

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.3.29>

IIBC 2018-3-5

디스플레이에서 시지각 특성이 반영된 색상 속성 이동 현상 연구

A study on the colour properties movement phenomenon reflecting visual characteristics on display

홍지영*

Ji-Young Hong*

요 약 디스플레이에서 재현되는 디지털 색채는 다양한 색공간을 통해 이미지로 전달 될 수 있으며 이미지로 전달된 색채는 화질 평가 시 주관적인 요인 및 객관적 요인 모두를 포함해 가장 중요한 요소 중 한가지 이다. 그러므로 디지털 색채는 디스플레이 발전과 함께 지속적으로 객관적이며 정량적인 연구가 이루어 져야 하고 동시에 시지각 특성이 충분히 반영되어야 하므로 주관적 평가 역시 체계적이며 정량적인 연구가 공동으로 진행되어야 한다. 본 연구는 디스플레이에서 재현된 디지털 색채 속성 중 색상 속성의 이동 현상에 대해 알아보기 위해 배경의 밝기를 차등 적용하고 다양한 색채가 배경에 제시된 상태에서 색채 자극의 크기는 중심과 시각과 주변시 시각으로 구분하여 정신물리학 실험을 진행하였다. 실험을 통해 평가된 결과를 바탕으로 실험 자극으로 선정된 KS 기본 색상 중 5가지 색상의 색상 속성 이동 현상에 대해 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 따라 색상 속성 이동 현상을 규명하고 향후 디스플레이에서 재현하는 연구 방향에 대해 제안 하였다.

Abstract The digital colour reproduced on a display can be transferred to the image through various colour spaces, and the colour transferred to the image is one of the most important factors, among both subjective and objective factors, in image quality evaluation. Therefore, the digital colour must be continuously studied objectively and quantitatively along with the display development. At the same time, the subjective evaluation should be accompanied by systematic and quantitative research as the visual characteristics must be fully reflected. In this study, we applied different lightness levels of the background in order to examine the movement phenomenon of colour properties among the digital colour properties reproduced on the display. A psychophysical experiment was conducted for the condition where various colours were presented in the background, and the size of the colour stimulus was divided into the foveal vision and peripheral vision. Based on the evaluation results of the experiment, the colour properties movement phenomenon is identified according to the lightness of the background and the size of the colour stimulus for five colours among KS basic colours selected by experimental stimulus. Furthermore, a research direction to reproduce colour on displays in the future is proposed.

Key Words : Colour properties, Foveal vision, Peripheral vision, KS Colour, Display, Human visual perception

*정희원, 경민대학교 영상콘텐츠과(교신저자, 주저자)
접수일자: 2018년 4월 15일, 수정완료: 2018년 5월 15일
게재확정일자: 2018년 6월 8일

