

LED 광색의 삼속성에 따른 피로도와 선호도 분석

(The Analysis of Fatigueness and Preference for Three Appearance Attributes of LED Light Color)

백창환* · 김연진 · 김홍석 · 박승옥**

(Chang-Hwan Baek · Youn-Jin Kim · Hong-Suk Kim · Seung-Ok Park)

Abstract

Light emitting diode(LED) technology has been increasingly developed and larger color gamut by LED illuminations can be reproduced; therefore more efficient LED lighting design can be accomplished under a consideration of color emotion. Fifty-two LED colors which are uniformly distributed on the uniform chromaticity space are evaluated in terms of fatigueness and preference and their relation to three color-appearance attributes(lightness, chroma and hue) are investigated. As a result, 23 human observers likely to prefer and feel comfortable, when lightness of a given LED color stimulus increases as well as its chroma decreases. The highest fatigueness score is observed in red color series and the most preferred LED color is found in green color series. In addition, fatigueness and preference show a strong negative linear relation and their Pearson correlation is higher than -0.8 .

Key Words : LED Lighting, Three Appearance Attributes, Fatigueness, Preference

1. 서 론

어떠한 제품의 색상을 정할 때 가장 중요한 것은 소비자들이 이 색상을 좋아하는지 아니면 싫어하는지에 대한 선호도(Preference)이다.

이에 따라서 물체색의 선호도에 대해 오랜 연구가 이루어져 왔으며, 그중에서 Guilford[1]는 1934년에 밝기(Lightness), 채도(Chroma), 그리고 색상(Hue)을

기반으로 둔 선호도 연구의 결과로, 물체색의 선호도가 색상으로만 결정되지 않고 밝기와 채도에도 영향을 받는다고 말했다. 그러나 이후의 연구에서는 밝기와 채도보다 주로 색상에 대한 선호도가 많은 관심을 받아왔다. 1941년 Eysenck[2], 1955년 Granger[3], 그리고 1959년 Guilford 외 1인[4]은 관찰자들이 파란색을 가장 선호하고, 노란색을 가장 덜 선호한다고 하였고, 색상의 선호도는 성별의 차이가 없다고 평가하였다. 또한 1969년에 Hogg[5]는 파란색과 자주색을 쾌적하고, 노란색과 초록색을 불쾌하다고 느끼는 Pleasant-Unpleasant의 체계적인 패턴을 찾았다. 또 1996년에 Saito[6]는 서로 다른 문화들 간의 물체색에 대한 선호도를 평가하였고, 물체색의 선호도에 대한

* 주저자 : 대진대학교 대학원 물리학과 석사과정

** 교신저자 : 대진대학교 물리학과 교수

Tel : 031-539-1832, Fax : 031-539-1830

E-mail : sopark@daejin.ac.kr

접수일자 : 2010년 10월 6일

1차심사 : 2010년 10월 20일, 2차심사 : 2010년 11월 22일

심사완료 : 2010년 12월 9일

문화적인 차이는 적다고 하였다. 2004년 Ou 외 3인[7]은 물체색 선호도와 색의 삼속성(밝기 : lightness, 채도 : chroma, 색상 : hue) 간의 연관성을 체계적으로 정량화 하였으며, 감성과 선호도간의 관계 또한 정량화 하였다.

최근 R, G, B의 세기를 바꾸어 간단하고 다양한 색상의 재현이 가능한 LED 조명이 개발됨에 따라 물체색뿐만 아니라 광색에 대한 선호도와 사람의 눈에 어떤 영향을 미치는지에 대한 피로도의 연구도 요구되고 있다. 이에 따라서 국내에서 LED 광색의 피로도와 선호도에 관한 연구결과가 발표되고 있다. 예로서 2004년에 정강화[8]는 LED 광색이 남녀모두 밝은 파스텔 톤의 색상을 선호한다는 연구결과를 발표하였고, 2009년에는 장준호 외 2인[9]이 7가지 LED 원색(R, G, B, C, M, Y, 그리고 W)의 선호도와 감성이미지를 평가하였다. 그 결과 일반적으로 알려진 물체색에 대한 결과와 LED 광색의 선호도와 감성이 다소 다르다는 것을 발표하였다. 2010년에 본 연구의 이전 연구[10]에서는 52가지 LED 광색의 감성(동적인-정적인, 딱딱한-부드러운)을 평가하고 정량적으로 분석하였다. 그러나 아직까지 LED 광색의 선호도에 대해서 색상뿐 아니라 다양한 밝기와 채도에 대한 전반적인 연구결과는 발표된 바 없다.

본 연구에서는 이전연구[10]에서 구축한 LED 광색 시뮬레이션 시스템을 사용하여 균등색도도상에 등간격으로 분포하는 52가지 광색에 대한 피로도와 선호도를 평가하고, LED 광색의 밝기와 채도에 따른 피로도와 선호도를 분석하였다. 또한 52가지 LED 광색을 5가지 색상계열(빨간색상계열, 노란색상계열, 초록색상계열, 파란색상계열 그리고 자주색상계열)로 나누어 세밀하게 분석하였고, LED 광색의 피로도와 선호도간의 관계를 정량적으로 분석하였다.

2. CIE 표색계

국제조명위원회(International Commission on Illumination: CIE)에서는 표준관측자의 색 매칭 함수(Color-Matching Function)를 지정하여 자연계에 존재하는 모든 색을 좌표로 지정할 수 있는 색공간을 제

안하였다[11-12].

2.1 XYZ 삼자극치

광색의 삼자극치 X, Y, Z 는 식 (1)과 같이 광원의 분광복사휘도와 표준관측자에 대한 색 매칭 함수의 곱으로 정의된다.

$$\begin{aligned} X &= k \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $P(\lambda)$ 는 광원의 분광복사휘도를 나타내고, $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ 는 표준관측자의 색 매칭 함수 나타낸다. k 는 복사량을 광량을 바꾸는 상수로서 683이고, X, Y, Z 자극치는 조명색의 휘도를 의미하며 단위는 $[cd/m^2]$ 이다.

2.2 x, y 색도도

삼자극치를 모두 합한 값에 대한 X 자극치의 비율을 x 로, Y 자극치의 비율을 y 로, 그리고 Z 자극치의 비율을 z 로 정의하고 이들을 색도좌표(Chromaticity coordinates)라 한다. 여기서 색도좌표 x, y, z 를 모두 더하면 1이 되므로 이중에서 x 와 y 만을 나타낸다.

