비교

여기에서는 GWHc, HBc 두 렌즈만을 대상으로 한다. 청색광차단을 R_{BL} 은 GWHc(24.1%) > HBc(21.0%)이고, 투과율 T 은 HBc(87.1%) > GWHc(86.3%)이다. 하지만 분광시감효율 $V(\lambda)$ 을 고려한 시감투과율 τ 은 GWHc(95.2%) > HBc(92.9%)이다. 즉, GWHc는 HBc보다 청색광차단을 R_{BL} 도 높고, 시감투과율 τ 도 높은 렌즈이다. 이렇게 GWHc의 청색광차단을 R_{BL} , 시감투과율 τ 이 모두 높은 것은 두 렌즈의 분광분포곡선에 대한 거동의 차이로부터 설명될 수 있다.

분광시감효율 $V(\lambda)$ 이 높은 500~600 nm 대역에서의 분광투과율은 GWHc > HBc 이다. 이러한 거동은 두 곡선이 만나는 434 nm까지 유지되다가 그 아래의 대역에서는 HBc > GWHc으로 역전된다. 즉, GWHc은 눈의 분광시감효율이 높은 500~600 nm 대역에서 HBc보다 분광투과율이 높게 설계되어 시감투과율이 높은 반면, 눈에 유해한 영향을 미치고 있는 400~434 nm의 청색광대역에서는 HBc보다 분광투과율이 낮게 설계되어 청색광을 더 많이 차단하고 있음을 알 수 있다. 그러나 실질적인 소비자 입장에서는 렌즈의 색상도 고려의 대상이 된다는 것도 염두에 두어야 할 것이며, 이에 대한 논의는 다음 연구에서 다루고자 한다. 육안으로 볼 때 GWHc이 HBc보다 약간 Yellow 색상을 더 띤다.

3) ADc, ED1c, ED1nc, FDC

나머지 ADc, ED1c, ED1nc, FDC의 분광분포곡선은 모두 유사한 거동을 하고 있다. 이들 네 렌즈의 경우, 청색광차단을 R_{BL} 이 높은 순서대로 시감투과율 τ 도 낮다.

기존제품인 ED1c와 그 신제품인 ED1nc을 비교하면 신제품인 ED1nc는 기존제품인 ED1c보다 가시광선 전 구간에서 분광투과율이 높게 설계되어 있다. 이러한 설계로 시감투과율 τ 은 95.9%에서 98.1%로 2.2% 높아졌으나 청색광차단을 R_{BL} 은 13.3%에서 10.2%로 3.1% 낮아졌다.

이상의 분석에 의하면 청색광차단을 R_{BL} 도 높이고 시감투과율 τ 도 높일 수 있는 보다 효율적인 청색광차단렌즈의 설계에 대한 가능성이 있음을 알 수 있다. 이러한 가능성은 코팅 두께의 제어를 통해 원하는 파장 대역의 가시광선을 반사시키거나 투과시킬 수 있다는데 기초한 것이다.

2. 착색 청색광차단렌즈

착색법이 이용되어 제조된 착색 청색광차단렌즈에 대한

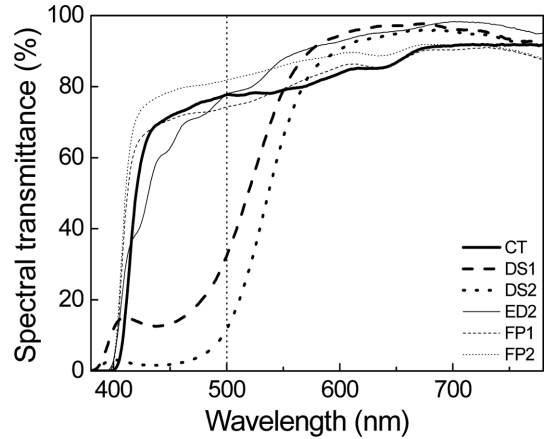


Fig. 2. Spectral transmittance curves for CT, DS1, DS2, ED2, FP1, and FP2.