Received: 15 April, 2018 / Revised: 15 May, 2018

Accepted: 8 June, 2018

*Corresponding Author: placebo_joan@kyungmin.ac.kr

Department of Visual Contents, Kyung Min University, Korea

1. 서 론

최근 디스플레이는 대형화 및 고휘도 등 다양한 면에서 매우 향상된 성능을 갖고 있으며 색역이 보다 확장되어 선명한 화질구현이 가능하게 되었다^[1]. 현재 디스플레이 시장은 LCD가 주류를 이루고 있는 가운데 OLED가 기존 LCD를 대체해 나가는 상황이며 특히 모바일 폰을 비롯한 중소형 제품 시장에서 OLED의 LCD 대체는 보다 빠르게 전개되고 있다. 차세대 디스플레이로 부상하고 있는 Micro LED 디스플레이는 기존 LED와 비슷한 구조이나 기존 LED로 구현할 수 없는 휘어짐, 깨짐, 경량화 등을 극복할 수 있고 전력 효율이 OLED의 5배에 이르는 것으로 평가 받고 있다. 가상현실(VR) 및 증강현실(AR) 등 새로운 기술 시장에서 큰 문제점 중 하나인 모션 시크니스(Motion Sickness)에 대응하기 위해 선명하고 빠른 응답속도의 디스플레이가 필요한 실정이다. 이 사실은 기존의 디스플레이가 차세대 디스플레이에 해당하는 Micro LED로 전환됨에 따라 인간의 색채 정보에 대한 인지행태도 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 색채 속성은 크게 세 가지로 구분될 수 있으며 일반적으로 사람의 시지각은 휘도에 민감하다는 이론적 배경을 갖고 있다^[2]. 인간 시각은 휘도의 차이가 크게 나는 자극물에 대해 같은 색채를 가지더라도 휘도에 의한 시세포의 민감도 변화에 따라 두 색채를 다르게 인지하게 되는 특성을 가지고 있다. 이에 따라 디스플레이 산업에서는 다양한 디스플레이에서 보다 정확한 색채 재현과 향상된 화질을 구현하기 위해 많은 관심을 가지고 있다. 이러한 요구 충족적인 측면에서 물리적 크기에 따라 컬러 어피어런스가 어떻게 달라지는가에 대한 근본적인 디지털 색채 연구가 필요하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 연구의 근본적인 연구 대상 주체인 시지각 특성을 기반으로 제 2장에서는 시지각 특성이 반영된 색채 지각 속성에 대해, 제 3장에서는 본 연구에서 진행된 구체적인 실험 방법에 대해 기술하였다. 제 4장에서는 도출된 실험 결과를 기반으로 실험 결과를 분석하였으며 끝으로 제5장에서는 결론 및 제언에 대해 기술하였다.

II. 시지각 특성

임의의 파장을 갖는 단색광(Monochromatic light)과

백색광(White light)을 가법혼합하면, 혼합 색은 색도에 서 단색광 좌표와 백색광 좌표를 잇는 직선상의 한 점에 해당하는 좌표를 가질 수 없으며 일정 색상(Constant Hue)을 유지하지 못하는데 이러한 현상을 에브리 효과라고 한다^[3]. 즉 색의 파장이 같아도 채도가 달라지면 색채가 다르게 보이며 채도가 달라진 해당 색채는 주변 인접색으로 기울어 보이는 현상이라고도 할 수 있다. 에브리 효과는 추상체에서 에너지의 흡수가 이루어진 후 시각 처리 시스템 상에서 비선형 처리가 이루어진다는 것을 의미한다. CIE 색체계 시스템에서 Y는 휘도 또는 휘도의 계수를 나타내고자 할 때 사용되며 Y는 지각되는 밝기(Perceived Brightness)임을 가정하고 있지만 이것은 잘못된 예라고 할 수 있다. 이를 증명하는 것이 바로 헬름홀츠 콜라우슈 효과이다^[4].

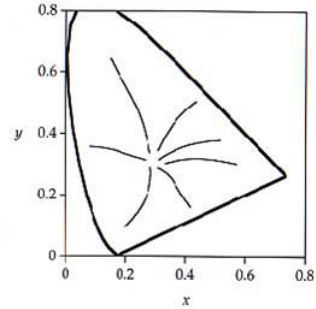


그림 1. 에브리 효과
Fig. 1. Abney Effect

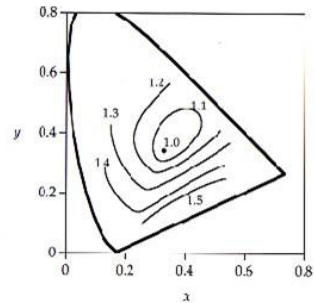


그림 2. 헬름홀츠 콜라우슈 효과
Fig. 2. Helmholtz-Kohlrausch Effect

그림 2 에서 보이는 바와 같이 고정된 휘도에서 백색점에 상대적인 색도의 밝기를 나타내며 이 곡선은 색상 에 대해 독립적이며 포화도(Saturation)가 증가함에 따라 밝기가 증가한다는 것을 의미한다. 즉 채도가 높아질수록 더욱 밝아 보인다는 시지각적 효과를 의미한다.