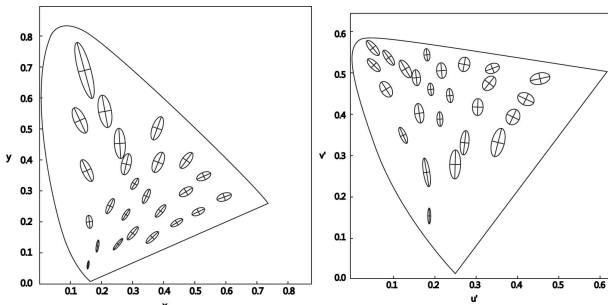
$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y \end{aligned} \quad (2)$$

x 와 y 로 이루어지는 2차원 공간을 x, y 색도도(Chromaticity diagram)라 한다. 자연계에 존재하는 모든 색의 좌표는 스펙트럼 궤적과 자주색 선으로 이

루어지는 면적 안에 위치한다.

2.3 u', v' 색도도

CIE 색체계는 시각에 의한 분류가 아닌 수학적 체계를 따른 것이므로 x, y 색도좌표의 눈금은 시각적 눈금과 일치하지 않는다. 그림 1 (a)는 x, y 색도도의 맥아담 편차 타원(평균 등색 타원)을 나타내는데, 좌표 구간에 따라 타원의 크기가 크게 차이 나므로 시각적으로 불균등함을 알 수 있다. 따라서 x, y 색도도는 하나의 색을 객관적으로 표시하는 경우에 적합하지만 색들 간의 차이(색차)를 나타내기에는 부적절하다.



(a) x, y 색도도 (CIE 1931) (b) u', v' 색도도 (CIE 1976)

그림 1. 맥아담 편차 타원
Fig. 1. MacAdam Ellipse

x, y 색도도의 눈금을 시각적으로 균등하게 변환시킨 것을 CIE 1976 u', v' 균등색도도(Uniform Chromaticity Space: UCS)라 한다. 그림 1 (b)는 u', v' 색도도에서의 맥아담 편차 타원(평균 등색 타원)을 나타내는데, x, y 색도도에 비해 타원의 크기가 비슷해 졌음을 알 수 있다.

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3}$$

$$v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{-2x+12y+3} \quad (3)$$

2.4 $L^*a^*b^*$ 균등색공간

Y 자극치가 크다는 것은 눈이 감지한 빛의 세기가

강함을 의미한다. 그러나 사람이 지각하는 밝기 감각은 Y 자극치에 비례하지 않고 $Y^{1/3}$ 에 비례하는 비선형적인 관계를 가진다. 즉 Y 자극치가 적을 때는 밝기 감각이 민감하나 Y 자극치가 클 때는 밝기 감각이 둔해진다. 또한 인간 시각은 조명색에 적응하여 물체색을 지각하는 색 항상성(color constancy)을 지니고 있으므로 CIE에서는 이를 고려한 $L^*a^*b^*$ 균등색공간(CIELAB)을 식 (4)로 정의하였다.

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500\left[\left(\frac{X}{X_n}\right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3}\right]$$

$$b^* = 200\left[\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{1/3}\right]$$

단 $\frac{X}{X_n}$, $\frac{Y}{Y_n}$ 혹은 $\frac{Z}{Z_n}$ 가 0.008856 보다 작은 경우라면,

$$\left(\frac{X}{X_n}\right)^{1/3} = 7.787\left(\frac{X}{X_n}\right) + \frac{16}{116}$$

$$\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} = 7.787\left(\frac{Y}{Y_n}\right) + \frac{16}{116}$$

$$\left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{1/3} = 7.787\left(\frac{Z}{Z_n}\right) + \frac{16}{116} \quad (4)$$

을 사용한다. 여기서 X_n, Y_n, Z_n 은 기준으로 선택한 흰색의 삼자극치이다.

또한 CIELAB 색공간에서의 채도(chroma) C_{ab}^* 와 색상각(hue angle) h 는 다음 식으로 정의된다.

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (5)$$

$$h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (6)$$

여기서 C_{ab}^* 와 h 는 각각 $0 \sim \infty, 0 \sim 360[^\circ]$ 의 범위를 지닌다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 LED 광색 시뮬레이션 시스템

본 연구에서는 그림 2와 같은 LED 광색 시뮬레이션 시스템을 사용하였다. 한쪽 벽면에 3[m]×2[m] 크기의 U자형 스크린과 그 앞에 9대의 RGB LED 램프를 설치하였다. RGB LED 램프는 위쪽을 향하게 하여 스크린 전면을 비출 수 있다. 실험실의 내벽은 모두 검은색 무광 페인트로 칠하여 스크린에서 반사되어 퍼지는 빛이 벽에서 다시 반사되지 않도록 하였다.

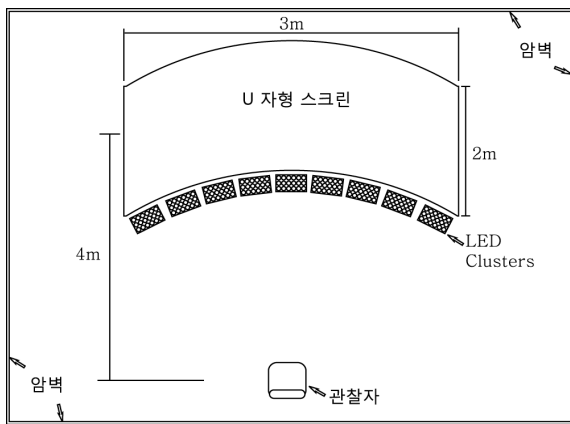


그림 2. LED 광색 시뮬레이션 시스템
Fig. 2. LED light color simulation system



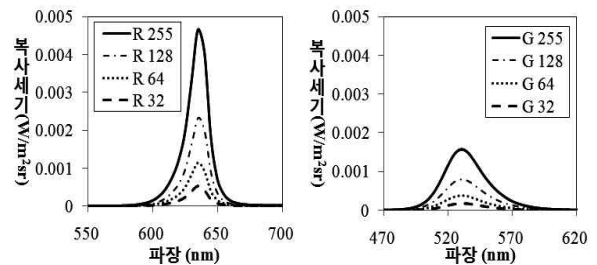
그림 3. LED 광색 시뮬레이션 시스템의 9개 RGB LED 램프
Fig. 3. Nine RGB LED lamps of the LED light color simulation system

각각의 RGB LED 램프는 그림 3과 같이 R, G, B 삼색 LED가 각각 6개씩 총 18개의 LED로 구성되어 있고, 컴퓨터에 연결하여 각각의 RGB LED 밝기를 8-[bit] 디지털 입력신호(256단계)로 조절 가능하다.

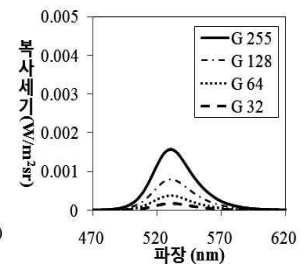
관찰자는 스크린 중앙에서 4[m] 떨어진 곳에 위치시켜 U자형 스크린에서 반사된 빛이 시야를 가득 채워 마치 방안 전체에 조명이 비취지는 것처럼 느껴지도록 하였다.

