

Performance Optimization of Blue-light Blocking Lens Through Analysis of Blue Light Emitted from LED Light Sources

Younghyun Son, Seok-Jun Yang, Chang Jin Kim, Gyeong Sun Lee, Su Mi Choi,
Young Guk Yu, Sang-Young Oh, Mi-Sun Jung, A-Ra Jo, and Eun Jung Choi*

Dept. of Optometry, Konyang University, Daejeon 35365, Korea

(Received September 26 2016; Revised November 12, 2016; Accepted November 17, 2016)

Purpose: We have suggested the way to improve performance of blue-light blocking lens through the analysis of blue light emitted from LED light sources and compared the performance of blue-light blocking lenses commercially distributed in domestic market. **Methods:** A total of 17 blue-light blocking lenses and a total of 41 LED light sources were used in the study. The light spectral distributions of LED light sources were measured using illuminance spectrometer. The blue-light distribution of each LED light source was calculated from the product of blue-light hazard function and the light spectral distribution of LED light source. The peak wavelength and the full width of half maximum of the blue-light distribution of each LED light source were calculated using the Gaussian curve fitting. **Results:** The blue-light distributions of all light sources could be well fitted to the Gaussian curve. The hazard induced by the blue light of LED light sources was found to be averagely the greatest at the wavelength of 450 nm. However, the reflectance of domestic and foreign blue-light blocking lenses was found to be averagely the greatest at 431 nm and 448 nm, respectively. **Conclusions:** It is necessary to design the blue-light blocking using Gauss fit curve with the peak wavelength of 450 nm and the full width of half maximum of 27 nm in order to block the blue light emitted from LED light sources optimally. In this respect, it may be better to change design of the blue-light blocking for some of blue-light blocking lenses.

Key words: LED, Blue light hazard function, Photobiological safety, Photobiological exposure limit, Photobiological retinal injury, Blue-light blocking lens

서론

광생물학적 노출한계(photobiological exposure limit)를 넘어서는 광학적 복사(optical radiation)에 노출되면, 광화학적 망막손상(photochemical retinal injury)에 의해 시력이 저하되고 실명되기도 하며, 연령관련 황반변성(age-related macular degeneration, AMD) 또한 가속되는 것으로도 알려져 있다.^[1-4] 이러한 광학적 복사에 의한 광화학적 망막손상의 위험을 청색광 위험(blue light hazard)이라 한다.^[5,6]

과거 청색광 위험에 대한 주의나 경고는 산업용·의료용 등과 같은 고출력 광원을 다루는 전문직 종사자나 용접·조명 등을 취급하는 직업군 종사자들에게 그 위험성을 알리고, 그에 상응하는 조치를 취할 수 있도록 하기 위함이었다.^[7,8] 하지만 LED의 실용화와 더불어 청색광 위험이 널리 알려지기 시작하면서 전 세계 유명 안경렌즈 제조업체

는 물론, 국내 안경렌즈 제조업체에서도 청색광 차단렌즈에 대한 연구와 개발에 많은 투자를 기울이고 있다.

청색광 차단렌즈는 일반적으로 착색법이나 코팅법으로 제조한다.^[9] 착색 청색광 차단렌즈에서는 착색물질에 의해 청색광이 흡수되면서 청색광의 일부가 차단된다. 청색광 차단율은 착색시간이나 착색용액의 농도 등을 통해 조절할 수 있는데, 코팅 청색광 차단렌즈에서와는 달리 상의 질 저하를 유발시키는 흐리고 번지는 미광(stray light)으로 인한 잡음상(noise image)이 발생되지 않기 때문에 높은 청색광 차단율의 렌즈를 제조할 수 있다. 하지만 흡수선의 선평이 넓어 광화학적 망막손상을 거의 일으키지 않는 대역의 가시광선까지도 차단되므로 시각투과율이 낮은 렌즈가 많은 편이다.^[9] 코팅 청색광 차단렌즈에서는 한 면이나 양 면에 있는 반사코팅 층에 의해 청색광이 반사되면서 청색광의 일부가 차단된다. 청색광 차단율은 반사코팅에 사용되는 물질, 두께, 층수 등을 통해 제어할 수 있는데,

