



Effects of CCT of LED Lightings and Color Lenses on Color Perception

Myeong Chae Jung and Eun Jung Choi*

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

(Received October 27, 2017: Revised November 17, 2017: Accepted November 17, 2017)

Purpose: The study aimed to investigate the effects of the CCT of LED lightings and the color lenses on the color perception. **Methods:** A total of 30 participants with the normal color vision (mean age 24.70±1.86 years) were tested the FM 100 hue test under LED lightings of 3,000 K or 6,500 K while wearing four different color glasses. The abilities of color perception were analyzed with the averages of TES(total error score) and ES charts(error score charts) from FM 100 hue test(Farnsworth Munsell 100 hue test). **Results:** Regardless of whether color lenses are worn or not, the averages of TES of the FM 100 hue test under LED lighting of either 3,000 K or 6,500 K showed no significant difference statistically. However in comparison to the averages under LED lightings between 3,000 K and 6,500 K, the averages of TES under LED lighting of 6,500 K were found to be significantly larger than those under LED lighting of 3,000 K. According to the ES chart, the values of ES under LED lighting of 6,500 K were larger than those under lightings of 3,000 K in some color segments. **Conclusions:** Under LED lighting of either 3,000 K or 6,500 K, because the color lenses of brown, green, red and gray with transmittance of about 50% to 60% did not affect the color perception, it is thought that there is no major problem with prescription and wearing. However it is recommended to pay attention to prescription and wearing since the change of CCT of LED lightings between 3,000 K and 6,500 K affect the color perception. In the case of the FM 100 hue test, the ES chart may be suitable for use as an indicator to clarify the errors of color discrimination in each color that can not be detected by the average of TES.

Key words: CCT, LED, Color lens, FM 100 hue test, Color perception

서 론

조명은 사물을 인식하는데 있어서 필수불가결한 요소로서 목적이나 장소 등에 따라 적합한 색상이나 종류, 밝기 등이 선택된다. 조명은 실내활동을 가능토록 해주며 전조 등이나 가로등, 간판, 경관, 수술, 작물재배 등을 위해서도 널리 사용되고 있다.^[1] 얼마 전까지만 해도 백열등이나 형광등, 수은등, 할로겐 등이 조명으로 널리 사용되었지만, 현재는 고효율, 장수명, 친환경, 고휘도 등의 장점이 부각되면서 LED(Light Emitting Diode)가 그 자리를 대체하고 있다.^[2]

LED는 자연광이나 기존의 광원과는 다른 분광분포와 연색지수(color rendering index, CRI)를 가지고 있어서 물체의 색보임(color appearance) 자체가 다르게 나타나고, 시작업과 같은 기능적 평가나 감성반응과 같은 심리적 평가에서도 차이를 보인다.^[3-6] 여러 가지 색온도(correlated color temperature, CCT)를 갖는 LED 조명의 색상에 따른

색보임에 대한 주관적 평가에 따르면 낮은 색온도의 조명에서 장파장 색상의 빛이 실제 물리량보다 낮게 인식될 수 있으므로 색보임이 중요한 공간에서는 LED 조명의 색온도가 중요하다.^[7] 실물대모형(Mock-up) 사무공간에서 수행한 3,300 K, 4,200 K, 5,200 K, 6,100 K의 4가지 색온도 LED 조명에 따른 작업자 피로도 평가에 따르면 색온도 5,200 K의 400~600 lx에서 피로도가 가장 낮고 시간에 따른 피로도 증가율 또한 낮은 것으로 나타났다.^[8] 상업시설에 속하는 대형마트에서의 조명환경 조사연구에서는 상품의 최대 분광반사율과 LED 조명의 색온도에 따른 분광분포를 비교하여 구역의 특성에 따라 적절한 조명계획을 세우는 것이 서비스 환경에 대한 이미지 형성과 고객의 소비심리에 바람직하다고 평가하였다.^[9] 400 lx, 700 lx의 조도와 3,500 K, 5,600 K, 7,500 K의 LED 조명 아래에서 측정된 오류수정 작업 및 읽기작업에 대한 소요 시간 및 정확도 측정결과에 따르면, 오류수정 작업의 경우는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났지만 읽기작업에서

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

본 논문의 일부 내용은 2016년도 한국안광학회 동계학술대회에서 포스터로 발표되었음.

는 7,500 K에서 소요시간이 유의하게 감소하는 것으로 나타났다.^[10] 밝기의 관점에서 볼 때 LED는 동일조도 하에서의 형광등보다 밝기감이 더 높은 것으로 나타나서 불쾌 눈부심(discomfort glare)이 클 것으로 예상되며, 연색성 관점에서 볼 때는 색온도 범위에 따라 다른 평가를 보이기 때문에 파장에 따른 구체적인 연색성 연구가 필요한 것으로 나타났다.^[11] 조명은 색채정보 수집 및 색채인지 능력의 평가기준이 되는 색채시인성(color visibility)에 있어서도 중요한 요소가 된다.^[11] 최근 여러 가지 이유 등으로 인해 짙은 미세먼지나 황사, 잦은 안개, 폭우 등과 같은 악천후 기상조건이 자주 발생되는데, 이에 대응하기 위한 목적으로 운전자가 보다 향상된 색채시인성을 확보할 수 있도록 해주는 차량용 조명인 색온도변환 LED 전조등의 개발도 한창이다.^[12]

색상렌즈는 일반적으로 눈으로 입사되는 강렬한 태양광선으로부터의 보건용이나 눈부심 방지, 안정피로 개선, 대비감도 향상, 안질환 환자용, 패션이나 미용 등을 목적으로 사용된다.^[13] 색상렌즈의 종류는 착색렌즈, 반사코팅렌즈, 편광렌즈 등 다양한데 가장 널리 사용되는 것은 착색렌즈이다.^[6] 야외활동이나 운동경기 등을 할 때 적절한 수준의 질기와 색상의 렌즈를 착용하면 대비감도 등의 향상으로 활동에 도움이 되지만, 지나친 질기와 잘못된 색상의 선택은 오히려 대비감도나 색상의 인지능력을 저하시켜 활동 능력을 떨어뜨릴 수도 있다.^[14-15] 색상렌즈의 착용은 조절력의 증가나 입체시의 감소를 유발할 수 있으며 색각 이상자의 경우에 있어서는 정상색각자보다 더 큰 색상의 혼동을 가져올 수 있다.^[16-20] 이처럼 색상렌즈는 다양한 효과와 기능으로 긍정적인 면도 있지만 부정적인 면도 있어서 많은 연구의 대상이 되어 왔다.