또한 색채 자극은 주변 관찰자 환경뿐만 아니라 색채

자극물 자체에 따라서도 다르게 인지 될 수 있다. 이러한 색채 자극 자체를 인지하기 위한 환경 조건 중 하나로, 시각영역은 그림 3 과 같이 정의되어 있다^[6]. 색채 자극 (Colour Element)은 일반적으로 약 2° 시야각을 갖는다고 정의하며 중심부 영역(Proximal Field)은 색채 자극이 위치한 영역의 가장자리에서 2° 연장된 범위의 영역을 의미한다. 배경(Background)은 중심부 영역의 가장자리에서 약 10° 연장된 범위의 영역을 의미하고 주위환경(Surround)은 배경으로 정의된 영역 외 나머지 영역을 의미한다. 순응범위(Adapting Field)는 색채 자극의 모든 환경적 요소를 포함한다. 관찰 환경에서 사용하고자는 빛의 강도나 색도, 자극의 측색 방법, 관찰거리, 각도 등 모두 중요한 요인이므로 색채 지각관련 실험 평가 시 충분히 고려하여야 한다.

위와 같이 색채는 주변의 다양한 환경적 요소와 색채 속성 각각의 특성에 따라 동일한 색채임에도 불구하고 다르게 지각되는 현상이 발생함을 알 수 있다.

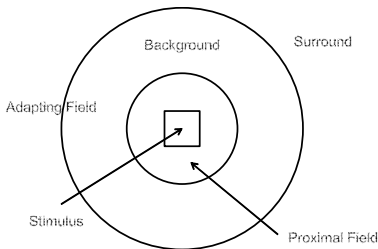


그림 3. 컬러 어피어런스에서 정의된 시야 체계
 Fig. 3. Visual field defined in colour appearance

III. 실험 방법

기존 선행 연구에서는 색채 속성 중 색상 속성에 대해 다양한 연구 결과가 도출되었다. 특히 비전 분야에서는 Blue와 Green영역에 해당하는 경우 색채 자극의 크기가 증가할수록 장과장 계열로 색상이 이동되어 보인다는 연구 결과도 있었다. 색채 과학 분야에서는 Yellow와 Blue 영역에서 색상 속성 이동 현상을 발견하는 등, 색상 속성에 대해 다양한 연구결과가 도출되었다^[6,7].

색상 속성에 대한 색상 속성 이동 현상 관련 실험은 모두 인쇄된 매체를 통하여 이루어진 결과이거나, 본 연구에서 가장 중요한 변수로 고려한 배경의 밝기 및 자극의 크기가 제어되지 않은 상태에서 실험을 진행하였기

때문에 본 연구에서는 다양한 환경과 조건에서 발생 할 수 있는 색상 속성 이동 현상에 대해 알아보고자 실험을 설계 하였다. 디스플레이에 입력되는 영상의 특성상 다양한 색채가 동시에 입력된다는 가정 하에 먼셀 색채를 이용하여 다양한 배경 색채를 구성하여 실험하고, 배경의 크기에 따라 KS색채를 대상으로 배경의 밝기 변화, 색채 자극의 크기가 변화됨에 따라 색상 속성 이동 현상이 발생하는지 알아보고자 한다. 색상 속성 이동 현상을 알아보기 위해 먼셀 색채를 대상으로 설계된 실험은 다음과 같다. 실험에 사용하고자는 디스플레이의 색역에 위치한 먼셀 40가지 색채를 배경으로 랜덤 하게 배치하여 다양한 색채가 배경으로 존재한 상태에서 배경의 밝기는 2단계로 나뉘어 실험을 진행하였다. 선정된 배경 색채는 실험용 디스플레이 색역에 포함되는 유채색 40가지와 무채색에 해당하는 하양과 검정 두 가지를 포함하여 총 42가지 색채이며 사용된 배경 색채의 삼자극치는 표 1 과 같다.