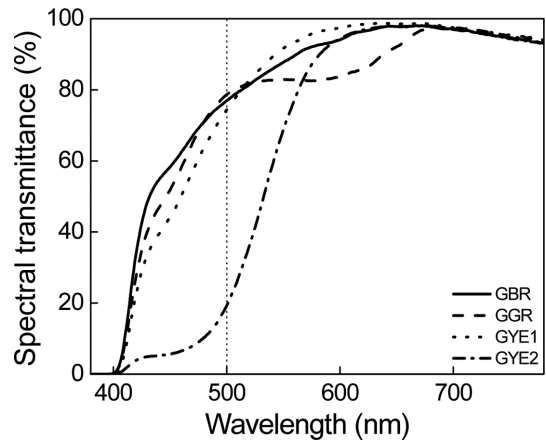


Fig. 3. Spectral transmittance curves for GBR, GGR, GYE1, and GYE2.

렌즈분광분포를 Fig. 2~4에 나타내었다. Fig. 3에는 G사의 렌즈분광분포곡선을, Fig 4(a)~(d)에는 H사의 렌즈분광분포곡선을 색상별로 나누어서, 그리고 나머지 렌즈들의 렌즈분광분포곡선은 Fig. 2에 각각 제시하였다.

1) C, D, E, F사

C사 1종, D사 2종, E사 1종, F사 2종의 렌즈를 조사하였다. 각각 CT, DS1, DS2, ED2, FP1, FP2라는 렌즈명으로 Fig. 2에 렌즈분광분포곡선을 제시하였다. 분광분포곡선의 거동으로 볼 때, CT, ED2, FP1, FP2와 DS1, DS2의 두 부류로 나눌 수 있다.

CT, ED2, FP1, FP2의 분광분포곡선은 장파장에서부터 서서히 감소하다가 430~450 nm 사이에서 급격히 감소한 후, 400 nm 부근에서 0으로 떨어진다. 반면, DS1, DS2은 600 nm 중반에서 최대가 되었다가 560 nm 부근에서 급격히 감소하고 450 nm 근처에서 극소가 되었다가 400 nm에서 극대가 된 후, 380 nm에서 0으로 떨어진다. CT,

