

## LED 조명에 대한 청색광 위험 평가

정명훈, 양석준, 육주성, 오상영, 김창진, 류정목, 최은정\*

건양대학교 안경광학과, 대전 35365

투고일(2015년 4월 27일), 수정일(2015년 5월 28일), 게재확정일(2015년 7월 22일)

**목적:** 청색광 위험도의 정량적 지표인 청색광 복사휘도를 이용하여 안경원 내 LED 조명에 대한 청색광 위험도를 평가하였다. **방법:** LED 조명의 분광복사휘도를 측정하고 청색광 복사휘도와 최대노출시간을 산출한 후, IEC 62471 분류기준에 따라 위험군을 분류하였다. **결과:** 진열장에 사용된 황색 LED 조명, 천장에 사용된 백색 및 황색 LED 조명, 그리고 로고에 사용된 백색 LED 조명은 위험제외군 RG0로 분류되었지만, 진열장에 사용된 백색 LED 조명은 위험군 RG1로 분류되었다. 진열장에 사용된 백색 LED 조명의 청색광 복사휘도는 형광등에 비하여 수십 배나 높은 것으로 나타났다. **결론:** 청색광 복사휘도의 값을 이용하여 여러 가지 조명에 대한 청색광 위험을 정량적으로 표현할 수 있었다. 진열장용 백색 LED 조명은 높은 휘도와 색온도로 청색광 위험이 높음을 확인할 수 있었으며, 안경원 내의 조명 교체 시 장기적인 측면에서 시건강을 위해 적절한 밝기와 색온도의 조명을 선택하는 것이 필요하겠다.

**주제어:** LED 조명, IEC 62471, 청색광 위험, 청색광 복사휘도, 복사휘도, CCT, 청색광 위험합수

### 서 론

광학적 복사(optical radiation)란 100 nm~1 mm 대역의 전자기파를 말하는데, 생물학적 중요성(biological significance)을 고려하는 경우에는 200~3,000 nm 대역의 전자기파를 가리킨다. 이때 광학적 복사는 자외선(UV-C, UV-B, UV-A), 가시광선(Violet, Indigo, Blue, Green, Yellow, Orange, Red), 적외선(IR-A, IR-B, IR-C)으로 분류한다.<sup>[1]</sup> 광학적 복사는 인체에 이롭기도 하지만 해롭기도 하다.<sup>[2]</sup> 광학적 복사가 인체의 피부와 눈에 미치는 유해성을 광생물학적 위험(photobiological hazard)이라 하는데, 여기에는 자외선(200~400 nm)에 의한 피부(홍반, 탄력섬유증, 피부암 등)와 눈(광각막염, 결막염, 백내장 등)에 대한 유해, 청색광(300~700 nm)에 의한 광화학적 망막손상(광망막염), 열(380~1,400 nm)에 의한 망막화상, 적외선(780~3,000 nm)에 의한 각막화상 등이 모두 포함된다.<sup>[3]</sup>

광생물학적 위험 중, 청색광으로 인한 광화학적 망막손상이 발생되면 시력이 저하되고 심하면 실명이 되며 연령 관련 황반변성이 급속히 가속되는 것으로 보고되고 있다.<sup>[4]</sup> 청색광에 대한 위험성은 오래 전부터 알려져 있었고,<sup>[5-7]</sup> 이에 대한 주의나 경고는 대부분 조명기기 설치자, 용접공 등과 같은 전문직 종사자들이나 산업용, 의료용 등의 광원들을 다루는 직업군 종사자들에게 그 위험성을 인지시키

고 적절한 조치를 취하도록 하는데 목적이 있었다.<sup>[8]</sup> 그러나 청색광 비율이 높은 LED가 전면적으로 보급되면서 광생물학적 위험, 특히 청색광에 대한 위험이 일반인들에게도 알려지기 시작하였다.<sup>[9]</sup>

1960년대 미국에서 상용화되었을 당시만 해도 LED는 저휘도의 적색광을 방출하는 광원이었지만, 기술개발과 더불어 오늘날에는 저비용, 고효율, 고휘도, 소형화, 장수명, 친환경 등의 이점 때문에 스마트폰, 모니터, TV, 가로등, 실내외 조명, 간판, 디스플레이, 헤드라이트, 작물재배, 의료조명, 경관조명, 집어등, 서치라이트 등 거의 모든 광원에 적용되고 있다. 최근에는 고출력·고휘도 LED 광원이 개발되면서 청색광 위험에 더욱 노출되고 있는 상황이다. 이 때문에 LED 조명이 피부나 눈 등 인체에 안전한지 측정하고 평가할 수 있는 객관적인 광생물학적 지표가 필요하게 되었다.<sup>[10]</sup>

개발 초기, LED는 레이저와 같은 부류로 취급되어 국제 표준 IEC 60825에 따라 평가되었었다.<sup>[10]</sup> 그러나 1996년 IESNA(Illuminating Engineering Society of North America, 북미조명학회)는 LED를 레이저가 아닌 일반램프로 규정하고, 그 안전성에 대한 규격으로 ANSI/IESNA RP27.1 「Recommended practice for photobiological safety for lamps and lamps system: General requirements」을 제시하였다. 2002년 CIE(International Commission of Illumination,