3.2 RGB LED의 물리적특성 측정

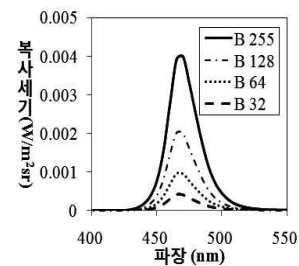
본 실험에서 사용한 RGB LED 램프에 대한 삼원색 LED의 분광복사휘도를 측정하여 그림 4에 나타내었다. 측정 시 실험실 내부의 다른 조명은 켜지 않았으며, Minolta사의 분광복사계(Spectroradiometer) CS-1000을 사용하여 LED의 물리적특성을 측정하였다. 그림 4 (a)는 R LED의 입력신호가 각각 255, 128, 64, 32일 때 스크린에서 반사되는 빛의 파장별 복사휘도($[W/m^2sr]$)이다. R LED는 580~670[nm]의 좁은 파



(a) R LED



(b) G LED



(c) B LED

그림 4. LED 삼원색에 대한 분광복사곡선의 세기
Fig. 4. Intensity of spectral power distribution for three primary LEDs

장범위의 빛을 방출하고, 그 중 630[nm]에서 빛의 휘도가 가장 높다. R 입력신호가 낮아져도 파장범위는 바뀌지 않고 전체적으로 복사휘도만 낮아짐을 알 수 있다. 그림 4 (b)와 그림 4 (c)는 각각 G LED와 B LED에 대한 결과로써, R LED와 마찬가지로 480~600[nm], 430~520[nm]의 좁은 파장범위의 빛을 방출하고 각각 530[nm]와 470[nm]에서 최대 휘도를 나타낸다.

그림 5는 그림 4의 결과를 정규화한 그래프이다. 그림 5 (a)는 그림 4 (a)에 나타난 4개 곡선을 각 곡선의 최대값이 1이 되도록 나타낸 것으로, 4개의 곡선이 일치함을 보인다. 그림 5 (b)와 그림 5 (c)에서도 4개의 곡선이 일치하였다. 이로부터 본 실험에서 사용한 RGB LED 램프의 각 LED는 입력신호에 무관하게 파장별 상대휘도는 일정함을 확인할 수 있다.

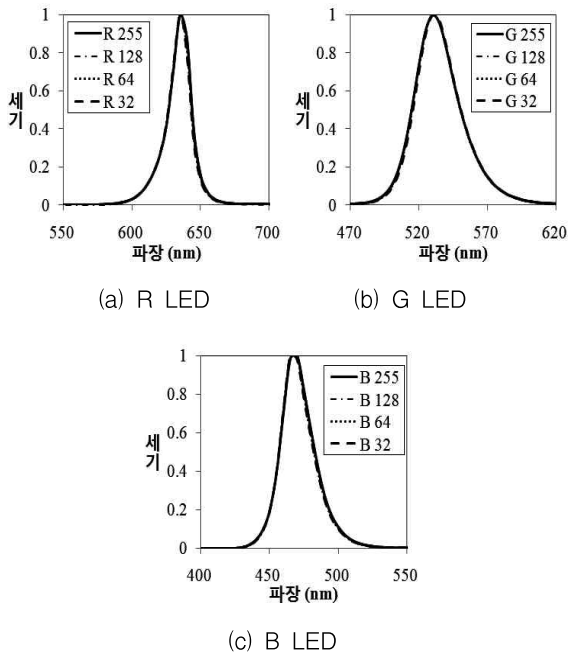


그림 5. LED 삼원색에 대한 정규화된 분광복사곡선의 세기
Fig. 5. Normalized intensity of spectral power distribution for three primary LEDs

그림 6은 분광복사휘도를 식 (1)에 대입하여 삼차극치 X, Y, Z 를 계산하고, 이를 식 (3)에 대입하여 얻어진 u', v' 색도도이다. 그림 6에서 말굽모양의 곡선은 단

일 파장을 지닌 빛의 색도좌표를 연결한 것으로 자연계에 존재하는 가장 순수한 색들의 경계를 나타낸다. 그림 5에 나타난 분광복사휘도 측정결과로부터 얻어진 R, G, B LED 광색의 u', v' 를 그림 6에 각각 동그라미, 세모, 네모의 표식으로 표시하였다. 각 R, G, B 원색에 대한 입력신호의 크기에 상관없이 그림 5의 정규화된 분광복사휘도가 일정하였으므로 입력신호가 255, 128, 64, 32 인 원색들의 u', v' 색도좌표가 그림 6의 동일지점에 겹쳐서 표시되었다. 실선으로 나타낸 삼각형은 본 LED 광색 시물레이션 시스템의 R, G, B LED 광색의 색도좌표를 연결한 것으로 이 시스템이 재현 가능한 색의 영역(색역)을 나타낸다. 그림 6에 RGB 필터를 씌운 백열등과 LCD 디스플레이의 색역을 각각 점선과 폐선으로 나타내었다. 본 LED 광색 시물레이션 시스템은 기존의 방법에 비해 보다 순수한 색을 포함한 넓은 영역의 색을 재현할 수 있는 특징을 지녔음을 알 수 있다.

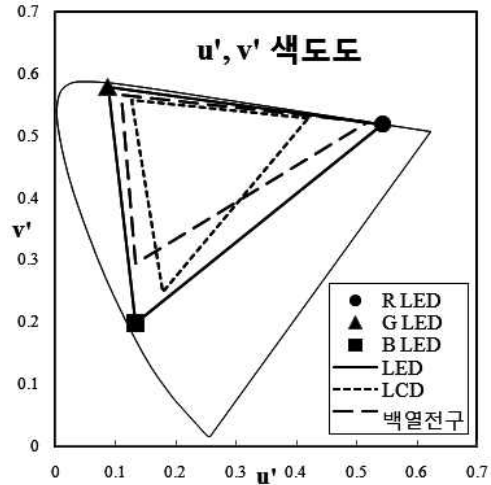


그림 6. 각 조명들에 대한 색역
Fig. 6. Gamut for each illuminance

3.3 LED 시험광색의 선정

RGB LED에 대한 입력신호가 0, 32, 64, 128, 255의 조합을 이루는 125가지 색을 스크린에 비추고, CS-1000으로 삼차극치 X, Y, Z 와 u', v' 색도좌표를 측정하였다. 이 중에서 그림 7과 같이 u', v' 색도도에 균등

하게 분포하는 52가지 색을 선정하고, 이들의 삼자극치 X, Y, Z 와 균등색도좌표 u', v' 을 표 1에 수록하였다. 그림 8에서 R, G, B 입력신호가 (0, 0, 255)인 밝은 빨간색과 (0, 0, 128)인 어두운 빨간색은 휘도는 다르지만 색도좌표가 일치하여 한 점으로 나타내었다. 밝은 노란색(255, 255, 0)과 어두운 노란색(128, 128, 0), 밝은 초록색(0, 255, 0)과 어두운 초록색(128, 128, 0), 밝은 청록색(0, 255, 255)과 어두운 청록색(0, 128, 128), 밝은 파란색(0, 0, 255)과 어두운 파란색(0, 0, 128) 그리고 밝은 자주색(255, 0, 255)과 어두운 자주색(128, 0, 128)에 대해서도 마찬가지이다. 또한 입력신호가 (255, 255, 255)인 흰색과 (128, 128, 128)인 회색, 그리고 (0, 0, 0)인 검정색도 한 점으로 나타내었다.

