

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.3.65>
JIIBC 2023-3-9

디지털 미디어 환경에서 사용자 환경 모드에 따른 색채 인지 특성 연구

A Study on the Characteristics of Colour Perception According to Light and Dark Mode in the Digital Media Environment

홍지영*

Ji-Young Hong*

요약 디지털 미디어 환경은 디지털 매체를 다각화시키면서 사용자 중심의 다양한 형태로 접근하고 있다. 디지털 기술의 발전에 의해 디지털 미디어 환경은 광대한 네트워크 정보망을 형성하고 보다 인터랙티브한 커뮤니케이션을 지원함으로써 이와 관련 사용자 중심의 기초 연구가 필요하다. 디지털 미디어 환경을 대표할 수 있는 모바일 디스플레이는 휴대성이 높은 장점을 갖고 있지만 소형화와 전력절감을 위해 얇은 디스플레이 패널과 저성능 이미지 센서를 채택하는 등 대형 디스플레이에 비해 색상 표현력이 떨어질 수밖에 없다. 본 연구에서는 대표적 디지털 융합 매체인 모바일 디스플레이를 구체적 연구대상으로 사용자 중심의 다크 모드와 라이트 모드에서 시각적 색채 인지특성에 대해 알아보려고 한다. 시각적 색채 인지 특성을 알아보기 위해 KS 12가지 색채를 기반으로 색채 속성을 각각 제어하여 정신물리학 실험을 진행하고 이를 분석하였다. 본 연구에서는 진행된 실험 결과를 분석하여 다크 모드와 라이트 모드에서 색채 인지에 차이가 있는지 알아보고 색채 인지 특성에 대한 기초 연구 자료로써 의미여부를 정의한 후 향후 연구방향을 제시한다.

Abstract In recent years, the digital media environment has begun to diversify, with a greater focus being placed on user-centric design. With the development of digital technology, the digital media environment has formed a vast network of information, which supports interactive communication between people, creating a need for user-centric research. Mobile displays, as a representation of the digital media environment, have the advantage of mobility through the use of thin screen displays and low-performance image sensors, which allow for miniaturization and power saving. However, this results in reduced colour accuracy compared to large displays. This study investigates users' colour perception when using dark and light mode mobile displays. Colour perception was measured using a psycho-physical experiment, which controls each colour attribute based on the 12 colours of KS. The results were analysed to determine whether there is a difference in colour perception between dark mode and light mode, and if the difference was statistically significant. Future research directions based on the results are then discussed.

Key Words : Colour, Visual perception, Screen mode, Display

*정회원, 경민대학교 영상콘텐츠과 (교신저자, 주저자)
접수일자 2023년 5월 5일, 수정완료 2023년 5월 30일
게재확정일자 2023년 6월 9일

Received: 5 May, 2023 / Revised: 30 May, 2023 /

Accepted: 9 June, 2023

*Corresponding Author: placebo_joan@kyungmin.ac.kr

Department of Visual Contents, Kyung Min University, Korea

I. 서론

인간의 시지각은 주변 환경에 따라 다른 특성을 보이고 이는 디스플레이 시청 시 주변 환경에 따라 화질차이를 발생시킨다.[1] 실외에서 디스플레이를 볼 때 밝기와 대비비가 시인성을 향상시키는 가장 중요한 요소로 알려져 있으며 화질 향상을 위한 밝기 및 대비비 유지개선 방법으로는 하드웨어와 소프트웨어를 통해 구현될 수 있다.[2] 하드웨어 개선은 주로 픽셀 값을 나타내는 효율적 회로 개선을 통해 이루어질 수 있으나 이는 제조 후 변경이 불가능하고 외부환경 및 다양한 변수에 적응적으로 대응하기 어려운 점이 있다. 이로 인해 시지각에 민감한 밝기와 대비비는 소프트웨어 개발을 통해 구현되고 있으며 다양한 방법들이 제안되었다. 그 중 시지각 특성 기반 외부 환경에 따라 색채 속성을 모델링하여 보정하는 방법, 톤 매핑이나 히스토그램을 외부 조명의 밝기에 따라 적응적으로 적용하는 방법들도 제안이 되었다.[3]

시지각 특성은 순응 상태에 따라서 시각적 밝기는 달라지므로 디스플레이 최대 밝기만을 향상 시키는 것이 화질 향상과 선형적 관계는 아니라고 할 수 있다. 디스플레이 시스템에 있어서 휘도 레벨은 일반적으로 Weber-Fechner의 휘도차 변별 한계치에 근거하고 있으며 어두운 환경에서 짧은 순응시간 동안 휘도 레벨에 따른 변별 한계치를 구한 것으로 환경 조건 및 순응시간이 달라질 경우 Weber-Fechner fraction도 달라지게 된다.[4]

본 연구에서는 밝기에 가장 민감한 시각적 특성을 중심으로 사용자 중심의 환경 모드인 다크 모드와 라이트 모드에서 색채 인지 변화에 대해 알아보고자 한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 밝기와 시지각 현상에 대해, 제3장에서는 구체적인 실험 방법을 기술한다. 제4장에서는 도출된 실험 결과에 대해 기술하고 끝으로 제5장에서 결론 및 향후 연구과제에 대해 기술한다.