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

국제조명위원회)는 IESNA의 규정을 채택하여 CIE S009/E-2002; Photobiological safety of lamps and lamp system을 발표하였고, 2006년 IEC는 CIE S009/E-2002를 받아들여 LED를 포함한 모든 광학적 복사(optical radiation: UV, Visible Ray, IR)를 방출하는 광원에 대한 자외선·청색광·적외선 위험성 평가표준인 IEC 62471:2006; Photobiological safety of lamps and lamp system을 제정하였다. 2008년 CENELEC(European Committee for Electrotechnical Standardization, 유럽전기표준화위원회)는 IEC 62471을 채택하여 EN 62471:2008을 제정하였다. 2010년 ANSES(French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety, 프랑스 국립식품환경노동위생안전청)는 LED에 대한 광생물학적 위험성을 조사한 후, 청색 및 백색 LED 광원이 망막을 손상시킬 가능성이 크다고 보고하였고 인공수정체를 삽입한 환자나 수정체가 아직 형성 중에 있는 아동, 직무상 강한 밝기의 광원에 노출되는 종사자들의 경우는 주의를 요할 것을 권고하면서 시급히 LED 제품에 대한 안전성 기준을 마련하고 안전수칙과 안전등급을 제품에 의무적으로 표기할 것을 권고하였다.<sup>[10,11]</sup> 2013년 ICNRP(International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 국제비전리방사선방호위원회)는 광학적 복사와 동물조직실험을 통해 광생물학적 위험성과 관련된 노출한계(exposure limit)에 대한 연구결과를 발표하였다.<sup>[12-14]</sup> 우리나라에 이 안전규격이 도입된 것은 최근의 일이며, 산업통상자원부 국가기술표준원에 의해 2014년 6월 30일 KS C IEC 62471-2:2014가 제정되었다. IEC 62471 표준에는 모든 조명과 조명기기의 광생물학적 안전성에 대한 평가 지침 즉, 파장 200~3,000 nm 범위에서 LED를 포함(레이저 제외)한 광학적 복사에 대한 광생물학적 위험성 평가 및 관리 등이 규정되어 있다.<sup>[15]</sup>

이처럼 LED는 안전성 문제가 제기되면서 널리 보급되어 왔다. 현재 안경원에서는 실내의 조명을 기존의 백열등이나 형광등에서 LED로 교체하고 있는 추세에 있다. 일반적으로 안경원에서의 LED 조명은 진열장, 천장, 로고 등에 다양하

게 이용되고 있다. 따라서 이러한 LED 조명 하에서 장시간을 보내야 하는 안경사들은 LED에 의한 광생물학적 위험에 노출되어 있는 실정이다. 본 연구에서는 안경원 내의 LED 조명에 대한 광생물학적 위험 중, 청색광 위험을 IEC 62471의 규정에 따라 정량적으로 알아보고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대상

LED 조명이 설치되어 있는 대형 안경체인점을 방문하여 그 사용처를 알아본 바, 진열장, 천장, 로고 등에 사용되고 있음을 알 수 있었다. 육안으로 보이는 LED 조명의 색상 즉, 겉보기 색상(apparent color)은 백색이거나 황색이었다. 측정에 사용된 LED 조명은 총 6종으로 진열장용 3종(2종은 백색, 1종은 황색), 천장용 2종(1종은 백색, 1종은 황색), 로고용 1종(백색)이다.

각 조명의 구분을 위하여 진열장용 3종을 SW1, SW2, SY로, 천장용 2종을 CW, CY로, 로고용 1종을 LW로 나타내었다. 여기서 S는 진열장(showcase), C는 천장(ceiling), L은 로고(logo), W는 백색(white), Y는 황색(yellow)을 가리킨다. 따라서 SY는 진열장용 황색 조명을, CW는 천장용 백색 조명을, LW는 로고용 백색 조명을 나타낸다. 진열장용으로 사용된 조명은 백색이 2종 사용되었는데 이들은 사양이 서로 다르므로 SW1과 SW2로 나타내었다.