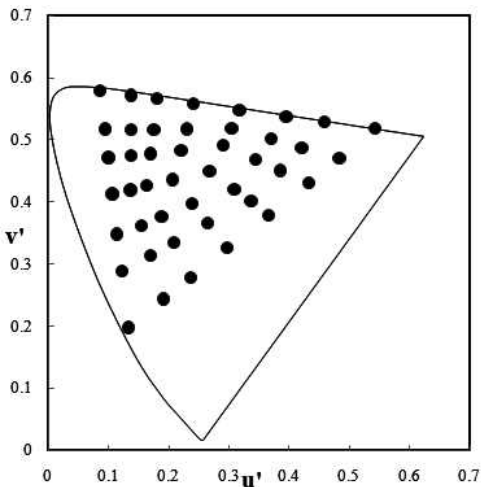


그림 7. u', v' 균등색도도상의 52가지 시험광색
Fig. 7. 52 LED test light colors on u', v' UCS

3.4 심리물리실험 방법

LED 광색에 대한 피로도와 선호도를 조사하기 위하여 범주판단법(Category Judgment Assessments)으로 심리물리실험을 수행하였다. 실험에 참여한 관찰자는 여자 9명, 남자 14명으로 모두 23명이고 이들은 정상색시각을 가지고 있다.

표 2와 같이 피로도는 매우 편안함(-2)에서부터 매우 피곤함(2)까지 5단계로 나누어 광색에 대한 피로도

표 1. 52가지 LED 시험광색의 R, G, B 입력신호와 측정결과

Table 1. Input and measurement data of the 52 LED test light colors

시험광색 번호	R, G, B 입력값			측정값				
	R	G	B	X	Y (cd/m ²)	Z	u'	v'
1	128	128	255	59.41	52.89	137.50	0.19	0.38
2	128	255	255	68.28	79.39	139.30	0.16	0.43
3	128	255	128	57.76	72.32	72.77	0.17	0.48
4	255	255	128	86.81	84.71	72.92	0.22	0.48
5	255	128	255	88.38	65.29	137.30	0.24	0.40
6	255	128	128	78.18	58.43	71.25	0.27	0.45
7	255	255	255	97.32	91.74	139.30	0.21	0.44
8	255	0	0	57.57	24.45	0.01	0.54	0.52
9	255	0	32	59.96	25.98	15.58	0.48	0.47
10	255	0	64	62.78	27.79	33.51	0.43	0.43
11	255	0	128	68.29	31.41	68.73	0.37	0.38
12	255	0	255	78.49	38.30	134.20	0.30	0.33
13	128	0	255	49.94	26.20	134.00	0.24	0.28
14	64	0	255	35.26	19.96	134.00	0.19	0.24
15	0	0	255	21.00	13.90	134.10	0.13	0.20
16	0	64	255	25.24	26.62	135.00	0.12	0.29
17	0	128	255	29.80	40.35	136.00	0.11	0.35
18	0	255	255	38.71	66.79	137.70	0.11	0.41
19	0	255	128	28.43	59.80	72.02	0.10	0.47
20	0	255	64	22.93	56.20	36.88	0.09	0.52
21	0	255	0	17.73	52.87	3.73	0.09	0.58
22	64	255	0	31.96	58.94	3.73	0.14	0.57
23	128	255	0	46.62	65.16	3.72	0.18	0.57
24	255	255	0	75.11	77.24	3.71	0.24	0.56
25	255	128	0	66.10	50.82	1.86	0.32	0.55
26	255	64	0	61.64	37.32	0.90	0.40	0.54
27	255	32	0	59.44	30.53	0.41	0.46	0.53
28	255	255	64	81.37	81.13	37.55	0.23	0.52
29	64	64	255	39.74	32.61	135.80	0.17	0.31
30	255	64	255	83.72	51.51	136.00	0.26	0.37
31	255	64	64	67.68	40.93	34.67	0.34	0.47
32	255	32	32	62.76	32.39	16.23	0.42	0.49
33	255	64	32	65.66	34.13	34.43	0.39	0.45
34	255	32	64	65.11	39.28	16.64	0.37	0.50
35	255	64	128	73.47	44.58	70.11	0.31	0.42
36	255	128	64	72.41	54.62	35.74	0.29	0.49
37	64	255	64	37.44	62.37	37.39	0.14	0.52
38	64	255	255	53.40	72.96	139.10	0.14	0.42
39	64	255	128	42.90	65.92	72.64	0.14	0.47
40	128	255	64	52.32	68.69	37.60	0.18	0.52
41	64	128	255	44.53	46.46	137.60	0.15	0.36
42	128	64	255	54.75	39.01	136.00	0.21	0.34
43	255	32	128	71.06	37.68	69.50	0.34	0.40
44	255	128	32	69.61	52.85	17.90	0.30	0.52
45	0	128	128	16.13	27.76	59.85	0.11	0.41
46	128	128	0	29.84	31.65	1.70	0.23	0.56
47	0	0	128	9.16	5.88	58.23	0.13	0.19
48	128	0	0	22.69	9.64	0.01	0.54	0.52
49	128	0	128	31.97	15.55	58.30	0.29	0.32
50	0	128	0	7.02	22.00	1.72	0.08	0.58
51	128	128	128	38.79	37.30	59.66	0.20	0.43
52	0	0	0	0.00	0.00	0.00	-	-

의 정도를 평가하고, 선호도는 매우 싫어함(-2)에서부터 매우 좋아함(2)까지 5단계로 나누어 관찰자가 어떤 광색을 선호하는지 조사하였다.

표 2. 심리물리실험 설문지
Table 2. A questionnaire for psychophysical test

피로도 평가				
매우 편안함	편안함	중립	피곤함	매우 피곤함
-2	-1	0	1	2
선호도 평가				
매우 싫어함	싫어함	중립	좋아함	매우 좋아함
-2	-1	0	1	2

심리물리실험 시, 관찰자는 스크린에 반사되는 LED 시험광색을 주시하여 각각 30초간의 순응시간을 가졌고, 순응 후 느껴지는 피로도와 선호도를 설문지에 제시된 5단계 중 하나를 선택하여 표시하도록 하였다. 심리물리실험은 암실 상태에서 수행되었으며, 한 관찰자당 약 30분의 실험시간이 소요되었다.