II. 밝기와 시지각 현상

밝기와 시지각 관련 대표적인 선행 연구로 헌트 효과, 스티븐스 효과 및 발리슨 효과가 있다.

헌트효과는 빛과 암순응의 영향에 대한 연구로 하플로스코픽 매칭을 통해 대응되는 정신물리학 실험을 진행하였고 주어진 자극의 선명도가 휘도 단계에 따라 증가하는 것으로 요약될 수 있다. 그림 1은 헌트효과를 나타내는 그라프로 휘도가 변함에 따라 대응하는 색도를 나타낸다.

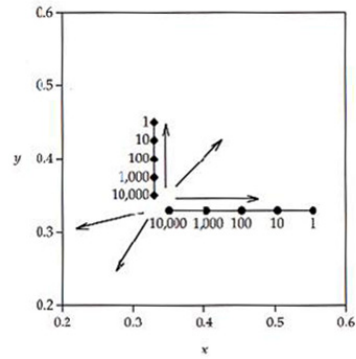


그림 1. 헌트 효과
Fig. 1. Hunt Effect

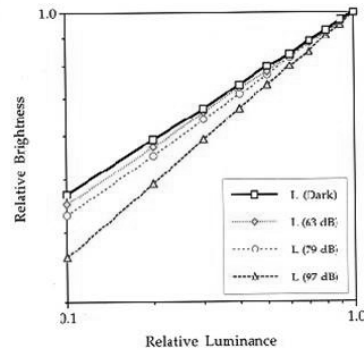


그림 2. 스티븐스 효과
Fig. 2. Stevens Effect

스티븐스 효과는 헌트 효과와 유사하나 헌트효과가 휘도에 따라 선명도가 증가하는 것을 의미하는 반면 스티븐스 효과는 휘도의 증가에 따른 밝기 대비의 증가를 의미한다. 스티븐스 효과는 휘도 레벨이 증가함에 따라 어두운색은 더 어둡게, 밝은 색은 더 밝게 보인다는 결과를 도출했다.[5]

발리슨 효과는 대비가 증가함에 따라 시각적 인지 휘도가 증가하는 효과라 할 수 있으며 자극의 휘도가 일정할 때 주위의 휘도가 밝으면 디스플레이 영상의 대비비가 증가하고 반대로 어두워지면 대비비가 낮아진다는 결과를 도출했다.[6] 복잡한 자극의 휘도가 증가하면 영상의 밝기 대비비가 증가하는 현상을 실험적으로 정량화하였다. 자극의 휘도가 밝을수록 밝기 함수의 평균적인 기울기가 증가함을 알 수 있으며 기존 단순한 자극에 대한 실험 결과와 달리 복잡한 자극의 경우 밝기 함수의 커브 모양이 물리적 휘도 변화에 따라 시각적인지 밝기 특성이 단순한 감마 특성을 가지지 않고 비선형적으로 증가함을 알 수 있다.[7] 수식은 다음과 같다.

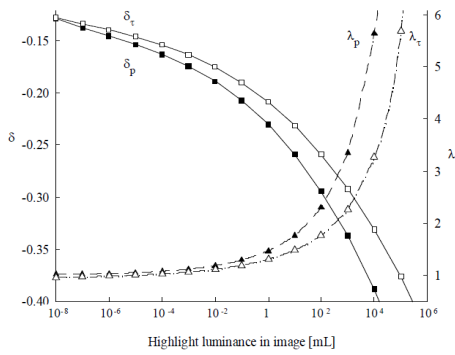


그림 3. 발리스 효과
 Fig. 3. Bartleson Breneman Effect

$$B = 10^{\alpha'} L^{\beta'} / \text{anti} \log[\lambda \exp(\delta \log L)] \quad (1)$$

B 는 시각적 밝기 값, L 은 물리적 휘도 자극치 값이며 $\alpha', \beta', \lambda, \delta$ 는 관찰 조건에서 구해지는 상수 값을 의미한다.

