

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.2.15>  
JIIBC 2022-2-3

## 간결함과 명료함을 위한 디스플레이 채도에 따른 밝기의 시각적 특성 연구

### Visual characteristics of brightness according to display saturation for conciseness and clarity

홍지영\*

Ji Young Hong\*

**요약** 색채는 크게 세 가지 속성인 색상, 명도, 채도로 구성되어 있으나 색채를 시각적으로 인지하는데 있어서 각 속성을 구분하여 독립적으로 인지하지 않는다. 채도와 밝기 관련 기존 선행된 연구들은 채도 속성의 순도 정도에 따라 밝기 속성이 다르게 느껴진다는 결과를 유의미하게 얻을 수 있었으나 정신물리학적 실험 대부분이 감산 혼합을 활용한 사례에기에 디스플레이 기반의 색채 인지 기초 연구가 필요하다. 본 연구에서는 자체 발광 시스템을 보유한 디스플레이 기반에서 채도와 밝기 관련 시각적 특성을 알아보고자 정신물리학적 실험을 진행하고 이를 분석하였다. 가산 혼합 형태의 디스플레이에서 일정한 밝기를 선정 후 주요 색상의 채도를 조정하여 실험을 진행하였다. 본 연구에서는 진행된 실험 결과를 분석하여 감산 혼합과 동일한 결과가 산출되는지 알아보고 색채 인지 특성에 대한 연구 자료로써 유의미 여부를 정의한 후 향후 연구방향을 제시한다.

**Abstract** Colours are primarily composed of three properties - hue, brightness, and saturation, However, each property of colour is not independently visually recognised. Previous studies on saturation and brightness found that brightness was sensed differently depending on the degree of purity of the saturation; however, most of the psychophysical experiments used subtractive mixing. Therefore, fundamental research on colour perception based on display is needed. In this study, we conducted a psychophysical experiment and to investigate the visual characteristics of saturation and brightness based on a display with a self-luminous system. After selecting a certain brightness in the additive-mixed display, the experiment was conducted by adjusting the saturation of the main colours. Thus, by analysing the experimental results, we determined whether the results were the same as ones from subtractive mixing and whether the data are meaningful for the characteristics of colour perception. We also suggested future research directions.

**Key Words** : Graphic, Colour, Visual perception, Visual characteristics, Brightness, Saturation, Display

\*정회원, 경민대학교 영상콘텐츠과 (교신저자, 주저자)  
접수일자 2022년 1월 31일, 수정완료 2022년 3월 7일  
게재확정일자 2022년 4월 8일

Received: 31 January, 2022 / Revised: 7 March, 2022 /  
Accepted: 8 April, 2022

\*Corresponding Author: placebo\_joan@kyungmin.ac.kr  
Department of Visual Contents, Kyung Min University, Korea

## I. 서론

색채를 인지하는 생물학적 시지각 과정은 빛이 동공을 통해 들어오며 각막과 수정체에 의해 사물의 위치와 거리를 판단하여 초점을 맞추고 망막에 투영된다. 각막은 시지각 인지과정 중 약 70%이상의 초점을 맞추는 역할을 수행하고 굴절 과정에서 수정체와 함께 가장 중요한 역할을 하는 층에 해당되며 망막의 후방에 선명한 영상을 형성하도록 한다.[1,2] 망막은 광수용체와 망막개재뉴런으로 구성되어 있으며 눈 뒷부분 표면에 해당하는 65%정도를 뒤덮고 있다. 망막에 위치하며 광수용기에 해당하는 간상체, 추상체는 신호처리의 일환으로 시각조직에 영상이 전달될 수 있도록 입사광 에너지를 전기적 신호로 변환한 후 시신경을 통해 뇌로 전달한다.[3,4] 망막의 일부 분으로 망막의 중앙에 위치한 중심와를 통해 가장 선명하게 색을 인지한다고 할 수 있다. 망막의 외부 막에 위치한 추상체는 장파장, 중파장, 단파장이 민감도에 따라 Red, Green, Blue로 구분되며 일반적으로 L, M, S cones로 표기되거나  $\rho$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  로 표현되기도 한다. 이 세 가지 유형의 추상체 비율은 40(L cones) : 20(M cones) : 1(S cones) 정도이고 M과 L cones는 주로 중심와에 분포되어 있으며 민감도가 가장 큰 S cones의 경우 대부분 중심와의 바깥 부분에 분포되어 있다.[5,6]