4. 관찰자 신뢰도 평가

본 연구에서 변동계수(Coefficient of Variation: CV)[13]를 사용하여 각 관찰자의 평가데이터와 전체 관찰자의 평균데이터간의 비교를 통해 관찰자들의 신뢰도를 평가하였다.

여기서 x_i 는 i 번째 광색을 평가한 한 관찰자의 데이터이고, y_i 는 i 번째 광색을 평가한 전체 관찰자의 평균값, n 은 평가한 총 광색의 수, \bar{y} 는 모든 광색을 평가한 전체 관찰자의 평균값이다.

$$CV = 100 \times \frac{\sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2 / n}}{\bar{y}} \quad (7)$$

여기서 관찰자 신뢰도 평가는 심리물리실험을 수행한 전체 관찰자 CV의 평균값인 CV_a 로 평가하였

다. 모든 관찰자들의 평가데이터가 정확하게 일치하게 되면 $CV_a = 0$ 의 값을 가지게 되고, CV_a 가 클수록 관찰자들의 데이터가 서로 불일치할 확률이 높음을 의미한다. 본 실험에서 평가한 23명의 관찰자 신뢰도 평가는 피로도 $CV_a = 24$, 선호도 $CV_a = 28$ 로 계산되었고, 이 값들은 기존 색채과학 연구분야[14]에서 관찰자 신뢰도 평가로 요구되는 $CV_a < 30$ 의 값을 만족한다.

5. 결과분석 및 토의

5.1 LED 광색 시뮬레이션 시스템

표 3은 LED 시험광색의 x, y, z 삼자극치를 식 (5)와 식 (6)에 대입해서 CIELAB 색공간 좌표 $L^*a^*b^*$ 로 변환하여 밝기(L^*), 채도(C_{ab}^*), 색상(h)을 나타낸 것이다. 여기서 R, G, B 입력신호가 (255, 255, 255)일 때 스크린에 나타나는 흰색을 기준으로 하였다.

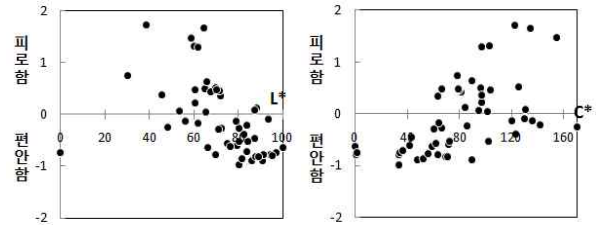
52가지 LED 시험광색에 대한 23명 관찰자들의 심리물리실험 결과를 평균하여 그림 8과 9에 나타내었다. 그림 8은 LED 시험광색에 대한 피로도 그래프로써, 그림 8 (a)는 시험광색의 밝기(L^*)와 피로도 관계를, 그림 8 (b)는 시험광색의 채도(C_{ab}^*)와 피로도 관계를 나타낸다. 대체적으로 밝기가 어두운 시험광색에 대해서는 피로함을 느끼고 밝은 시험광색에 대해서는 편안함을 느낀다. 한편 채도가 낮은 시험광색에 대해서는 편안함을 느끼고 높은 시험광색에 대해서는 피곤함을 느낀다.

그림 9는 LED 시험광색에 대한 선호도 그래프로써, 그림 9 (a)는 시험광색의 밝기(L^*)와 선호도 관계를, 그림 9 (b)는 시험광색의 채도(C_{ab}^*)와 선호도 관계를 나타낸다. 대체적으로 밝기가 어두운 시험광색에 대해서는 싫어함을 느끼고 밝은 시험광색에 대해서는 편안함을 느낀다. 한편 채도가 낮은 시험광색에 대해서는 편안함을 느끼고 높은 시험광색에 대해서는 싫어함을 느낀다. 이러한 경향은 정강화[8], 장준호 외 2인[9], 정연홍 외 3인[15]의 연구결과와도 일치한다.

표 3. 52가지 LED 시험광색에 대한 CIELAB $L^*C_{ab}^*h$ 와 선호도 및 피로도

Table 3. CIELAB $L^*C_{ab}^*h$, preference and fatigueness for 52 LED test light color

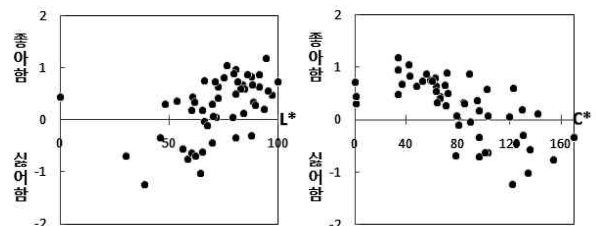
시험광색 번호	L^*	C_{ab}^*	h	색상 계열	선호도	피로도
8	59	154	51	R	-1.22	1.87
25	79	120	76	R	-0.26	-0.26
26	70	126	62	R	-0.43	0.70
27	64	135	55	R	-1.04	1.78
31	73	67	24	R	0.39	-0.17
32	66	90	29	R	-0.13	0.70
34	71	80	41	R	-0.04	0.52
36	82	52	52	R	0.65	-0.96
44	81	73	65	R	0.13	-0.13
48	39	122	50	R	-1.26	1.70
4	97	34	99	Y	0.39	-0.57
22	84	142	127	Y	0.04	-0.35
23	87	131	115	Y	-0.30	0.04
24	94	130	96	Y	-0.13	0.00
28	95	63	98	Y	0.48	-0.87
40	89	71	132	Y	0.09	-0.83
46	65	102	96	Y	-0.87	0.26
2	95	34	196	G	1.00	-0.61
3	91	48	150	G	0.65	-0.87
18	88	84	193	G	0.43	0.22
19	85	103	173	G	0.65	-0.39
20	83	123	160	G	0.52	-0.13
21	81	170	141	G	-0.48	-0.22
37	86	89	148	G	0.78	-0.83
38	91	56	195	G	1.13	-0.87
39	88	70	165	G	0.74	-0.96
45	62	64	194	G	0.43	-0.43
50	56	136	142	G	-0.65	0.09
16	61	67	259	C	0.52	0.52
17	72	63	227	C	0.78	0.13
41	76	42	252	C	1.00	-0.70
1	81	34	284	B	0.83	-0.83
13	60	97	317	B	0.00	0.35
14	54	95	306	B	0.26	0.26
15	46	97	290	B	-0.30	0.39
29	66	59	286	B	0.87	-0.48
42	71	60	307	B	0.70	-0.17
47	30	78	293	B	-0.52	0.39
5	88	43	332	M	0.65	-0.48
6	84	37	19	M	0.17	-0.52
9	60	103	20	M	-0.57	1.26
10	62	97	6	M	-0.96	1.48
11	65	96	349	M	0.09	0.70
12	71	104	332	M	0.04	0.39
30	80	71	332	M	0.96	-0.65
33	67	81	13	M	-0.26	0.48
35	75	62	358	M	0.61	-0.61
43	70	79	353	M	-0.13	0.52
49	48	85	333	M	0.13	-0.04
7	100	0	F	W	0.78	-0.52
51	70	F	320	Gr	0.09	-0.87
52	0	F	110	Bk	0.43	-0.74