각 조명의 사양을 열거하면 SW1은 15 W LED 바, SW2는 고급형 15 W LED 바, SY는 실리콘 면발광 12 W LED 바, CW는 15 W LED Par30, CY는 12 W LED Par30, LW는 광확산 커버 12 W LED 바이다. CY는 L사 제품이고, 나머지는 S사 제품이다. 천장용 조명(CW, CY)과 로고용 조명(LW)에는 확산판(diffusive cover)이 부착되어 있었지만, 진열장 조명(SW1, SW2, SY)에는 확산판이 부착되어 있지 않았다. LED 조명과의 비교를 위하여 사용된 백열등(incandescent lamp, I로 표기)은 D사의 불투명 60 W 전구이고, 형광등(fluorescent lamp, F로 표기)은 P사

Table 1. Symbol, use, apparent color, specification, and manufacture for various lightings used in measurements

Symbol	Use	Apparent color	Specification	Manufacturer
SW1 SW2 SY	Showcase	White	LED bar, 15 W	S
		White	LED bar, 15 W (deluxe)	S
		Yellow	LED bar, 12 W (silicon surface emitting)	S
CW CY	Ceiling	White	LED Par30, 15 W (diffusive cover)	S
		Yellow	LED Par30, 12 W (diffusive cover)	L
LW	Logo	White	LED bar, 12 W (diffusive cover)	S
I	Ceiling	Yellow	Incandescent lamp, 60 W (frosted)	D
F	Ceiling	White	Fluorescent lamp, 32 W (cool daylight)	P

의 cool daylight 32 W 형광등이다.

이상의 모든 조명에 대한 기호, 용도, 겉보기 색상, 사양, 제조사를 Table 1에 정리하였다.

## 2. 방법

측정은 매장에서 사용되고 있는 LED 조명을 종류별로 수거하여 암실에서 수행하였고, 수거하기 어려운 로고 조명은 외부의 광원에 대한 영향이 없도록 밤 시간에 다른 조명을 모두 소등한 상태에서 실시하였다. 측정은 다음과 같은 방법으로 수행하였다. 우선, 실험실을 암실 상태로 한 후 광원으로부터 조도가 500 lx 인 지점을 찾고, 그 위치에서의 광원에 대한 분광복사휘도(spectral radiance,  $L(\lambda)$ ), 상관색온도(correlated color temperature, CCT), 색좌표(color coordinate, CIE<sub>xy</sub>)를 측정하였다. 조도는 Topcon사의 분광조도계(IM-1000)로 측정하였으며, 분광복사휘도, 상관색온도, 색좌표는 Minolta사의 분광방사계(CS-2000)로 측정하였다. 측정 범위는 5 nm 간격으로 가시광선 영역(380~780 nm)에서 수행하였다. 청색광 위험(blue light hazard)에 대한 정량적 지표인 청색광 복사휘도(blue light radiance,  $L_B$ )는 분광복사휘도에 ANSI Z80.3:2010에서 규정하고 있는 청색광 위험함수(blue light hazard function,

$B(\lambda)$ )를 가중시켜 계산하였고,<sup>[16]</sup> 광원에 대한 최대노출시간(maximum exposure time, MET)과 위험군 분류는 IEC 62471에 근거하여 수행하였다.<sup>[14,15]</sup>

## 결과 및 고찰

측정에 사용된 각 조명의 파장에 따른 분광복사휘도를 Fig. 1(a)~(d)에 나타내었다. Fig. 1(a)에 진열장용 백색 조명인 SW1, SW2와 진열장용 황색 조명인 SY에 대한 분광복사휘도를 제시하였고, Fig. 1(b)에는 천장용 백색 조명인 CW와 황색 조명인 CY에 대한 분광복사휘도를 제시하였다. Fig. 1(c)에는 로고용 백색 조명인 LW에 대한 분광복사휘도, Fig. 1(d)에는 LED 조명과의 비교를 위해 측정된 백열등 I 및 형광등 F에 대한 분광복사휘도를 제시하였다. 각 그림의 우측 상단에 조명을 나타내는 기호와 더불어 겉보기 색상(white, 또는 yellow), 상관색온도(CCT, K)도 함께 나타내었다.

Fig. 1(a)~(c)에 제시된 LED 조명에 대한 분광복사휘도 분포는 두 개의 피크 즉, 청색광을 대표하는 피크와 황색광을 대표하는 피크로 구성되어 있는데, 이러한 분포는 일반적으로 청색광 LED(blue LED)와 그 위에 도포된 황색

