

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.2.19>

JIIBC 2018-2-3

주변시 시각에서 색채 자극과 배경의 밝기에 따른 컬러 어피어런스 연구

A Study on Colour Appearance along the Variance of Colour Stimulus and Background Lightness at Peripheral Vision

홍지영*

Ji-Young Hong*

요약 디지털 색채를 통한 화질향상을 위해서 디지털 색채에 대한 과학적이고 체계적인 접근이 필요하며, 그에 따라 객관적인 논의가 요구되고 있다. 특히 미디어 환경에서 시각적 특성을 반영한 디스플레이 관련 연구 및 이를 통해 추진되고 있는 국제 표준안 등이 영향력을 증명하고 있는 가운데, 화질 평가 시 중요한 요소 중 하나인 색채에 대한 중요도는 사실상 디스플레이의 전반적인 화질을 평가하는데 있어서 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 본 연구는 미디어 환경에서 시각적 특성을 반영한 디지털 색채 재현을 목적으로 주변시 시각 영역 특성에서 색채 속성 관련 연구를 진행하였다. 정신물리학 실험을 통해 평가된 결과를 바탕으로 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 따른 디지털 색채 특성을 찾고자 하였으며 색채 자극의 크기가 증가됨에 따라 주변시 시각 특성을 규명하고 디스플레이에서 재현하는 방법에 대해 제안 하였다.

Abstract A scientific and systematic approach for digitally representing colours is essential for improving image quality. Therefore, there is a need for objectively analysing such approaches. Studies regarding display systems, which can reflect human visual characteristics in the digital media environment, and associated international standards at the forefront, have already caused significant impact. Colour is one of the most important factors employed for evaluating the overall image quality of displays. The proposed study focusses on colour properties which are based on the characteristics of the human peripheral vision area, with the primary objective of reproducing digital colours which can simulate human visual characteristics in the digital media environment. The proposed study aims at identifying digital colour characteristics which can vary according to the level of background lightness and the size of colour stimuli. Based on the evaluation results obtained through psychophysical experiments, a method has been proposed for determining peripheral vision characteristics which vary according to the increasing size of a colour stimulus, thereby digitally reproducing them on displays.

Key Words : Peripheral colour vision, Size effect, Display, Colour appearance, Human visual perception

*정희원, 경민대학교 영상콘텐츠과 조교수(교신저자, 주저자)
접수일자: 2018년 2월 28일, 수정완료: 2018년 3월 28일
게재확정일자: 2018년 4월 6일

Received: 28 February, 2018 / Revised: 28 March, 2018

Accepted: 6 April, 2018

*Corresponding Author: placebo_joan@kyungmin.ac.kr

Assistant Professor, Department of Visual Contents, Kyung Min University, Korea

I. 서론

컬러 사이즈 효과(Colour Size Effect)는 컬러 어피어런스 현상의 하나로써 동일한 색채임에도 불구하고 색채 자극의 크기가 다르기 때문에 동일하지 않게 인지되는 것을 말한다. 이 현상은 광수용기(Photoreceptors), 즉 색채를 인지하는 추상체와 빛에 민감한 간상체가 망막에 일정한 밀도로 분포되어 있지 않음으로써 발생할 수 있다. 자극의 크기가 큰 경우, 시야(Viewing field)가 망막의 중심에서 벗어나 중심와(Foveal) 그리고 중심와 주변시(Parafoveal colour vision)에서 점차적으로 벗어나게 된다. 중심와 주변시의 경우 약 15~20자 정도의 글자수에 해당되는 범위를 볼 수 있는 시야각을 의미하며 주변시(Peripheral colour vision)의 경우 10°의 시야각 범위에서 벗어난 경우에 해당한다고 정의할 수 있다.[1] 주변시에 해당할수록 세 가지 종류의 추상체 밀도는 점차 감소하며 간상체가 주로 활동하고 있는 영역이라고 할 수 있다.[2] CIE에서는 자극의 크기에 해당하는 2°와 10°에 대한 표준안을 제안하고 있으나 크기가 큰 자극에 해당하는 표준안은 현재 없는 상황이다. 또한 색채를 사람 눈에 보이는 그대로 기술하는 것으로 발전된 컬러 어피어런스 모델의 경우 마찬가지로 크기가 큰 자극에 대한 연구 및 표준안이 제시되어 있지 않은 상황이라고 할 수 있다. 현재 CIE에서 제안하고 있는 TC 1-68 컬러 어피어런스에서 자극 크기의 영향(TC 1-68 Effect of Stimulus Size on Colour Appearance)의 경우, 무채색 배경에서 작은 크기의 자극에 해당하는 2°부터 큰 크기의 자극에 해당하는 20°까지 자극의 크기에 따른 컬러 어피어런스를 연구하고 있는 실정이다.[3]

