



Analysis of Blue Light in Automotive Lamps for Night Vision Driver Lens Development

Eun Jung Choi*

Dept. of Optometry, Konyang University, Daejeon 35365, Korea
(Received February 5, 2018: Revised February 22, 2018: Accepted March 6, 2018)

Purpose: The distributions of blue light for various automotive lamps were analyzed to determine the criteria for the design of blue light blocking required to develop a night vision driver lens. **Methods:** A total of 24 automotive lamps were investigated, including HAL lamps, HID lamps and LED lamps. The spectral distributions were measured using a spectral irradiance colorimeter and the blue light distributions for each lamp were obtained by weighting the blue light hazard function. The peak wavelength and the line width for each lamp were derived by fitting the blue light distribution with a Gaussian distribution. **Results:** The blue light distributions for all automotive lamps were well fitted with a Gaussian function. The weighted average ($\bar{\lambda}_B, \Delta\lambda_B$) of the peak wavelength and the line width of the blue light distribution reflecting the blue light ratio P_B was (452 nm, 63 nm) in the HAL lamps (441 nm, 65 nm), in the HID lamps (445 nm, 23 nm), in the LED lamps, and (444 nm, 44 nm) in all 24 automotive lamps. **Conclusions:** In order to effectively block the blue light emitted from the various automotive lamps, the criteria of the blue light blocking design of night vision driver glasses is required with a Gaussian distribution having a peak wavelength of 444 nm and a line width of 44 nm. The criteria for blue light blocking design between night vision driver lenses and blue light blocking lenses are the same in distribution and there is no significant difference in peak wavelength, but there is a big difference in line width.

Key words: Night vision driver lens, Blue light blocking lens, Automotive lamp, Blue light hazard, Visibility

서 론

차량용 램프(automotive lamp)로서는 광량과 내구성이 떨어지는 백열램프(incandescent lamp)에 이어 수명이 길고 밝은 할로겐(halogen lamp, HAL) 램프가 등장하였지만 열로 인한 에너지 손실의 단점은 극복하지 못하였다.^[1,2] 1990대 상용화되기 시작한 고휘도 방전(high intensity discharge, HID) 램프는 낮은 전력소모와 향상된 밝기로 시인성(visibility) 향상에 일조를 하였지만 지나친 눈부심으로 인한 일시적인 실명 상태를 유발시켜 사고의 위험성을 높인다는 문제점을 가지고 있다.^[3-5]

에너지 절감, 긴 수명, 고휘도를 자랑하는 LED(light emitting diode)는 발광시스템의 작은 크기로 자유롭고 복잡한 디자인 설계가 가능하기 때문에 미적 요소를 겸비한 화려한 외관의 전조등 제작에는 물론, 방향지시등, 실내등, 바닥조명등, 차폭등, 후미등, 제동등, 비상점멸등, 안개등과 같은 소형 등화장치 뿐만 아니라 수만 내지는 수십만

칸델라(candela, cd)의 초고휘도 선박용 및 철도용 전조등에도 폭넓게 사용되고 있다.^[6] LED는 HAL이나 HID에서는 연출할 수 없었던 다양한 색온도의 구현이 가능하므로 안개나 황사, 폭설, 폭우 등과 같은 악천후 기상조건 하에서의 시인성 향상을 위한 색온도 변환 스마트 전조등의 개발에도 적용되고 있다.^[7] 하지만 LED에는 광화학적 망막손상 및 시인성 저하에 영향을 미치는 단파장 가시광선인 청색광(blue light)이 많이 포함되어 있는 것으로 알려져 있다.^[8-10]

청색광 위험(blue light hazard)이란 광생물학적 노출한계(photobiological exposure limit)를 넘어서는 광학적 복사(optical radiation)에 노출되었을 때 발생하는 광화학적 망막손상(photochemical retinal injury)으로,^[11] 여기에 관여하는 광학적 복사는 파장 435~440 nm에서 피크를 이루고 이를 벗어나면 급속히 감소하는 종모양의 분포를 하는데 이를 청색광 위험함수(blue light hazard function)라 한다 (Fig. 1).^[12] 가시광선의 색상 분류 관점에서 보면 이 대역

*Corresponding author: Eun Jung Choi, TEL: +82-42-600-8425, E-mail: ejchoi@konyang.ac.kr

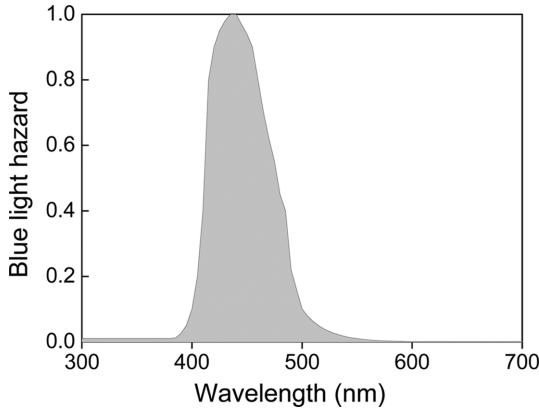


Fig. 1. Blue light hazard function.^[14]