이처럼 조명 분야에서는 자연광이나 기존조명인 백열등, 형광등과 분광분포나 연색지수 등에 있어서 확연한 차이를 보이는 LED 조명이 보편화되어 가고, 색상렌즈 분야에서는 유해광선의 차단, 눈부심 감소, 안질환자 안보호 등의 기능성 색상렌즈들이 더욱 다양화되고 있다. 이 두 분야의 복합적 환경은 관찰자가 지각하는 색의 왜곡을 더욱 가중시킬 수 있고, 따라서 이와 관련된 색채지각에 대한 연구가 더욱 필요한 실정이다.

이러한 필요성을 반영하는 연구의 일환으로 본 연구에서는 색온도 3,000 K와 6,500 K LED 조명하에서 시중에서 유통되고 있는 투과율 약 50~60% 전후의 Brown, Green, Red, Gray 색상렌즈를 대상으로 색채지각에 관한 연구를 수행하였다. 색채지각 검사에는 FM 100 색상검사(Farnsworth-Munsell 100 hue test)를 이용하였는데, 이 검사법을 이용하면 색채지각에 대한 정량적인 평가가 가능해서 기존의 주관적 평가 등의 연구에서는 할 수 없었던

분석과 해석 등이 가능하다.^[21] 광학적 관점에서 볼 때, 색상렌즈는 LED 조명과 FM 100 색상검사의 색상캡 사이에 위치하고 있는 광학적 요소(optical element)에 해당한다. 색상렌즈는, 예를 들면, LED 전조등과 전방에 위치한 사물 사이에 놓이게 되는 황사, 미세먼지, 안개, 눈, 비와 같은 광학적 요소로 대체될 수 있다. 이러한 점을 고려할 때 본 연구에서의 방법, 분석, 그리고 결과 등은 다양한 광학적 요소를 대상으로 한 색채지각, 색보임, 색채시인성 및 그와 관련된 모델개발 등에 폭넓게 활용될 수 있다.

대상 및 방법

1. 대상

참가자는 전신질환이나 안질환, 색각이상 등에 있어서 문제가 없고 단안교정시력 0.8 이상, 양안교정시력 1.0 이상, 구면굴절력 S0.00 D~S-4.00 D, 원주굴절력 C-2.00 D 이내인 평균연령 24.70±1.86세의 성인들이다. 연구는 생명윤리위원회(institutional review board, IRB)의 승인을 받아 진행하였다.

2. 방법

1) 조명부스

조명환경을 구현하기 위한 조명부스를 Fig. 1에 나타내었다. 크기는 100(W)×50(D)×90(H) cm이고, 상단에는 LED 조명을 장착할 수 있는 공간과 눈부심을 방지할 수 있는 차단막을 설치하였으며 내부는 무광택 검정색을 이용하여 반사가 최소가 되도록 하였다.

2) LED 조명

조명환경의 연출을 위하여 색온도 3,000 K와 6,500 K인 LED 조명판을 제작하였다. 이후부터는 3,000 K LED 조명과 6,500 K LED 조명을 각각 LED_{3,000K}와 LED_{6,500K}로 간략히 표기하겠다. LED_{3,000K}의 CIE_{xy} 색좌표는 (0.4357,

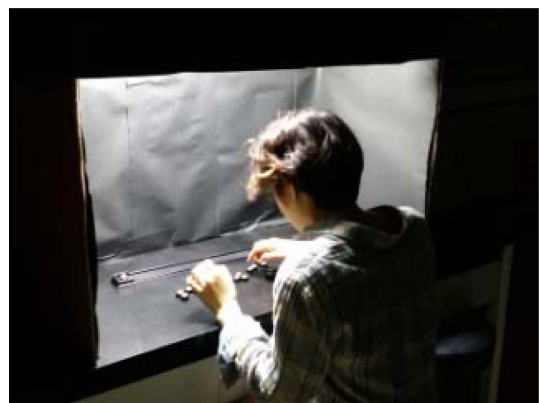


Fig. 1. Lighting booth.

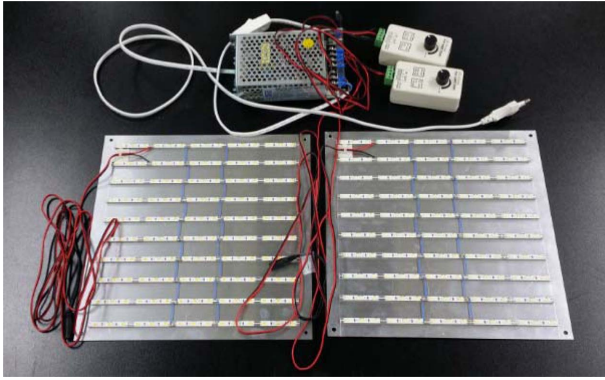


Fig. 2. Customized LED plates and control boxes.

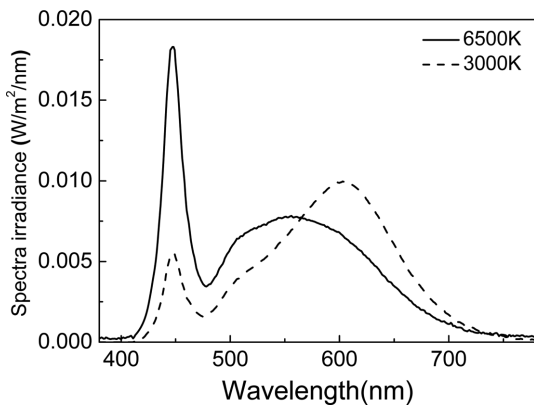


Fig. 3. Spectral distributions of LED of 3,000 K and 6,500 K.