표 1. 색상 속성 이동 실험에 사용된 배경 색채의 XYZ
 Table 1. XYZ of background colour used in the colour properties movement experiment

no.	X	Y	Z	no.	X	Y	Z
1	26.7	20.0	86.7	21	51.4	40.0	22.9
2	50.0	30.0	120.0	22	68.6	50.0	24.3
3	46.0	40.0	114.0	23	70.5	60.0	19.5
4	67.5	50.0	132.5	24	36.5	50.0	17.7
5	64.8	60.0	115.2	25	23.2	40.0	16.8
6	60.0	50.0	90.0	26	20.3	30.0	24.8
7	42.7	40.0	50.7	27	15.2	20.0	25.5
8	43.6	30.0	62.7	28	15.7	20.0	35.7
9	28.0	20.0	32.0	29	24.0	30.0	31.7
10	33.6	20.0	37.3	30	40.0	40.0	34.3
11	43.9	30.0	33.2	31	46.3	50.0	25.6
12	67.2	40.0	52.8	32	61.5	60.0	24.9
13	73.3	50.0	43.3	33	42.6	50.0	13.8
14	98.6	60.0	55.7	34	24.6	40.0	12.3
15	89.3	50.0	39.3	35	24.1	30.0	19.0
16	62.5	40.0	22.5	36	11.5	20.0	11.1
17	39.0	30.0	6.0	37	26.4	40.0	24.5
18	31.4	20.0	5.7	38	25.9	50.0	16.7
19	34.8	20.0	9.7	39	44.0	60.0	29.3
20	35.3	30.0	22.9	40	36.0	30.0	34.0

표 2. 실험에 사용된 색채 자극의 크기
 Table 2. The size of the colour stimulus used in the experiment

시야각(°)	색채 자극의 크기(cm)
2°	1.75(cm)
20°	18.19(cm)

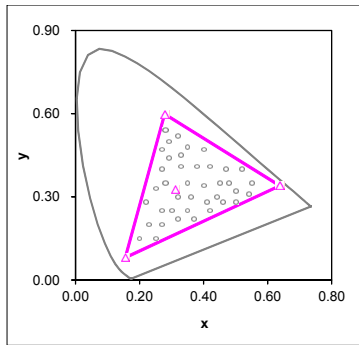


그림 4. 실험에 사용된 배경 색채의 분포
Fig. 4. Distribution of background colour used in the experiment

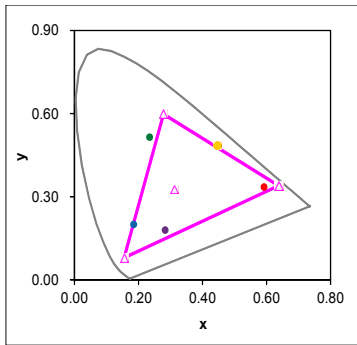


그림 5. 기존 KS 색채 자극
Fig. 5. Existing KS colour stimulus

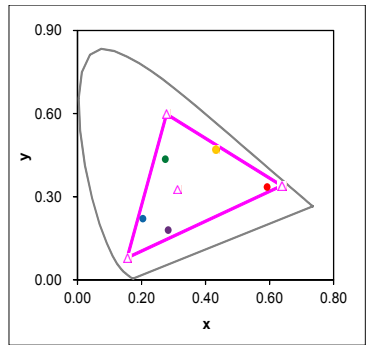


그림 6. 색역안으로 이동된 KS색채 자극
Fig. 6. KS colour stimulus moved into colour gamut

다양한 배경 색채로 사용된 면셀 색채는 실험에 사용하고자 하는 디스플레이 색역 전체에 분포되어 있음을 알 수 있으며 디스플레이 색역에 위치한 xy색도에서 분포는 그림 4 와 같다. 면셀 색채를 배경으로 밝기에 따른 색상 속성 이동 관련 실험에 사용된 색채 자극의 크기는 표 2 와 같다.

그림 5 는 색채 자극으로 사용된 KS색채로서 색상 속성 이동 실험 시 사용된 색채 분포이다. KS색채 중 5가지 색상인 빨강, 노랑, 초록, 파랑, 보라 가운데 노랑, 초록, 파랑의 경우 실험에 사용하고자 하는 디스플레이의 색역 밖에 위치한 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 면셀 색채를 기본적으로 사용하였으나, 면셀 색채 외에 표준으로 사용되고 있는 KS색채를 사용하여 실험 색채 사용의 다양성을 바탕으로 실험을 진행하고자 한다.