(a) 밝기에 따른 변화 (b) 채도에 따른 변화

그림 8. 52가지 LED 시험광색에 대한 피로도

Fig. 8. Fatigueness for 52 LED test light color



(a) 밝기에 따른 변화 (b) 채도에 따른 변화

그림 9. 52가지 LED 시험광색에 대한 선호도

Fig. 9. Preference for 52 LED test light color

그림 8과 그림 9의 결과를 바탕으로 시험광색의 색상을 구분하여 세밀하게 분석해 보았다. 표 3에서 색상 각도를 60°간격으로 구분하여 색상계열을 지정하였다. 52가지 LED 시험광색을 빨간색상계열(20~80°) 10가지, 노란색상계열(80~140°) 7가지, 초록색상계열(140~200°) 11가지, 청록색상계열(200~260°) 3가지, 파란색상계열(260~320°) 7가지, 자주색상계열(320~360°, 0~20°) 11가지와 색상이 없는 무채색상계열 3가지로 구분하고, 표 3의 5열에 영문 색상이름의 첫 글자로 표기하였다. 이중 청록색상계열과 무채색상계열의 경우 색의 수가 적어 분석에서 제외시켰다. 각 시험광색에 대해 23명 관찰자들이 응답한 피로도와 선호도를 평균하여 각각 표 3의 6열과 7열에 수록하였다.

그림 10은 각 색상계열별 시험광색에 대한 피로도를 밝기(L^*)와 채도(C_{ab}^*)를 두 축으로 하는 평면상에 나타난 거품형 그래프이다. 검정색 거품은 피곤함을 흰색 거품은 편안함을 표시하는데, 그 정도는 거품 면적으로 나타내었다. 즉 매우 피곤함(2)일 때

검정색 거품의 면적을 가장 넓게 나타내고, 피곤함의 수치가 감소함에 따라 비례적으로 검정색 거품의 면적을 좁게 나타내었다. 한편 매우 편안함(-2)일 때는 매우 피곤함(+2)의 검정색 거품과 동일한 면적의 흰색 거품으로 나타내고, 편안함의 수치가 감소함에 따라 비례적으로 흰색 거품의 면적을 좁게 나타내었다. 또 각 거품 근처에 해당 시험광색의 번호를 기재하였다.

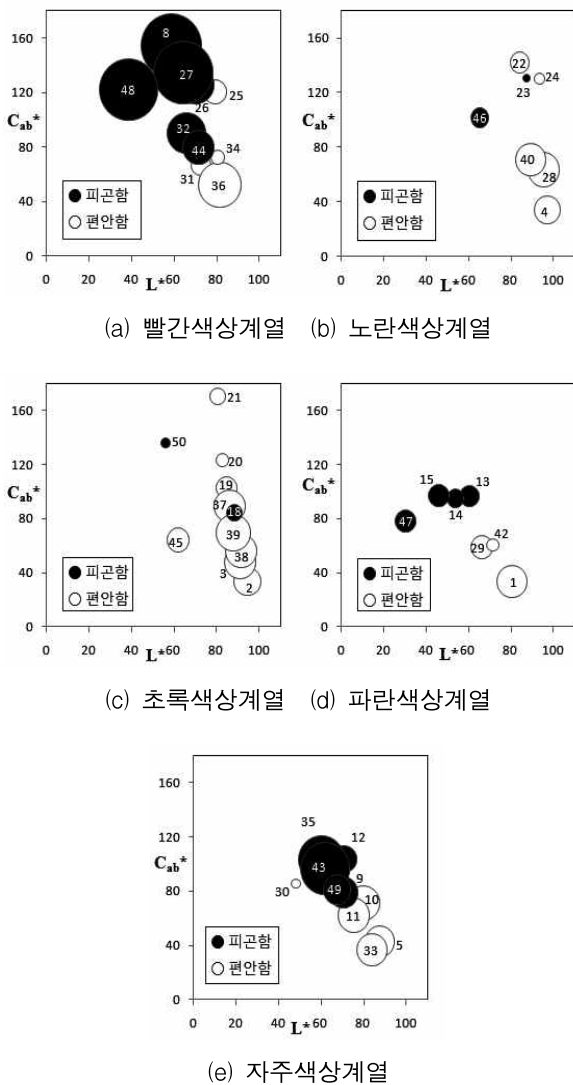


그림 10. L^* 와 C_{ab}^* 공간상의 각 색상계열별 피로도
 Fig. 10. Fatiguens of each color series on L^* and C_{ab}^* space

그림 10 (a), 그림 10 (d), 그리고 그림 10 (e)는 각각 빨간색상계열, 파란색상계열, 그리고 자주색상계열 시험광색에 대한 피로도이다. 세 색상계열 모두 그림 8에서 논한 대로 밝기가 높은 시험광색은 편안하고, 밝기가 낮은 시험광색은 피곤함을 나타낸다. 그러나 빨간색상계열의 경우 피곤함의 정도가 매우 피곤함(+2)까지 나타나는데, 이는 다른 색상계열에 비해 높은 채도의 시험광색이 포함되어 있기 때문이다. 따라서 그림 10 (a), 그림 10 (d), 그리고 그림 10 (e)에서 밝기 60, 채도 100인 지점의 검정색 거품의 면적을 추정하여 거품 면적을 비교해 보았으며, 그 결과 피곤함의 정도가 빨간색상계열 > 자주색상계열 > 파란색상계열 순서임을 알 수 있었다.

그림 10 (b)와 그림 10 (c)는 각각 노란색상계열과 초록색상계열 시험광색에 대한 피로도이다. 두 색상계열 모두 대부분의 시험광색이 밝기가 80이상이며 이에 대해 편안함(-1)을 느낀다. 그러나 시험광색의 채도가 높으면 편안함의 정도가 줄어든다. 그림 10 (c)의 초록색상계열의 경우 밝기가 낮아도 채도가 낮은 시험광색에 대해서는 편안함을 나타낸다.