0.4042)으로 황색(yellow)을 띠며, LED_{6,500K}의 CIE_{xy} 색좌표는 (0.3097, 0.3181)으로 찬백색(cool white)을 띠었다. 제작한 2종의 LED 조명판과 밝기조절용 디머가 장착된 콘트롤러를 Fig. 2에 나타내었다. 조명의 밝기는 한국산업표준(KS)의 조도기준(KSA 3011:2013)에서 명시하고 있는 일반 휘도 대비 혹은 작은 물체 대상의 시작업을 수행할 수 있는 밝기의 범위에 해당하는 500 lx로 하였다.^[22,23] Fig. 3에 가시광선 범위(380 ~ 780 nm)에서의 LED 조명에 대한 광원분광분포를 나타내었다. 3,000 K에서보다 6,500 K에서 더 많은 청색광이 방출되고 있음을 알 수 있다.

3) 색상렌즈

사용된 렌즈는 시중에서 유통되고 제품으로 CR-39로 제조된 굴절능(refractive power) 0.00 D의 Brown, Green, Red, Gray 색상의 렌즈이다. Fig. 4에 4종의 색상렌즈에 대한 분광투과율분포를, Table 1에 투과율과 CIE L*a*b* 색좌표를 나타내었다.

4) FM 100 색상검사

색채지각 검사에는 색상배열검사(hue arrangement test)의 한 도구인 FM 100 색상검사(Farnsworth-Munsell 100

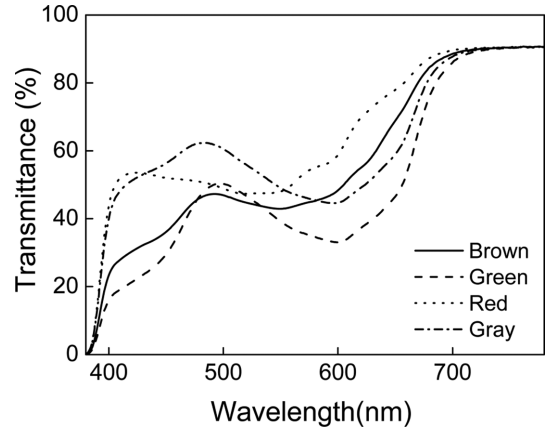


Fig. 4. Spectral distributions of color lenses.

Table 1. Transmittances and CIE color coordinates of color lenses

Color	Transmittance (%)	CIE color coordinate		
		L*	a*	b*
Brown	56.3	69.7	-12.6	10.2
Green	49.9	77.8	12.4	1.3
Red	63.9	73.7	3.1	10.0
Gray	61.2	77.1	-3.6	-5.4

Table 2. Composition of Farnsworth-Munsell 100 hue test^[11]

Box	Cap number	Hue
I	85, 1 - 21	R (Red) ~ GY (Green-Yellow)
II	22 - 42	GY (Green-Yellow) ~ BG (Blue-Green)
III	43 - 63	BG (Blue-Green) ~ PB (Purple-Blue)
IV	64 - 84	PB (Purple-Blue) ~ RP (Red-Purple)

hue test)를 이용하였다. 명칭은 100 색상검사이지만 실제로는 시각적으로 색상 구별이 어려운 15개 색상을 제외한 총 85개(cap number 0 ~ cap number 84)의 색상을 연출하는 명도 5, 채도 5의 색상캡(colored cap)이 사용된다.^[24,25] 색상캡들은 네 상자에 나뉘어 들어있는데 각 상자에 속하는 색상캡에 대한 번호와 색상을 Table 2에 나타내었다.^[21] 참가자는 LED 조명이 켜진 조명부스에서 흩어져 있는 FM 100 색상검사의 색상캡을 색상순서에 따라 배열한다. 네 상자에 들어있는 총 85개의 색상캡에 대한 배열이 끝나면 각 색상캡 뒷면에 적혀있는 색상번호를 이용하여 각

색상캡에서의 오류값(error score, ES)을 산출한다. 색상캡이 순서대로 잘 배열되었다면 해당하는 색상캡에서의 ES는 0이 되지만, 색상을 혼돈하여 색상캡의 배열이 바뀌면 해당하는 색상캡과 주위에 있는 색상캡의 ES는 커진다. 검사가 끝나면 색상검사의 결과를 분석할 수 있는 아래와 같은 총 오류값(total error score, TES)과 오류값 도표(error score chart, ES 도표)를 구할 수 있다.^[21]

- (i) TES : 85개 색상캡에 대한 ES의 합
- (ii) ES 도표 : 각 색상캡에 대한 ES를 색상번호에 따라 나타낸 도표

TES의 값이 크다는 것은 색상캡을 배열할 때 순서가 많이 틀렸다는 것이고, 따라서 그만큼 색상을 구분하는데 어려움이 많았다는 뜻이다. 추가로 네 상자 I, II, III, IV에 대한 각 상자별 부분합(partial sum of error score, PES)을 구하면 각각의 색상군(color group)에 대한 변화도 조사할 수 있다. 모든 검사는 외부조명이 유입되지 않도록 암실에서 수행하였으며 조명과 색상캡 상자의 제시 순서는 무작위로 하였고 검사거리는 50 cm로 하였다.^[21]

결과 및 고찰

2종의 LED 조명(3,000 K, 6,500 K)과 4종의 색상렌즈(Brown, Green, Red, Gray)로 연출된 실험환경 아래에서 참가자 30명을 대상으로 수행한 FM 100 색상검사의 TES의 평균과 표준편차를 Table 3과 Fig. 5에 나타내었다.