최근 가정용 디스플레이 사이즈는 홈시어터 개념으로 대형화되는 추세이며 개인용 디바이스에 해당하는 모바일 디스플레이의 경우 다양한 디스플레이 사이즈로 소비자의 니즈에 적합하도록 출시되고 있다. 이에 따라 디스플레이 산업에서는 다양한 크기의 디스플레이에서 보다 정확한 색채 재현과 향상된 화질을 구현하기 위해 많은 관심을 가지고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 물리적 크기에 따라 컬러 어피어런스가 어떻게 달라지는가에 대한 연구가 필요하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 시지각 특성이 반영된 컬러 어피어런스에 대해, 제 3장에서는 본 연구의 구체적인 실험 방법과 제 4장에서는 도출된 실험

결과에 대해 기술하고 끝으로 제 5장에서 결론 및 제언에 대해 기술하였다.

II. 컬러 어피어런스 현상

일반적인 시각적 현상으로 알려진 컬러 어피어런스 현상은 일정한 관찰 환경의 측색학 분야에서 제공되는 자극물에 대한 수치만으로는 시각적 특성을 표현할 수 없다는 것을 증명하였다.[5]

헌트 효과는 휘도에 따른 선명도가 증가되는 현상, 스티븐스 효과는 휘도에 따라 대비가 증가하는 현상을 의미한다.[4] 그림 1의 그래프는 휘도가 증가함에 따라 선명도가 증가되는 것을 나타내며, 그림 2의 그래프는 휘도가 증가함에 따라 밝기(Lightness, Brightness) 대비가 증가하는 현상을 나타낸다. 헌트 효과와 스티븐스 효과는 컬러 어피어런스 모델에서 휘도 단계의 중요성을 입증한 계기라고 할 수 있으며 시지각이 빛의 밝기에 민감한 사례 중 하나이다.[6]

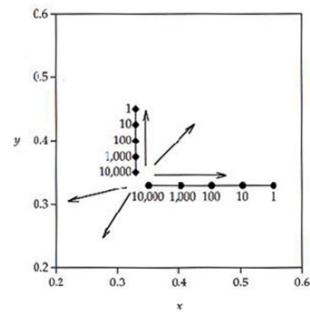


그림 1. 헌트 효과
Fig. 1. Hunt Effect

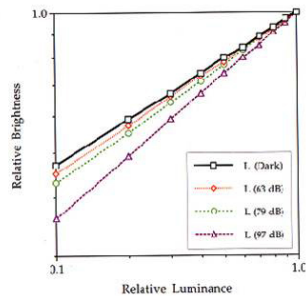


그림 2. 스티븐스 효과
Fig. 2. Stevens Effect

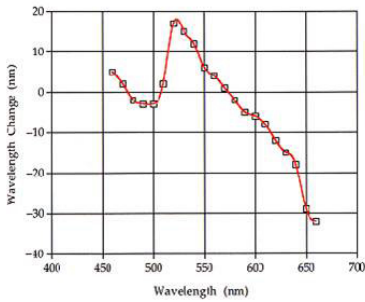


그림 3. 베졸드 브뤼케 현상
 Fig. 3. Bezold-Br ke phenomenon

색상은 단색 빛의 과장으로부터 정의 될 수 있다고 일반적으로 가정한다. 베졸드 브뤼케 색상 이동 현상은 위의 가정이 틀리다는 것을 입증한 사례이다. 휘도 (Luminance)가 변함에 따라 관찰되는 자극이 본래의 색상을 유지하지 않고 이동 되는 것을 의미하며 이를 베졸드 브뤼케 색상 이동 현상이라 한다.[7]