의 빛은 자색광(400 nm)과 청색광(460 nm) 사이에 집중되어 있어서 보라빛이 감도는 푸른빛으로 보인다.^[13,14] 이러한 청색광에 노출한계 수준이상으로 노출되면 광화학적 작용에 의하여 망막세포가 손상되어 시력이 약화되고 심하면 실명에까지 이르며, 연령관련 황반변성(age-related macular degeneration, AMD) 또한 가속될 수 있는 것으로 알려져 있다.^[8,15-18]

일상생활에서 흔히 접할 수 있는 광원은 다양한데, 그 중에서도 특히 차량용 램프는 다른 광원에 비해 광도(luminous intensity, cd)가 높아 청색광으로 인한 광화학적 망막손상의 위험성이 클 뿐만 아니라 눈부심으로 인한 시인성 저하의 원인이 된다. 이와 같은 강렬한 차량용 램프에서 방출되는 청색광으로부터 시력을 보호하고 시인성 향상에 도움을 줄 수 있는 방안 중의 하나로 야간운전자용 안경렌즈를 들 수 있다.

본 연구에서는 야간운전자용 안경렌즈의 개발 및 성능 향상, 그리고 안개나 황사, 폭우, 폭설 등과 같은 악천후 기상조건 등에서의 시인성 향상 및 시인성 모델의 개발과 관련된 연구의 일환으로 차량용 램프를 대표하는 세 종류의 램프인 HAL, HID, LED 램프를 대상으로 각 램프에서

방출되는 광학적 복사 중, 광화학적 망막손상 및 눈부심으로 인한 시인성 저하의 원인이 되는 단파장 가시광선인 청색광에 대한 특성을 조사하고, 이를 바탕으로 야간운전자용 안경렌즈를 개발하는데 요구되는 청색광 차단설계의 기준을 알아보려고 한다.

대상 및 방법

1. 대상

사용한 광원은 차량용 램프로 널리 이용되고 있는 HAL 램프, HID 램프, LED 램프로 각각 8가지씩 총 24가지이다. HAL 램프 8가지는 HAL_1, HAL_2, ..., HAL_8로, HID 램프 8가지는 HID_1, HID_2, ..., HID_8로, LED 램프 8가지는 LED_1, LED_2, ..., LED_8로 각각 표기하였다. 각 램프에 대한 주요 특성으로 색좌표(color coordinate, CIExy)와 색온도(correlated color temperature, CCT)를 Table 1에 제시하였다.

2. 방법

측정과 분석은 다음과 같은 방법으로 하였다.^[14] 총 24가지의 차량용 램프의 분광분포 $S(\lambda)$ 는 분광복사조도색차계(spectral irradiance colorimeter, SPIC-200, Everfine)를 이용하여 가시광선 범위(380~780 nm)에서 5 nm 간격으로 수집하였다.

각 램프에 대한 청색광 분포 $S_B(\lambda)$ 는 램프의 분광분포 $S(\lambda)$ 에 광학적 복사의 파장에 따른 광화학적 망막손상의 위험도를 나타내는 청색광 위험함수(blue light hazard function) $B(\lambda)$ 를 가중하여 구하였다(식 (1)).^[19]

$$S_B(\lambda) = B(\lambda) \times S(\lambda) \tag{1}$$

식 (1)을 이용하여 구한 $S_B(\lambda)$ 를 회귀분석하기 위하여 식 (2)와 같은 가우스 분포(Gaussian distribution)를 이용하였다.^[14]

Table 1. Color coordinates (CIExy) and correlated color temperatures (CCT) of HAL lamps, HID lamps, and LED lamps

No.	HAL lamp		HID lamp		LED lamp	
	CIExy (x, y)	CCT (K)	CIExy (x, y)	CCT (K)	CIExy (x, y)	CCT (K)
1	(.4135, .3948)	3,359	(.3582, .3735)	4,634	(.3215, .3211)	6,059
2	(.4214, .3972)	3,222	(.3499, .3680)	4,884	(.3222, .3363)	5,979
3	(.4308, .4029)	3,096	(.2579, .2792)	14,218	(.3327, .3429)	5,491
4	(.4101, .3932)	3,416	(.2964, .3361)	7,332	(.3459, .3504)	4,965
5	(.4374, .4055)	3,004	(.3565, .3736)	4,688	(.2811, .2865)	10,056
6	(.4273, .3983)	3,120	(.3693, .3780)	4,322	(.3109, .3133)	6,753
7	(.4486, .4090)	2,854	(.3539, .3711)	4,767	(.3068, .3318)	6,801
8	(.4277, .4024)	3,148	(.3500, .3582)	4,845	(.3110, .3323)	6,572