1. 색상렌즈가 색채지각에 미치는 영향

이 절에서는 LED_{3,000K}와 LED_{6,500K}에서 색상렌즈가 색채지각에 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

Table 3. The averages of total error scores in the conditions of various color lenses under LED lighting of 3,000 K and 6,500 K

Color	Mean±SD		p [†]
	LED _{3,000K}	LED _{6,500K}	
Without lenses	58.80±30.65	33.33±15.94	.001*
Brown	65.07±29.91	39.73±20.74	.001*
Green	58.67±29.40	39.33±19.96	.004*
Red	55.47±29.01	28.40±14.68	.001*
Gray	50.27±27.33	30.13±18.96	.002*
p ^{††}	.399	.070	-

†: t-test
 ††: ANOVA
 *: Significantly different at p<.01

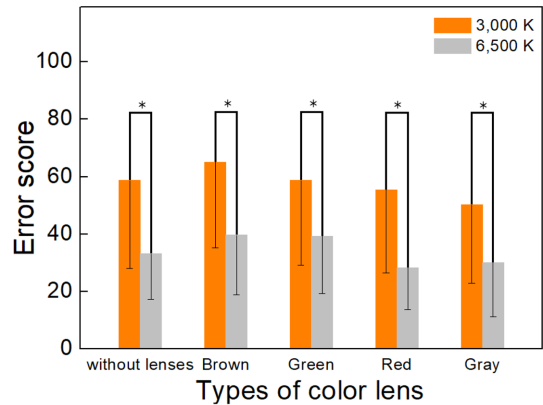


Fig. 5. The averages of total error scores in the conditions of various color lenses under LED lighting of 3,000 K and 6,500 K.

(i) LED_{3,000K}에서 TES의 평균

Table 3의 1열에 따르면 LED_{3,000K}에서 Without lenses, Brown, Green, Red, Gray 일 때 FM 100 색상검사의 TES의 평균은 각각 58.80±30.65, 65.07±29.91, 58.67±29.40, 55.47±29.01, 50.27±27.33이다. 이들 평균 사이에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)과 사후검정을 실시하였다. 분산의 동질성(homogeneity of variance)은 성립하지 않았으며(p = <.05), 사후검정은 Tamhane 범으로 하였다. 그 결과, Without lenses, Brown, Green, Red, Gray에 대한 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 없다는 것을 알 수 있었다(p = .399, Table 3, 6행1열).

(ii) LED_{6,500K}에서 TES의 평균

Table 3의 2열에 따르면 LED_{6,500K}에서 Without glasses, Brown, Green, Red, Gray 일 때 TES의 평균은 각각 33.33±15.94, 39.73±20.74, 39.33±19.96, 28.40±14.68, 30.13±18.96이다. 이들 평균 사이에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 앞서 (i)에서와 같은 방법으로 통계분석을 실시하였고, 그 결과, Without lenses, Brown, Green, Red, Gray에 대한 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 없다는 것을 알 수 있었다(p = .070, Table 3, 6행2열).

이상의 두 경우 (i), (ii)를 요약하면 색온도 3,000 K 또는 6,500 K 각각의 LED 조명 아래에서 색상렌즈 미착용시나 착용시나 모두 FM 100 색상검사의 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 결과적으로 색온도 3,000 K 또는 6,500 K 각각의 LED 조명 아래에서는 색상렌즈가 색채지각에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다.

2. LED의 색온도가 색채지각에 미치는 영향

이 절에서는 색상렌즈 미착용시 및 착용시 LED 조명의 색온도가 색채지각에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 여기에서는 (i) 색상렌즈 미착용시(without lenses)와 (ii) 색상렌즈 착용시(Brown, Green, Red, Gray)로 구분하여 논하였다.

(i) 색상렌즈 미착용시

(ㄱ) Table 3의 1행 따르면 색상렌즈 미착용시(without lenses) LED_{3,000K} 및 LED_{6,500K}에서 FM 100 색상검사의 TES의 평균과 표준편차는 각각 58.80 ± 30.65 과 33.33 ± 15.94 이다. 두 평균 사이에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 $\alpha = .05$ 에서 두 표본 t검정을 실시하였다. 두 집단은 등분

산이 아닌 것으로 나타났으며($F = 12.889$, $p = .001$), 그에 따른 유의확률로 $.001 (< .05)$ 을 얻었다(Table 3, 1행3열의 p 값 참조). 따라서 색상렌즈 미착용시 유의수준 .05에서 LED_{3,000K}와 LED_{6,500K}에서의 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 있고, 결과적으로 LED의 색온도가 색채지각에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

TES가 색상검사를 수행할 때 인접해 있는 색상들과의 혼동으로 인해 유발되는 오류값의 합이라는 점을 상기하면, LED_{6,500K}에서 TES의 평균이 LED_{3,000K}에서보다 낮은 점으로부터 LED_{6,500K}이 색상판별(color discrimination)에 있어서 더 나은 조명환경을 제공해준다고 할 수 있다.

(ㄴ) TES의 평균의 비(ratio)를 이용하면 색상검사에서 나타나는 오류를 상대적으로 비교할 수 있다. 앞서의 (ㄱ)