그림 3 은 피디의 연구 결과를 나타내며 휘도가 10씩 감소할 때마다 색상을 상수로 유지하기 위해 필요한 과장의 변화를 나타내는 것이다. 예를 들어 주어진 휘도 환경 하에서 650nm에 해당하는 색상을 대응하기 위해 -30nm를 이동하여 620nm의 빛이 필요하다는 것이다. 피디의 연구 결과는 기존의 가정에 대립되며 컬러 어피어런스를 예측하기 위해 절대 휘도 단계(Absolute luminance level)가 고려되어야 한다는 것을 나타낸다. 위와 같은 컬러 어피어런스 관련 많은 연구 활동이 현재 까지 이루어지고 있으며 인간의 시각 특성은 다양한 주변 환경에 대해 영향을 받고 이를 수행하기 위해 병렬적으로 작동한다는 것을 알 수 있다.

III. 실험 방법

본 연구에서는 인간의 시지각이 밝기 속성에 가장 민감하다는 특성을 바탕으로 주변시 시각 영역을 대상으로 하여 색채 자극의 크기에 따른 색채 인지의 차이뿐만 아니라 배경의 밝기 또한 색채를 인지하는 또 다른 변수 일 것이라는 가정아래 실험 계획을 설정하였다.

실험 방법은 발광용 디스플레이에서 원본 색채 (Reference colour)와 목표 색채(Target colour)를 비교하여 목표 색채를 원본 색채와 동일하게 조절하는 방법인 컬러 매칭 방법을 이용하였다. 피험자들에 의해 조절된

목표 색채의 R, G, B 값들은 PLCC model 을 사용하여 CIE XYZ 삼자극치 값들로 유추하고 유추된 CIE XYZ 삼자극치 값들을 CIECAM02 로 변환하여 색채 인지 속성을 각각 분리한 후 각 속성의 특성을 비교 분석 하였다. 실험에 사용된 디스플레이는 X-Rite i1 Pro2를 사용하여 D65 환경으로 교정 및 특성화 작업을 완료한 후 모든 실험에 사용 하였다.

총 90 가지의 면셀 색채를 사용하였으며 사용된 면셀 색채의 분포는 색상에 해당하는 면셀 H, 밝기에 해당하는 면셀 V와 채도에 해당하는 면셀 C의 분포도를 다양하게 구성하여 실험을 진행하였다. 실험 자극 색채 선정 시, 밝기와 채도의 경우 색채 인지에 어려움을 느낄 수 있는 무채색 계열에 해당하는 데이터는 제외하였으며 면셀 데이터의 주요 10색상을 모두 포함한 상태의 데이터를 사용하였다. 또한, 면셀 색채의 특성에 의하면 모든 색상이 각기 다른 채도와 밝기 범주를 갖고 있기 때문에 선정된 면셀 주요 10색상 각각의 범주 안에서 모두 포함되는 범위의 채도와 밝기가 존재할 수 있도록 선정하였다.

표 1 은 면셀 데이터의 기본 광원으로 사용된 C광원과 표준 광원인 D65광원의 XYZ값을 나타낸다. 즉, 면셀 데이터 값은 C광원의 값이 반영된 XYZ값이므로 D65 광원이 적용된 XYZ값으로 변환하기 위해 사용된 XYZ 파라미터라고 할 수 있다.

표 1. C광원 및 D65광원의 XYZ 파라미터

Table 1. XYZ parameters of a C light source and a D65 light source.

XYZ	C	D65
X_{wr}	98.07	95.04
Y_{wr}	100.00	100.00
Z_{wr}	118.25	108.88

표 2 는 주변시 시각에 사용된 색채 자극의 크기를 나타낸 것이다.

표 2. 실험에 사용된 색채 자극의 크기

Table 2. Specification of the colour stimulus employed in the proposed experiments.

10°	15°	20°	25°	30°
8.82 cm	13.40 cm	18.20 cm	23.32 cm	28.87 cm

피험자는 각각의 색채 자극에 대해 주어진 원본 색채 자극과 목표 색채 자극이 같도록 HSV 색공간에서 색채 속성 각각을 직접 제어하였다.