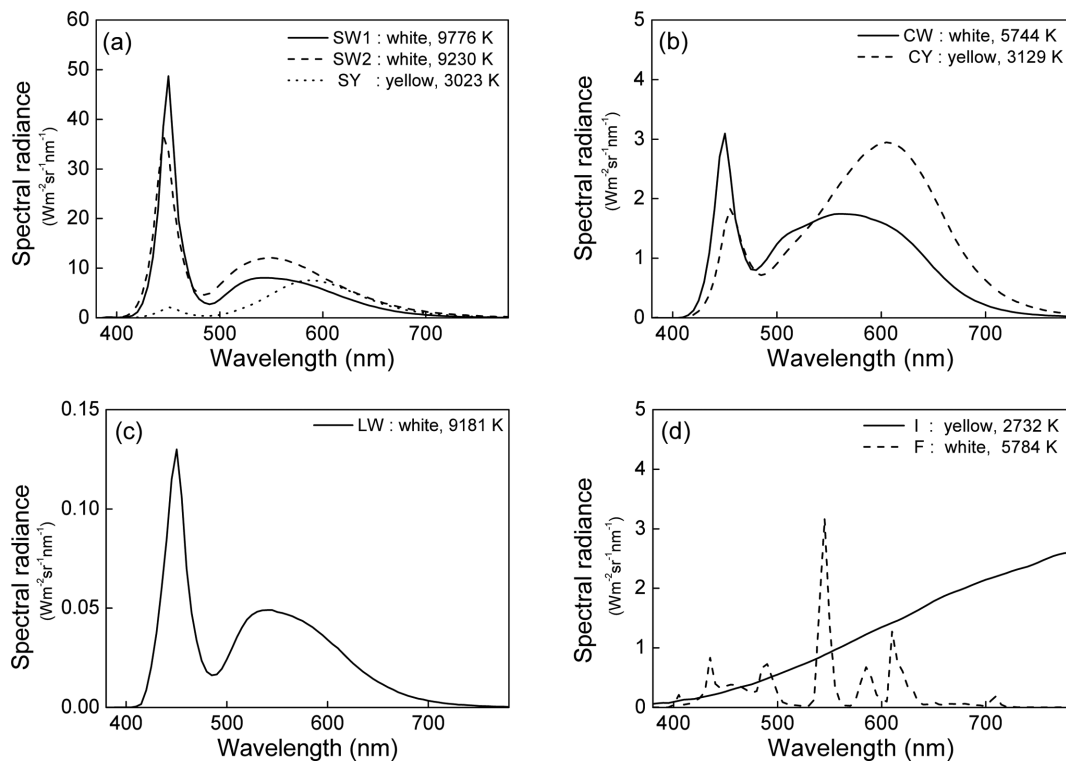


Fig. 1. Spectral radiances according to wavelength for various lightings: (a) spectral radiances for white LED lightings (SW1, SW2) and yellow LED lighting(SY) for showcase, (b) spectral radiances for white LED lighting(CW) and yellow LED lighting(CY) for ceiling, (c) spectral radiance for white LED lighting(LW) for logo, and (d) spectral radiances for incandescent lamp(I) and fluorescent lamp(F). On the right of the symbol represented each lighting in figures, apparent color(white or yellow) and correlated color temperature(K) of each lighting are shown.

형광등의 특성 때문에 나타나는 것이다.<sup>[17]</sup> LED 광원의 분광복사휘도 분포(Fig. 1(a)~(c))는 파장에 따라 지속적으로 증가하는 백열등 I나 여러 개의 피크로 구성되어 있는 형광등 F의 분광복사휘도 분포(Fig. 1(d))와는 매우 다른 양상을 보인다.

측정된 모든 조명에 대한 상관색온도인 CCT는 3,000~10,000 K 사이에 있었다(Fig. 1). 진열장용 백색 조명인 SW1(9,776 K), SW2(9,230 K)와 로고용 조명 LW(9,181 K)의 CCT는 모두 9,000 K를 넘었다. 그러나 천장용 백색 조명인 CW(5,774 K)는 주광색 형광등 F(5,784 K)의 CCT와 거의 비슷하였고, 천장용 황색 조명인 CY(3,129 K)는 백열등 I(2,732 K)의 CCT보다 약간 높은 수준이었다. 측정된 모든 조명에 대한 겉보기 색상, CCT, CIExy를 Table 2의 2~4열에 정리하였다.

각 조명에 대한 밝기 비교를 위해 복사휘도(radiance,  $W/m^2 \cdot sr$ )  $L$ 과 광원휘도 (luminance,  $cd/m^2$ )  $L_v$ 를 구하여<sup>[18,19]</sup> Table 2의 5~6열에 제시하였다. 여기서 복사휘도  $L$ 은 광원의 실제 밝기에 대한 척도인 반면, 광원휘도  $L_v$ 는 시감효율  $V(\lambda)$ 이 반영된 눈으로 느끼는 광원의 밝기에 대한 척도에 해당한다.<sup>[20]</sup> SW1, SW2, LW의 복사휘도  $L$ 은 각각  $2,123 W/m^2 \cdot sr$ ,  $2,603 W/m^2 \cdot sr$ ,  $10 W/m^2 \cdot sr$ 이고, 광원휘도  $L_v$ 는  $493,524 cd/m^2$ ,  $716,136 cd/m^2$ ,  $2,921 cd/m^2$ 이다(Table 2). 눈은 광원의 밝기를 복사휘도가 아닌 광원휘도로 인지하므로 진열장용 조명 SW1과 SW2는 LW보다 각각  $493,524/2,921 \approx 170$  배,  $716,136/2,921 \approx 250$  배정도 더 밝다. 광원휘도를 비교하면 진열장용 LED 조명(SW1,

SW2, SY)과 천장용 LED 조명(CW, CY)은 백열등(I) 및 형광등(F)보다 더 밝다는 것을 알 수 있다. 특히, SW2는 형광등 F보다  $716,136/10,251 \approx 70$  배나 밝았다.