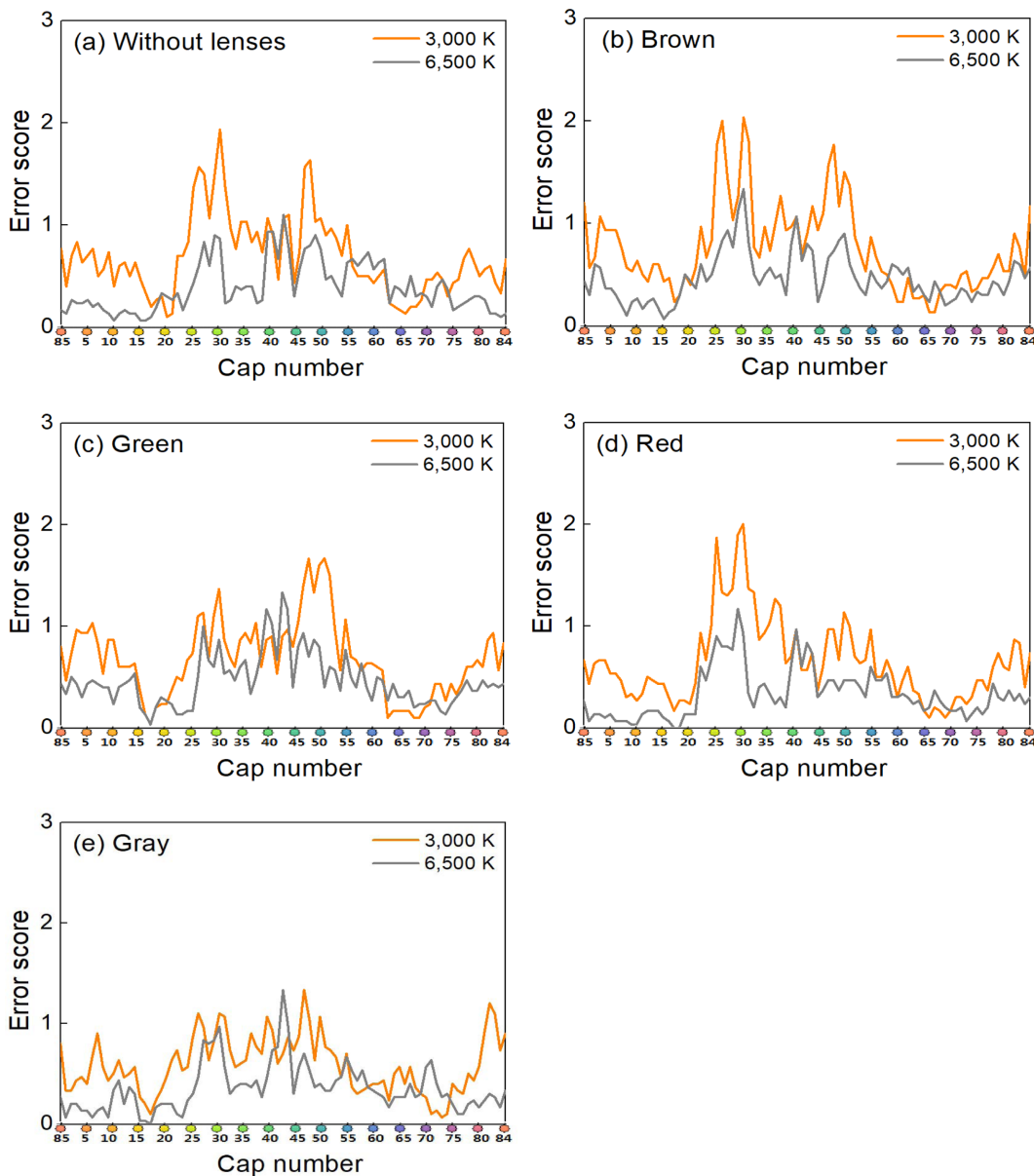


Fig. 6. Error score charts without and with color lenses.

에 따르면 LED_{3,000K}에서 TES의 평균은 LED_{6,500K}에서 TES의 평균보다 $58.80/33.33=1.76$ 배 높다. 이는 LED_{6,500K}에서 색상검사를 수행할 때보다 LED_{3,000K}에서 색상검사를 수행할 때, 색상을 혼동할 가능성이 1.76배 높음을 말해주는 것이다.^[21]

(ㄷ) ES 도표를 이용하면 85개 색상캡 전체에 대한 ES의 분포를 확인할 수 있다. Fig. 6(a)에 색상렌즈 미착용시의 LED_{3,000K}와 LED_{6,500K} 각각에서 취한 FM 100 색상검사의 ES 도표를 나타내었다. 양 끝 가장자리 색상보다 중심부 색상 근처에서 ES가 높은 경향을 보이는데 이는 표준광원인 D65, TL84, A 광원에서도 나타나는 현상으로 색상캡 간의 색차 불균일로 설명된다.^[21,25]

ES가 각 색상캡 부근에서 색상배열을 틀리게 하여 나타나는 오류값이라는 점을 상기하고 Fig. 6(a)를 살펴보면 대부분의 색상에서 LED_{3,000K}의 ES가 LED_{6,500K}의 ES보다 크기 때문에 LED_{3,000K}에서 색상배열의 오류가 클 것이라는 점을 알 수 있다. 하지만 일부 색상캡(20번, 40번, 50번, 60번, 70번) 부근에서는 오히려 LED_{6,500K}의 ES가 크기 때문에 LED_{6,500K}에서 색상배열의 오류가 클 것이라는 점을 알 수 있다. (ㄱ)에서와 같이 단순히 TES의 평균만을 비교하는 것만으로 끝낸다면 LED_{6,500K}의 TES가 LED_{3,000K}의 TES보다 작은 값을 갖기 때문에 LED_{6,500K}이 색채판별을 위한 더 나은 조명이라고 할 수 있겠지만, ES 도표를 이용하면 85개 색상 전반에 걸쳐서 LED_{6,500K}의 ES가 LED_{3,000K}의 ES보다 항상 낮은 것은 아니라는 것을 알 수 있기 때문에 이러한 판단은 재고해보아야 한다는 점을 알 수 있다. 즉, ES 도표 Fig. 6(a)에서 볼 수 있듯이 일부 색상(20번, 40번, 50번, 60번, 70번) 근처에서는 LED_{3,000K}의 ES가 LED_{6,500K}의 ES보다 작은 색상이 존재하고, 따라서 이러한 색상에 해당하는 전후의 몇몇 색상에 대해서는 오히려 LED_{3,000K}이 색상판별을 위한 더 나은 조명이 될 수 있다는 것을 알 수 있다.

이처럼 ES 도표를 활용하면 단순히 TES만으로는 확인할 수 없는 각 색상에서의 ES의 특징을 구체화할 수 있다.

(ii) 색상렌즈 착용시

(ㄱ) 색상렌즈 미착용시와 마찬가지로 통계적 검정을 실시하였다. 4종의 색상렌즈(Brown, Green, Red, Gray) 모두에 대하여 유의수준 .05에서 LED_{3,000K}와 LED_{6,500K}에서의 TES의 평균 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 3, 2행 ~ 5행 3열의 p값 참조). 따라서 색상렌즈 착용시에도 유의수준 .05에서 LED_{3,000K}와 LED_{6,500K}에서의 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 있고, 결과적으로 LED의 색온도가 색채지각에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

한편, 색상렌즈 착용시도 색상렌즈 미착용시와 마찬가지로 LED_{6,500K}의 TES의 평균이 LED_{3,000K}보다 낮다는 점으로부터 LED_{6,500K}가 색상판별에 있어서 더 나은 조명환경을 제공해준다고 할 수 있다.