CIE 색체계는 색채 재현 부분에서 사용되어 왔으나 주변 환경이나 배경, 크기, 모양, 조도, 관찰 조건 등 다양한 환경 요소를 고려할 수 없는 동일한 환경에서만 두 가지 자극의 비교가 가능한 조건을 갖고 있다. 이미 일반적 시지각 현상으로 알려진 컬러 어피어런스에서 보여지는 바와 같이 사람의 시지각은 모든 조건하에서 동일하게 색채를 인지할 수 없는 속성을 갖고 있다는 것을 알 수 있다. 컬러 어피어런스는 다양한 관찰 조건에 대해 독립적으로 색채를 인지하는데 있어서 지각적 요소인 밝기(Lightness), 채도(Chroma), 색상(Hue) 등과 같은 요인을 표현하는 것을 의미 한다.[7] 향후 발전된 색채 학문은 다양한 관찰 조건 아래서 특정한 컬러 어피어런스를 구현하는 것이 그 목적이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 밝기에 가장 민감한 시각적 특성을 중심으로 가산혼합을 기반한 디스플레이를 중심으로 채도에 따른 밝기 인지 변화에 대해 알아보려고 한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 컬러 어피어런스 현상에 대해, 제3장에서는 구체적인 실험 방법을 기술한다. 제4장에서는 도출된 실험 결과에 대해 기술하고 끝으로 제5장에서 결론 및 향후 연구과제에 대해 기술한다.

## II. 컬러 어피어런스 현상

컬러 어피어런스 현상은 일정한 관찰 환경에서 측색된 자극물의 수치만으로 색채를 인지하는 시각적 특성에 대해 나타낼 수 없다는 것은 이미 알려져 있다. 다양한 컬러 어피어런스 현상 중 힌트 효과는 휘도에 따른 선명도가 증가되는 현상, 스티븐스 효과는 휘도에 따라 대비가 증가하는 현상을 의미한다.[8] 힌트 효과와 스티븐스 효과는 컬러 어피어런스 모델에서 휘도 단계의 중요성을 입증한 계기라고 할 수 있으며 시지각이 빛의 밝기에 민감한 사례 중 하나이다.

임의의 파장을 갖는 단색광과 백색광을 가법혼합하면, 혼합 색은 색도에서 단색광 좌표와 백색광 좌표를 잇는 직선상의 한 점에 해당하는 좌표를 가질 수 없으며 일정 색상을 유지하지 못하는데 이러한 현상을 에브니 효과라고 한다. 에브니 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 밝기를 추정할 수 있다고 가정하고 있지만 이것은 잘못된 예라고 할 수 있다. 이를 증명하는 것이 바로 헬름홀츠 콜라우슈 효과이다.

그림 1에서 보이는 바와 같이 고정된 휘도에서는 백색점에 상대적인 색도의 밝기를 나타내며 이 곡선은 색상에 대해 독립적이며 포화도가 증가함에 따라 밝기가 증가한다는 것을 의미한다. 기존 채도와 밝기 관련 선행된 연구들은 채도 속성의 순도 정도에 따라 밝기 속성이 다르게 느껴진다는 결과를 유의미하게 얻을 수 있었으나

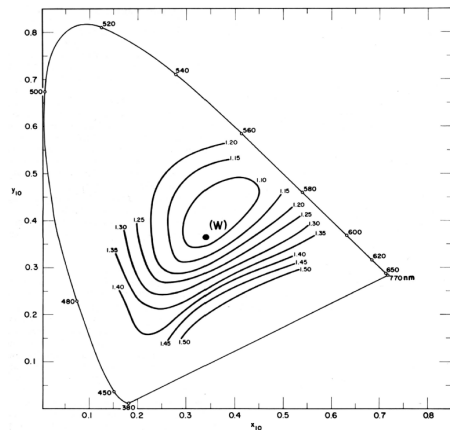


그림 1. 헬름홀츠 콜라우슈 현상  
Fig. 1. Helmholtz-Kohlrausch effect

정신물리학적 실험 대부분이 감산 혼합을 활용한 사례이기에 디스플레이 기반의 색채 인지 기초 연구가 필요하다.[9]

본 연구에서는 컬러 어피어런스 현상 중 헬름홀츠 콜라우슈 효과를 기반으로 가산혼합에서 채도와 밝기 속성의 관계를 알아보려고 한다.

