

단일칩 LED와 RGB 멀티칩 LED의 백색광 특성 및 색 보임에 대한 주관평가 연구

(The Subjective Evaluation on White Light Property and Color Appearance of Single Chip LED and RGB Multi Chip LED)

심윤주* · 김인태 · 최안섭**

(Yun-Ju Sim · In-Tae Kim · An-Seop Choi)

Abstract

To produce the white light, there are a single chip method using the blue light and phosphor coating, a multi chip method by mixing R, G, B light.. Multi chip method is proper for the smart lighting system by controlling color and color temperature. And color rendering of single chip LED is good by even spectral distribution. To apply application technic like smart light system, this paper analyzed the properties of single chip LED and RGB multi chip LED, and implemented the 2 part subject evaluation for single chip LED and RGB multi chip LED. The first part is comparison of properties for single chip LED and RGB multi chip and second part is color appearance evaluation of 8 colors in each lighting environment.

Key Words : Single Chip, Multi Chip, Color Rendering Index, Color Appearance, Subjective Evaluation

1. 서 론

최근 전 세계적으로 백열램프의 생산·판매가 금지되고 이에 따라 효율이 높고 에너지 절감이 가능한 LED(Light Emitting Diode)조명에 대한 요구가 높아지고 있다. LED는 화합물에 전류를 흘려 빛을 발산하는 반도체 소자로 직진성이 강한 발광소자이다. 이

를 백색 조명으로 구현하는 방법에는 아래 그림 1과 같이 청색 LED 위에 단일형광체가 집적된 단일칩 방식이 있으며 이는 광량이 높고 효율이 좋다. 멀티칩 방식은 2개 혹은 그 이상의 LED를 결합하는 방식과 단일LED 위에 RGB(Red, Green, Blue) 발광부가 복합적으로 구성된 방식이 있는데 전자는 색 조절이 가능하나 부피가 크고 후자는 색 조절도 가능하며 부피도 작다는 장점이 있다. 이러한 방식들의 대표적인 장점은 RGB 멀티칩 LED는 다양한 색온도 및 색 구현이 가능하여 감성조명으로 각광받고 있으나 스펙트럼 대역폭이 좁아 연색지수가 좋지 않다. 반면에 단일칩 LED는 비교적 고른 분광분포로 인해 연색지수가 좋다는 장점이 있지만 한 가지 색만 구현할 수 있다는

* Main author : The master's course, Department of Architectural Engineering, Sejong University

** Corresponding author : Professor, Department of Architectural Engineering, Sejong University

Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-4331

E-mail : aschoi@sejong.ac.kr

Received : October 2, 2014

Accepted : October 27, 2014

단점이 있다[1].

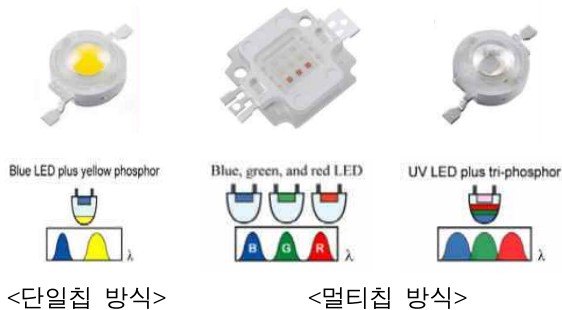


그림 1. 백색 LED 구현방법
Fig. 1. The production method of white LED

최근 지능형 컨트롤이 가능한 스마트 LED조명시스템에 대한 관심이 증가하면서 RGB 멀티칩 조명방식에 대한 요구가 늘어나고 있다. 상점, 주거시설 뿐만 아니라 의료 및 학습공간에서 이용되고 있는 스마트 LED조명시스템은 상황에 따른 색 조절, 색온도 조절 및 조광 능력이 필수적이므로 색온도 및 색 조절이 용이한 RGB 멀티칩 조명방식의 사용이 바람직하다. 하지만 RGB 멀티칩 LED는 광량과 효율 면에서 단점이 있고 현재 널리 이용되고 있는 단일칩 백색광과도 물리적·광학적 특성 면에서 많은 차이가 있다[2]. 또한 실제 연색지수 값에서는 단일칩 LED와 RGB 멀티칩 LED의 상당한 차이가 있는데 이를 각각 조명환경으로 구현하였을 때 이용자들이 색 보임에 대해 어떻게 느끼는지, 스마트 조명시스템에 적용할 수 있을지에 관한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 다양한 밝기에서 단일칩 LED조명과 RGB 멀티칩 LED 조명이 어떠한 특성과 차이를 갖는지 비교·분석하여 스마트 LED조명시스템에 대한 적용성을 평가하고자 하였다. 우리가 조명을 이용할 때에는 조명을 직접 바라보는 경우도 있고 조명 아래에서 생활하거나 상품을 바라보는 경우 등이 있기 때문에 각각의 경우를 나누어 두 종류의 실험을 진행하였다. 먼저 동일한 휘도와 색온도에서 밝기, 선호도 및 유사성항목에 대해 주관평가를 진행하였다. 그 다음으로 단일칩 LED와 RGB 멀티칩 LED가 각각 구현된 환경에서의 색 보임을 평가하기 위하여