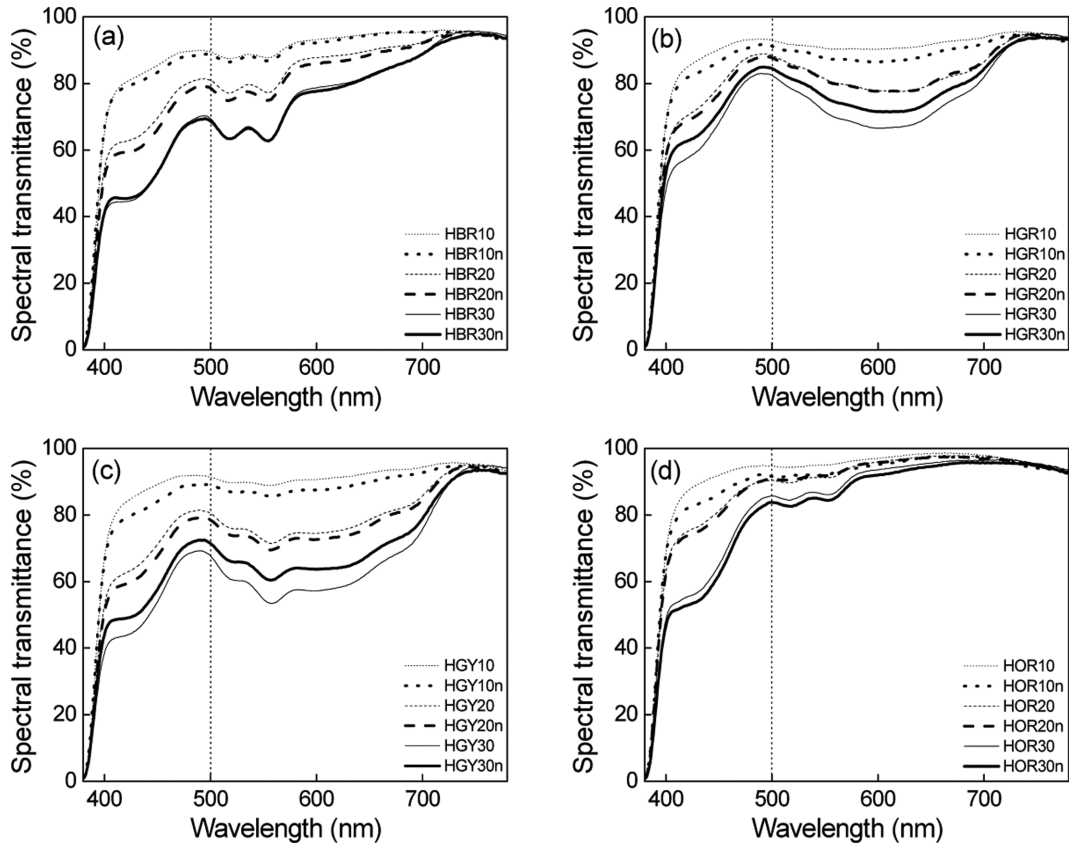


Fig. 4. Spectral transmittance curves for various blue-light blocking lenses made in H manufacturers.

ED2, FP1, FP2의 청색광차단율은 $25.0\%(FP2) \leq R_{BL} \leq 41.7\%$ (ED2)의 범위에 있으며, 시감투과율은 $79.4\%(CT, FP1) \leq \tau \leq 85.5\%(FP2)\%$ 의 범위에 있다(Table 1). 요약하면 다음과 같다.

$$R_{BL} : \begin{matrix} FP2 \\ 25.0\% \end{matrix} < \begin{matrix} FP1 \\ 32.6\% \end{matrix} < \begin{matrix} CT \\ 35.0\% \end{matrix} < \begin{matrix} ED2 \\ 41.7\% \end{matrix} \quad (8)$$

$$\tau : \begin{matrix} FP1 \\ 79.4\% \end{matrix} = \begin{matrix} CT \\ 79.4\% \end{matrix} < \begin{matrix} ED2 \\ 85.3\% \end{matrix} < \begin{matrix} FP2 \\ 85.5\% \end{matrix} \quad (9)$$

이에 따르면 ED2는 CT, FP1에 비하여 청색광차단율(41.7%)도 높고, 시감투과율(85.3%)도 높다. 이러한 성능은 Fig. 2의 렌즈분광분포곡선의 거동으로부터 알 수 있듯이 ED2의 분광투과율이 분광시감효율이 높은 영역에서는 높고, 분광시감효율이 낮은 영역에서는 낮기 때문이다. 한편, DS1과 DS2는 청색광 대역에서의 분광분포가 상당히 낮음에도 가시광선의 단파장 경계인 380 nm 가까이에서도 가시광선이 투과하고 있다. 실제로 380~400 nm 대역의 가시광선은 시감투과율에 대한 기여도가 적고, 수정체에 영향을 미치기 때문에 차단시켜주는 것도 청색광차단율을 높일 수 있고 수정체도 보호할 수 있는 한 방법이라 하겠다.

2) G사

4종의 렌즈를 조사하였다. Fig. 3에 렌즈분광분포곡선을 나타내었다. Brown 1종, Green 1종, Yellow 2종에 대하여 조사하였으며, 이를 구분하기 위해 BR, GR, YE1, YE2를 사용하여 렌즈명을 각각 GBR, GGR, GYE1, GYE2로 하였다. 육안으로 볼 때 GYE2의 색상이 GYE1의 색상보다 짙었다. 조사된 렌즈들 가운데 이 렌즈들은 비슷한 청색광차단율 R_{BL} 을 갖는 다른 렌즈들에 비해 상대적으로 높은 청색광차단율 R_{BL} 을 나타내면서도 상대적으로 높은 시감투과율 τ 를 실현하고 있었다. 예를 들어, GYE1의 경우, $(R_{BL}, \tau) = (57.4\%, 87.4\%)$ 인데, 비슷한 시감투과율 τ 를 갖는 HOR30와 HGY10n은 각각 (33.9%, 87.6%), (16.6%, 86.9%)로 상대적으로 낮은 R_{BL} 을 보이고 있다. 이를 요약하면 다음과 같다.