디스플레이와 피험자간의 시정 거리는 50cm로 고정 하였으며 시각 이상 유무 판단을 위해 이시하라 테스트를 진행하여 정상 시각을 갖춘 20명의 피험자(남 10명, 여 10명)를 대상으로 암실에서 실험을 진행 하였다. 실험 시 고정된 눈높이를 제시하여 발생할 수 있는 시각적 오류를 최대한 줄이도록 하였다. 배경으로 사용된 밝기의 경우 배경의 밝기와 색채 자극과의 상관관계를 보다 명확히 알 수 있도록 가장 어두운 값에 해당하는 디지털 값인 0(CIECAM02 J=0)과 가장 밝은 값에 해당하는 255(CIECAM02 J=100)인 두 가지 경우에 대해 실험을 진행하였다.

실험 과정은 다음과 같다. 피험자는 배경의 밝기를 먼저 선택하고 선정된 90개의 면셀 색채 각각에 대해 H(Hue), S(Saturation), V(Value)에 해당하는 색채 속성에 대해 슬라이드 바를 이용하여 원본 색채 자극과 동일하게 보이도록 목표 색채 자극을 제어하였다.

피험자는 충분한 시간을 두고 색채 속성 각각에 대해 조정할 수 있도록 시간적 여유를 갖게 하였으며 실험 전 암실 환경에 대해 적응 할 수 있도록 약 5분간 충분한 순응이 이루어진 후 실험을 진행 하였다. 배경의 밝기가 변경될 때도 동일하게 주변의 밝기에 적응할 수 있도록 순응시간을 적용하여 배경의 밝기 변화에 대해 어떠한 불쾌감을 갖지 않도록 진행하였다.

IV. 실험 결과 분석

실험에 사용된 색공간은 피험자가 직접 색채 속성 각각을 용이하게 조절할 수 있도록 색채 속성이 분리된 HSV 색공간을 사용 하였다.

색상, 명도, 채도가 각각 분리된 색공간 하에서 색채를 제어할 수 있도록 한 후, 실험을 통해 얻어진 데이터는 실험에 사용된 디스플레이 특성이 반영된 XYZ로 변환하여 실험분석에 사용되었다. 입력 색채 자극인 면셀 색채의 원본 데이터는 C광원을 반영한 데이터($X_{CM}Y_{CM}Z_{CM}$)이며 이를 표준 광원인 D65가 적용된 XYZ로 변환한 후($X_{65M}Y_{65M}Z_{65M}$) 고정된 디스플레이의 특성을 반영한 디지털 값인 $R_dG_dB_d$ 로 변환한다. 피험자가 용이하게 색채

속성 각각을 제어할 수 있도록 HSV 색공간으로 변환하여 피험자가 제시된 색채 자극과 동일하다고 인지하는 입력 데이터 $R_dG_dB_d$ 를 출력 값인 $X_dY_dZ_d$ 를 통해 CIECAM02로 변환하여 분석하였다.

실험 분석을 위해 사용된 CIECAM02는 색채 인지에 영향을 주는 외부 요소까지 고려한 색 표현 기준이며 시각적 색채 인지를 수치화 할 수 있는 지표으로써 국제 조명 위원회에서 제시하고 있는 시각 특성이 반영된 가장 진보된 표준 색 공간이라 할 수 있다. 실험 결과 분석을 위해 사용된 변동계수는 평균에 대한 표준편차의 비율을 의미하며, 두 집단 사이의 데이터 변화 정도를 평가하는데 유용하다. 변동계수 관련 수식은 식(1)과 같다.

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

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

n 은 X 와 Y 의 데이터 수를 의미하며 \bar{Y} 는 Y 데이터의 평균을 나타내고, f 는 척도 인자(Scaling factor)를 의미한다. 만약 X 와 Y 가 같은 척도인 경우 f 는 1과 같으며 X 와 Y 가 같은 척도를 사용한 경우, 위의 수식을 사용한다. X 와 Y 가 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.

주변시 시각에 대한 밝기와 채도의 변동계수는 표 3, 표 4 와 같다. 밝기 속성의 경우 배경의 밝기가 어두운 경우 변동계수가 증가된 것을 알 수 있으며, 색채 자극의 크기가 증가함에 따라 변동계수도 증가함을 알 수 있다.

채도 속성의 경우 배경의 밝기에 따른 차이를 크게 나타내지 않고 있으며 색채 자극의 크기가 증가할수록 변동계수가 증가되는 경향성을 나타냈다. 단, 색채 자극의 크기가 최대 크기인 30°에서는 배경의 밝기가 밝은 경우 변동계수의 값이 가장 크다는 것을 알 수 있다.