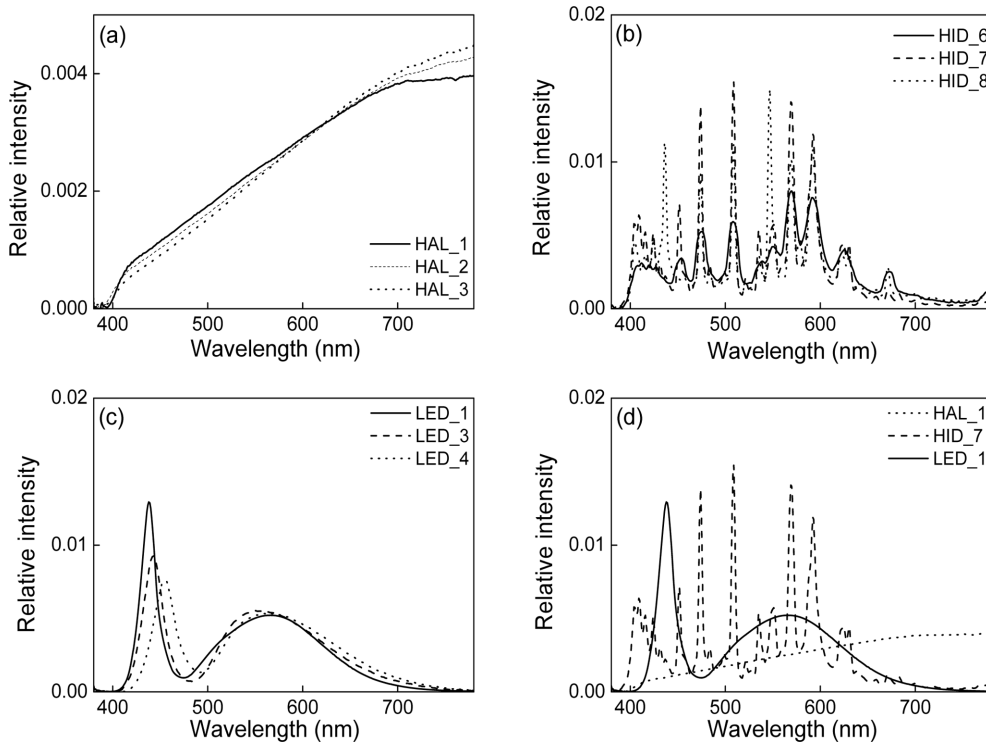


Fig. 2. (a), (b), and (c) show three representative spectral distributions $S_B(\lambda)$ of HAL lamps, HID lamps, and LED lamps, respectively. (d) shows the spectral distributions $S_B(\lambda)$ of HAL_1 lamps, HID_7 lamp and LED_1 lamp.

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

이러한 분석과정으로부터 야간운전자용 안경렌즈에 요구되는 청색광 분포, 그리고 이 분포에 대한 피크파장 (peak wavelength) λ_B , 선폭(line width) 혹은 반폭치(full width of half maximum, FWHM) $\Delta\lambda_B$ 를 구하였다. 여기서 $\Delta\lambda_B$ 은 표준편차 σ 로부터 구하였다(식 (3)).^[14]

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

IEC 62471에 따르면 광원에 대한 청색광 위험은 광원의 분광복사휘도(spectral radiance)를 측정하고, 여기에 청색광 위험함수를 기중하여 청색광 위험의 지표가 되는 청색광 복사휘도(blue light radiance)를 구한 후, 위험군 분류(risk group classification from IEC 62471) 기준에 따라 평가하도록 규정되어 있다.^[8] 하지만 본 연구에서 구하고자 하는 것은 차량용 램프에 대한 청색광 분포의 형태, 그에 해당하는 피크파장 λ_B 및 선폭 $\Delta\lambda_B$ 이기 때문에 분광복사조도색차계를 이용한 광원의 분광분포 측정만으로도 충분하였다.

결과 및 고찰

1. 차량용 램프의 분광분포 $S(\lambda)$

24가지 차량용 램프를 대상으로 가시광선 범위

(380~780 nm)에서 측정된 $S(\lambda)$ 중의 일부를 램프별로 3가지씩 Fig. 2(a)~(c)에 제시하였다. 각 램프에 대한 $S_B(\lambda)$ 와 그에 대한 피크파장 λ_B , 그리고 이 파장을 중심으로 한 선폭 $\Delta\lambda_B$ 만이 관심의 대상이기 때문에 각 램프에서 방출되는 광량 즉, $S(\lambda)$ 의 면적은 중요하지 않다. 이에 Fig. 2에서 $S(\lambda)$ 을 그릴 때는 각 램프에 대한 $S(\lambda)$ 의 면적이 모두 1이 되도록 환산하여 그렸다.

각 램프에 대한 $S(\lambda)$ 의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- (i) HAL 램프 (Fig. 2(a)): 피크는 존재하지 않으며 방출되는 빛의 세기는 파장에 따라 꾸준히 증가한다. 단 파장 영역에서 방출되는 빛의 세기가 약하기 때문에 방출되는 청색광의 양도 적다.
- (ii) HID 램프 (Fig. 2(b)): 여러 개의 피크로 구성되어 있다. 특정 파장에서는 방출되는 빛의 세기가 매우 강하지만, 그렇지 않은 파장에서는 상대적으로 매우 약하다.
- (iii) LED 램프 (Fig. 2(c)): 두 가지 색상을 나타내는 피크로 구성되어 있다. 하나는 청색 LED에서 방출되는 선폭이 좁은 청색광 대역에서의 피크(좌측 피크)이고, 다른 하나는 청색 LED를 둘러싸고 있는 인(phosphorus)에서 방출되는 선폭이 넓은 황색광 대역에서의 피크(우측 피크)이다.^[20]
- (iv) HAL, HID, LED 램프에 대한 $S(\lambda)$ 를 동시에 비교하기 위하여 Fig. 2(d)에 대표적인 1가지씩을 제시하였