같은 백색으로 보이지만 SW1, SW2, LW의 CCT는 CW의 CCT보다 높게 나타났다. 이는 전자의 조명들에서 방출되는 빛에 청색광이 상대적으로 많이 포함되어 있음을 의미한다. 이에 대한 정량적 비교를 위해 각 조명에 포함되어 있는 청색광 비율(the percentage of blue light in the visible light,  $P_B$ )을 구하였고,<sup>[21]</sup> 그 결과를 Table 2의 7열에 나열하였다. 청색광 비율  $P_B$ 은 SW1이 54%로 가장 높게 나타났고, 백열등이 6%로 가장 낮게 나타났다.

CCT와 청색광 비율  $P_B$ 의 관계를 알아보기 위해 Table 2의 자료를 이용하여 CCT와 청색광 비율  $P_B$  사이의 관계를 Fig. 2에 나타내었다. 청색광 비율은 CCT에 따라 비례

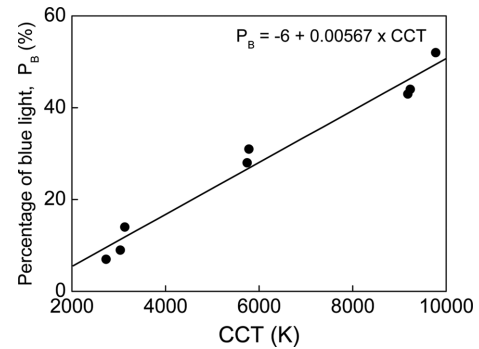


Fig. 2. Relationship between the percentage of the blue light in the visible light,  $P_B$  and CCT.

Table 2. Apparent color, CCT, CIExy, radiance  $L$ , luminance  $L_v$ , the percentage of blue light  $P_B$ , blue light radiance  $L_B$ , maximum exposure time MET, and risk group of various light sources at 500 lx

Type	Apparent color	CCT (K)	CIExy (x, y)	$L$ ( $W/m^2 \cdot sr$ )	$L_v$ ( $cd/m^2$ )	$P_B$ (%)	$L_B$ ( $W/m^2 \cdot sr$ )	MET (s)	Risk group
SW1	White	9,776	.2842 .2854	2,123	493,524	54	993	1,007	RG1 (Low)
SW2	White	9,230	.2856 .2934	2,603	716,136	43	943	1,060	RG1 (Low)
SY	Yellow	3,032	.4385 .4114	929	343,642	8	60	16,667	RG0 (Exempt)
CW	White	5,744	.3267 .3401	363	113,459	29	83	12,048	RG0 (Exempt)
CY	Yellow	3,129	.4242 .3924	485	151,931	15	52	19,230	RG0 (Exempt)
LW	White	9,181	.2858 .2942	10	2,921	41	4	250,000	RG0 (Exempt)
I	Yellow	2,732	.4581 .4114	490	98,832	6	18	55,556	RG0 (Exempt)
F	White	5,784	.3215 .3612	103	10,251	33	22	45,454	RG0 (Exempt)

하여 증가하는 것으로 나타났다. 즉, CCT가 높은 광원은 그 만큼 청색광 비율이 높다는 것을 의미한다. 따라서 같은 광량이 방출되는 광원이라면 CCT가 높은 광원이 그 만큼 청색광에 대한 위험도 크다 할 수 있다. 그러므로 청색광으로부터의 위험을 줄이기 위해서는 가급적 CCT가 낮은 조명을 선택하는 것도 좋은 방법이라 할 수 있겠다.

다음으로 각 광원에 대한 청색광 위험의 정량적 지표인 청색광 복사휘도  $L_B$ 를 산출하였고,<sup>[14]</sup> 그 결과를 Table 2의 8열에 제시하였다. 결과에 따르면 진열장용 백색 조명 SW1(993 W/m<sup>2</sup>·sr), SW2(943 W/m<sup>2</sup>·sr)의 청색광 복사휘도  $L_B$ 는 다른 조명에 비하여 월등히 높은 것으로 나타났다. 여기서 두 조명 SW1과 SW2을 비교해보면 복사휘도  $L$ 는 SW2가 SW1보다 2,603/2,213≈1.2 배정도 크고, 눈으로 느끼는 밝기인 광원휘도  $L_v$ 는 SW2이 SW1보다 716,136/493,524≈1.5 배정도 더 크다. 그러나 청색광 위험의 정도를 나타내는 청색광 복사휘도  $L_B$ 는 오히려 SW2이 SW1보다 943/993≈0.95 배정도 낮다는 것을 알 수 있다. 즉, SW2는 SW1보다 밝으면서 청색광 위험은 낮은 광원이라 할 수 있다. 이는 SW2의 분광복사휘도 분포가 SW1의 분광복사휘도 분포보다 시감효율이 높은 555 nm를 중심으로 한 대역에 더 많이 분포한다는데 기인하는 것이다. 같은 백색인 로고용 조명 LW의 청색광 복사휘도  $L_B$ 는 4 W/m<sup>2</sup>·sr에 불과하였는데, 이는 LW의 밝기가 매우 낮아 기인한다. 이는 같은 백색이라 할지라도 광원의 밝기가 약하면 청색광 위험이 낮음을 의미하는 것이다. 백색을 띠는 CW(83 W/m<sup>2</sup>·sr)는 황색을 띠는 SY(60 W/m<sup>2</sup>·sr)와 청색광 복사휘도  $L_B$ 가 비슷한 수준이었다. 로고조명 LW을 제외한 모든 LED 조명은 백열등 I(18 W/m<sup>2</sup>·sr) 및 형광등 F(22 W/m<sup>2</sup>·sr)보다 높았으며, SW1의 경우는 형광등에 비해 993/22≈45 배나 높은 것으로 나타났다.