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

Table 1. Spectral distribution of blue-light hazard function

Wavelength (nm)	Blue-light hazard function	Wavelength (nm)	Blue-light hazard function	Wavelength (nm)	Blue-light hazard function	Wavelength (nm)	Blue-light hazard function
300	0.01	400	0.1	500	0.1	600	0.001
305	0.01	405	0.2	505	0.07943	605	0.001
310	0.01	410	0.4	510	0.0631	610	0.001
315	0.01	415	0.8	515	0.05012	615	0.001
320	0.01	420	0.9	520	0.03981	620	0.001
325	0.01	425	0.95	525	0.03162	625	0.001
330	0.01	430	0.98	530	0.02512	630	0.001
335	0.01	435	1	535	0.01995	635	0.001
340	0.01	440	1	540	0.01585	640	0.001
345	0.01	445	0.97	545	0.01259	645	0.001
350	0.01	450	0.94	550	0.01	650	0.001
355	0.01	455	0.9	555	0.00794	655	0.001
360	0.01	460	0.8	560	0.00631	660	0.001
365	0.01	465	0.7	565	0.00501	665	0.001
370	0.01	470	0.62	570	0.00398	670	0.001
375	0.01	475	0.55	575	0.00316	675	0.001
380	0.01	480	0.45	580	0.00251	680	0.001
385	0.0125	485	0.4	585	0.002	685	0.001
390	0.025	490	0.22	590	0.00158	690	0.001
395	0.05	495	0.16	595	0.00126	695	0.001
						700	0.001

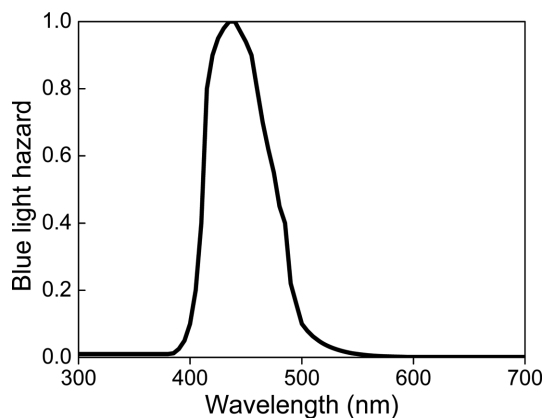


Fig. 1. Blue-light hazard function.

반사코팅의 반사율이 높아질수록 흐리고 번지는 미광으로 인한 잡음상이 증가하여 상의 질이 저하되므로 청색광 차단율을 높이는 데 한계가 있다.^[10] 하지만 적절한 반사코팅 설계를 통하여 반사광의 피크파장과 선폴을 효과적으로 제어할 수 있으므로 광화학적 망막손상을 집중적으로 유발시키는 파장대를 선택적으로 차단시킬 수 있고, 따라서 대체로 시감투과율이 높은 렌즈를 제조할 수 있다.^[9]

효과적인 청색광 차단렌즈를 제조하기 위해서는 광원에서 방출되는 광학적 복사 중^[8], 청색광 위험을 유발시키는 유해한 청색광을 선택적으로 차단시킬 수 있는 청색광 차단설계가 요구된다. 이를 위해서는 우선 청색광 위험함수에 대한 이해가 필요하다.

청색광 위험함수(blue light hazard function, BLHF) $B(\lambda)$ 란 청색광 위험도 즉, 광학적 복사에 의한 광화학적 망막 손상의 위험도를 파장에 따라 나타낸 분포를 말한다. 이 분포는 자외선에서부터 적색광(300~700 nm)에 이르기까지 넓게 퍼져 있으며, 위험도가 가장 큰 파장대는 435~440 nm이고, 이 파장대를 벗어나면 낮다(Table 1, Fig. 1).^[8,11] 가시광선의 색상 분류 관점에서 보면^[12] 자색광(400 nm)과 청색광(460 nm) 사이에 집중되어 있기 때문에 보라빛이 감도는 청색으로 보인다. 국제표준에 따르면 광원에서 방출되는 광화학적 망막손상을 유발시키는 유해한 청색광 분포 $S_B(\lambda)$ 는 광원의 분광분포 $S(\lambda)$ 에 청색광 위험함수 $B(\lambda)$ 를 가중하여 산출한다.^[13]

$$S_B(\lambda) = B(\lambda) \times S(\lambda) \quad (1)$$

이 $S_B(\lambda)$ 를 효과적으로 차단시킬 수 있는 청색광 차단렌즈의 개발을 위해서는 $S_B(\lambda)$ 에 대한 전문자료나 연구결과가 요구되지만 이를 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 청색광 차단렌즈의 개발 및 성능 최적화에 요구되는 LED 광원에 대한 유해한 청색광 분포를 조사하고 이를 최적으로 차단시킬 수 있는 청색광 차단설계의 기준을 제시한다. 그리고 이 결과를 바탕으로 시중에서 유통되고 있는 코팅 청색광 차단렌즈가 청색광을 효과적으로 차단시키도록 최적화되어 있는지 검토한다.

본 연구의 결과가 현장에 적용되어 보다 고품질의 청색광 차단렌즈를 개발하고 성능을 최적화하는데 활용될 수

있기를 기대한다.

대상 및 방법

1. 대상

사용된 광원은 일상생활에서 흔히 접할 수 있는 모니터, 스마트폰, 노트북, 실내외 조명 등을 포함한 41종의 LED 광원이다. 사용된 렌즈는 17종(국내 10종, 국외 7종)의 굴절력 0.00 Dptr인 코팅 청색광 차단렌즈이다.