그림 11은 각 색상계열별 시험광색에 대한 선호도를 밝기(L^*)와 채도(C_{ab}^*)를 두 축으로 하는 평면상에 나타낸 거품형 그래프이다. 검정색 거품은 좋아함을 흰색 거품은 싫어함을 표시하는데, 각각의 정도는 거품 면적으로 나타내었다. 즉 매우 좋아함(+2)일 때 검정색 거품의 면적을 가장 넓게 나타내고, 좋아함의 수치가 감소함에 따라 비례적으로 검정색 거품의 면적을 좁게 나타내었다. 한편 매우 싫어함(-2)일 때는 매우 좋아함(+2)의 검정색 거품과 동일한 면적의 흰색 거품으로 나타내고, 싫어함의 수치가 감소함에 따라 비례적으로 흰색 거품의 면적을 좁게 나타내었다. 또한 각 거품 근처에 해당 시험광색의 번호를 기재하였다.

그림 11 (a)~(e)는 각각 빨간색상계열, 노란색상계열, 초록색상계열, 파란색상계열, 그리고 자주색상계열 시험광색에 대한 선호도이다. 그림 10 (a)~(e)의 피로도 그래프와 비교해 보면 거품의 색이 상반됨을 한눈에 알 수 있다. 즉 그림 10의 피곤한 색은 그림 11에서

싫어함으로 표시되고, 그림 10의 편안한 색은 그림 11에서 좋아함으로 표시되었다. 그림 11 (a), 그림 11 (d), 그리고 그림 11 (e)에서 밝기 60, 채도 100인 지점의 검정색 거품의 면적을 추정하여 거품 면적을 비교해보았으며, 그 결과 좋아함의 정도가 파란색상계열 > 자주색상계열 > 빨간색상계열 순서임을 알 수 있었다. 이는 피곤함의 정도와 반대이다.

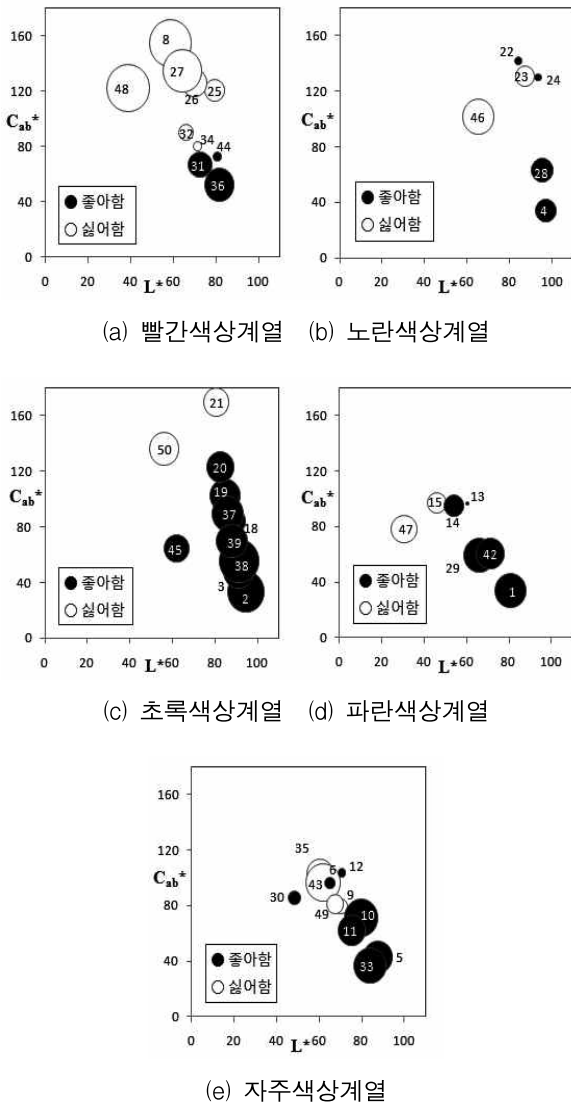


그림 11. L^* 와 C_{ab}^* 공간상의 각 색상계열별 선호도
 Fig. 11. Preference of each color series on L^* and C_{ab}^* space

그림 11 (b)와 그림 11 (c)는 각각 노란색상계열과 초록색상계열 시험광색에 대한 선호도이다. 초록색상계열 대부분의 시험광색이 밝기가 80이상이기 때문에 좋아함(+1)으로 느끼는 것을 볼 수 있다. 그러나 노란색상계열의 경우 밝기가 90이상임에도 면적이 밝기가 더 낮은 나머지 계열들보다 작은 것으로 보아 좋아함의 정도가 가장 낮음을 알 수 있다.

색상계열별로 시험광색에 대한 선호도를 가로축(x)에, 피로도를 세로축(y)에 나타내어 피로도와 선호도의 상관관계를 정량적으로 분석하였다. 그림 12 (a)~(e)는 각각 빨간색상계열, 노란색상계열, 초록색상계열, 파란색상계열, 그리고 자주색상계열의 상관관계를 나타낸다. 각 데이터의 표준오차[13]는 식 (8)을 사용하여 데이터 표식 상하좌우에 막대의 길이로 표시하였다.

$$\text{표준오차} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{8}$$

여기서 σ 는 15명 관찰자의 응답데이터의 표준편차이고, n 은 관찰자의 수이다.

각 그래프에는 데이터 표식들의 선형 추세선과 피어슨 상관계수 r 을 나타내었다. 피어슨 상관계수 r 은 두 변수(x, y)간의 선형적 상관관계를 측정하는 척도로써, $-1 \leq r < 0$ 이면 음의 상관, $0 < r \leq 1$ 이면 양의 상관, 그리고 $r = 0$ 이면 선형관계가 아님을 의미한다. 일반적으로 $0.8 < r < 1.0$ 일 때는 선형관계가 강하고, $0 < r < 0.5$ 일 때는 선형관계가 약하다고 해석한다[19]. 초록색상계열을 제외한 4가지 색상계열은 모두 $r > 0.8$ 로 피로도와 선호도간의 강한 상관관계를 보인다. 즉 광색에 대한 피곤함이 증가할수록 싫어하는 느낌이 커지고, 광색에 대한 편안함이 증가할수록 좋아하는 느낌이 커진다. 한편 그림 12 (c)의 초록색상계열의 경우 $r = -0.66$ 으로 낮은 상관계수를 나타내는데, 이것은 피로도와는 무관하게 대부분의 시험광색에 대해 좋아함을 보였기 때문이다.