Name	HGY10n	GYE1	HOR30	
τ	86.9%	< 87.4%	< 87.6%	(10)
R_{BL}	16.6%	< 57.4%	> 33.9%	

Name	HGR20	GBR	ED2	
τ	82.3%	< 85.0%	< 85.3%	(11)
R_{BL}	21.8%	< 46.1%	> 41.7%	

$$\begin{array}{l}
 \text{Name} \quad \text{CT} \quad \text{GGR} \quad \text{HGR20n} \\
 \tau \quad 79.4\% < 80.5\% < 81.2\% \\
 R_{BL} \quad 35.0\% < 50.9\% > 23.5\%
 \end{array} \quad (12)$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Name} \quad \text{HGY30} \quad \text{GYE2} \quad \text{HGY30n} \\
 \tau \quad 64.7\% < 62.7\% < 64.7\% \\
 R_{BL} \quad 45.9\% < 93.2\% > 41.9\%
 \end{array} \quad (13)$$

이 렌즈들의 이러한 특성 역시 렌즈분광분포곡선의 거동으로부터 이해될 수 있다. 예를 들어, GBR과 HBR 계열(Fig. 4(a))을 비교해보면 유사한 Brown 계열의 색상임에도 그 분광분포곡선에는 큰 차이가 있는데, 그 중에서 HBR 계열에는 GBR에 없는 518 nm와 555 nm에서의 가시광선 흡수에 의한 극소 분광투과율 대역이 있다. 이러한 흡수대역의 존재가 HBR 계열의 시감투과율을 낮추는 원인이 되고 있다. 그러나 소비자가 렌즈를 선택할 때는 미묘한 색상 또한 고려되는 한 요소이므로 청색광차단율과 시감투과율로만 비교하는 것은 무리가 있을 수도 있다는 점도 고려해야 할 것이다.

3) H사

24종의 제품을 조사하였다. 이 제조사에서는 다양한 색상과 투과율의 렌즈를 출시하고 있었다. 이 제조사의 렌즈 조사를 통해 보다 소비자가 선호하는 색상을 갖는, 그리고 보다 우수한 청색광차단율과 시감투과율을 갖는 청색광차단렌즈의 개발도 가능함을 알 수 있다.

Brown, Green, Gray, Orange의 4가지 색상이 있으며, 이를 구분하기 위해 렌즈명에 BR, GR, GY, OR을 사용하였다. 그리고 각 색상에 대하여 그 짙은 정도에 따라 10%, 20%, 30%라는 값이 포장지에 인쇄되어 있는데, 이를 구분하기 위해 렌즈명에 10, 20, 30을 사용하였다. 한편, 이들 각 렌즈에 대응하는 신제품이 출시되어 있는데, 이들 렌즈에는 앞서와 동일하게 렌즈명 마지막에 n을 사용하였다. 그러므로 HBR20은 Brown 색상으로 20%이며, HBR20n은 그에 대응하는 신제품을 나타낸다. Fig. 4(a)~(d)에 각 색상별로 렌즈분광분포곡선을 제시하였다. 각 그림의 분광분포곡선에 대한 전반적인 거동으로부터 기존제품과 신제품은 동일한 재료와 방식으로 제조되었음을 알 수 있다.

기존제품과 신제품에 대한 R_{BL} 을 Table 1에서 비교할 수 있다. 청색광차단율 신제품인 R_{BL} 은 HBR30n, HGR30n, HGY30n이 대응하는 기존제품인 HBR30, HGR30, HGY30보다 각각 0.2%, 3.4%, 4.0% 낮아졌으며, 나머지 렌즈들은 기존제품보다 최대 5.1%(HOR30n)까지 높아졌다. 제품의 포장지에 10%, 20%, 30%라 표기된 각 렌즈에 대한 R_{BL} 의 범위를 요약하면 아래와 같다.