2. 방법

광원의 분광분포 $S(\lambda)$ 는 Topcon사의 분광조도계(IM-1000)로 측정하였으며, 렌즈의 반사율 $R(\lambda)$ 은 Shimadzu사의 분광광도계(UV-2450)로 측정하였다. 모든 측정은 환경적 방해 요소를 제거하기 위하여 암실에서 수행하였다. 광원의 청색광 분포 $S_B(\lambda)$ 는 식 (1)에 따라 $S(\lambda)$ 에 $B(\lambda)$ 를 가중하여 구하였고^[13], 아래와 같은 가우스 분포(Gauss distribution)를 이용하여 분석하였다.

$$y = y_0 + \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lambda-\lambda_B)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

여기서 λ_B 는 피크파장(peak wavelength)을, σ 는 표준편차를 나타낸다. 가우스 분포의 선폭 혹은 반폭치(full width

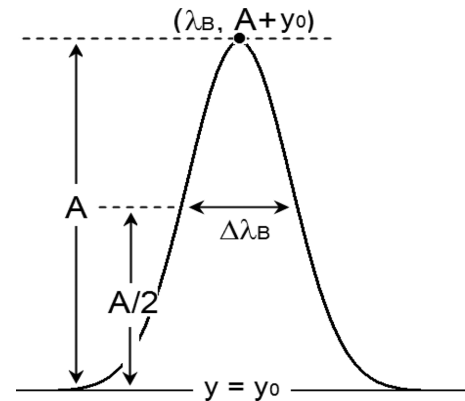


Fig. 2. Peak wavelength λ_B and full width of half maximum $\Delta\lambda_B$ in Gaussian curve.

of half maximum, FWHM) $\Delta\lambda_B$ 는 식 (3)을 이용하여 σ 로부터 구하였다(Fig. 2).

$$\Delta\lambda_B = 2\sigma\sqrt{\ln 4} \quad (3)$$

결과 및 고찰

1. LED 광원의 분광분포 $S(\lambda)$

Fig. 3에 41종의 LED 광원에 대한 분광분포 $S(\lambda)$ 의 일부를 $B(\lambda)$ 와 함께 나타내었다. 이때 $S(\lambda)$ 의 최대값이 1이 되도록 환산하여 그렸다. 각 LED 광원에서 방출되는 청색

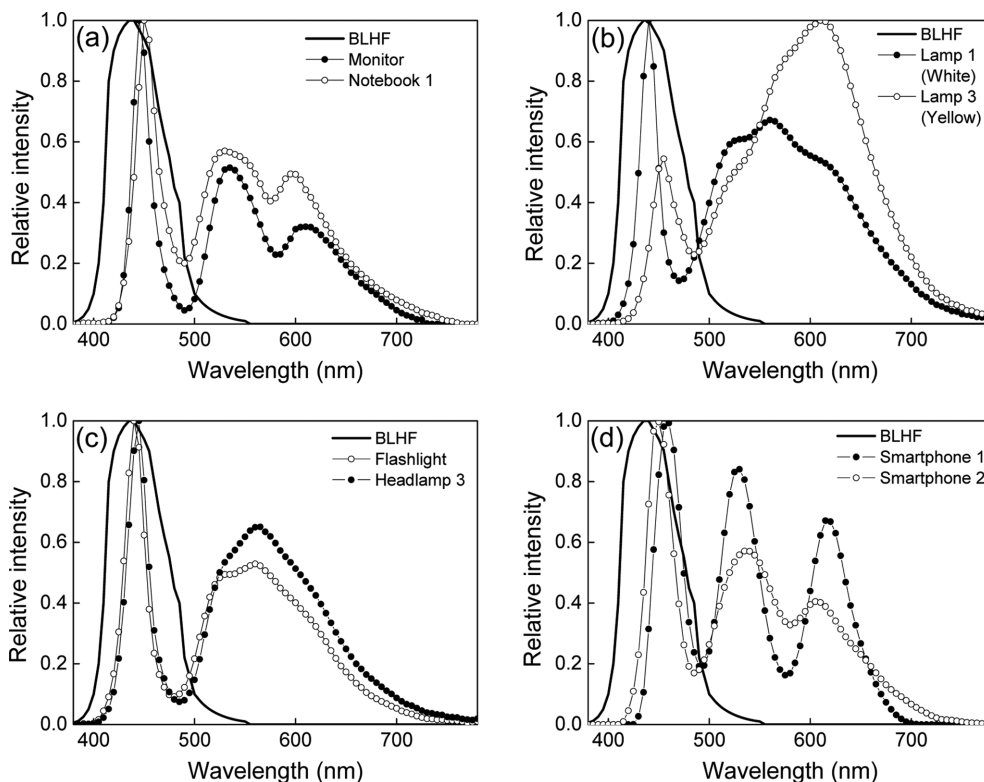


Fig. 3. Blue-light hazard function(BLHF) $B(\lambda)$ and light spectral distributions $S(\lambda)$ for LED light sources.