### III. 정신물리학 실험 방법

본 연구는 채도와 밝기 속성과의 상관관계를 알아보고자 시지각 색채 분류체계로 구성된 먼셀 색상을 실험 자극으로 사용하였으며 실험에 사용된 색채 자극의 분포도는 그림 2와 같다. 먼셀 색상은 색상, 명도, 채도에 따라 색채를 표기하며 색상은 H, 명도는 V, 채도는 C로 나타낸다. 본 실험에서는 먼셀 색상 중 10색상환에 해당하는 10가지 색상을 기준으로 각각의 색상을 대표 할 수 있는 대표색에 해당하는 색상을 실험 색채 자극으로 선정하였다.

실험에 사용된 색채 자극의 분포를 나타낸 CIELAB 색공간은 색채를 표시하는데 L\*(lightness), a\* (red-green), b\* (yellow-blue) 3가지 속성으로 색채를 나타낸다.[6]

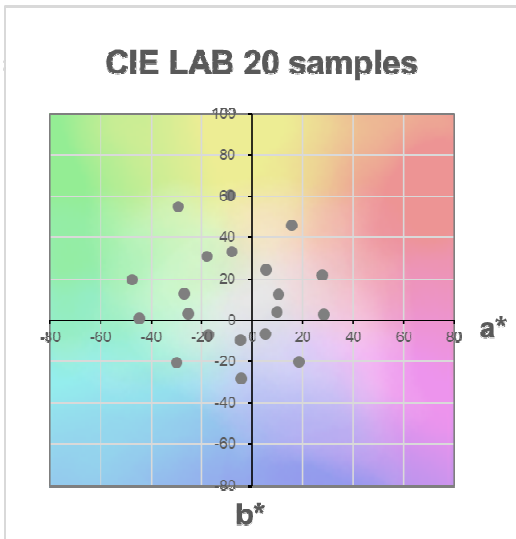


그림 2. CIELAB 색공간에서 실험에 사용된 색채 자극 분포도  
 Fig. 2. Colour attributes distribution chart used in experiments in CIELAB colour space

실험에 사용된 색채 자극은 다음과 같다. 시지각 색채 분류체계로 구성된 먼셀 색채를 기반으로 20가지 기본 색채를 선정하였다. 명도(Value)는 8로 고정된 밝기 값을 같도록 하였으며, 채도(Chroma)는 4와 8 두 가지로 구분하여 총 20가지 색채를 실험 자극으로 선정하였다. 저채도의 경우 무채색과 혼용이 되어 보일 수 있고 고채도의 경우에는 화면에 제시된 밝기 보다 가산혼합의 특성상 더욱 밝아 보일 수 있는 경향이 있기에 중간 채도를 선정하여 실험을 진행하였다. 실험 자극은 먼셀 C광원에서 측정된 X, Y, Z를 D65환경과 동일하게 백색 광원 값을 활용하여 변환한 후 실험에 적용하였으며 X, Y, Z 값은 표 1과 같다.

실험에 사용된 색채 자극을 CIECAM02로 변환하면 밝기에 해당하는 J값은 약 79.81로 고정된 값을 유지하였으며 채도에 해당하는 C값은 약 18.50과 34.55 두 가지로 나뉘어 사용되었다. CIECAM02는 밝기(Lightness, J), 채도(Chroma, C), 그리고 색상(Hue, H)으로 색채의 시각적 인지 정도를 나타낼 수 있으며 시각적 색채 인지를 수치화 할 수 있는 지표로서 국제 조명 위원회에서 제시하고 있는 시각 특성이 반영된 표준 색공간이라 할 수 있다.