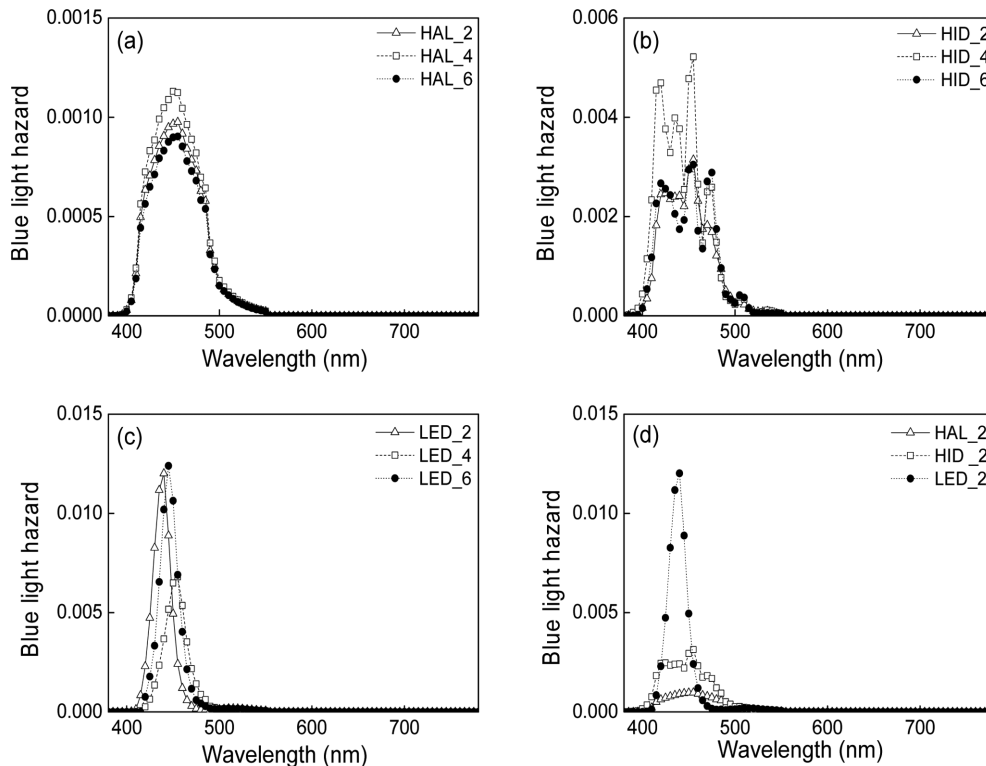


Fig. 3. (a), (b), and (c) show three representative blue light distributions $S_B(\lambda)$ of HAL lamps, HID lamps, and LED lamps, respectively, (d) shows the blue light distributions $S_B(\lambda)$ of HAL_2 lamps, HID_2 lamp and LED_2 lamp.

다. Fig. 2(d)에서 청색광 위험 및 눈부심의 원인이 되는 단파장 대역을 비교할 때 각 곡선의 면적을 1로 통일하였다는 점을 상기하면 어떤 광원에서 가장 많은 양의 청색광이 방출되는지를 그림을 통해 대략적으로 짐작할 수 있다. 그림으로부터 어렵잡아 비교해보면 청색광을 가장 많이 포함한 램프는 LED 램프이며, 그 다음 HID 램프, HAL 램프 순임을 알 수 있다. 정확한 비교는 이어지는 절에서 식 (1)을 이용하여 $S_B(\lambda)$ 를 구한 후, 식 (2)를 이용한 맞춤(fitting) 분석을 통해 비교할 것이다.

2. 차량용 램프의 청색광 분포 $S_B(\lambda)$

식 (1)을 이용하여 각 램프에 대한 $S_B(\lambda)$ 를 계산하였다. 그 결과들 중의 일부를 Fig. 3(a)~(d)에 나타내었다. 각 그림에서 ▲, ○, ●은 5 nm 간격으로 나타낸 각 램프에 대한 $S_B(\lambda)$ 의 계산값이며, 실선(—), 파선(---), 점선(...)들은 각 분포가 잘 구분되어 보일 수 있도록 이어준 선이다.

각 램프에 대한 $S_B(\lambda)$ 의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- (i) HAL 램프 (Fig. 3(a)): 분포의 모양이 종모양(bell shape)을 띤다. Fig. 1에 제시되어 있는 청색광 위험 함수 $B(\lambda)$ 의 모양과 비슷하다.
- (ii) HID 램프 (Fig. 3(b)): Fig. 2(b)에 제시되어 있는 HID 램프에 대한 $S(\lambda)$ 의 특징이 반영되어 있기 때

문에 여러 개의 피크들이 나타나 있다. 하지만 전체적으로는 청색광 위험함수 $B(\lambda)$ 의 모양을 유지하고 있다.

- (iii) LED 램프 (Fig. 3(c)): 분포의 모양이 폭이 좁은 피크 모양을 하고 있다. Fig. 2(c)에 제시되어 있는 LED 램프에 대한 $S(\lambda)$ 의 좌측에 있는 청색광 피크의 특징이 반영되어 있기 때문이다.
- (iv) HAL, HID, LED 램프에 대한 $S_B(\lambda)$ 를 동시에 비교하기 위하여 Fig. 3(d)에 대표적인 1가지씩을 제시하였다. Fig. 3(d)에서 첫째, 분포의 형태를 비교하면 HAL 램프와 LED 램프는 단일 피크로 구성되어 있고, HID 램프는 여러 개의 피크들로 구성되어 있지만 HID 램프의 경우에도 전반적으로는 HAL 램프와 LED 램프의 모양을 유지하고 있다. 둘째, 분포의 선폭을 비교하면 HAL 램프와 HID 램프는 폭이 넓지만, LED 램프는 좁다. 셋째, 분포의 면적을 비교할 때 면적이 각 램프에서 방출되는 청색광의 총량이라는 점을 고려하면 LED 램프의 경우가 가장 면적이 넓기 때문에 LED 램프에서 가장 많은 양의 청색광이 방출되고, 그 다음은 HID 램프, 그리고 HAL 램프에서 가장 적은 양의 청색광이 방출됨을 알 수 있다. 각 램프에 포함된 정확한 청색광 비율은 고찰에서 다룬다.