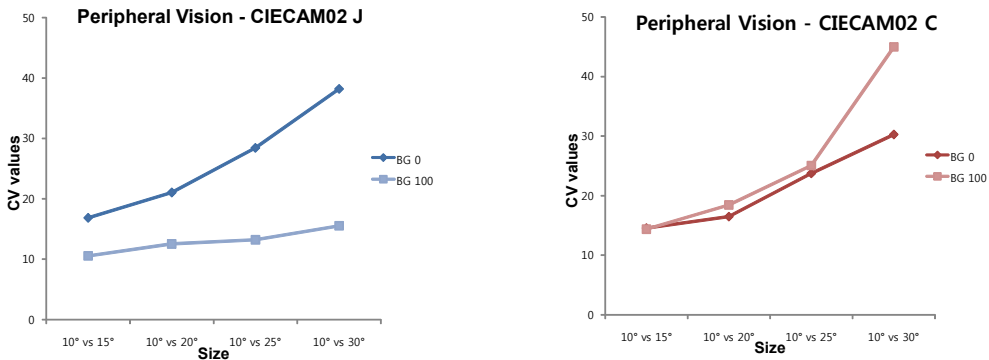


그림 4. 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 따른 밝기 속성(좌)과 채도속성(우)의 변동계수 결과 그래프
 Fig. 4. Coefficient of variation results for lightness properties (left) and chroma properties (right) with varying levels of background lightness and colour stimulus.

표 3. 주변시 시각에서 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 따른 밝기 속성 변동계수

Table 3. Coefficient of lightness variation as per changing levels of background lightness and colour stimulus at peripheral vision.

배경 밝기	10° vs 15°	10° vs 20°	10° vs 25°	10° vs 30°
0	16.85	21.04	28.44	38.20
100	10.55	12.53	13.21	15.52

표 4. 주변시 시각에서 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 따른 채도 속성 변동계수

Table 4. Coefficient of chroma variation as per changing levels of background lightness and colour stimulus at peripheral vision.

배경 밝기	10° vs 15°	10° vs 20°	10° vs 25°	10° vs 30°
0	14.56	16.49	23.75	30.26
100	14.37	18.44	25.06	44.98

본 실험에 사용된 10가지 먼셀 대표 색상에서 색채 속성에 대한 경향성을 분석한 결과, 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 따른 어떠한 경향성을 나타내지 않았다. 색상 속성에 해당하는 CIECAM02 H의 경우, 색채 자극의 크기나 배경의 밝기에 따라 특정한 색상에서 다른 색상으로 색상이 이동(Colour shift)되어 보이는 현상이나, 색상을 인지하는데 있어 차이가 없는 것으로 도출되었다. 이는 색채 자극의 크기나 배경의 밝기가 색상 속성을 인지하는데 변수로 작용하지 않는다는 것을 알 수 있었다.

그림 4는 주변시 시각의 실험 결과를 바탕으로 도출된 변동계수 결과이다. X축은 원본 자극과 비교 자극의 크기를 나타내며, Y축은 해당 색채 자극간의 도출된 변동계수를 의미한다. 변동계수의 기울기가 크다는 것은 정의된 각 색채 속성에 대해 인지하는 차이가 크다는 것을 의미한다.

주변시 시각에서 배경의 밝기가 어두운 경우(CIECAM02 J=0)는 다음과 같은 경향성을 나타낸다. 밝기 속성에 해당하는 J의 경우, 색채 자극의 크기가 작을수록 크기가 큰 자극 보다 더욱 밝게 인지하는 경향성을 나타내었다. 배경의 밝기가 밝은 경우(CIECAM02 J=100)는 배경의 밝기가 어두운 경우와 반대로 색채 자극의 크기가 큰 자극이 상대적으로 더욱 밝게 인지하는 경향성을 나타내었다.

주변시 시각에서 채도 속성에 해당하는 C의 경우, 배경의 밝기에 큰 영향을 받지 않고 색채 자극의 크기가 작을수록 선명하게 인지됨을 알 수 있다. 색채 자극의 크기가 작은 경우 비교 대상인 큰 자극 보다 더욱 선명하게 인지하였다. 또한 배경의 밝기가 밝은 경우도 마찬가지로 색채 자극의 크기가 작은 경우 더욱 선명하게 인지함을 나타냈다. 결론적으로, CIECAM02의 C속성은 배경의 밝기보다 색채 자극의 크기에 더 큰 영향을 받는다고 할 수 있다.