허트 효과, 스티븐스 효과 및 발리스 효과는 컬러 어피어런스 모델에서 휘도 단계의 중요성을 입증한 계라고 할 수 있으며 시지각이 빛의 밝기에 민감한 사례 중 하나이다. 위와 같은 컬러 어피어런스 관련 많은 연구 활동이 현재까지 이루어지고 있으며 인간의 시각 특성은 다양한 주변 환경에 대해 영향을 받고 이를 수행하기 위해 병렬적으로 작동한다는 것을 알 수 있다.[8]

본 연구에서는 색채 속성 중 밝기에 가장 민감한 인간의 시지각 특성을 기반으로 다크 모드와 라이트 모드에서 색채를 인지하는 특성에 대해 알아보려고 한다.

III. 정신물리학 실험 방법

본 연구는 다크 모드와 라이트 모드 환경에서 색채 속성 각각을 어떻게 인지하는지 알아보려고 KS 유채색 12 가지 색상을 실험 자극으로 선정하였으며 실험에 사용된 색채 자극의 분포도는 그림 4와 같다.

실험에 사용된 색채 자극의 분포 및 실험 데이터 분석을 위해 사용된 CIELAB 색공간은 색채를 표시하는데 L^* (lightness), a^* (red-green), b^* (yellow-blue) 3가지 속성으로 색채를 나타내며 CIECAM02는 밝기(Lightness, J), 채도(Chroma, C), 그리고 색상(Hue, H)으로 색채의 시각적 인지 정도를 나타낼 수 있다. 시각

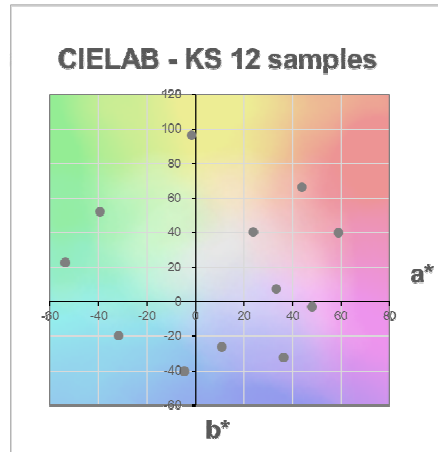


그림 4. CIELAB 색공간에서 실험에 사용된 색채 자극 분포도
 Fig. 4. Colour attributes distribution chart used in experiments in CIELAB colour space

적 색채 인지를 수치화 할 수 있는 지표로써 국제 조명 위원회에서 제시하고 있는 시각 특성이 반영된 표준 색 공간이라 할 수 있다. 표 1은 실험 자극을 CIELAB와 CIECAM02로 변환하기 전 X, Y, Z 이다.

표 1. 실험에 사용된 KS 색채 X, Y, Z 변환값

Table 1. X, Y, and Z conversion values of the KS colour system used in experiments

no.	Hue	Value	Chroma	X	Y	Z
1	7.5R	4	14	0.22	0.11	0.02
2	2.5YR	6	14	0.42	0.29	0.04
3	5Y	8.5	14	0.72	0.73	0.07
4	7.5GY	7	10	0.30	0.42	0.12
5	2.5G	4	10	0.06	0.12	0.05
6	10BG	3	8	0.04	0.06	0.12
7	2.5PB	4	10	0.11	0.12	0.33
8	7.5PB	2	6	0.04	0.03	0.09
9	5P	3	10	0.10	0.06	0.17
10	7.5RP	3	10	0.12	0.06	0.07
11	10RP	7	8	0.54	0.42	0.36
12	5YR	4	8	0.15	0.12	0.02

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

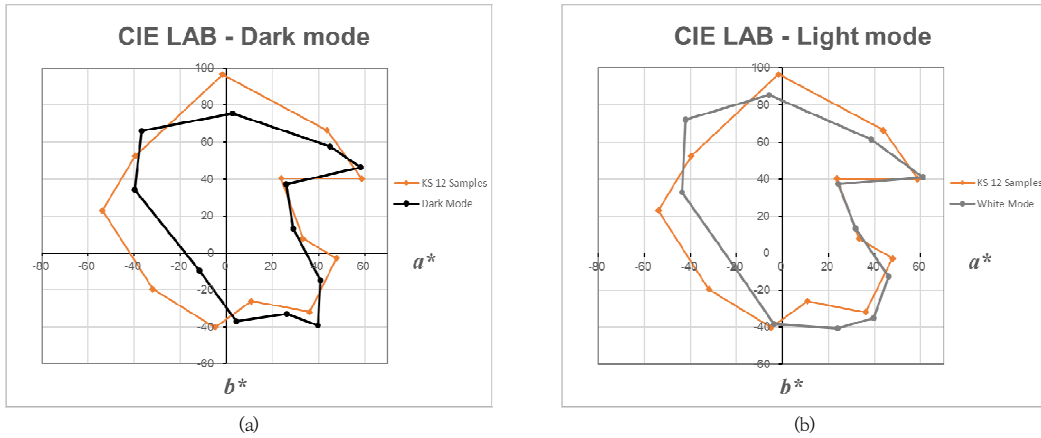


그림 5. 다크 모드와 라이트 모드 색채 속성 관련 실험 결과
Fig. 5. Results of colour characteristics in dark mode and light mode