Table 1. Blue-light blocking ratio R_{BL} , transmittance T , luminous transmittance τ for various blue-light blocking lenses

Name	R_{BL} (%)	T (%)	τ (%)
ADc	11.8	90.7	96.7
BNc	11.4	92.7	95.6
ED1c	13.3	90.3	95.9
ED1nc	10.2	91.6	98.1
FDc	13.8	90.0	95.6
GWHc	24.1	86.3	95.2
HBc	21.0	87.1	92.9
CT	35.0	75.5	79.4
DS1	84.0	62.3	69.9
DS2	96.8	53.5	58.0
ED2	41.7	78.7	85.3
FP1	32.6	76.0	79.4
FP2	25.0	80.7	85.5
GBR	46.1	77.6	85.0
GGR	50.9	74.1	80.5
GYE1	57.4	75.9	87.4
GYE2	93.2	56.8	62.7
HBR10	15.4	88.2	89.8
HBR10n	17.1	87.4	89.0
HBR20	30.1	80.3	81.2
HBR20n	33.3	78.4	79.4
HBR30	45.9	70.4	69.9
HBR30n	45.7	70.0	68.9
HGR10	11.1	89.2	89.8
HGR10n	14.2	86.8	88.2
HGR20	21.8	80.7	82.3
HGR20n	23.5	80.2	81.2
HGR30	32.0	72.9	72.3
HGR30n	28.6	76.0	76.4
HGY10	12.3	88.7	90.3
HGY10n	16.6	85.9	86.9
HGY20	29.4	76.0	75.2
HGY20n	32.6	74.9	73.0
HGY30	45.9	62.3	58.8
HGY30n	41.9	66.5	64.7
HOR10	9.3	92.5	95.5
HOR10n	14.2	90.1	92.7
HOR20	19.1	88.7	92.2
HOR20n	20.1	88.4	92.1
HOR30	33.9	82.8	87.6
HOR30n	39.0	81.2	85.4

10% 표기 : (HOR10) $9.3\% \leq R_{BL} \leq 17.1\%$ (HBR10n)
 20% 표기 : (HOR20) $19.1\% \leq R_{BL} \leq 33.3\%$ (HBR20n) (14)
 30% 표기 : (HGR30n) $28.6\% \leq R_{BL} \leq 45.9\%$ (HBR30, HGY30)

(14)의 결과에 따르면 제품의 포장지에 인쇄되어 있는 10%, 20%, 30%라는 값이 증가하면 청색광차단율이 증가하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 이에 따르면 % 값들이 정확하게 청색광차단율을 나타낸다고 볼 수는 없지만, 청색광차단율에 대한 대략적인 지표로는 삼을 수 있다고 하겠다.

Table 1에 따르면 R_{BL} 이 높다고 해서 항상 T 및 τ 이 낮아지지는 않는다는 것을 알 수 있다. 특히, Orange 색상 계열의 렌즈들이 이러한 경향을 갖고 있었는데, HOR30과 HOR30n의 경우는 각각 33.9%, 39.0%라 높은 청색광차단율 R_{BL} 을 실현하면서도 다른 색상의 렌즈에 비해 상대적으로 높은 시감투과율 τ 인 87.6%, 85.4%을 보인다. 따라서 Orange 색상 계열의 렌즈들이 청색광을 효율적으로 차단하면서 시감투과율을 높임을 알 수 있다. 이러한 특징을 갖는 것은 Orange 색상의 렌즈에 대한 분광분포곡선으로부터 쉽게 이해될 수 있다. Fig. 4(d)에서 보듯이 Orange 색상 계열의 렌즈는 시감투과율에 영향을 많이 미치는 550 nm 대역에서의 분광투과율이 다른 색상 계열의 렌즈보다 높다. 따라서 Orange 색상 계열의 청색광차단율 R_{BL} 과 시감투과율 τ 이 우수하다고 할 수 있겠다.