색역 밖에 위치한다는 의미는 사용하고자 하는 디스플레이에서 설정된 색채를 재현할 수 없다는 것을 나타내므로 사용하고자 하는 KS색채를 재현하고자 하는 디스플레이 색역 안으로 이동한 후 색역 내의 위치를 알아 보았다. 그림 6 에서 보이는 바와 같이 노랑, 초록, 파랑을 실험에 사용하고자 하는 디스플레이의 색역 안으로 이동한 후 이동된 색채를 포함하여 실험 대상 자극으로 선정하였다. 디스플레이 색역 내로 이동된 색채는 원본 색채와 가장 유사할 수 있는 재현 범위 안에서 설정되었다.

실험 방법은 다음과 같다. 다양한 면셀 색채가 배경으로 존재하고, 이에 따라 배경의 밝기는 두 가지 종류로 제시되며 제시된 배경의 밝기에 따라 KS색채 자극인 20° 크기의 색채 자극을 관찰한 후 목표 색채 자극인 2° 자극의 색채 속성을 각각 조정하여 원본 색채 자극과 동일하게 설정하도록 하는 컬러 매칭 실험 방법을 사용 하였다.

그림 7 에서 보이는 바와 같이 다양한 색채가 배경으로 존재한 상태에서 좌측의 KS색채 자극을 보고 우측 목표 자극의 색채 속성 각각에 대해 슬라이드 바를 이용하여 피험자가 직접 제어하도록 하였다.

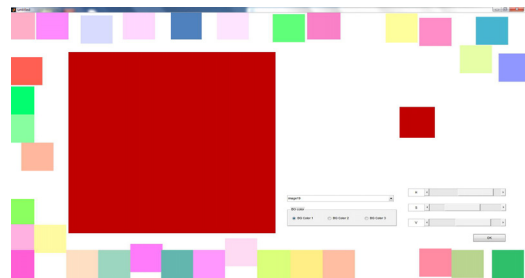


그림 7. 다양한 색채가 배경으로 구성된 색상 속성 이동 현상 관련 실험 환경
Fig. 7. Experimental environment related to colour properties movement phenomenon with various colours composed as the background

사용된 배경의 밝기는 CIECAM02 J의 0과 100으로 지정되었으며 주어진 배경의 밝기 상태에서 랜덤하게 제시된 5가지 색채 자극(KS 색채 자극)에 대해 색채 속성 각각을 제어하여 2° 크기의 목표 자극에 재현하도록 하였다. 실험 시 디스플레이와 시청 거리는 50cm로 실험 조건을 유지하였으며 실험 전 이시하라 테스트를 통해 정상 시각을 갖춘 10명의 피험자(남 5명, 여 5명)를 대상으로 실험을 진행하였다. 피험자는 충분한 시간을 두고 색채 속성 각각에 대해 조정할 수 있도록 시간적 여유를 갖게 하였으며 실험 전 압실 환경에 대해 적응 할 수 있도록 약 5분간 충분한 순응이 이루어진 후 실험을 진행 하였다.

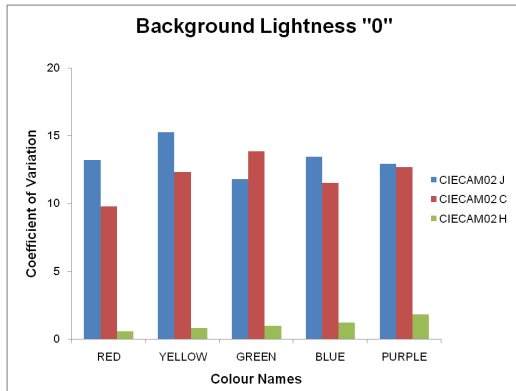


그림 8. 배경의 밝기가 0인 경우 색채 속성 변동 계수
 Fig. 8. Colour properties variation coefficient when the lightness of the background is 0