(ㄴ) LED_{3,000K}와 LED_{6,500K}에서의 TES의 평균의 비를 Brown, Green, Red, Gray 색상별로 비교하면 LED_{3,000K}에서의 TES의 평균이 LED_{6,500K}에서보다 각각 $65.07/39.73=1.64$, $58.67/39.33=1.49$, $55.47/28.40=1.95$, $50.27/30.13=1.67$ 배 크다(Table 3 참조). 이는 Brown 색상렌즈를 착용할 경우, LED_{6,500K}에서보다 LED_{3,000K}에서 색상검사를 수행할 때 색상을 혼동할 가능성이 1.64배 높음을 말해주는 것이다. 마찬가지로 Green의 경우는 1.49배, Red의 경우는 1.95배, Gray의 경우는 1.67 배만큼 LED_{3,000K}일 때가 LED_{6,500K}일 때보다 색상을 혼동할 가능성이 높음을 말해주는 것이다.

(ㄷ) Fig. 6(b)~(e)에 Brown, Green, Red, Gray 색상렌즈를 착용하고 FM 100 색상검사를 수행하였을 때 LED_{3,000K}와 LED_{6,500K}에서 취한 FM 100 색상검사의 도표를 색상별로 나타내었다. 색상렌즈 미착용시와 마찬가지로 각 색상렌즈별로 LED_{6,500K}에서의 ES가 LED_{3,000K}에서보다 더 큰 영역이 일부 존재하기는 하지만, 전반적으로 LED_{6,500K}일 때 ES가 작음을 알 수 있다. ES 도표를 통해 LED_{3,000K}의 ES가 LED_{6,500K}의 ES보다 작은 색상영역을 찾으면 어떤 색상렌즈를 착용하였을 때 어떤 색상영역 근처에서 LED_{3,000K}이 색상판별을 위한 더 나은 조명환경을 제공할 수 있는지 확인할 수 있다.

이상의 두 경우 (i), (ii)를 요약하면 색상렌즈 미착용시 및 착용시 모두에서 3,000 K 조명과 6,500 K 조명에서의 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 결과적으로 LED 조명의 색온도는 색채지각에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

3. 논의

결과의 1에 따르면 색온도 3,000 K 또는 6,500 K LED 각각의 조명 아래에서 색상렌즈 미착용시나 착용시나 모두 FM 100 색상검사의 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났고, 따라서 색온도 3,000 K 또는 6,500 K 각각의 LED 조명 아래에서 색상렌즈는 색채지각에 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다. 결과의 2에 따르면 색상렌즈 미착용시 및 착용시 모두에서 3,000 K 및 6,500 K 조명에서의 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고, 따라서 LED 조명의 색온도는 색채지각에 영향을 미친다고 할 수 있다.

결과의 1과 2를 종합하면 LED 조명의 색온도는 색채지각에 영향을 미치지 않지만, 색상렌즈는 색채지각에 영향을 미

치지 않는다고 결론지을 수 있다. 이와 관련된 논의를 선행연구의 예를 들어 아래와 같이 비교하였다.

(1) LED 조명의 색온도가 색채지각에 영향을 미친다는 결과는 선행연구에서도 찾아볼 수 있다. 한 예로 김 등¹²⁾은 다양한 색온도의 LED 광원과 먼셀의 주요 5색상인 Red, Yellow, Green, Blue, Purple을 이용하여 시각기능 및 심리적 반응을 고려한 색보임, 밝기, 선명함, 자연스러움, 선호도 평가를 하였다. 그 결과, 색보임이 중요시 되는 공간에서는 LED의 색온도가 중요한 영향을 미치기 때문에 LED 조명의 계획 및 설치 시에는 색온도 선택에 주의를 기울일 것을 제안하였다.

(2) 색상렌즈가 색채지각에 영향을 미치지 않는다는 본 연구에서의 결과를 선행연구와 비교해보았다. 한 예로 이 등¹³⁾은 투과율 70% 및 20%인 Brown, Green, Yellow, Gray 착색렌즈를 대상으로 3가지 색상이상 검사 즉, 한식 색각검사, D-15 배열검사, 색등검사를 실시하였다. 이들의 보고에 따르면 한식색각검사와 D-15 배열검사에서는 착색렌즈를 착용하지 않았을 때보다 착색렌즈를 착용하였을 때 틀린 개수가 증가하였고, 높은 투과율일 때보다 낮은 투과율에서 틀린 개수가 증가하였다. 특히 짙은 Yellow 렌즈에 있어서는 통계적으로 유의하였다. 색등검사에서는 짙은 Gray 렌즈와 짙은 Brown 렌즈에서 틀린 개수가 통계적으로 유의하게 증가하였다. 이들의 연구에서 수행한 3가지 검사법 가운데 본 연구와 가장 유사한 검사법은 D-15 배열검사이므로 이 검사의 결과와 본 연구의 결과를 아래와 같이 보다 자세히 비교하였다. 우선, 이 등의 연구와 본 연구와의 큰 차이점은 다음과 같다.

(i) 본 연구에서 렌즈의 투과율은 50~60% 전후로 이 등이 사용한 렌즈의 투과율인 70%과 20% 사이에 있다.

(ii) 본 연구에서 수행한 검사법은 FM 100 색상검사로 이 등이 사용한 D-15 배열검사보다 이웃해 있는 색상캡 사이의 색상차가 작다.