8가지 색지에 대해 밝기, 자연스러움, 선명함 및 선호도 항목을 통한 색 보임 주관평가를 진행한 후 실제 연색지수와 색 보임이 상관관계가 있는지를 비교·분석하였다.

2. 선행연구고찰

먼저 RGB 멀티칩 LED 관련하여 기존의 선행연구를 살펴보면 주로 구조적인 변화를 주거나 단일칩 LED에 추가적으로 형광체 등을 추가해 광 효율 및 연색지수를 증가시키는 연구가 수행되고 있다[3-4]. Jinnkong Sheu et al.의 논문에서는 UV(Ultra Violet) LED에 Red, Green, Blue 형광체를 코팅한 RGB 멀티칩 LED를 개발하였고 이것은 단일칩보다 광학적으로 안정적이라는 결과가 나타났다[5]. Ji Hye Oh et al.의 연구에서는 blue LED에 full down-converted Red, Green 형광체 혹은 Red, Green, Amber 형광체를 추가하여 멀티칩을 개발하였고 기존의 멀티칩에 비해 광 효율과 연색지수가 향상된 결과가 나타났다[6].

다음으로 단일칩과 RGB 멀티칩을 비교한 선행연구로는 정병호 등의 연구에서 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED를 동일한 사양으로 제작하여 방열특성, 전력 및 광 효율, 배광특성 등을 비교하였다. 연구결과 RGB 멀티칩에 비하여 백색 LED의 경우가 연색지수나 광 효율에서 우수한 특성을 나타내었으며 배광특성은 RGB 멀티칩이 좀 더 넓게 나타났다[2]. 이외에도 현재 RGB 멀티칩의 효율이나 연색지수 관련 연구와 단일칩 LED의 Color quality 연구는 많지만 RGB 멀티칩의 Color quality 관련 연구가 미흡하므로 이에 대한 연구를 중점적으로 하고자 한다[7-8].

3. 본 론

3.1 백색광 특성 비교 및 주관평가 연구

3.1.1 실험 개요 및 방법

본 연구는 S대학교 대학원생 10명을 대상으로 S사

의 36EA 단일칩 LED와 S사의 36EA RGB 멀티칩 LED로 각각 구성된 두 개의 LED 조명박스에 대하여 색온도 3,000K, 6,000K일 때 동일한 휘도에서 밝기, 선호도, 유사성 항목의 설문조사를 실시하였다. 피험자는 20~30대의 색약과 색맹이 없는 남, 여 5명으로 구성되었고 주변광의 영향을 배제하기 위해 창이 없는 공간에서 주관평가를 실시하였다. 두 조명기구의 색온도를 일치시키기 위해 분광계(Spectrometer MMS1)를 이용해 단일칩 LED의 색좌표를 측정하였다. 그 다음으로 단일칩과의 색차가 MacAdam ellipses 5 step 범위를 만족시키는 RGB 멀티칩 LED의 색좌표를 구현하기 위한 RGB 각각의 광량조합비율을 산출하였고 산출한 값을 적용하여 색좌표를 측정하였다. 그 결과 3,000K에서 단일칩 LED의 색좌표는 $x=0.4455$, $y=0.3972$ 였고 멀티칩 LED는 $x=0.4405$, $y=0.3951$ 이었다. 6,000K에서 단일칩 LED의 색좌표는 $x=0.3185$, $y=0.3291$ 이었고 멀티칩 LED는 $x=0.3188$, $y=0.3229$ 였다. 분광분포를 측정한 결과 아래 그림 2와 같다.