IEC 62471:2006에서는 만성적인 청색광 노출로 인한 망막의 광화학적 손상을 방지하기 위해서는 청색광 복사휘도  $L_B$ 가 식 (1)의 수준을 초과하지 않아야 한다고 규정하고 있다.<sup>[14]</sup>

$$L_B t \leq 10^6 \text{ (J/m}^2 \cdot \text{sr)} \quad (1)$$

여기서  $t$ 는 광원에 대한 연속적인 노출시간이다. 이에 따라 청색광 복사휘도 993 W/m<sup>2</sup>·sr인 SW1에 대한 최대노출시간을 구하면  $L_B t = (993 \text{ W/m}^2 \cdot \text{sr}) t \leq 10^6$ 으로부터  $t \approx 1,007$  s가 된다. 마찬가지로 다른 광원에 대한 최대노출시간도 식 (1)을 이용하여 구하였고 그 결과를 Table 2의 9열에 제시하였다.

Table 3은 식 (1)로부터 광원의 최대노출시간을 산출한 후, 그 광원이 어떤 위험군(risk group, RG)에 속하는지를 판별할 때 사용되는 분류표이다.<sup>[23]</sup> 예를 들어 앞서의 진

Table 3. Risk group(RG) classification from IEC 62471

$L_B$ value (W/m <sup>2</sup> ·sr)	Maximum exposure time (s)	Classification
0~100	No maximum time defined	RG0 (Exempt)
100~10,000	100~10,000	RG1 (Low)
10,000~4,000,000	0.25~100	RG2 (Moderate)
> 4,000,000	< 0.25 (aversion response)	RG3 (High)

열장용 백색 조명인 SW1의 경우는 청색광 복사휘도  $L_B$ 가 993 W/m<sup>2</sup>·sr이므로 식 (1)로부터 계산된 최대노출시간은  $t \approx 1,007$  s이다. Table 3에 따르면 이 값은 100~10,000 s 사이에 있으므로 SW1은 위험군 RG1(risk group 1)에 속하는 광원이 된다. 마찬가지로 방법으로 Table 2의 9열에 나머지 모든 광원에 대한 최대노출시간을 기준으로 광원의 위험군 분류하였고, 그 결과를 Table 2의 10열에 나타내었다. 결과에 따르면 다른 조명들은 모두 최대노출시간이 10,000 s 이상으로 위험군 RG0로 분류되어 위험제외군 RG0에 속하였지만, 진열장에 사용된 백색 LED 조명인 SW1, SW2는 각각 최대노출시간 1,007 s, 1,060 s로 위험군 RG1으로 분류되었다. IEC 62471에 따르면 일반조명의 경우 RG2, RG3에 속하면 그 위험을 알리는 주의나 경고를 기재하도록 되어 있기 때문에 RG1에 속하는 SW1, SW2의 조명인 경우는 그러한 문구를 제품에 표기하지 않아도 된다.<sup>[15]</sup>

하지만 진열장에 사용되는 백색 LED 조명의 경우는 기존의 조명인 형광등이나 백열등, 그리고 일반 천장용 조명보다는 청색광 위험수준이 수십 배 높다는 점은 주목할 필요가 있다. 청색광은 광화학적 손상을 일으키는 유독성 활성산소(toxic reactive oxygen species)를 생성시켜 일차적으로는 망막색소상피세포(retinal pigment epithelial, RPE)를, 그리고 이어 광수용체의 세포자살(apoptosis)을 유도하며, 이러한 과정은 일생에 걸쳐 손상이 축적되면서 서서히 진행되고 결국에는 연령관련 황반변성(age-related macular degeneration, AMD)과 같은 퇴행성 망막질환의 한 발병원인이 될 수 있다.<sup>[23]</sup>

청색광 위험도에 대한 정량적 지표인 청색광 복사휘도  $L_B$ 와 상관색온도 CCT, 복사휘도  $L$ , 청색광 비율  $P_B$ 의 관계를 나타내는 그림을 Fig. 3(a)~(c)에 각각 나타내었다. 그림에서 점선은 위험군 RG0와 RG1의 경계를 나타낸다. Fig. 3(a)와 (c)에서 확산판이 사용된 천장용 백색 조명 CW, 로고용 조명 LW, 형광등 F은 다른 광원에 비해 CCT 혹은 청색광 비율  $P_B$ 가 높음에도 불구하고 위험제외군 RG0로 분류되어 있음을 알 수 있다. 이는 세 광원의 복사