이 등의 D-15 배열검사에서 색상배열의 오류로 나타나는 가로지르는 선의 개수는 (착색렌즈 미착용시, 0.21 ± 0.58) 이었고, 투과율 70%인 옅은 렌즈 착용시 (Gray, 0.14 ± 0.36), (Brown, 0.07 ± 0.27), (Green, 0.21 ± 0.80), (Yellow, 0.36 ± 0.93), 투과율 20%인 짙은 렌즈 착용시 (Gray, 0.79 ± 1.31), (Brown, 0.50 ± 0.94), (Green, 1.07 ± 1.73), (Yellow, 3.29 ± 1.38)이었다. 즉, 투과율 70%인 옅은 렌즈의 경우, 가로지르는 선의 개수를 미착용시와 비교하면 Gray, Brown은 오히려 감소하였고, Green은 같았고, Yellow는 증가하였지만 유의하지는 않았다. 투과율 20%인 짙은 렌즈의 경우, 가로지르는 선의 개수는 4 색상 모두에서 유의하게 증가하였고, 특히 Yellow 일 때 현저하였다. 이상을 종합하면 색상을 구분하는데 있어서 투과율 70%의 경우는 미착용시와 유의한 차이가 없기

때문에 색상구별에 영향을 미치지 않는 반면, 투과율 20%의 경우는 미착용시보다 가로지르는 선의 개수가 유의하게 증가하였기 때문에 색상구별에 영향을 미친다고 할 수 있다. 결과적으로 이 등의 결과는 투과율 70% 착색렌즈는 색채지각에 영향을 미치지 않지만, 투과율 20% 착색렌즈는 색채지각에 영향을 미친다는 것을 말해주고 있다.

이 등의 결과와 본 연구의 결과를 비교하였다. 본 연구에서 사용한 렌즈의 투과율 50%~60%은 이 등이 수행한 렌즈의 투과율인 70%와 20% 사이에 있다. 앞서 서술한 바와 같이 이 등의 결과에 따르면 투과율 70%일 때는 색채지각에 영향을 미치지 않지만, 투과율 20%일 때는 색채지각에 영향을 미쳤다. 본 연구에 따르면 투과율 50%~60%일 때는 색채지각에 영향을 미치지 않았다. 이러한 두 연구의 결과를 비교하면 투과율 70%~20% 사이에서 색채지각에 영향을 미치기 시작하는 렌즈의 투과율인 임계투과율(critical transmittance)이 존재할 것이며, 그 임계투과율은 50~60%보다 작고 20%보다는 클 것이라는 점을 유추할 수 있다.

본 연구는 투과율 50~60% 전후의 Brown, Green, Red, Gray 색상렌즈만을 대상으로 실험을 수행하였다. 하지만 보다 다양한 색상과 낮은 여러 투과율의 렌즈를 사용한다면 색채지각에 영향을 미치지 시작하는 임계투과율을 각 색상별로 밝혀낼 수 있을 것이므로 이와 관련된 보다 광범위한 연구가 수행될 수 있기를 기대한다.

결 론

색온도 3,000 K 및 6,500 K의 LED 조명과 투과율 50%~60% 전후의 Brown, Green, Red, Gray 색상렌즈로 연출된 실험환경 아래에서 색채지각에 관한 연구를 수행하였다. 실험에 필요한 조명부스와 LED 조명은 제작하였고 색채지각 검사에는 FM 100 색상검사를 이용하였다. 참가자는 30명이며 평균연령은 24.70 ± 1.86 세이었다. 도출된 통계적 결과를 요약하면 색온도 3,000 K 및 6,500 K 각각의 조명 아래에서 색상렌즈 미착용시나 착용시나 모두 FM 100 색상검사의 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이로부터 색온도 3,000 K 및 6,500 K 각각의 LED 조명 아래에서 색상렌즈는 색채지각에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 한편, 색상렌즈 미착용 및 착용 상태 모두에서 3,000 K 조명과 6,500 K 조명에서의 TES의 평균 사이에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이로부터 LED 조명의 색온도는 색채지각에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 이상의 도출된 결과와 선행연구의 결과를 통해 색온도 3,000 K 및 6,500 K의 LED 조명과 투과율

50%~60% 전후의 Brown, Green, Red, Gray 색상렌즈로 연출된 실험환경 아래에서는 LED 조명의 색온도는 색채 지각에 영향을 미치지 않지만 색상렌즈는 색채지각에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 그리고 선행연구와의 비교를 통해 본 연구에서 색상렌즈가 색채지각에 영향을 미치지 않은 이유가 렌즈의 투과율이 색채지각에 영향을 미치기 시작하는 수준인 임계투과율에 도달하지 못한 데 기인하는 것임도 알아낼 수 있었다.

한편, TES의 평균의 비는 색상검사에서 나타나는 오류를 상대적으로 비교할 수 있는 지표로, 그리고 ES 도표는 TES의 평균만으로는 밝혀낼 수 없는 각 색상에서의 ES의 특징을 구체화할 수 있는 지표로 활용할 수 있음도 알아낼 수 있었다.

2종의 색온도 LED 조명과 50%~60% 전후 수준의 투과율을 갖는 4종의 색상렌즈만을 이용하여 도출된 것이라는 점은 연구의 한계라 할 수 있다. 보다 다양한 색온도의 LED 조명과 색상 및 투과율의 색상렌즈를 대상으로 한 폭넓은 연구가 진행되어 색채지각, 색채시인성 모델, 색온도 변환 LED 전조등 개발과 관련된 색채지각 및 색채시인성 모델 등의 개발에 활용될 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행되었음[10053045, 기 후 환경 변화 대응 운전자 시인성 향상을 위한 색온도 변환 스마트 LED 전조등 제품화/표준화 기술 개발].