실험 환경은 배경조도를 0lx로 고정시키고 암순응을 시킨 후 두 개의 조명기구를 동일한 휘도, 동일한 색온도(색좌표)로 동시에 점등하였다. 이때에 10초 동안 조명기구를 바라보게 한 후 설문지를 작성하도록 하였다. 두 조명기구의 휘도를 50, 100, 150, 200, 250cd/m²로 무작위로 바뀌가면서 위와 같은 실험을 반복하였다. 아래 그림 3은 MacAdam ellipses 범위 안에서의 각 휘도별 색좌표의 위치를 나타낸 그림인데 3,000K의 50cd/m²와 6,000K의 50cd/m²를 제외한 모든 휘도에서의 색좌표가 MacAdam ellipses 5 step을 만족하였고 나머지는 6 step을 만족하였다. 설문조사 항목은 각각 5점 스케일로 구성하였으며 아래 그림 4는 주관평가 진행모습이다.

3.1.2 실험 결과

다음 그림 5와 같이 동일한 색온도와 휘도일 때의 밝기, 선호도, 유사성 항목에 대하여 주관평가 한 결과 밝기 항목은 휘도에 따라 밝기점수가 비교적 비례하게 나타나는 경향을 보였다. 3,000K에서는 높은 휘도에서 RGB 멀티칩 LED의 밝기가 높게 평가되었고 낮은

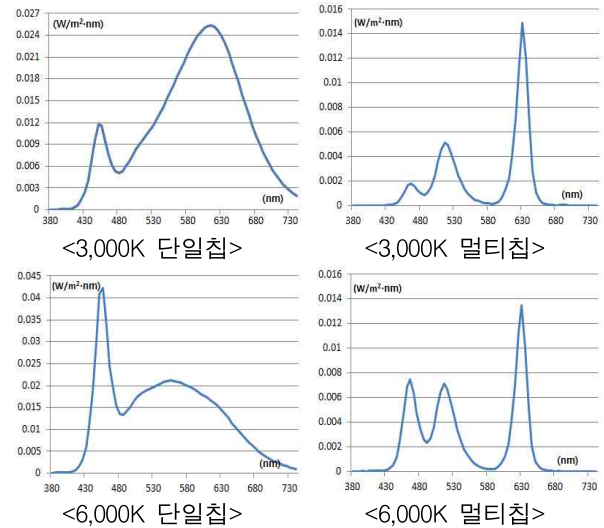


그림 2. 단일칩과 RGB 멀티칩의 색온도별 분광분포
Fig. 2. The spectral distribution of LED by the CCT

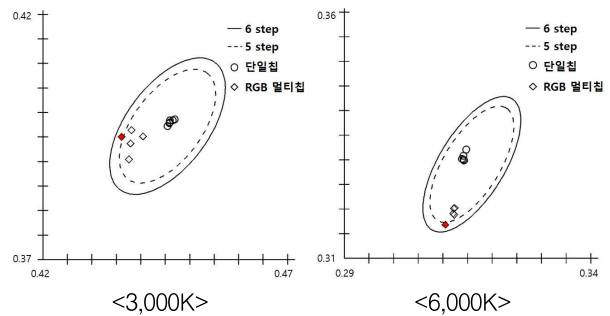


그림 3. MacAdam 타원 범위와 색좌표
Fig. 3. MacAdam ellipses & color coordinates



그림 4. 주관평가 진행모습
Fig. 4. The scene of subjective evaluation

회도에서는 단일칩 LED의 밝기가 높게 평가되었다. 6,000K에서는 단일칩 LED의 밝기가 RGB 멀티칩 LED보다 전반적으로 높게 평가되는 경향을 보였다. 선호도 항목의 경우 전체적으로 회도가 낮아질수록 선호도가 낮아지는 경향을 보였으며 3,000K에서는 밝기 항목에서 더 높은 점수를 받은 RGB 멀티칩 LED의 선호도가 더 높았고 6,000K 또한 밝기 항목에서 더 높은 점수를 받은 단일칩 LED의 선호도가 더 높게 평가되었다. 이로부터 사람들이 더 밝게 느껴지는 조명을 선호한다는 것을 알 수 있었다.