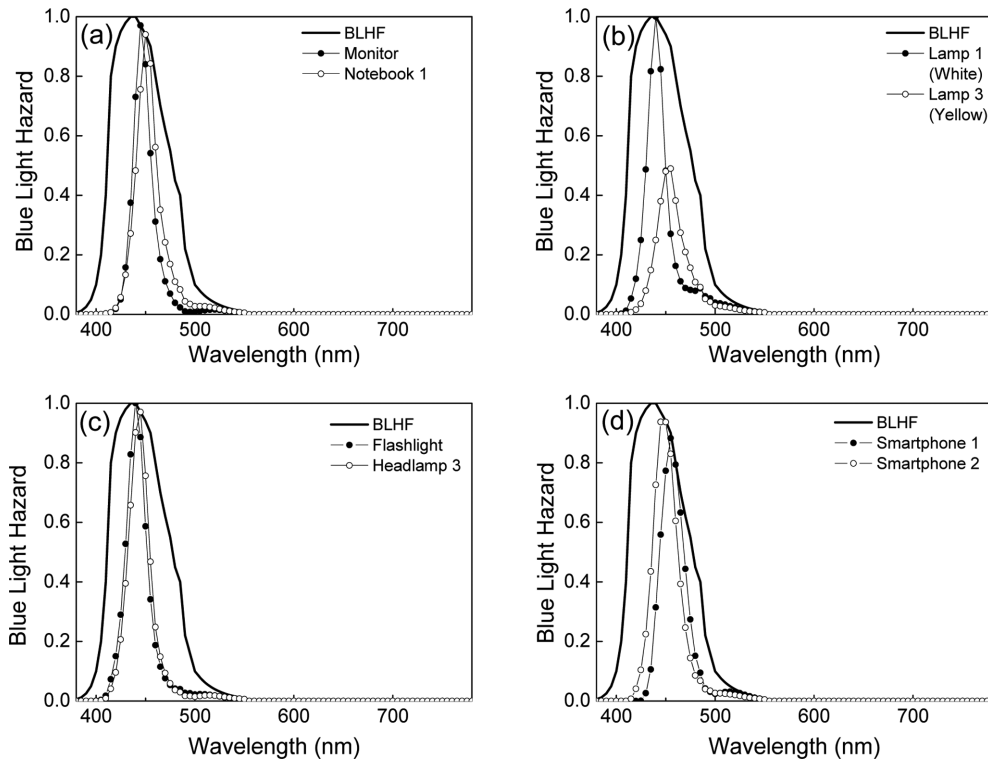


Fig. 4. Blue-light hazard function(BLHF) $B(\lambda)$ and blue-light distribution $S_B(\lambda)$ of LED light sources.

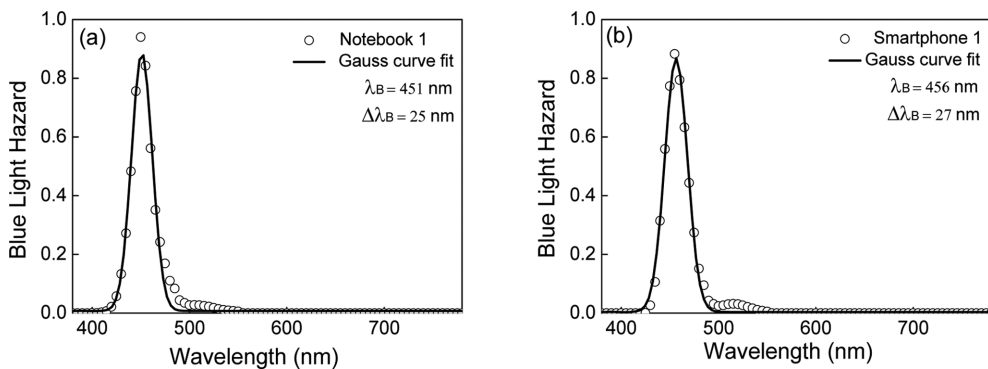


Fig. 5. Analysis of blue-light distribution $S_B(\lambda)$ of LED light sources using the Gaussian curve fitting.

광 영역에서의 피크파장은 $B(\lambda)$ 의 피크파장인 435~440 nm와 일치하지 않고 약간 장파장이라는 것을 알 수 있다. LED 광원에서 방출되는 유해한 청색광 분포 $S_B(\lambda)$ 를 구하기 위해서는 $S(\lambda)$ 에 $B(\lambda)$ 를 가중시켜야 한다(식 (1)).