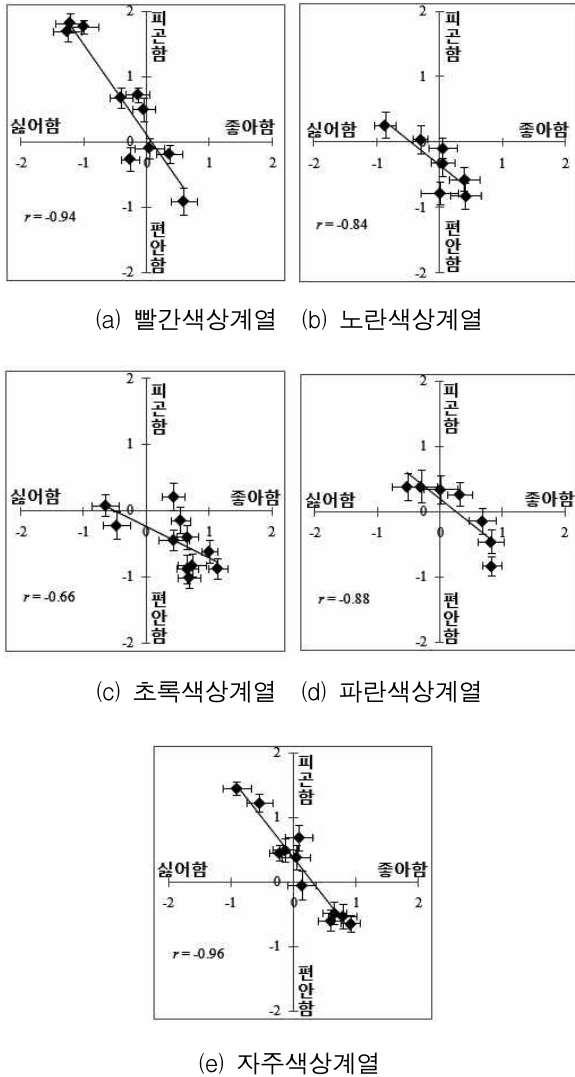


그림 12. 피로도와 선호도의 상관관계
Fig. 12. Correlation of fatigueness and preference

6. 결 론

본 논문에서는 심리물리실험을 통해 LED 광색의 삼속성에 따른 피로도와 선호도를 분석하였다. 이를 위해 LED 광색 시뮬레이션 시스템을 이용하여, 사람의 시각에 균등하게 분포하도록 u', v' 색도에서 등간격을 이루는 52가지 광색을 선정하였다.

먼저 시험광색의 밝기와 채도에 따른 피로도와 선호도를 분석한 결과 밝기가 어둡거나 채도가 높은 광색

에서 피곤하며 싫어한다고 느꼈고, 반대로 밝기가 밝거나 채도가 낮은 광색일수록 편안하고 좋아하는 것으로 나타났다. 52가지 LED 시험광색을 빨간색상계열, 노란색상계열, 초록색상계열, 파란색상계열, 그리고 자주색상계열로 분류하여 색상별 피로도와 선호도를 분석하였다. 그 결과 피로도는 빨간색상계열에서 가장 높았고, 선호도는 반대로 초록색상계열에서 가장 높았으며 노란색상을 가장 싫어했다. 마지막으로 피로도와 선호도의 상관관계를 정량적으로 분석해본 결과, 초록색상계열을 제외한 모든 색상계열에서 피로도와 선호도는 -0.8 이상의 음의 강한 선형관계를 갖는 것을 알 수 있었다. 즉 피곤한 광색은 싫어하는 정도가 강하고, 편안한 광색은 좋아하는 정도가 강한 것으로 나타났다.

References

- [1] Guilford JP, "The affective value of color as a function of hue, tint, and chroma", 17, pp. 342 - 370, 1934.
- [2] Eysenck HJ, "A critical and experimental study of color preferences", Am J Psychol, 54, pp. 385 - 394, 1941.
- [3] Granger GW, "An experimental study of colour preferences", J Gen Psychol, 52, pp. 3 - 20, 1955.
- [4] Guilford JP, Smith PC, "A system of colour preferences", Am J Psychol, 72, pp. 487 - 502, 1959.
- [5] Hogg J, "A principal component analysis of semantic judgements of single colors and color pairs", J Gen Psychol, 80, pp. 129 - 140, 1969.
- [6] Saito M, "Comparative studies on color preference in Japan and other Asian regions: with special emphasis on the preference for white", Color Res Appl, 21, pp. 35 - 49, 1996.
- [7] Ou L. C, M. R. Luo, A. Woodcock, A. Wright, "A Study of Colour Emotion and Colour Preference. Part I I I: Colour Preference Modeling", Color Res Appl, Vol. 29, 5, pp. 381-389, 2004.
- [8] 정강화, "3원색 LED 광원 모듈을 이용한 광색 선호도 조사" 조명·전기설비학회논문지, 제18권. 제3호. pp. 55-58, May. 2005.
- [9] 장준호, 박병철, 최안섭, "LED(R, G, B) 조명기구의 색상 및 패턴 변화에 대한 선호도 및 이미지에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 - 계획계, 23. 6. pp. 255-262, 2007.
- [10] 백창환, 김연진, 김홍석, 박승옥, "LED 광색의 색채감성 분석 I", 한국색채학회지, 제24권, 제3호, pp. 67-79, Aug. 2010.
- [11] 박승옥, 김홍석, "컬러리스트를 위한 색채광학 15강", 도서출판 국제, 서울, pp. 61-75, 2005.
- [12] Roy s. Berns, "Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology. 3rd ed", John Wiley & Sons Inc. USA,

pp. 23-26, 2005.

[13] L. Devore, "Probability and Statistics for Engineering and the Sciences. 7th ed". Cengage Learning, USA. 2008.

[14] Y. Park, C. Li, M. R. Luo, Y. Kwak, D. Park and C. Kim, "Applying CIECAM02 for Mobile Display Viewing Conditions", 15th Color Imaging Conference Final Program and Proceedings, pp. 169-173, 2007.

[15] 정연홍, 박병철, 김현선, 최안섭, "R, G, B LEDs의 내추럴한 Color 조명색채 구현 방안에 대한 기초연구", 한국 조명·전기설비학회 2009 추계학술대회 논문집, pp. 3-6, Oct, 2009.

◇ 저자소개 ◇



백창환(白昌桓)

1985년 5월 21일생. 2010년 대전대학교 물리학과 · 정보디스플레이학과 복수전공 졸업. 현재 대전대학교 대학원 물리학과 석사과정.



김연진(金淵辰)

1982년 2월 21일생. 2003년 대전대학교 물리학과 졸업. 2004년 영국 University of Derby 졸업(석사). 영국 University of Leeds 졸업(박사). 현재 삼성전자 디지털미디어 & 커뮤니케이션 연구소 책임연구원.



김홍석(金洪錫)

1952년 3월 10일생. 1974년 서울대학교 물리학과 졸업. 1976년 한국과학기술원 졸업(석사). 1983년 한국과학기술원 졸업(박사). 국방과학연구소 선임연구원 역임. 현재 대전대학교 물리학과 교수.



박승옥(朴勝玉)

1957년 2월 4일생. 1979년 이화여자대학교 물리학과 졸업. 1981년 이화여자대학교 졸업(석사). 1987년 한국과학기술원 졸업(박사). 한국표준과학연구원 선임연구원 역임. 현재 대전대학교 물리학과 교수.