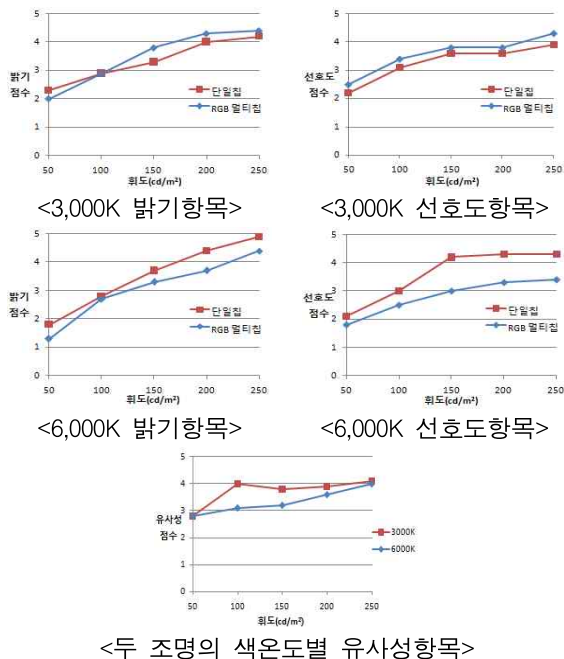


그림 5. 주관평가 결과 그래프
Fig. 5. The graph of subjective evaluation result

유사성 항목에 대한 주관평가 결과, 회도가 높아짐에 따라 유사성이 높게 평가되는 경향을 보였는데 사람의 눈의 감도는 밝기에 따라 자동으로 조절되며 어두울 때 색을 구분하는 민감도가 높고 상대적으로 밝을 때 색을 구분하는 민감도가 낮아지기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 간주된다[9]. 또한 색온도가 3,000K일 때, 6,000K일 때 보다 더 유사성이 높게 나왔는데 색온도가 높아질수록 같은 색으로 인지하는 MacAdam ellipses의 범위가 좁아지므로 미세한 차이

에도 변화를 크게 인식하게 되어 나타난 결과로 사료된다[10].

3.2 색 보임 주관평가 연구

3.2.1 실험 개요 및 방법

본 연구는 S대학교 대학원생 10명을 대상으로 진행되었고 단일칩 LED와 RGB 멀티칩 LED 두 개의 조명기구 아래에 위치한 색지의 색 보임에 대하여 색온도 3,000K, 6,000K일 때 동일한 조도에서 밝기, 선명함, 자연스러움, 선호도 항목의 설문조사를 실시하였다. 피험자의 구성과 실험실의 조건은 3.1장의 실험과 동일하게 진행하였다.

본 연구에서는 3.1장과 동일한 광량조합비율을 사용하여 색 보임 실험을 진행하였으며 모든 조도에서의 색좌표가 MacAdam ellipses 5 step을 만족하였다. 또한 실험에 사용된 색지는 평균 연색지수 Ra를 산출하는 TCS(Test Color Samples)01에서 TCS08까지의 Munsell 색상에 최대한 유사한 계열의 색을 사용하였으며 각각의 색과 색에 대한 조명기구의 연색지수는 아래 표 1과 같다. 색지 아래에 나타난 값은 각각 색상과 명도, 채도의 값을 나타내며 위의 값은 연색지수를 산출하는 TCS의 색상값이고 아래는 실험에 사용한 색지의 색상 값이다. 표에서 나타내는 것과 같이 모든 색에서 단일칩의 연색지수 값이 높은 것을 알 수 있다.

표 1. 사용한 색 정보
Table 1. The information of test color

No. (Appearance)	단일칩		RGB멀티칩	
	3,000K	6,000K	3,000K	6,000K
Ra	85	88	11	20
R ₀₁ (Light greyish red)	85	87	-14	-5
R ₀₂ (Dark greyish yellow)	93	92	44	45
R ₀₃ (Strong yellow green)	96	93	81	73
R ₀₄ (Moderate yellowish green)	82	86	-28	4
R ₀₅ (Light bluish green)	85	87	-16	11
R ₀₆ (Light blue)	91	87	4	27
R ₀₇ (Light violet)	84	91	51	47
R ₀₈ (Light reddish purple)	67	79	-34	-40









TCS				
TCS값	5R 6/4	5Y 6/4	5GY 6/8	5G 6/6
실험값	5R 7/2	5Y 7/2	5GY 6/8	5G 6/6
TCS				
TCS값	10BG 6/4	5PB 6/8	5P 6/8	10P 6/8
실험값	10BG 6/6	5PB 6/6	5P 6/6	10P 6/6

그림 6과 같이 실험 환경은 배경조도를 0lx로 고정시키고 암순응을 시킨 후 RGB 멀티칩 LED와 단일칩 LED로 구성된 두 개의 조명기구 아래에 8가지 색상의 색지를 놓고 동일한 조도, 동일한 색온도(색좌표)로 동시에 점등하였다. 이 때에 피험자는 조명기구 아래 놓인 색지를 바라보면서 설문지를 작성하도록 하였다. 아래 그림 6과 같이 두 조명기구의 조도를 100lx, 300lx로 무작위로 바꾸고 두 개의 조명기구 위치를 서로 바꿔가면서 위와 같은 실험을 반복하였다.