2. LED 광원의 청색광 분포 $S_B(\lambda)$

Fig. 4에 식 (1)을 이용하여 구한 $S_B(\lambda)$ 의 일부를 $B(\lambda)$ 와 함께 나타내었다. 이 $S_B(\lambda)$ 가 실제로 LED 광원에서 방출되는 광화학적 망막손상을 유발시키는 유해한 청색광이다. $S_B(\lambda)$ 에서 위험도가 가장 큰 파장을 피크파장 λ_B 이라 하겠다. 그림에서 λ_B 는 $B(\lambda)$ 의 피크파장인 435~440 nm와 일치하지 않고 이보다 약간 장파장이라는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는, $B(\lambda)$ 는 단지 파장에 따른 상대적인 위

험도를 나타내는 지표일 뿐으로, 광원에서 방출되는 실질적인 청색광 위험도는 식 (1)에서 알 수 있듯이 광원의 분광분포 $S(\lambda)$ 에 대한 영향이 반영되기 때문이다. λ_B 의 정확한 값을 구하기 위해서는 $S_B(\lambda)$ 에 대한 정량적 분석이 요구된다.

3. 가우스 곡선을 이용한 청색광 분포 $S_B(\lambda)$ 분석

$S_B(\lambda)$ 가 실제로 광화학적 망막손상을 유발시키는 유해한 청색광이라는 점을 상기하면, 청색광 차단렌즈는 이 분포가 잘 차단되도록 설계되어야 한다. $S_B(\lambda)$ 에 대한 분포, 피크파장, 선폪을 도출하기 위해 $S_B(\lambda)$ 가 가우스 분포를 따른다고 가정하고 최소자승법으로 분석하였다.

분석된 결과 중, Fig. 4(a)의 노트북 1과 4(d)의 스마트

Table 2. Peak wavelength λ_B and full width of half maximum $\Delta\lambda_B$ for a total of 41 LED light sources

Source	λ_B (nm)	$\Delta\lambda_B$ (nm)	Source	λ_B (nm)	$\Delta\lambda_B$ (nm)
Monitor	446	21	Head lamp 3	443	24
Notebook 1	451	25	Head lamp 4	453	23
Notebook 2	448	27	Head lamp 5	453	25
Lamp 1, white	440	22	Head lamp 6	447	27
Lamp 2, yellow	448	24	LED chip 1	449	30
Lamp 3, yellow	454	31	LED chip 2	447	28
Flashlight	441	24	LED chip 3	449	30
LED bar 2,700 K	470	30	LED chip 4	449	32
LED bar 2,850 K	451	30	LED chip 5	451	30
LED bar 3,250 K	453	27	LED chip 6	449	28
LED bar 5,000 K	452	27	LED chip 7	448	28
LED bar 5,700 K	443	22	Smart phone 1	456	27
LED bar 6,000 K	451	27	Smart phone 2	449	28
LED bar 6,500 K	444	21	Smart phone 3	447	29
LED bar 10,000 K	448	27	Smart phone 4	445	27
LED bar 10,500 K	442	22	Smart phone 5	452	28
Blue	458	24	Smart phone 6	454	28
Green	509	38	Smart phone 7	451	37
White	447	21	Smart phone 8	449	26
Head lamp 1	439	22	Smart phone 9	453	26
Head lamp 2	439	24	Mean $\pm$ SD	450 $\pm$ 11	27 $\pm$ 4

폰 1에 대한 결과를 Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)에 각각 나타내었다. 그림에서 실선은 분석결과로 얻어진 가우스 분포곡선이다. 41종의 LED 광원에 대한 $S_B(\lambda)$ 의 피크파장 λ_B 과 선폭 $\Delta\lambda_B$ 을 Table 2에 제시하였다.

노트북 1에서 방출되는 $S_B(\lambda)$ 의 피크파장 λ_B 과 선폭 $\Delta\lambda_B$ 은 각각 $(\lambda_B, \Delta\lambda_B) = (451 \text{ nm}, 25 \text{ nm})$ 이다. 따라서 노트북 1에서 방출되는 청색광을 가장 최적으로 차단하려면 451 nm를 중심으로 선폭 25 nm인 가우스 분포 형태로 차단설계를 해야 한다. 마찬가지로 스마트폰 1에서 방출되는 청색광을 최적으로 차단하려면 파장 456 nm를 중심으로 선폭 27 nm인 가우스 분포 형태로 차단설계를 해야 한다. 이러한 논의는 41종의 LED 광원 모두에 대하여 동일하게 적용된다.