표 1. 실험에 사용된 먼셀 색채 X, Y, Z 변환값  
 Table 1. X, Y, and Z conversion values of the Munsell colour system used in experiments

no.	Hue	Value	Chroma	X	Y	Z
1	5.00R	8	4	60.43	59.10	50.76
2	5.00YR	8	8	68.06	59.10	42.01
3	5.00Y	8	4	58.36	59.10	39.97
4	5.00GY	8	8	62.63	59.10	24.53
5	5.00G	8	4	52.96	59.10	33.06
6	5.00BG	8	8	52.72	59.10	16.75
7	5.00B	8	4	49.22	59.10	34.88
8	5.00PB	8	8	45.17	59.10	19.44
9	5.00P	8	4	46.07	59.10	50.53
10	5.00RP	8	8	39.11	59.10	44.23
11	5.00R	8	4	46.61	59.10	60.69
12	5.00YR	8	8	40.06	59.10	63.22
13	5.00Y	8	4	49.45	59.10	72.39
14	5.00GY	8	8	44.97	59.10	90.78
15	5.00G	8	4	54.29	59.10	76.03
16	5.00BG	8	8	54.39	59.10	102.02
17	5.00B	8	4	58.30	59.10	71.98
18	5.00PB	8	8	63.83	59.10	90.01
19	5.00P	8	4	60.17	59.10	59.76
20	5.00RP	8	8	68.33	59.10	60.99

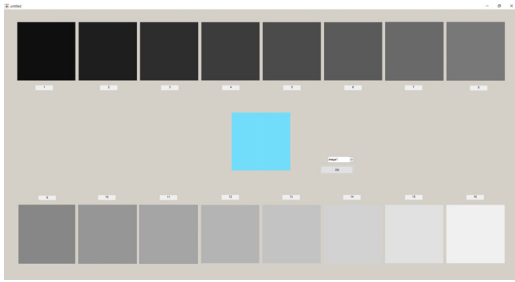


그림 3. MATLAB으로 구현된 실험 환경  
Fig. 3. The experiment environment was implemented using MATLAB.

실험에 사용된 디스플레이는 X-Rite i1 Pro2를 사용하여 D65 환경으로 교정 한 후 실험에 사용된 면셀 색채의 변환 값과 동일하게 유지하여 실험에 사용 하였다. 디스플레이 특성은 표준 sRGB 색 채현 영역과 매우 흡사한 색 채현율을 나타냈으며 디스플레이 표준 감마인 2.2와 일치한 디스플레이를 실험에 사용하였다.

정신물리학 실험에서 색채를 비교하거나 평가 시 색채 자극의 크기 또한 시각적 색채 인지가 다를 수 있기에 본 실험에서는 10 시야각을 갖는 8.82cm 크기의 정사각형 자극을 사용하였다. 비교 밝기 색채 자극은 16가지 밝기 차이를 두어 목표 색채 자극과 비교할 수 있도록 배치하였으며 실험에 사용된 배경 밝기는 다른 색채 속성의 영향을 받지 않도록 CIECAM02 J가 52.17에 해당되는 회색 배경을 사용하였다.

실험 과정은 다음과 같다. 실험 전 피험자가 밝기 및 채도에 대해 정확하게 인지하도록 밝기와 채도에 관한 충분한 설명과 면셀 워크북을 이용하여 교육을 실시하였다. 각 실험 참가자별로 테스트 이미지는 무작위 순서로 제시되며 피험자는 화면에 제시된 테스트 자극 중 목표 자극과 가장 유사한 밝기를 선택하도록 하였고 실험 환경은 그림 3과 같다.

실험에 참가한 피험자는 정상 시력과 색감자인 20대 5명(남2명, 여 3명), 30대 5명(남2명, 여 3명)으로 구성되었으며 실험용 디스플레이와 시선간의 거리를 약 50cm로 고정하였다. 실험 전 암실 환경에 적응할 수 있도록 충분한 순응이 이루어진 후 실험을 진행하였다. 실험영상이 전환될 때도 동일하게 순응이 이루어지도록 하여 밝기 변화에 대한 어떤 바이어스를 갖지 않도록 하였다.