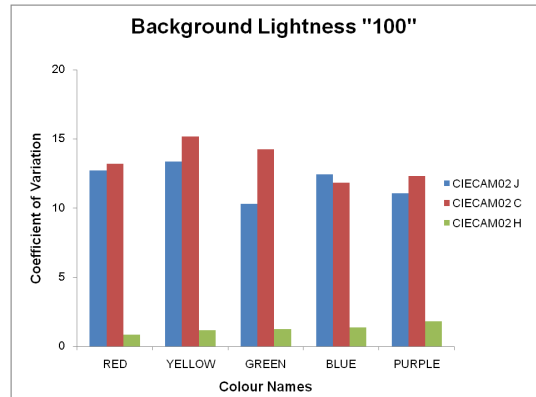


그림 9. 배경의 밝기가 100인 경우 색채 속성 변동 계수
 Fig. 9. Colour properties variation coefficient when the lightness of the background is 100

IV. 실험 결과 분석

실험 진행의 용이성을 위해 사용된 색공간은 HSV 색공간으로, 피험자가 색채 속성 각각에 대해 제어할 수 있도록 하였으며 피험자가 제시된 KS색채 자극과 동일하다고 인지한 후 조절된 색채는 실험에 사용된 디스플레이의 특성이 반영된 XYZ로 변환하여 분석하였다. 변환된 XYZ는 디스플레이 물리적 특성값이 반영된 CIECAM02로 변환하여 각각의 색채 속성을 비교할 수 있도록 하였다.

실험 결과는 변동계수를 통해 데이터의 경향성을 분석하였으며 식(1)과 같다.

$$CV = (100/\bar{Y}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - fY_i)^2 / n} \quad (1)$$

$$f = \frac{\sum (X_i Y_i)}{\sum X_i^2}$$

n은 X와 Y의 데이터 수를 의미하며 \bar{Y} 는 Y데이터의 평균을 나타내고, f는 척도 인자(Scaling factor)를 의미한다. 만약 X와 Y가 같은 척도인 경우 f는 1과 같으며 X와 Y가 같은 척도를 사용한 경우, 위의 수식을 사용한다. X와 Y가 동일한 경우, 변동계수는 0이며 그렇지 않은 경우 변동계수의 값은 크게 나타난다. 변동계수는 두 집단의 절대 차이를 의미하는 평균 제곱근 오차이며 다른 하나는 평균값이라 할 수 있다. 그러므로 두 집단 데이터 사이의 절대 차이를 백분율로 나타내는 값을 의미한다.

다양한 먼셀 색채를 배경으로 색상 속성 이동에 대해 실험한 결과 색채 속성 각각에 대한 변동계수는 그림 8, 그림 9와 같으며 이와 관련된 상세 데이터는 표 3 과 같다.

표 3. 배경의 밝기 변화에 따른 색채 속성 각각의 변동계수
 Table 3. The variation coefficient of each colour property according to the lightness change in the background

BG	no	KS색명	J	C	H
0	1	빨강	13.22	9.81	0.59
	2	노랑	15.28	12.34	0.82
	3	초록	11.83	13.88	0.99
	4	파랑	13.47	11.53	1.23
	5	보라	12.95	12.71	1.86
100	1	빨강	12.73	13.21	0.84
	2	노랑	13.35	15.17	1.17
	3	초록	10.29	14.26	1.24
	4	파랑	12.42	11.84	1.36
	5	보라	11.08	12.32	1.82

표 3 에서 BG는 배경의 밝기를 나타내며, J는 색채 자극의 밝기(Lightness), C는 채도(Chroma), H는 색상(Hue)속성을 각각 의미한다. 다양한 색채를 배경으로 두 가지 종류의 밝기에서 2°와 20°의 색채 자극 크기를 비교하여 색채 속성을 조절하였을 때 밝기와 채도의 변동계수는 중심과 시각과 주변시각에서의 변동계수와 유사한 결과가 도출되었다. 또한 색상 속성 이동을 알아보기 위해 분석된 색상 속성은 다른 색채 속성에 비해 변동계수가 매우 적다는 결과를 얻을 수 있었으며, 이는 색채