그러나 소비자의 입장에서는 선호하는 색상이 다른 색상일 수도 있다. 이러한 경우, 소비자에게 권할 수 있는 색상으로 청색광차단율 R_{BL} 이 높으면서 시감투과율 τ 이 높은 색상은 Brown인 것으로 나타났다. 예를 들어, 청색광차단율 R_{BL} 이 0.7% 밖에 차이 나지 않는 HBR20n($R_{BL}=33.3\%$)과 HGY20n($R_{BL}=32.6\%$)의 시감투과율 τ 은 각각 79.4%, 73.0%로 HBR20n이 6.4%나 높았다. 마찬가지로 청색광차단율 R_{BL} 이 0.7% 밖에 차이 나지 않는 HBR20($R_{BL}=30.1\%$)과 HGY20($R_{BL}=29.4\%$)의 시감투과율 τ 은 각각 81.2%, 75.2%로 HBR20이 6.0%나 높았다. 따라서 Orange 색상 계열 다음으로는 Brown 색상 계열이 전반적으로 청색광차단율 R_{BL} 도 높고, 시감투과율 τ 도 높은 것으로 나타났다. 결과적으로 색상에 따른 청색광차단성능의 전반적인 추세는 Orange, Brown, Gray, Green 순으로 성능이 우수한 것으로 나타났다. 이러한 점은 소비자들에게 청색광차단렌즈를 상담할 때 유용하게 활용될 수 있다.

3. 코팅 청색광차단렌즈와 착색 청색광차단렌즈의 비교

조사된 코팅 청색광차단렌즈와 착색 청색광차단렌즈의 청색광차단율 R_{BL} 과 시감투과율 τ 의 범위는 아래와 같다.

$$\begin{array}{l} \text{Coating} \quad ED1nc \quad < R_{BL} < \quad GWHc \\ \quad \quad \quad 10.2\% \quad < R_{BL} < \quad 24.1\% \\ \text{Tinting} \quad HOR10 \quad < R_{BL} < \quad DS2 \\ \quad \quad \quad 9.3\% \quad < R_{BL} < \quad 96.8\% \end{array} \quad (15)$$

$$\begin{array}{l} \text{Coating} \quad HBc \quad < \tau < \quad ED1nc \\ \quad \quad \quad 92.9\% \quad < \tau < \quad 98.1\% \\ \text{Tinting} \quad DS2 \quad < \tau < \quad HOR10 \\ \quad \quad \quad 58.0\% \quad < \tau < \quad 95.5\% \end{array} \quad (16)$$

(15)에 따르면 전반적으로 코팅 청색광차단렌즈보다 착색 청색광차단렌즈의 청색광차단율 R_{BL} 이 높다. 한편, (16)에 따르면 착색 청색광차단렌즈보다 코팅 청색광차단렌즈의 시감투과율 τ 이 높다. 결국, 높은 청색광차단율 R_{BL} 을 갖는 청색광차단렌즈를 제조하기 위해서는 착색으로, 그리고 높은 시감투과율 τ 을 갖는 청색광차단렌즈를 제조하기 위해서는 코팅으로 하는 것이 전반적으로 타당하다고 하겠다.

합리적인 비교를 위해 코팅 청색광차단렌즈와 착색 청색광차단렌즈가 공통적으로 갖는 $R_{BL} \leq 25\%$ 의 범위에서 청색광차단율의 평균 \bar{R}_{BL} 과 시감투과율의 평균 $\bar{\tau}$ 을 아래와 같이 비교해보았다.

이 범위에 있는 코팅 청색광차단렌즈는 총 7종, 착색 청색광차단렌즈는 총 13종이다. 코팅 청색광차단렌즈의 경우, $\bar{R}_{BL} = 15.1\%$, $\bar{\tau} = 95.7\%$ 이었으며, 착색 청색광차단렌즈의 경우, $\bar{R}_{BL} = 16.9\%$, $\bar{\tau} = 88.9\%$ 이었다. 즉, \bar{R}_{BL} 은 착색 청색광차단렌즈가 1.8% 높은 것으로 나타났지만, $\bar{\tau}$ 은 코팅 청색광차단렌즈가 6.8% 높은 것으로 나타났다.