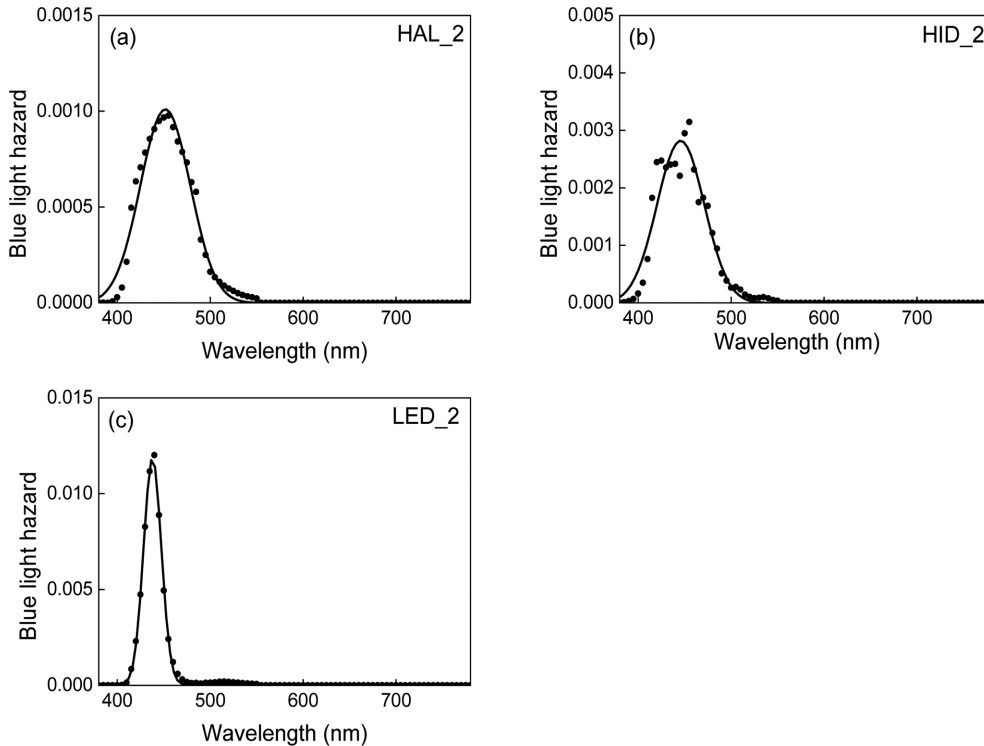


Fig. 4. (a), (b), and (c) show the results of analysis of the blue light distribution $S_B(\lambda)$ of (a) HAL_2 lamp, (b) HID_2 lamp, and (c) LED_2 lamp using the Gaussian distribution, respectively.

다음으로 Fig. 1에 제시되어 있는 청색광 위험함수 $B(\lambda)$ 와 각 램프에서 방출되는 $S_B(\lambda)$ 을 비교해보았다. 앞서 청색광 위험함수 $B(\lambda)$ 란 광학적 복사에 의한 광화학적 망막손상의 위험도를 파장에 따라 나타낸 분포로 위험도가 가장 큰 파장인 435~440 nm에서의 값을 1로 하여 나타낸 상대적인 값이라 하였다.^[14] 따라서 광화학적 망막손상에 가장 큰 영향을 미치는 파장은 435~440 nm이다. 하지만 실제로 각 광원에서 방출되는 $S_B(\lambda)$ 는 식 (1)로부터 계산되므로 $S_B(\lambda)$ 에는 $S(\lambda)$ 의 분광 특성이 반영된다. 그러므로 실제 광원에서 방출되는 광화학적 망막손상에 가장 큰 영향을 미치는 파장은 435~440 nm와 일치하는 것이 아니라 $S(\lambda)$ 의 분광 특성에 따라 단파장 방향 혹은 장파장 방향으로 이동할 수 있다. 이것이 야간운전자용 안경렌즈를 개발하고 성능을 극대화하는 핵심 요소이다.

3. 차량용 램프의 청색광 분포 $S_B(\lambda)$ 에 대한 분석

$S_B(\lambda)$ 이 차량용 램프에서 방출되는 광학적 복사 중 광화학적 망막손상의 원인이 되는 청색광 분포라는 점을 상기하면, 차량용 램프로부터 눈을 보호하고 시인성 향상에 도움을 줄 수 있는 야간운전자용 안경렌즈는 이를 효과적으로 차단할 수 있도록 설계되어야 한다. 정확한 설계기준을 도출하기 위해서는 앞 절에서 구한 각 램프의 $S_B(\lambda)$ 에 대한 맞춤곡선을 구하고, 이로부터 피크파장 λ_B 과 선폭 $\Delta\lambda_B$

을 구해야 한다. 여기에서는 $S_B(\lambda)$ 에 대한 분석을 위한 맞춤곡선으로 가우스 분포(Gaussian distribution)를 도입하고, 이를 바탕으로 회귀분석(regression analysis)을 시행하였다. 도출된 결과 중 대표적인 것을 Fig. 4(a)~(c)에 나타내었다.