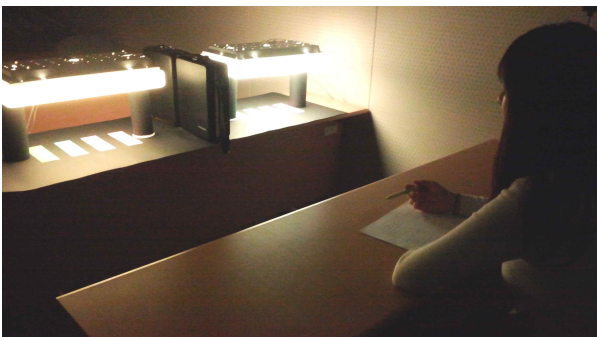


그림 6. 주관평가 진행모습
Fig. 6. The scene of subjective evaluation

3.2.2 실험 결과

동일한 색온도와 조도의 조명기구 아래에서의 색 보임에 대하여 주관평가 한 결과를 아래 그림 7에 나타냈다. 먼저 밝기 항목의 경우 3,000K에서는 Dark greyish yellow를 제외한 모든 색에서 RGB 멀티칩 아래에서의 색이 밝게 느껴진다는 응답수가 높게 나왔고 6,000K의 경우 Dark greyish yellow의 100lx와 Strong yellow green을 제외한 모든 색에서 RGB 멀티칩 아래에서의 색이 더 밝게 느껴진다는 응답수가 높게 나왔다. 선명함 항목의 경우 3,000K에서 Strong

yellow green의 300lx를 제외한 모든 색에서 RGB 멀티칩 아래의 색이 선명해 보인다는 응답수가 높게 나왔고 6,000K에서는 Strong yellow green을 제외한 모든 색에서 RGB 멀티칩 아래에서 선명해 보인다는 응답수가 높게 나왔다. 다음으로 자연스러움 항목의 경우 3,000K에서는 Strong yellow green, Moderate yellowish green, Light bluish green 등의 green계열의 300lx와 Light violet에서 단일칩 아래의 색이 더 자연스럽게 느껴진다는 응답수가 높게 나왔다. 6,000K에서는 Dark greyish yellow와 Moderate yellowish green의 100lx, Light blue와 Light violet의 300lx, Strong yellow green에서 단일칩 아래에서의 자연스러움 응답수가 높게 나왔다. 마지막으로 선호도 항목의 경우 3,000K에서 Strong yellow green의 300lx, Light violet의 100lx를 제외한 모든 색에서 RGB 멀티칩 아래의 색 선호도 응답수가 높게 나왔다. 6,000K에서는 Light greyish red의 100lx, Strong yellow green, Moderate yellowish green, Light blue의 300lx, Light violet에서 단일칩 아래의 색 선호도 응답수가 높게 나왔고 나머지 색상에서는 RGB 멀티칩의 응답수가 높게 나오거나 동일한 응답수가 집계되었다. 따라서 같은 색상이더라도 색온도 별로 색 보임의 결과가 반대로 나타나거나 밝기와 선명함 항목에서 RGB 멀티칩의 응답수가 높게 나온 색상이 자연스러움, 선호도 항목에서는 단일칩의 응답수가 더 높게 나오는 경향이 나타났다.

표 1에서 나타낸 색상별 연색지수와 실험 결과를 비교해보면 Light reddish purple의 단일칩과 RGB 멀티칩의 연색지수 차이가 가장 커서 단일칩의 색 보임이 월등히 좋을 것으로 예상했으나 반대로 71.3%의 응답률로 RGB 멀티칩의 색 보임이 더 좋게 느껴진다는 결과가 나타났다. 또한 단일칩과 RGB 멀티칩의 연색지수 차이가 가장 적은 Strong yellow green은 43.7%의 응답률로 단일칩의 색 보임이 더 좋게 느껴진다는 결과가 나타났다. 따라서 수치로 나타나는 연색지수와 사람이 느끼는 색 보임은 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.