Table 2에 제시된 $S_B(\lambda)$ 의 피크파장 λ_B 과 선폭 $\Delta\lambda_B$ 에 대

한 평균은 $(\lambda_B, \Delta\lambda_B) = (450 \text{ nm}, 27 \text{ nm})$ 이다. 이는 일상의 LED 광원에서 방출되는 청색광은 평균적으로 파장 450 nm에서 위험도 가장 크고, 선폭 27 nm인 가우스 분포를 한다는 뜻이다. 따라서 일상의 LED 광원에서 방출되는 청색광을 가장 최적으로 차단시켜줄 수 있는 대표적인 청색광 차단설계는 파장 450 nm를 중심으로 선폭 27 nm인 가우스 분포 설계라 결론지을 수 있다.

4. 시중에서 유통되고 있는 국내외 코팅 청색광 차단렌즈에 대한 고찰

앞 절의 결과를 바탕으로 시중에서 유통되고 있는 청색광 차단렌즈에 대하여 고찰하였다. 17종의 코팅 청색광 차단렌즈에 대한 반사율 $R(\lambda)$ 을 측정하였고, 그 결과를 국내외 브랜드로 구분하여 Fig. 6에 나타내었다. 400~500 nm

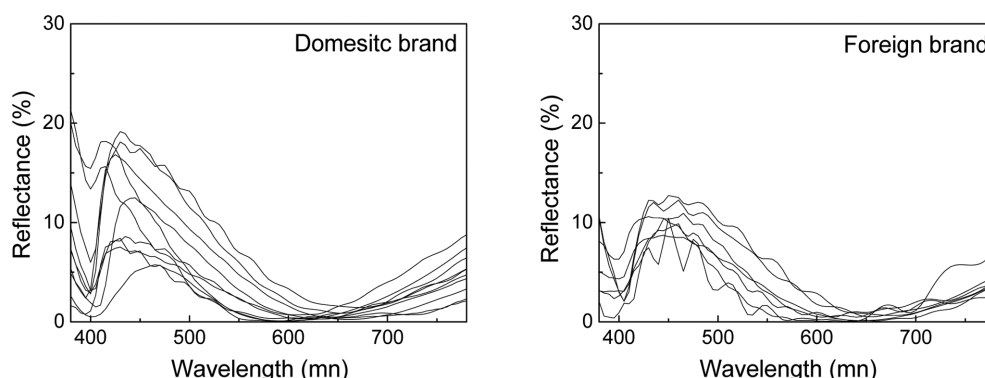


Fig. 6. Reflectances of various blue-light blocking lenses commercially distributed in Domestic Market.

Table 3. Peak wavelengths λ_L and maximum reflectances R_L for various blue-light reflectance coatings of blue-light blocking lenses commercially distributed in Korean market

No.	Domestic		Foreign	
	λ_L (nm)	R_L (%)	λ_L (nm)	R_L (%)
1	412	15.8	430	10.6
2	412	18.1	432	12.4
3	425	16.8	444	8.7
4	429	7.6	452	10.7
5	429	8.5	457	10.1
6	431	18.2	459	12.3
7	431	19.2	464	10.9
8	436	8.6	-	-
9	443	12.5	-	-
10	466	5.7	-	-
Mean $\pm$ SD	431 $\pm$ 15	13.1 $\pm$ 5.1	448 $\pm$ 13	10.8 $\pm$ 1.3

사이에서 반사율 피크가 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 구간에서 반사율이 최대인 파장을 반사율 피크파장 λ_L 이라 하겠다. Table 3에 λ_L 의 값과 이 파장에서의 반사율 R_L 을 나타내었다.

코팅에 의해 반사되는 빛은 곧 차단되는 빛이라는 점을 고려하면, Table 3의 국내 브랜드 No. 1은 $\lambda_L=412$ nm에서 반사율이 가장 크므로, 412 nm 대역을 가장 집중적으로 차단시키는 렌즈이다. 마찬가지로 국외 브랜드 No. 4는 452 nm 대역을 가장 집중적으로 차단시키는 렌즈이다.

이러한 해석을 바탕으로 아래와 같은 고찰을 하였다.

(1) 국내외 브랜드 렌즈의 λ_L 사이에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 $\alpha=0.05$ 로 t 분포에 의한 통계적 검정을 실시하였다. 두 집단은 등분산으로 확인되었고 ($F=0.041$, $p=0.842$), 이에 따른 유의확률로 $p=0.034(<0.05)$ 을 얻었다. 이로부터 유의수준 0.05에서 국내 브랜드 렌즈의 반사율 피크파장(평균 431 $\pm$ 15 nm)과 국외 브랜드 렌즈의 반사율 피크파장(평균 448 $\pm$ 13 nm) 사이에는 서로 유의한 차이가 있다는 사실을 알게 되었다. 이는 국내 브랜드 렌즈와 국외 브랜드 렌즈 사이에 성능의 차이가 있음을 말해주는 것이다.