4. 개선점

이번 연구를 완료함에 있어 문제점으로 지목되는 것은 제조사들이 제시하는 청색광차단성능의 값들이 거의 대부분 국제표준에 의해 평가되지 않았다는 점이다. 이는 제조사들이 청색광차단렌즈를 생산할 수 있는 기술은 있어도 성능을 평가할 수 있는 자체기술을 확보하지 못한데서 기인된 것이었다. 따라서 시급히 개선되어야 할 점 중의 하나는 제조사들이 제품생산 즉시, 국제표준에 맞춰 실시간(real time)으로 그 성능을 평가할 수 있는 자체기술을 확보해야 한다는 점이다. 이러한 점이 개선되어야 고품질의 청색광차단렌즈 개발이 이루어져 제품의 질이 향상될 것이고 국제시장에 진출하여서도 경쟁력을 갖출 수 있게 될 것이다.

또한, 청색광차단렌즈와 관련된 연구, 평가, 비교, 개발, 표기, 상담, 처방 등은 국제적으로 공인된 표준을 사용하는 ANSI Z80.3:2010와 ISO 13666(KS B ISO 13666:2004)에 근거하여 통일된 방향으로 수행되어야 할 것이라는 점이

다. 이러한 공인된 기준에 따라 청색광차단렌즈의 성능이 평가되고 비교될 때 비로소 소비자의 신뢰를 얻을 수 있으리라 사료된다.

결 론

청색광차단율을 산출하는 국제표준이 있음에도 불구하고, 대부분의 국내 제조사들은 이러한 산출법이 있는지 모르는 상태에서 청색광차단렌즈를 생산하고 있다. 이 때문에 제조사들이 자사의 기준에 따라 임의적으로 청색광차단율을 평가하고 있어, 청색광차단율에 대한 과장논란이나 제조법과 관련된 우수성 논란이 끊이지 않고 있는 것이 현재의 실정이다.

이에 청색광차단율을 산출하는 국제표준이 있음을 제조사나 안경사들이 알 수 있도록 국제표준에 의거한 청색광차단율 산출법을 바탕으로 국내에서 유통되고 있는 8개사 41개의 청색광차단렌즈에 대한 성능을 평가하고 비교하는 연구를 수행하였다.

그 결과, 조사된 전체 청색광차단렌즈의 청색광차단율 R_{BL} , 투과율 T , 시감투과율 τ 은 각각 $9.3\% \leq R_{BL} \leq 96.8\%$, $53.5\% \leq T \leq 92.7\%$, $58.0\% \leq \tau \leq 98.1\%$ 범위에 있음을 확인하였다.

코팅 청색광차단렌즈의 경우, 380~400 nm 대역의 가시광선을 상당 부분 투과시키는 제품도 있었는데, 이러한 대역의 가시광선은 차단시켜주는 것이 청색광차단율도 높이고, 수정체도 보호할 수 있다는 결론을 내릴 수 있었다. 또한, GWHc와 HBc 두 제품의 비교를 통해 보다 높은 청색광차단율과 시감투과율을 갖는 제품의 개발도 가능함을 알 수 있었다.

착색 청색광차단렌즈의 분석으로부터 보다 여러 가지 색상의 청색광차단렌즈 개발 가능성을 엿볼 수 있었으며, 이는 다양한 색상의 청색광차단렌즈를 소비자들에게 제공할 수 있다는 점에서 바람직하다 하겠다.

코팅 청색광차단렌즈와 착색 청색광차단렌즈의 성능 비교를 위해 이들이 공통적으로 갖는 청색광차단율 범위에서 시감투과율을 비교한 결과, 청색광차단율이 높은 청색광차단렌즈를 제조하는 데는 착색법이, 그리고 시감투과율이 높은 청색광차단렌즈를 제조하는 데는 코팅법이 전반적으로 유리함을 확인할 수 있었다.