아래 표 2는 색상별 색 보임이 높은 조명을 나타낸 결과이다. 대부분의 색에서 RGB 멀티칩의 응답수가

단일칩 LED와 RGB 멀티칩 LED의 백색광 특성 및 색 보임에 대한 주관평가 연구

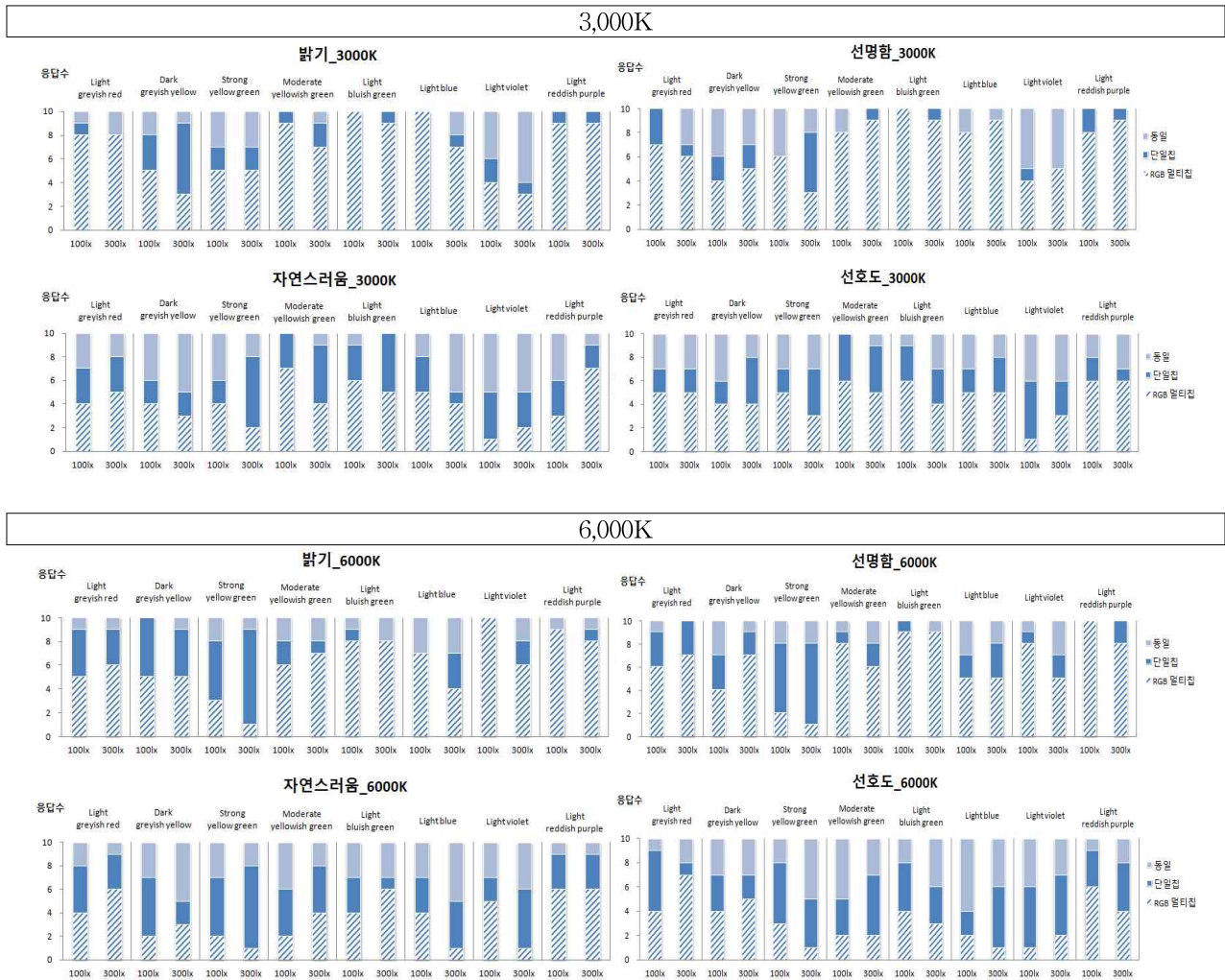


그림 7. 주관평가 결과 그래프
Fig. 7. The result of subjective evaluation

표 2. 색상별 색 보임 평가 결과
Table 2. The result of color appearance by the test color

실험 색상		밝기		선명함		자연스러움		선호도		
		3,000K	6,000K	3,000K	6,000K	3,000K	6,000K	3,000K	6,000K	
붉은색 계열	TCS01	Light greyish red	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티
	TCS02	Dark greyish yellow	단일	멀티	멀티	멀티	멀티	단일	멀티	멀티
	TCS07	Light violet	멀티	멀티	멀티	멀티	단일	단일	단일	단일
	TCS08	Light reddish purple	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티
푸른색 계열	TCS03	Strong yellow green	멀티	단일	멀티	단일	단일	단일	멀티	단일
	TCS04	Moderate yellowish green	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	단일	멀티	단일
	TCS05	Light bluish green	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	동일
	TCS06	Light blue	멀티	멀티	멀티	멀티	멀티	단일	멀티	단일

더 높게 나왔는데 특히 선호도 항목에서 TCS01, 02, 07, 08의 붉은색계열은 Light violet을 제외한 모든 색에서 RGB 멀티칩 아래서의 색의 선호도가 높았고 TCS03~06까지의 푸른색 계열은 3,000K에서는 RGB 멀티칩, 6,000K에서는 단일칩을 더 선호하는 경향이 나타났다. 전체 항목의 응답수를 합한 결과 붉은색계열은 RGB 멀티칩의 색 보임이 좋다는 응답이 52.3%로 가장 많았고 푸른색 계열은 RGB 멀티칩의 색 보임이 좋다는 응답이 62.5%로 가장 많았으며, 6,000K에서는 RGB 멀티칩의 응답이 51.7% 단일칩은 27.0%로 나타났다. 