#### IV. 실험 결과

실험은 10명의 피험자가 20개의 면셀 색채 자극 각각을 16가지 밝기와 각각 비교하여 유사한 밝기를 선택하도록 진행하였다.

각 색상별 밝기 대응 결과는 표 2와 같다. R, YR, Y, G, BG, B, P, RP 색상 영역에서는 과반 수 이상이 원래 밝기와 비교하여 더 밝게 대응하였으나 PB의 경우 더 어둡다고 대응하였다.

표 2. 색상별 채도에 따른 밝기 대응 결과  
Table 2. Results of brightness according to saturations of each colour

Perception	5.00R	5.00YR	5.00Y	5.00GY	5.00G
Brighter(%)	80	95	70	50	70
Darker(%)	20	5	30	50	30
Perception	5.00BG	5.00B	5.00PB	5.00P	5.00RP
Brighter(%)	65	65	15	80	100
Darker(%)	35	35	85	20	0

채도를 기준으로 채도 8에 해당하는 고채도의 경우 82%, 채도 4에 해당하는 저채도의 경우 56%가 목표 색채 자극의 밝기 보다 더 밝다고 대응하였다. 이는 고채도의 경우 기존 밝기보다 더욱 밝게 인지한다는 것을 알 수 있다.

일부 색상에서 유독 밝게 또는 어둡게 대응되는 색편의 개수가 많았으므로 전체적인 수치로 확인해 보기 위해 색상별 AAD(Average Absolute Deviation)를 이용하였으며 수식은 다음과 같다.

$$AAD = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Mean|}{n} \quad (1)$$

그림 4는 각 색상별 AAD를 그래프로 나타낸 것이다. 다른 색상에 비해 5PB는 편차가 가장 적으며 비교적 5Y 및 5YR도 다른 색체에 비해 편차가 적은 것을 알 수 있다. 마찬가지로 각 색상 별 표준편차의 값 또한 5PB가 가장 낮은 값을 나타냈다.

따라서 개수와 편차 모두 과대평가된 계열은 5PB를 제외한 전체 색상에 해당되며 과소 평가된 색상 계열은 5PB 색상 계열임을 알 수 있다. 이는 5PB 색상 계열을 제외한 모든 색상 계열에서 헬름홀츠 콜라우슈 효과가 나타났다고 볼 수 있다.

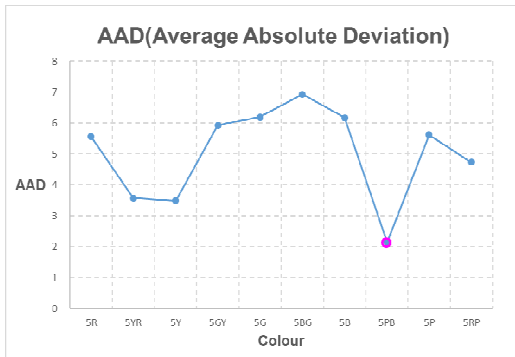


그림 4. 각 색상별 AAD 결과  
 Fig. 4. AAD result for each colour

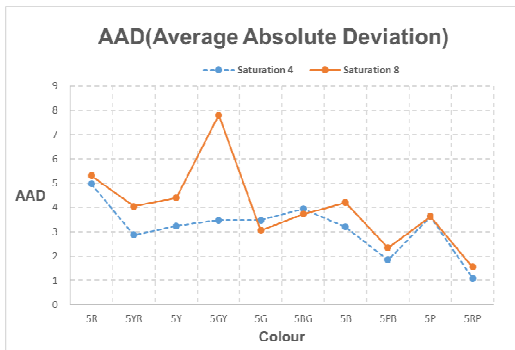


그림 5. 고채도와 저채도에서 AAD 비교 결과  
 Fig. 5. Comparison of AAD in high and low saturation