무엇보다도 중요한 것은 국제표준에 의거한 청색광차단

율 산출기술을 제조사가 우선적으로 확보해야 한다는 것이다. 그리고 이를 바탕으로 청색광차단렌즈의 성능을 평가할 수 있어야 보다 향상된 제품도 개발할 수 있고 마케팅에도 활용할 수 있게 될 것이다. 본 연구의 결과가 안경사들의 상담 및 처방에도 보탬이 될 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

- [1] Mark MS, 20/20 Magazine: Handling The Blues, 2013. <http://www.2020mag.com/ce/TTViewTest.aspx?LessonId=108654>.
- [2] Lee JY, Yun EJ, Kim SM, Hwnag HK, Park GJ. The changes of the eye and a correction depending on watching a smartphone and taking in alcohol. J Korean Oph Opt Soc. 2013;18(4):473-479.
- [3] Kim BH, Han SH, Shin YG, Kim DY, Park JY, Sin WC, et al. Aided distance visual acuity and refractive error changes by using smartphone. J Korean Oph Opt Soc. 2012;17(3):305-309.
- [4] The Korean Optical News, Keen competition of blue-light blocking lenses 2014. <http://www.opticnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=22953>.
- [5] Choi EJ, Joung JH, Kim HJ, Seo W, Ju YJ. Tinted-time Dependence of the total spectral transmittance in CR-39 plastic color lenses. Sae Mulli. 2009;59(3):272-277.
- [6] Yu YG, Choi EJ. A study on blue light blocking performance and prescription for blue light blocking lens. J Korean Oph Opt Soc. 2013;18(3):297-304.
- [7] Park JH. AOO Guide - Question and Answer, Seoul: Academy of Optometry & Optics, 2013:323.
- [8] Tanito M, Okuno T, Ishiba Y, Ohira A. Transmission spectrums and retinal blue-light irradiance values of untinted and yellow-tinted intraocular lenses. J Cataract & Refractive Surgery, 2010;36(2):299-307.
- [9] Mainster M, Turner P. Blue-blocking IOLs decrease photoreception without providing significant photoprotection. Survey of Ophthalmology, 2010;55(3):272-289.
- [10] Landers J, Tmablyn D, Perriam D. Effect of a blue-light-blocking intraocular lense on the quality of sleep. J Cataract & Refractive Surgery, 2009;35(1):83-88.
- [11] Choi EJ, Lee SU, Lee EJ, Yoon MJ, Jeong JH, Kim CJ, et al. Empirical fitting curve for luminous transmittance in tinted lenses using superposition of exponential decay curves. J Korean Oph Opt Soc. 2011;16(3):283-291.
- [12] Brockmann C, Schulz M, Laube T. Transmittance characteristics of ultraviolet and blue-light-filtering intraocular lenses. J Cataract Refract Surg. 2008;34(7):1161-1166.

Evaluation of Blue-light Blocking Ratio and Luminous Transmittance of Blue-light Blocking Lens based on International Standard

Chang-Jin Kim, Sung Wook Choi, Seok Jun Yang, Sang-Young Oh, and Eun Jung Choi*

Dept. of Optometry, Konyang University, Deajeon 302-718, Korea
(Received May 11, 2014; Revised June 2, 2014; Accepted June 18, 2014)

Purpose: To evaluate the blue-light blocking ratio and luminous transmittance of blue-light blocking lenses using the blue-light hazard function as specified in international standard. **Methods:** In order to calculate the blue-light blocking ratio and luminous transmittance for a total of 41 blue-light blocking lenses from 8 manufacturers, UV-Vis spectrophotometer was used for measuring the spectral transmittance of wavelengths from 380 to 780 nm. Blue-light blocking ratio was calculated using blue-light hazard function as specified in ANSI Z80.3:2010 and ISO 13666(or Korean Standard KS B ISO 13666:2004). **Results:** The range of the blue-light blocking ratio was from 9.3 to 96.8%, the range of the transmittance from 53.5 to 92.7%, and the range of the luminous transmittance from 58.0% to 98.1%. In general the blue-light blocking lens prepared by coating tended to have a higher luminous transmittance, while those prepared by tinting a higher blue-light blocking ratio. **Conclusions:** The behavior of the spectral distribution of lenses showed the possibility of the performance improvement in the blue-light blocking lenses. Manufactures need to acquire their own technology that can evaluate the performance of blue-light blocking lens based in international standard.

Key words: Blue-light blocking lens, Blue-light hazard function, Blue-light blocking ratio, Transmittance, Luminous transmittance