(2) 앞 절에서 일상의 LED 광원에서 방출되는 청색광을 가장 최적으로 차단시켜줄 수 있는 대표적인 청색광 차단 설계는 파장 450 nm를 중심으로 선폭 27 nm인 가우스 분포 설계라 하였고, 청색광 차단렌즈의 반사율 피크파장을 $\lambda_L=450$ nm로 설계하는 것은 청색광 차단성능을 최적화하는데 중요한 조건이라 하였다.

이러한 관점에서 국내외 브랜드 렌즈의 평균 반사율 피크파장 λ_L 을 각각 450 nm라 할 수 있는지 통계적으로 검정하여, 국내외 브랜드 렌즈에 대한 청색광 차단성능 최적화 여부를 검토하였다. 검정값은 450 nm로 하였으며, 국내외 브랜드 렌즈 각각에 대하여 $\alpha=0.05$ 에서 단일표본 t 검정을 실시하였다.

국내 브랜드 렌즈의 경우, 유의확률은 $p=0.003(<0.05)$ 이었다. 따라서 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 국내 브랜드 렌즈의 반사율 피크파장(평균 431 $\pm$ 15 nm)은 450 nm라 할 수 없다. 결론적으로 국내 브랜드 렌즈는 일상의 LED 광원에서 방출되는 청색광을 최적으로 차단시킬 수 있는 조건을 갖추었다고 할 수 없다. 반면, 국외 브랜드 렌즈의 경우, 유의확률은 $p=0.610(>0.05)$ 이었다. 따라서 국외 브랜드 렌즈의 반사율 피크파장(평균 $\lambda_L=448\pm 13$ nm)은 450 nm와 차이가 있다고 할 수 없다. 결론적으로 국외 브랜드 렌즈는 일상의 LED 광원에서 방출되는 청색광을 최적으로 차단시킬 수 있는 조건을 갖추고 있다 할 수 있다.

(3) 국내외 브랜드 렌즈의 반사율 R_L 사이에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 $\alpha=0.05$ 로 통계적 검정을 실시하였다. 두 집단은 등분산이 아닌 것으로 확인되었고 ($F=22.615$, $p=0.001$), 이에 따른 유의확률로 $p=0.204(>0.05)$ 을 얻었다. 결론적으로 국내 브랜드 렌즈의 반사율 (13.1 $\pm$ 5.1%)과 국외 브랜드 렌즈의 반사율(10.8 $\pm$ 1.3%) 사이에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

(4) 청색광 차단렌즈의 측정과 관련된 문제에 대하여 논하였다. 흔히, 청색광 차단렌즈가 청색광을 얼마나 잘 차단하는지 시연할 때 파장 405 nm의 레이저 포인터를 사용하는 경우가 종종 있다. 그런데 Table 1에서 알 수 있듯이 405 nm에서의 청색광 위험도는 $B(\lambda)$ 에서 위험도가 가장 큰 435~440 nm와 비교할 때 20% 정도 밖에 되지 않는다. 게다가 실제 LED 광원에서 방출되는 405 nm 광선의 양은 무시할 정도이다(대부분의 일상의 LED 광원에서 최대 피크 대비 1/100 미만). 또한, 일상의 LED 광원에서 방출되는 청색광의 위험도는 405 nm에서가 아니라 450 nm 대역에서 가장 크다. 이러한 세 가지 사실을 종합하면 405 nm 대역에서의 청색광을 얼마나 잘 차단하는 지로 청색광 차단렌즈의 성능을 비교하는 것은 바람직하지 못하다는 사실을 알 수 있다. 어떤 렌즈가 다른 렌즈보다 405 nm 대역의 청색광을 잘 차단시킨다 하더라도 450 nm 대역의 청색광을 더 많이 투과시킨다면 우수한 청색광 차단렌즈라 할 수 없을 것이다. 우리의 경계 대상은 LED 광원이 아닌 405 nm 대역의 파장을 집중적으로 방출하는 레이저 광원이 아니다. 따라서 청색광 차단 시연을 할 때는 파장 405 nm 대역의 레이저 포인터가 아닌 실제 LED를 이용하여 시연하는 것이 타당할 것이다.

결 론

청색광 차단렌즈의 개발 및 성능 최적화에 요구되는 LED 광원에 대한 청색광 분포를 조사하고, 이를 최적으로 차단시킬 수 있는 청색광 차단설계의 기준을 제시하였다. 이 결과를 바탕으로 시중에서 유통되고 있는 코팅 청색광 차단렌즈가 청색광을 최적으로 차단시키도록 설계되어 있는지도 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

(1) 일상의 LED 광원에서 방출되는 광화학적 망막손상을 유발시키는 유해한 청색광은 평균적으로 450 nm에서 가장 위험하며, 선폭 27 nm인 가우스 분포의 형태를 띤다.