그림 5는 채도를 기준으로 채도 8에 해당하는 고채도와 채도 4에 해당하는 저채도의 AAD를 각 색상별로 나눠 나타낸 그래프이다. 파란 점선의 경우 채도 4에 해당하는 저채도를 나타내며 주황색 직선의 경우 채도 8에 해당하는 고채도를 의미한다. 다른 색상 계열은 비슷한 경향성을 갖고 있으나 5GY 색상 계열에서는 저채도와 고채도의 차이가 현저히 있음을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 연구는 색채 속성 중 채도의 순도에 따라 밝기 속성을 다르게 인지할 것이라는 가정 아래 밝기 속성은 고정하고 채도 속성을 변수로 설정하여 정신물리학 실험을 진행하였다. 실험 결과 대부분의 색상이 원래 밝기 보다 더욱 밝게 인지하는 경향성을 나타냈으며 PB 색상 계열의 경우 원래 밝기 보다 더 어둡다고 대응하였다. 각 색상 계열별 AAD를 비교한 결과 다른 색상에 비해 PB 색

상 계열이 편차가 가장 적은 동일한 경향성을 나타냈다. 이는 P 색상 계열에서 헬름홀츠 콜라우슈 효과가 가장 크게 나타난다는 기존 감산혼합 연구사례와 다른 경향성을 나타낸다. 고채도와 저채도를 분류하여 분석한 결과 고채도에서는 저채도 보다 더욱 밝게 인지한다는 결과를 얻을 수 있었다. 색상으로 분류하면 PB 색상 계열을 제외한 모든 색상 계열에서 헬름홀츠 콜라우슈 효과가 나타나며 고채도의 경우 저채도 보다 더욱 밝게 인지하여 광색역 모니터에서 이미지를 볼 때 헬름홀츠 콜라우슈 효과가 존재하는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 밝기에 가장 민감한 시각적 특성을 기반으로 가산 혼합 형태의 디스플레이에서 채도와 밝기 속성 관련 색채 조절 시스템을 위한 기초연구로 활용 가능하다. 향후 진행할 연구 과제로는 본 연구에서 제시한 밝기와 채도 단계 외 색상의 최대 채도가 각각 다음을 감안하여 확장된 연구를 진행하고 색상 정보를 최소화 하여 압축하는 방식관련 연구를 진행할 예정이다.

## References

- [1] J.Y. Hong, Y.S. Park, "A Comparison Study of Colour Perception considering Peripheral Vision on DisplayDevice", JIIBC, Vol. 16, No. 1, pp.33-42, 2016. DOI:https://doi.org/10.7236/jiibc.2016.16.1.43
- [2] J.Y. Hong, "A study on colour appearance by the size of colour stimulation at foveal vision", JIIBC, Vol. 18, No. 3, pp. 23-28, 2018. DOI:https://doi.org/10.7236/jiibc.2018.18.3.23
- [3] Fairchild M. D., "Color Appearance Models", Second Edition, Reading, Second Edition, John Wiley & Sons, 2005.
- [4] Wyszecki G, Stiles WS., "Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae", 2nd edition, 2000.
- [5] Hunt R. W. G., "The Reproduction of Colour", England, Fifth Edition, Fountain Press, 1995.
- [6] Hunt R. W. G., "Measuring Colour", Kingston-upon-Thames, Third Edition, Fountain Press, 2001.
- [7] Hunter R. R. W., "The Measurement of Appearance", New York, 2nd Edition, John, Wiley & Son, 1987.
- [8] Pastoreau, M., "The Colours of Our Memories", John Wiley&Sons Inc., 2012.
- [9] Nayatani, Y., "A Colorimetric Explanation of the Helmholtz-Kohlrausch Effect", Color Research & Application, Vol. 23, Issue 6, pp.374-378, 1998. DOI:https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6378(199812)23:6<374::AID-COL5>3.0.CO;2-W

- [10] J.Y. Hong, "A study on colour properties movement phenomenon reflecting visual characteristics on display", JIIBC, Vol. 18, No. 3, pp. 29-34, 2018.  
DOI:<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.3.29>

### 저 자 소 개

#### 홍 지 영(정회원)



- 2004년 ~ 2013년 : 삼성종합기술원, Multimedia Lab., 전문연구원
- 2015년 ~ 현재 : 경민대학교 영상콘텐츠과 조교수
- 주관심분야 : 디스플레이, 색채, 시지각, 영상처리