표 5와 표 6은 주변시 시각에서 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 따른 ΔL , ΔC , ΔH 를 나타낸다.

표 5. 배경의 밝기가 0인 경우 색채 자극 크기에 따른 색채 속성의 차이

Table 5. Difference in colour properties with varying size of the colour stimulus and zero background lightness.

Attribute	10° vs 15°	10° vs 20°	10° vs 25°	10° vs 30°
ΔJ	8.52	10.00	12.64	15.49
ΔC	5.20	5.66	7.50	8.95
ΔH	1.85	1.34	1.97	2.41

표 6. 배경의 밝기가 100인 경우 색채 자극 크기에 따른 색채 속성의 차이

Table 6. Difference in colour properties with varying size of the colour stimulus and 100 background lightness.

Attribute	10° vs 15°	10° vs 20°	10° vs 25°	10° vs 30°
ΔJ	7.39	9.17	9.90	12.01
ΔC	4.17	5.09	6.32	9.68
ΔH	1.55	1.59	2.06	2.58

$\Delta J, \Delta C, \Delta H$ 의 각 기호의 다리 글자에 해당하는 S는 작은 크기의 자극, L은 크기가 큰 자극을 의미하며 식(2)와 같다.

$$\Delta J = J_s - J_L, \quad \Delta C = C_s - C_L, \quad \Delta H = H_s - H_L \quad (2)$$

주변시 시각에서 J속성의 경우, 배경의 밝기와 상관없이 ΔJ 의 차이가 다른 색채 속성 보다 큰 차이를 나타냈다. 특히 10°와 30°의 자극 비교 시 ΔJ 는 15.49로 다른 색채 속성의 보다 가장 큰 차이를 나타냈다.

C속성의 경우 배경의 밝기와 상관없이 ΔC 의 차이가 비교 대상의 자극 크기가 증가할수록 선형적으로 증가하는 경향성을 나타냈다.

색상에 해당하는 H 속성은 다른 색채 속성에 비해 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 상관없이 ΔH 가 매우 적음을 알 수 있다. 이는 색상 속성의 경우 배경의 밝기나 색채 자극의 크기가 색상을 인지하는데 있어서 변별력 있는 색상 판단을 했으며 배경의 밝기나 색채 자극의 크기가 색상 속성에 대해서는 영향력이 적다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

디지털 색채를 통한 화질향상을 위해서는 디지털 색채에 대한 과학적이고 체계적인 접근이 필요하며, 그에 따라 객관적인 논의가 요구되고 있다.

본 연구는 과학적 접근방법과 실험을 통해 평가된 심리적 접근방법을 통해 주변시 시각 영역에서 배경의 밝기와 색채 자극의 크기에 따른 디지털 색채 특성을 찾고자 하였으며 색채 자극의 크기와 배경의 밝기에 따라 색채 속성 각각의 특성을 규명하고 이를 재현하는 방법에 대해 제안하였다. 향후 연구에서는 입력 영상의 크기가 디바이스의 특성에 따라 변환 될 때 발생할 수 있는 색상 인지의 차이에 대해 적용 가능하도록 알고리즘 구현 가능한 실험을 설계하고, 보다 다양한 색채와 배경의 밝기에 따른 색상 이동 현상에 대해 실증 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] Wyszecki G, Stiles WS., Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd edition, 2000.
- [2] Stabell B, Stabell U., Color vision in the peripheral retina under photopic condition, Vision Res., 1982.
- [3] CIE TC1-34 Final Report, The CIE 1997 Interim Color Appearance Model (Simple Version), 1998.
- [4] Fairchild M. D., "Color Appearance Models", New York, Addison-Wesley, 1998.
- [5] 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.
- [6] Fairchild M. D., "A model of incomplete chromatic adaptation", Proc. the 22nd Session of the CIE, 1991.
- [7] Fairchild M. D., "Formulation and testing of an incomplete-chromatic adaptation model", In Color Research & Application, 1991.

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 영상콘텐츠학과 조교수

<주관심분야 : 색채, 시지각, 영상처리, 디스플레이>