(2) 일상의 LED 광원에서 방출되는 유해한 청색광을 가장 최적으로 차단시켜줄 수 있는 대표적인 청색광 차단설계는 파장 450 nm를 중심으로 선폭 27 nm인 가우스 분포 설계이다.

(3) 시중에서 유통되고 있는 청색광 차단렌즈를 통계 분석한 결과, 국외 브랜드 렌즈는 일상의 LED 광원에서 방출되는 유해한 청색광을 최적으로 차단시킬 수 있는 조건을 갖추고 있는 것으로 나타났지만 국내 브랜드 렌즈는 그렇지 못한 것으로 나타났다.

국내 브랜드 렌즈의 청색광 성능 최적화를 위해서는 청색광 차단설계의 변경이 필요할 것으로 사료된다. 본 연구의 결과가 이러한 최적화 설계에 밑거름이 될 수 있기를 기대하며, 안경사 교육 및 소비자 상담 등에도 널리 활용될 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Phys.* 2004;87(2):171-186.
- [2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 μ m). *Health Phys.* 1997;73(3):539-554.
- [3] Rüdiger M, Maria F, Rodney C, Adele G, Kari J, Carmela M et al. Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. *Health Phys.* 2013;105(1):74-96.
- [4] Taylor HR, Muñoz B, West S, Bressler NM, Bressler SB, Rosenthal FS. Visible light and risk of age-related macular degeneration. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1990;88:163-173.
- [5] Sliney DH, Freasier BC. Evaluation of optical radiation hazards. *Appl Opt.* 1973;12(1):1-24.
- [6] Made-in-China.com. Assessment of the unique "blue light" hazard is critical, 2013. [http://resources.made-in-china.com/article/product-industry-knowledge/HxmntgNCFQIT/IEC-EN-62471-for-LED-Lighting-Products/\(16 May 2015\).](http://resources.made-in-china.com/article/product-industry-knowledge/HxmntgNCFQIT/IEC-EN-62471-for-LED-Lighting-Products/(16%20May%202015).)
- [7] Okuno T, Saito H, Ojima J. Evaluation of blue-light hazards from various light sources. *Dev Ophthalmol.* 2002;35:104-112.
- [8] Jung MH, Yang SJ, Yuk JS, Oh SY, Kim CJ, Lyu JM, Choi EJ. Evaluation of blue light hazard in LED lightings. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(3):293-300.
- [9] 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.
- [10] Yuk JS, Yang SJ, Kim YG, Choi EJ. Effects of stray light in blue-light blocking lens on the quality of image. *J Korea Acad Industr Coop Soc.* 2016;17(5):612-618.
- [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*, 2014.
- [12] Benjamin WJ. *Borish's Clinical Refraction*, 2nd Ed. St. Louis: Butterworth Heinemann Elsevier, 2006;298.
- [13] British Standards. Personal eye protection - Sunglasses and sunglare filters for general use. *BS EN 1836*, 1997.

LED 청색광 분석을 통한 청색광 차단렌즈의 성능 최적화

손영현, 양석준, 김창진, 이경선, 최수미, 유영국, 오상영, 정미선, 조아라, 최은정*

건양대학교 안경광학과, 대전 35365

투고일(2016년 9월 26일), 수정일(2016년 11월 12일), 게재확정일(2016년 11월 17일)

목적: LED 광원의 청색광을 분석하여 청색광 차단렌즈의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제시하고, 이를 바탕으로 시중에서 유통되고 있는 청색광 차단렌즈에 대한 성능을 비교하였다. **방법:** 17종의 청색광 차단렌즈와 41종의 LED 광원이 사용되었다. 분광조도계를 이용하여 LED 광원의 분광분포를 구하고, 청색광 위험함수를 가중하여 LED 광원의 청색광 분포를 구한 후, 가우스 곡선으로 맞춤하여 각 LED 광원에 대한 피크파장과 선폭을 구하였다. **결과:** LED 광원에서 방출되는 청색광의 분포는 가우스 곡선으로 잘 맞춤되었다. LED 광원의 청색광으로 인한 위험도는 450 nm에서 가장 큰 것으로 나타났다. 하지만 국내 및 국외 브랜드 청색광 차단렌즈에서의 청색광 반사율은 각각 431 nm와 448 nm에서 가장 큰 것으로 나타났다. **결론:** LED에서 방출되는 청색광을 효과적으로 차단하기 위해서는 청색광 반사코팅을 450 nm, 선폭 27 nm인 가우스 곡선 형태로 설계할 것이 요구되며, 이러한 관점에서 일부 제품은 청색광 차단설계의 변경을 고려하는 것도 좋을 것으로 사료된다.

주제어: LED, 청색광 위험함수, 광생물학적 안전성, 광생물학적 노출한계, 광화학적 망막손상, 청색광 차단렌즈