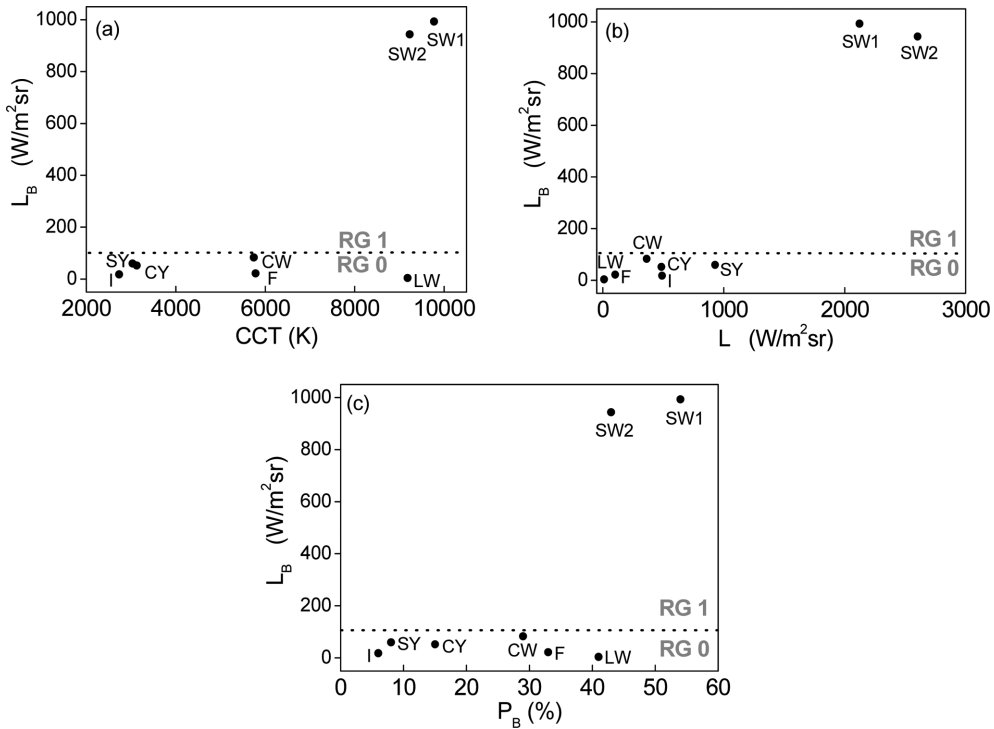


Fig. 3. Blue light radiance  $L_B$  as a function of (a) CCT, (b) radiance  $L$ , and (c) percentage of blue light,  $P_B$ .

휘도가 모두 낮기 때문에 Fig. 3(b)에서 확인할 수 있다. 즉, 청색광 위험에 대한 지표인 청색광 복사휘도  $L_B$ 는 청색광 비율  $P_B$ (혹은 CCT)이 높다고 해도 복사휘도  $L$ 이 낮으면 낮다는 것을 알 수 있다. 따라서 청색광이 많이 포함된(혹은 CCT가 높은) 조명을 사용할 때는 가급적 확산판이 사용된 조명을 선택하거나, 밝기를 어느 정도 낮추어 주는 것이 시력을 보호할 수 있는 방법이라 하겠다.

에 대한 정량적 지표인 청색광 복사휘도는 광원의 청색광 비율이 높고 복사휘도도 높은 광원에서 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서 청색광 노출에 대한 위험에서 보다 보호를 받기 위해서는 가급적 청색광 비율이 낮은 조명이나 CCT가 낮은 조명을 사용하는 것이 바람직하겠고, 만일 청색광 비율이나 CCT가 높은 광원이라면 밝기를 낮추거나 확산판이 부착된 광원을 사용하는 것이 바람직하겠다.

**결 론**

LED 조명에 대한 청색광 위험도를 조사하기 위하여 안경원에서 사용되고 있는 진열장, 천장, 로고 LED 조명을 대상으로 청색광 복사휘도를 산출하고 IEC 62471의 광원 위험군 분류표에 따라 분류하였다. 복사휘도가 매우 낮은 로고 조명을 제외하고 모든 LED 조명은 기존의 광원인 백열등이나 형광등보다 수배 혹은 수십 배나 청색광 위험이 높은 것으로 나타났다. 진열장에서 사용되는 백색 LED 조명들은 다른 광원과 달리 위험군 RG1에 속하는 것으로 나타났다. 비록, 위험군 RG1에 속하는 광원에 대하여 광생물학적 위험성에 대한 주의나 경고 문구를 사용하지 않아도 된다 하더라도 청색광 복사휘도가 기존의 광원인 형광등에 비해 수십 배나 높은 것으로 나타났으므로 일생에 걸쳐 서서히 나타나는 광화학적 망막손상에 대비하여 바라보는 것은 피해야 할 것이다. 광생물학적 위험도