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] Lee CW, Park KH, Ryu GC. Research on the influence of the near stereopsis from correlated color temperature and illuminance of LED lighting. *Korean J Vis Sci.* 2014; 16(3):329-336.
- [3] Lee CH, Choi DG. Effect of illumination on stereoacuity. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2002;43(10):1963-1967.
- [4] Kim JG, Ko JK. Affective evaluation for human-centered lighting environment design: focused on office spaces using LED lighting. *J Korean Inst Illum Electr Install Eng.* 2015;29(10):25-33.
- [5] Suk HJ, Kim GK. The influence of chromacity of LED lighting on time perception. *Sci Emot Sensib.* 2010; 13(1):69-78.
- [6] Lee JH, Chu BS. Effect of different tinted ophthalmic lenses on color vision perception. *Korean J Vis Sci.* 2015;17(4):443-452.
- [7] Kim HS, Kim YS, Choi AS. A study on the subjective evaluation of color appearance under the different LED CCT conditions. *J Korean Inst Illum Electr Install Eng.* 2011;25(2):43-52.
- [8] Lee JS, Kim SY. Research on the influence of fatigue evaluation under the workspace from correlated color temperature and illuminance of LED lighting. *J Korean Soc Color Studies.* 2012;26(1):45-53.
- [9] Kim KS, Hong SK, Choi AS. A study of method to improve color appearance through the application of LED lighting – focused on groceries. *J Korean Soc Living Environ Sys.* 2011;18(5):590-598.
- [10] Jeong KI, Lee CW, Song WJ, Sung YJ, Sun JS, Ryu GC. Effects of correlated color temperature of LED light sources and illumination on visual performance at near. *Korean J Vis Sci.* 2012;14(3):189-195.
- [11] Lee JS, Kim WD, Kim SY. Sensibility evaluation of LED lighting and fluorescent lamp based on color temperature. *J Archit Inst Korea Plan Des.* 2009;25(4):263-270.
- [12] Park HS, 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.
- [13] Choi EJ, Jeong JH, Kim HJ, Seo W, Ju YJ, Yang GT. Tinted-time dependence of the total spectral transmittance in CR-39 plastic color lens. *Sae Mulli.* 2009;59(3):272-277.
- [14] Erickson GB, Horn FC, Barney T, Pexton B, Baird RY. Visual performance with sport-tinted contact lenses in natural sunlight. *Optom Vis Sci.* 2009;86(5):509-516.
- [15] Kohmura Y, Murakami S, Aoki K. Effect of yellow-tinted lenses on visual attributes related to sports activities. *J Hum Kinet.* 2013;36(1):27-36.
- [16] Park SH, Kim SH, Cho YA, Joo CK. The effect of colored filters in patients with Meares-Irlen syndrome. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2012;53(3):452-459.
- [17] Wolffsohn JS, Cochrane AL, Khoo H, Yoshimitsu Y, Wu S. Contrast is enhanced by yellow lenses because of selective reduction of short-wavelength light. *Optom Vis Sci.* 2000;77(2):73-81.
- [18] Simmers AJ, Gray LS, Wilkins AJ. The influence of tinted lenses upon ocular accommodation. *Vision Res.* 2001;41(9):1229-1238.
- [19] Lee JE, Stein JJ, Prevora MB, Seiple WH, Holopigian K, Greenstein VC et al. Effect of variable tinted spectacle lenses on visual performance in control subjects. *CLAO J.* 2002;28(2):80-82.
- [20] Dain SJ, Wood JM, Atchison DA. Sunglasses, traffic signals, and color vision deficiencies. *Optom Vis Sci.* 2009; 86(4):296-305.
- [21] Lee GS, Kim CJ, Kim YG, Choi EJ. Color perception under standard illuminants D65, TL84, and A with Farnsworth-Munsell 100 hue test. *J Korean Ophthalmic Opt*

- Soc. 2017;22(1):51-57.
- [22] Ji CG, Lee JW, Kim SG. A study on levels of Illumination of Korean standard code. J Korean Inst Illum Electr Install Eng. 1993;7(6):14-24.
- [23] KSSN(Korean Standards Service Network). Recommended levels of illumination. KSA 3011, 2013. [http://www.kssn.net/StdKS/KS_detail.asp?K1=A&K2=3011&K3=2\(2 December 2017\)](http://www.kssn.net/StdKS/KS_detail.asp?K1=A&K2=3011&K3=2(2 December 2017)).
- [24] Zahiruddin K, Banu S, Dharmarajan R, Kulothungan V, Vijayan, D, Raman R et al. Effect of illumination on colour vision testing with Farnsworth-Munsell 100 hue test: customized colour vision booth versus room illumination. Korean J Ophthalmol. 2010;24(3):159-162.
- [25] Farnsworth D. The Farnsworth-Munsell 100-hue test: for the examination of color discrimination, 1st Ed. New York: Macbeth, 1957;2-7.
- [26] Kim HS, Kim YS, Choi AS. A study on the subjective evaluation of color appearance under the different LED CCT conditions. J Korean Inst Illum Electr Install Eng. 2011;25(2):43-52.

LED 조명의 색온도와 색상렌즈가 색채지각에 미치는 영향

정명채, 최은정*

건양대학교 안경광학과, 대전 35365

투고일(2017년 10월 27일), 수정일(2017년 11월 17일), 게재확정일(2017년 11월 17일)

목적: LED 조명의 색온도와 색상렌즈가 색채지각에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. **방법:** 3,000 K와 6,500 K LED 조명, 그리고 4종의 색상렌즈를 사용하여 실험환경을 연출하고, 색각이상인 없는 30명(평균연령 24.70±1.86세)을 대상으로 FM 100 색상검사를 수행한 후, FM 100 색상검사의 TES와 ES 도표를 분석하였다. **결과:** 색상렌즈의 착용 여부와 관계없이 FM 100 색상검사의 TES의 평균들은 3,000 K 또는 6,500 K 각각의 조명 아래에서는 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 3,000 K 및 6,500 K에서의 TES의 평균을 비교하면 3,000 K에서의 TES의 평균이 6,500 K에서의 TES의 평균보다 유의하게 큰 것으로 나타났다. 한편, ES 도표에 따르면 일부의 색상영역에서는 6,500 K에서의 ES가 3,000 K에서의 ES보다 큰 것으로 나타났다. **결론:** 색온도 3,000 K 혹은 6,500 K LED 각각의 조명 아래에서는 투과율 50%~60% 정도의 Brown, Green, Red, Gray 색상렌즈가 색채지각에 영향을 미치지 않기 때문에 처방이나 착용에 큰 문제가 없지만, 3,000 K와 6,500 K LED 조명 사이에서의 색온도의 변화는 색채지각에 영향을 주기 때문에 주의를 기울일 것을 제언한다. FM 100 색상검사서 ES 도표는 TES의 평균만으로는 밝혀낼 수 없는 각 색상에서의 색상판별에 대한 오류를 구체화할 수 있는 지표로 활용하기에 적절하다.

주제어: 색온도, LED, 색상렌즈, FM 100 색상검사, 색채지각