Fig. 4(a)~(c)에서 ●은 식 (1)을 통해 5 nm 간격으로 산출한 $S_B(\lambda)$ 의 값이고, 실선(—)은 가우스 분포로 회귀분석하여 도출한 맞춤곡선(fitting curve)이다. 맞춤결과로부터 산출된 HAL 램프, HID 램프, LED 램프별로 각 8종씩, 총 24종의 램프에 대한 피크파장 λ_B 와 선폭 $\Delta\lambda_B$ 의 결과를 Table 2에 정리하였다.

Table 2에 따르면 HAL_2에서 방출되는 $S_B(\lambda)$ 의 맞춤곡선에 대한 피크파장과 선폭은 $(\lambda_B, \Delta\lambda_B) = (452 \text{ nm}, 63 \text{ nm})$ 이다. 이로부터 HAL_2 램프에서 방출되는 청색광을 가장 효과적으로 차단하려면 452 nm를 중심으로 선폭 63 nm인 가우스 분포의 형태로 차단설계를 해야 함을 알 수 있다. 마찬가지로 HID_2의 경우는 $(\lambda_B, \Delta\lambda_B) = (446 \text{ nm}, 60 \text{ nm})$ 이므로 446 nm를 중심으로 선폭 60 nm인 가우스 분포의 형태로 청색광 차단설계를 하면 HID_2에서 방출되는 청색광을 가장 효과적으로 차단할 수 있고, LED_2의 경우는 $(\lambda_B, \Delta\lambda_B) = (438 \text{ nm}, 22 \text{ nm})$ 이므로 438 nm를 중심으로 선폭 22 nm인 가우스 분포의 형태로 차단설계를 하면 LED_2에서 방출되는 청색광을 가장 효과적으로 차단할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 논의는 나머지 모든 램프들

Table 2. Peak wavelength λ_B , line width $\Delta\lambda_B$ and Percentage of blue light P_B of blue light distribution in various automotive lamps

No	HAL			HID			LED		
	λ_B (nm)	$\Delta\lambda_B$ (nm)	P_B (%)	λ_B (nm)	$\Delta\lambda_B$ (nm)	P_B (%)	λ_B (nm)	$\Delta\lambda_B$ (nm)	P_B (%)
1	451	63	7	445	70	19	438	21	30
2	452	63	7	446	60	18	438	22	30
3	453	63	6	442	69	36	442	25	26
4	451	63	8	440	61	27	453	29	21
5	453	64	6	434	57	21	450	23	34
6	452	63	6	447	69	19	445	23	31
7	454	65	5	442	75	22	448	21	29
8	453	63	6	433	55	23	448	22	28
Mean±SD	452±1	63±1	6±1	441±13	65±18	23±6	445±16	23±7	29±4

에 대해서도 동일하게 적용된다.

4. 고찰

야간운전 시에는 램프들을 번갈아 접하므로 모든 램프에서 방출되는 청색광을 효과적으로 차단할 수 있는 대표적인 청색광 차단설계의 기준이 필요하다. 앞서 HAL 램프, HID 램프, LED 램프 각각에서 방출되는 $S_B(\lambda)$ 는 모두 가우스 분포로 잘 맞췄으므로 청색광 차단설계를 대표하는 분포는 가우스 분포라 할 수 있다. 다음으로 $S_B(\lambda)$ 의 피크파장과 선폭 ($\lambda_B, \Delta\lambda_B$)을 대표하는 값을 결정한다. 본 연구에서는 청색광 비율 P_B 이 반영된 가중평균 (weighted average)을 각 램프에 대한 피크파장과 선폭의 대푯값으로 삼았다. 여기서 P_B 은 램프에서 방출되는 가시광선 전체의 양 중 청색광이 차지하는 양이다. P_B 을 반영한 가중평균을 대푯값으로 택한 이유는 각 램프에 포함되어 있는 청색광 비율 P_B 이 다를 것이고, 이로 인해 $S_B(\lambda)$ 의 피크파장과 선폭 ($\lambda_B, \Delta\lambda_B$)이 영향을 받을 것이기 때문이다. 각 램프에 대한 P_B 을 구하는 문제는 Fig. 1에서 $S(\lambda)$ 를 도식화할 때 면적을 1로 통일하였으므로 $S_B(\lambda)$ 의 맞춤곡선에 대한 면적을 구하는 문제로 귀결된다. 이러한 방식으로 구한 각 램프에서의 P_B 을 Table 2에 제시하였다. 평균적으로 HAL 램프에는 6%, HID 램프에는 23%, LED 램프에는 29% 정도의 청색광이 포함되어 있다. P_B 가 반영된 가중평균을 구하는 식은 아래와 같다.^[21]

$$\bar{\lambda}_B = \frac{\sum P_B \times \lambda_B}{\sum P_B}, \quad \overline{\Delta\lambda}_B = \frac{\sum P_B \times \Delta\lambda_B}{\sum P_B} \quad (4)$$

식 (4)를 통해 구한 각 램프에서의 피크파장과 선폭의 가중평균 ($\bar{\lambda}_B, \overline{\Delta\lambda}_B$)은 HAL 램프는 (452±1 nm, 63±1 nm), HID 램프는 (441±13 nm, 65±18 nm), LED 램프는 (445±16 nm,

23±7 nm)이었고, 24개 램프 전체에 대하여는 (444±6 nm, 44±21 nm)이었다. 표준편차 역시 P_B 를 반영하여 계산한 가중표준편차(weighted standard deviation)이다.