따라서 스마트 LED조명시스템을 적용할 때 RGB 멀티칩 조명을 사용해도 사람들이 느끼기에 큰 불편함이 없을 것으로 사료되어 적용성이 높을 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 스마트 LED조명시스템에 적용이 용이한 RGB 멀티칩 LED조명과 단일칩 LED조명의 백색광에 대한 주관평가를 실시하였다. 실험은 각각의 조명을 바라보며 밝기, 선호도, 유사성을 비교하는 주관평가와 각각의 조명 아래에서의 색 보임을 평가하는 주관평가로 구성된 두 개의 파트로 나누어 진행하였다. 먼저 두 개의 조명을 바라보며 주관평가를 한 결과 3,000K에서는 RGB 멀티칩 조명이 더 밝고 선호도가 높게 평가되었으며 6,000K에서는 단일칩 조명이 더 밝고 선호도가 높은 것으로 평가되었고 6,000K의 높은 색온도에서 유사성이 낮은 것으로 나타났다.

다음으로 단일칩과 RGB 멀티칩 아래에서의 색 보임 평가를 진행한 결과 색상별 선호도 평가에서 색온도 별로 차이가 있었지만 전반적으로 RGB 멀티칩 아래에서의 색에 대한 선호도가 높은 것으로 나타났다. 그 이유는 수치로 나타나는 연색지수와 사람이 느끼는 색 보임은 차이가 있으며, 연색지수가 높다고하여 특정색의 색보임이 좋다고 할 수 없다[11]. 선행연구에 따르면 일반적으로 선명하게 느낄수록 선호도가 증가하므로 RGB 멀티칩이 Test Color를 보다 더 밝고, 푸르게 즉, 색을 선명하게 보이게 하여 선호도가 높게 나타난 것으로 사료된다[12]. 또한 사람이 느끼

는 색 보임에는 심리적 요소와 비시감적인 요소가 작용하는데 실험환경인 암소시에서는 비시감곡선이 단과장쪽으로 이동하므로 전체적으로 푸른색 계열에 대한 비시감이 높아진다[13]. 따라서 단일칩과 RGB 멀티칩의 분광분포 중 상대적으로 푸른색의 비율이 높은 멀티칩에 대한 자극이 높아져 이러한 결과가 나타난 것으로 사료된다. 따라서 간접조명, 라이트 테라피와 같은 사람들이 직접적으로 바라보게 되는 조명을 사용할 때에는 색온도에 따라 단일칩 조명과 RGB 멀티칩 조명을 적절하게 선택하거나 두 개의 조명을 함께 사용하여 적용성을 높여야 하고 스마트 조명시스템 및 상점조명과 같은 조명하는 물체의 색이 중요할 때에는 RGB 멀티칩 조명을 사용하는 것이 적절할 것으로 판단되었다. 본 연구는 피험자의 수가 한정적이라는 단점이 있으며 RGB 멀티칩에 Amber등의 색상을 추가한다면 광 효율과 연색지수가 좋은 조명환경을 구현할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2014005217).