**감사의 글**

이 논문은 2013학년도 건양대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

**REFERENCES**

- [1] Hattar S, Lucas RJ, Mrosovsky N, Thompson S, Douglas RH, Hankins MW, et al Melanopsin and rod-cone photoreceptive systems account for all major accessory visual functions in mice. *Nature*. 2003;424(6944):76-81.
- [2] Sliney DH, Freasier BC. Evaluation of optical radiation hazards. *Applied Optics*. 1973;12(1):1-24.
- [3] Standard:IEC/EN 62471. 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).).
- [4] Fletcher AE, Bentham GC, Agnew M, Young IS, Augood

- C, Chakravarthy U, et al. Sunlight exposure, antioxidants, and age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol*. 2008;126(10):1396-1403.
- [5] Noell WK, Walker VS, Kang BS, Berman S. Retinal damage by light in rats. *Invest Ophthalmol*. 1966;5(5):450-473.
- [6] Noell WK. Possible mechanisms of photoreceptor damage by light in mammalian eyes. *Vis Res*. 1980;20(12):1163-1171.
- [7] Marshall J. Radiation and the ageing eye. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1985;5(3):241-263.
- [8] Okuno T, Saito H, Ojima J. Evaluation of blue-light hazards from various light sources. *Dev Ophthalmol*. 2002;35:104-112.
- [9] The Korean Optical News. Keen competition of blue-light blocking lenses, 2014. <http://www.opticnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=22953> (22 June 2015).
- [10] Ko JK, Cho MR, Lee MJ, Kim JH. Analysis on IEC 62471 for The Introduction of Photobiological Safety of LED Lamp. 2012 Autumn Conference. Korea Safety Management & Science. 2012:435-443.
- [11] Kim YH. France, Reinforcement of LED safety regulations, GlobalWindow. 2010. [http://www.globalwindow.org/gw/overmarket/GWOMAL020M.html?BBS\\_ID=10&MENU\\_CD=M10103&UPPER\\_MENU\\_CD=M10102&MENU\\_STEP=3&ARTICLE\\_ID=2126746](http://www.globalwindow.org/gw/overmarket/GWOMAL020M.html?BBS_ID=10&MENU_CD=M10103&UPPER_MENU_CD=M10102&MENU_STEP=3&ARTICLE_ID=2126746)(18 June 2015).
- [12] ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Physics*. 2004;87(2):171-186.
- [13] ICNIRP. Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical radiation (0,38 to 3  $\mu$ m). *Health Physics*. 1997;73(3):539-554.
- [14] ICNIRP. ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. *Health Physics*. 2013;105(1):74-96.
- [15] 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. KSCIEC 62471-2, 2014.
- [16] KATS(Korean Agency for Technology and Standards). Photobiological safety of lamp and lamp systems. K62471-1, 2009.
- [17] Koushi A. Light Emitting Diode(translation version), 1st Ed. Seoul: SungAnDang, 2013;36.
- [18] 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.
- [19] Pedrotti LS, Pedrotti FL. *Optics and Vision*, 1st Ed. New Jersey: Prentice Hall International. 1998;20.
- [20] Hong KH. *Science and Technology of Light*, 1st Ed. Seoul: Kyohakyeongoosa, 2012;117.
- [21] Yu YG, Choi EJ. A study on blue light blocking performance and prescription for blue light blocking lens. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2013;18(3):297-304.
- [22] GLA. A white paper of the global lighting association: Optical and photobiological Safety of LED, CFLs and other high efficiency general lighting sources. Global lighting Association. 2012.
- [23] Algvere PV, Marshall J, Seregard S. Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*. 2006;84(1):4-15.

## Evaluation of Blue Light Hazards in LED Lightings

Myoung Hoon Jung, Seok-Jun Yang, Ju Sung Yuk, Sang-Young Oh, Chang-Jin Kim,  
Jungmook Lyu, and Eun Jung Choi\*

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

(Received April 27, 2015; Revised May 28, 2015; Accepted July 22, 2015)

**Purpose:** To evaluate blue light hazards of LED lightings in an optical store with blue light radiance used as the quantitative indicators of photobiological hazard. **Methods:** The spectral radiance of each LED lightings was measured, and blue-light radiance and the corresponding maximum exposure time were calculated. Then each LED lighting was classified according to the risk group from IEC 62471 standard. **Results:** The yellow LED lightings used in showcases and white LED lightings used on ceilings and logo were classified into risk group RG0. But the white LED lightings used on showcases were classified into risk group RG1. The blue light radiances of white LED lightings used in showcases are dozens of times larger than that of fluorescent lamp. **Conclusions:** Using the value of the blue light radiance could quantitatively express the blue light hazard to various lightings. It was confirmed that white LED lightings for the showcases had high blue light hazards because of their high luminance and color temperature. Therefore, when replacing lightings in optical shop it is necessary to select the appropriate brightness and color temperature for eye health in the long term.

**Key words:** LED lighting, IEC 62471, Blue light hazard, Blue light radiance, Radiance, CCT, Blue light hazard function