HAL 램프, HID 램프, LED 램프의 $\bar{\lambda}_B$ 이 각각 452 nm, 441 nm, 445 nm라는 것은 HAL 램프, HID 램프, LED 램프에서 방출되는 청색광은 각각 452 nm, 441 nm, 445 nm에서 가장 위험도가 높다는 뜻이다. 그리고 24개 램프 전체에 대하여 $\bar{\lambda}_B = 444$ nm라는 것은 차량용 램프 전체적으로 볼 때 평균적으로 444 nm에서 가장 위험도가 높다는 뜻이다. 야간운전 시에는 세 종류의 램프를 모두 접할 것이라는 점을 상기하면 차량용 램프에서 방출되는 청색광을 효과적으로 차단해줄 수 있는 대표적인 청색광 차단설계의 기준은 24개 램프 전체를 대상으로 P_B 가 반영된 $\bar{\lambda}_B = 444$ nm와 $\overline{\Delta\lambda}_B = 44$ nm를 갖는 가우스 분포라 할 수 있다.

본 연구의 결과를 일상생활에서 흔히 접할 수 있는 LED 제품을 대상으로 조사한 손 등^[14]의 연구와 비교해보았다. 이들은 청색광 차단렌즈의 개발 및 성능의 극대화에 요구되는 청색광 차단설계의 기준을 알아보기 위하여 LED 광원이 장착된 41가지의 LED 제품을 대상으로 청색광 분포의 특성을 조사하였다. 그 결과 LED 제품에서 방출되는 $S_B(\lambda)$ 는 모두 가우스 분포로 맞췄으며 피크파장과 선폭의 평균은 ($\bar{\lambda}_B, \overline{\Delta\lambda}_B$) = (450 nm, 27 nm)라고 밝히면서 LED 제품을 대상으로 한 청색광 차단설계의 기준은 $\bar{\lambda}_B = 450$ nm과 $\overline{\Delta\lambda}_B = 27$ nm를 갖는 가우스 분포라고 제안하였다. 이러한 손 등의 청색광 차단렌즈와 본 연구에서의 야간운전자용 안경렌즈 사이의 청색광 차단설계를 비교함으로써 다음과 같은 공통점과 차이점이 있다는 것을 발견할 수 있었다.

- (i) 청색광 차단렌즈와 야간운전자용 안경렌즈를 위한

청색광 차단설계의 기준이 되는 분포는 두 경우 모두 가우스 분포이다.

- (ii) $\overline{\lambda}_b$ 의 경우, 야간운전자용 안경렌즈가 청색광 차단 렌즈보다 6 nm(444-450 = -6 nm) 짧다. 비율로 보면 약 1.3% 작은 것이다.
- (iii) $\overline{\Delta\lambda}_b$ 의 경우, 야간운전자용 안경렌즈가 청색광 차단 렌즈보다 약 17 nm(44-27 = 17 nm) 폭이 넓다. 비율로 보면 약 63% 넓은 것이다.

결 론

야간운전자용 안경렌즈를 개발하는데 요구되는 설계기준을 알아보기 위하여 차량용 램프로 널리 사용되고 있는 HAL 램프, HID 램프, LED 램프를 대상으로 각각 8개씩 총 24개 램프에 대한 청색광 분포를 조사하였다. 광화학적 망막손상의 위험과 눈부심으로 인한 시인성 저하에 영향을 미치는 청색광에 대한 차단을 목적으로 하였으며, 설계기준으로 각 램프에 대한 청색광 분포와 그에 해당하는 피크파장 및 선폭을 제시하였다. HAL 램프, HID 램프, LED 램프에서 방출되는 청색광 분포는 모두 가우스 분포로 잘 맞췄었지만, 각 램프에 대한 청색광 분포의 피크파장 λ_b 와 선폭 $\Delta\lambda_b$ 은 각 램프의 분광분포의 차이로 인해 서로 다르게 나타났다. 모든 램프에서 방출되는 청색광을 효과적으로 차단할 수 있는 청색광 차단설계의 기준으로 청색광 비율 P_b 이 반영된 가중평균을 사용하였고, 그 결과 야간운전자용 렌즈의 청색광 차단설계의 기준은 피크파장 444 nm, 선폭 44 nm인 가우스 분포임을 밝혀낼 수 있었다.

야간운전자용 안경렌즈와 청색광 차단렌즈에 대한 차단설계의 기준과 비교한 결과, 두 분포 모두 가우스 분포를 하는 것으로 나타났다. 한편, $\overline{\lambda}_b$ 는 불과 1.3%(6 nm)밖에 차이가 나지 않았지만, $\overline{\Delta\lambda}_b$ 는 63%(17 nm)나 차이가 났다. 이로부터 야간운전자용 안경렌즈와 청색광 차단렌즈 사이의 청색광 차단설계의 기준은 분포는 같고 피크파장에서는 큰 차이가 없지만 선폭에서는 큰 차이가 남을 알 수 있었다.