References

- [1] G. O. Mueller, "White Light from LEDs", CIE expert symposium on LED Light sources, 2004.
- [2] B. H. Jeong, N. O. Kim, D. G. Kim, G. G. Oh, G. B. Cho, K. Y. Lee, "Analysis of Property for White and RGB Multichip LED Luminaire", Journal of the Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 23, No. 12, pp. 23-30, 2009.
- [3] L. Yin, W. Yang, Y. Guo, K. Ma, S. Li, M. Chen, J. Li, J. Zhang, "Multi-Chip Integrated High-Power White LED Device on the Multi-Layer Ceramic Substrate", Electronic Components and Technology Conference, pp. 790-794, 2008.
- [4] R. Mirhosseini, M. F. Schubert, S. Chhajed, J. H. Cho, J. K. Kim, and E. F. Schubert, "Improved color rendering and luminous efficacy in phosphor-converted white light-emitting diodes by use of dual-blue emitting active regions", OPTICS EXPRESS, 2009.
- [5] J. K. Sheu, S. J. Chang, C. H. Kuo, Y. K. Su, L. W. Wu, Y. C. Lin, W. C. Lai, J. M. Tsai, G. C. Chi, and R. K. Wu, "White-Light Emission From Near UV InGaN-GaN LED

- Chip Precoated With Blue/Green/Red Phosphors”, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, pp. 18-20, 2003.
- [6] J. H. Oh, J. R. Oh, H. K. Park, Y. G. Sung, and Y. R. Do, “New paradigm of multi-chip white LEDs: combination of an InGaN blue LED and full down-converted phosphor-converted LEDs”, OPTICS EXPRESS, A270-279, 2011.
- [7] H. S. Kim, Y. S. Kim, A. S. Choi, “A Study on the Subjective Evaluation of Color Appearance under the Different LED CCT Conditions”, Journal of the Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 25, No. 2, pp. 43-52, 2011.
- [8] K. Smet, W. R. Ryckaert, M. R. Pointer, G. Deconinck, P. Hanselaer, “Colour Appearance Rating of Familiar Real Objects”, COLOR research and application, pp. 192-200, 2011.
- [9] H. B. Kim, “Museum and Art Gallery Exhibition Lighting”, CA Press, 2004.
- [10] I. T. Kim, A. S. Choi, “Analysis on the Range of White Light according to MacAdam Ellipses Steps”, KIIE Autumn Annual Conference, pp. 108-109, 2012.
- [11] A. R. Son, I. T. Kim, A. S. Choi, “A Subjective Evaluation on Color Appearance According to different CCTs of LED Luminaires”, KIIE Spring Annual Conference, pp. 134-135, 2013.
- [12] K. H. Ryu, S. J. Park, O. Shin, “A Study on Preferable Colors in Korea’s Fashion Market - With a focus on recent three years (2005~2007) -”, Journal of Korean Society of Color Studies, Vol. 22, No. 3, pp. 65-78, 2008.
- [13] H. B. BARLOW, R. FITZHUGH AND S. W. KUFFLER, “DARK ADAPTATION, ABSOLUTE THRESHOLD AND PURKINJE SHIFT IN SINGLE UNITS OF THE CAT’S RETINA”, The Journal of physiology, pp. 327-337, 1957.

◇ 저자소개 ◇



심윤주 (沈琬珠)

1991년 12월 28일생 2013년 세종대 광전자 공학과 졸업. 현재 세종대 건축공학과 석사과정.



김인태 (金仁泰)

1985년 7월 27일생. 2010년 세종대 건축 공학과 졸업. 2012년 세종대 건축공학과 건축환경설비전공 졸업(석사). 현재 세종대 건축공학과 박사과정.



최안섭 (崔安燮)

1967년 10월 4일생. 1991년 한양대 건축 공학과 졸업. 1993년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명 시스템 전공 졸업(석사). 1997년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템 전공 졸업(박사). 현재 세종대 건축학과 교수. 본 학회 이사.