자극의 크기와 배경의 밝기, 그리고 주변 배경에 다양한 색채가 색상을 인지하는데 영향력이 매우 적다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

V. 결론

차세대 디스플레이로 전환됨에 따라 색역의 확장 및 디스플레이의 크기 변환으로 인해 인간의 색채 정보에 대한 인지행태도 달라질 수 있기에 이에 따른 객관적인 논의가 요구되고 있다. 본 연구에서는 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 따라 동일한 색채임에도 불구하고 색채 속성 중 색상 속성 이동 현상에 대해 알아보고자 정신물리학적 실험을 진행하였다. 이에 대한 주요결과를 나타내면 다음과 같다. 실험에 사용하고자하는 디스플레이 색역 안에 존재하는 40가지 다양한 면셀 색채를 배경으로 제시하고, 배경의 밝기는 두 가지 종류로, 실험에 사용된 색채 자극으로는 KS 기본 색채 5가지를 대상으로 실험을 진행하였다. 실험 결과, 밝기 및 채도 속성은 선행 연구에서 제시된 중심과 시각과 주변시 시각에서의 변동계수 경향성과 유사한 것을 알 수 있었으며 색상 속성에 대한 변동계수는 변화가 거의 없다는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 특정 색상에서의 색상 속성 이동 현상이나 특정 색상에 대해 어떠한 경향성이 도출되지 않았다. 이는 배경의 밝기, 색채 자극의 크기 그리고 배경에 다양한 색채가 동시에 제시되더라도 색상 속성을 인지하는데 있어서 특정한 영향력이 작용하지 않음을 알 수 있었다. 향후 연구에서는 선행 연구에서 도출된 실험 결과를 바탕으로, 중심과 시각과 주변시 시각에서 배경의 밝기 변화와 색채 자극의 크기 변화에 대해 색채를 어떻게 인지하는가에 대한 수학적 모델을 통계적인 방법을 통해 설계하고 이에 대한 실증 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] Wyszecki G, Stiles WS., Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd edition, 2000.
- [2] Weale, R. A., "When red turns to green," Nature, 201, 661-663, 1964.

DOI:https://doi.org/10.1038/201661a0

- [3] Miyoshi A., Takehiro N., Peter K. K., "Constant hue loci of unique and binary balanced hues at 10, 100, and 1000 Td", Journal of the Optical Society of America A, Vol. 4, Issue. 6, pp. 1136-1144, 1987. DOI:https://doi.org/10.1364/josaa.4.001136
- [4] Yoshinobu N., "Simple estimation methods for the Helmholtz-Kohlrausch effect", Color Research and Application, Vol. 22, Issue. 6, pp. 385-401, 1997. DOI:https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6378(199712)22:6<385::aid-col6>3.0.co;2-r
- [5] Fairchild M. D., "Color Appearance Models", New York, Addison-Wesley, 1998.
- [6] J.Y. Hong, Y.S. Park, "Comparative Study of Colour Recognition According to Background Lightness and Stimulus Size", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 15, No. 6, pp. 61-70, 2015. DOI:https://doi.org/10.7236/jiibc.2015.15.6.61
- [7] J.Y. Hong, Y.S. Park, "A Comparison Study of Colour Perception considering Peripheral Vision on DisplayDevice", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 16, No. 1, pp. 33-42, 2016. DOI:https://doi.org/10.7236/jiibc.2016.16.1.43

저자 소개

홍 지 영(정회원)



- 2001년 : Sydney University, Multimedia Design 석사
- 2017년 : 홍익대학교 디자인·공예 색채학 박사
- 2004년 ~ 2013년 : 삼성종합기술원, Multimedia Lab., 전문연구원
- 2015년 ~ 현재 : 경민대학교 영상콘텐츠과 조교수

<주관심분야 : 색채, 시지각, 영상처리, 디스플레이>