야간운전 시 운전자가 접하게 되는 차량용 램프의 광량이나 빈도 등을 반영하면 보다 정확한 야간운전자용 렌즈를 개발하는데 요구되는 청색광 차단설계의 기준을 밝혀낼 수 있을 것으로 사료되며 이에 대한 연구가 향후 이루어질 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산

업원천기술개발사업의 일환으로 수행되었음[10053045, 기후 환경 변화 대응 운전자 시인성 향상을 위한 색온도 변환 스마트 LED 전조등 제품화/표준화 기술 개발].

REFERENCES

- [1] Park SO. Study on the enhancement of heat dissipation for replace halogen lamp type LED automotive head lamp. MS Thesis. Chonnam National University, Gwangju, 2015; 1-5.
- [2] Kang B, Park K, Yong B, Kim H. Evaluation of fuel consumption between LED headlamp and halogen headlamp. KSAE 2009 annual conference. 2009;1709-1714.
- [3] Lee HS. Ergonomic glare evaluation model based on automobile headlamp condition and the level of driver's psycho-physiological response. PhD Thesis. Hanyang University, Seoul. 2016;1-18.
- [4] Kang BD, Kim HG. Evaluation of glare and forward visibility of headlamp for elder friendly vehicle. J Korean Inst Illum Install Eng. 2011;25(4):1-6.
- [5] Kang B, Lee H, Park K, Cho K, Hong S. Evaluation of eye recovery time after glare exposure to oncoming headlight. KSAE 2007 spring conference & exhibition. 2007; 2139-2144.
- [6] Ohn JG, Jeong KS, Chung JD. Performance assessment of a temperature control unit used in a lifecycle testing system for LED headlamps on locomotives. J Korean Soc Railw. 2016;19(1):46-53.
- [7] Park H, Yang SJ, Park SW, Lee CS. Effect of background colors on color visibility in artificial weather conditions. Autumn Annual Conference of KIIEE 2016. 2016;11:34.
- [8] Jung MH, Yang SJ, Yuk JS, Oh SY, Kim CJ, Lyu J, Choi EJ. Evaluation of blue light hazards 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] 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).).
- [11] Sliney DH, Freasier BC. Evaluation of optical radiation hazards. Appl Opt. 1973;12(1):1-24.
- [12] 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.
- [13] Benjamin WJ. Borish's Clinical Refraction, 2nd Ed. St. Louis: Butterworth Heinemann Elsevier, 2006;298.
- [14] Son Y, Yang SJ, Kim CJ, Lee GS, Choi SM, Yu YG, Oh SY, Jung MS, Jo AR, Choi EJ. 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.
- [15] 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.
- [16] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 μm). Health Phys. 1997;73(3):539-554.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] British Standards. Personal eye protection - Sunglasses and sunglare filters for general use. BS EN 1836, 1997.
- [20] Park S. The effect of blue-light blocking lenses on color perception under luminous environment of LED. MS Thesis. Konyang University, Daejeon. 2017;9-13.
- [21] Lipschutz S. Theory and problems of probability, SI(metric) Ed. New York: McGraw-Hill, 1979;75.

야간운전자용 안경렌즈 개발을 위한 차량용 램프의 청색광 분석

최은정*

건양대학교 안경광학과, 대전 35365

투고일(2018년 2월 5일), 수정일(2018년 2월 22일), 게재확정일(2018년 3월 6일)

목적: 야간운전자용 안경렌즈를 개발하는데 요구되는 청색광 차단설계의 기준을 알아보기 위하여 차량용 램프에 대한 청색광 분포를 분석하였다. **방법:** HAL 램프, HID 램프, LED 램프를 포함하여 총 24개의 차량용 램프가 사용되었다. 분광복사조도색차계를 이용하여 분광분포를 측정 후 청색광 위험함수를 가중하여 청색광 분포를 구하고 가우스 분포로 맞추어 각 램프에 대한 피크파장과 선폭을 도출하였다. **결과:** 모든 차량용 램프에 대한 청색광 분포는 가우스 분포로 잘 맞추어졌다. 청색광 비율 P_B 을 반영한 청색광 분포의 피크파장과 선폭에 대한 가중평균 ($\overline{\lambda_B}, \overline{\Delta\lambda_B}$)은 HAL 램프에서 (452 nm, 63 nm), HID 램프에서 (441 nm, 65 nm), LED 램프에서 (445 nm, 23 nm)이며, 전체 24개의 차량용 램프에서 (444 nm, 44 nm)이었다. **결론:** 차량용 램프에서 방출되는 청색광을 효과적으로 차단하기 위한 야간운전자용 안경렌즈의 청색광 차단설계는 피크파장 444 nm, 선폭 44 nm인 가우스 분포로 설계할 것이 요구된다. 야간운전자용 안경렌즈와 청색광 차단렌즈 사이의 청색광 차단설계의 기준은 분포는 같고 피크파장에서는 큰 차이가 나지 않지만 선폭에서는 큰 차이가 난다.

주제어: 야간운전자용 렌즈, 청색광 차단렌즈, 차량용 램프, 청색광 위험, 시인성