표 2. 실험에서 사용된 다크 모드와 라이트 모드의 XYZ
Table 2. XYZ of dark mode and light mode used in the experiment

Display mode	X	Y	Z
Dark	0.23	0.21	0.23
Light	92.96	97.74	108.50

디스플레이에서 영상 처리 관련 실험을 하기 위해서는 특정한 표준 환경을 유지하기 위해 주로 암실에서 실험하고 평가하게 된다. 또한 암실에서 실험 시 다양한 변수의 영향을 받지 않고 온전한 디스플레이 자체 내의 실험 결과를 도출할 수 있기 때문에 본 연구에서는 실험 환경을 암실로 선정하고 진행하였다. 표 2는 본 실험자극으로 사용된 다크 모드와 라이트 모드에서의 KS 12가지 색채의 X, Y, Z 이다.

실험 과정은 다음과 같다. 실험 전 피험자가 암실에서 충분히 순응할 수 있도록 5~10분간 충분한 순응 시간을 두어 실험 영상이 전환될 때도 동일하게 순응이 이루어지도록 하여 밝기 변화에 대한 어떤 바이어스를 갖지 않도록 하였다. 색채 속성 각각을 조절하는 방법으로 실험 테스트 UI에 대한 파일럿 테스트 과정을 진행하였고 각 실험 참가자별로 테스트 이미지는 무작위 순서로 제시되며 피험자는 화면에 제시된 원본 색채 자극과 유사하도록 목표 자극의 색채 속성을 동일하게 설정 하는 컬러 매칭 실험 방법을 사용 하였다.

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.

IV. 실험 결과

실험은 10명의 피험자가 다크 모드 환경과 라이트 모드 환경 각각에서 12가지 KS 색채 자극, 총 24개의 색채 자극을 대상으로 실험을 진행하였다. 실험 방법은 다크 모드와 라이트 모드 각각에서 원본 색채 자극을 관찰한 후 목표 색채 자극인 2° 자극의 색채 속성 각각을 피험자가 직접 조절하도록 실험하였으며 총 실험 개수는 240개에 해당된다.

CIELAB는 상대적으로 큰 색채 차이를 보다 정확하게 예측할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 색채 차이를 예측하는데 CIELAB를 사용하여 색차 ΔE^*_{ab} 를 산출하였다. L^* (lightness), a^* (red-green), b^* (yellow-blue) 3가지 색채 속성을 의미하며 수식은 다음과 같다.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (2)$$

표 3은 다크 모드와 라이트 모드에서 원본 색채와 동일하게 색채 속성 각각을 조절한 결과 값이다. D-dEab*는 다크 모드, L-dEab*는 라이트 모드에서 결과 값을 의미한다.

실험 결과 다크 모드에서는 청록색, 노랑색, 남색, 라이트 모드에서는 연두색, 청록색, 남색이 가장 큰 색차를 나타냈다. 다크 모드와 라이트 모드에서 ΔE^*_{ab} 의 편차가 가장 큰 색으로는 노랑색, 분홍색, 보라색임을 알 수 있다.

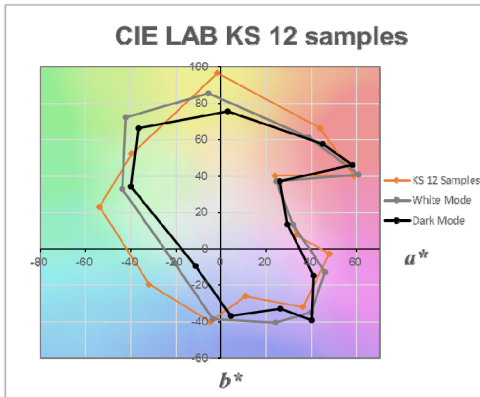


그림 6. CIELAB 색공간에서 화면 모드에 따른 색채 속성 관련 실험 결과

Fig. 6. Colour difference of each KS colour stimulation in dark mode and light mode

표 3. 다크 모드와 라이트 모드에서 KS 색채 자극 각각의 색차(ΔE_{ab}^*)

Table 3. Colour difference of each KS colour stimulation in dark mode and light mode

no.	Hue	Value	Chroma	D-dEab*	L-dEab*
1	7.5R	4	14	7.67	4.47
2	2.5YR	6	14	11.26	7.33
3	5Y	8.5	14	23.45	11.87
4	7.5GY	7	10	14.42	22.32
5	2.5G	4	10	18.47	18.71
6	10BG	3	8	25.44	20.15
7	2.5PB	4	10	14.81	7.91
8	7.5PB	2	6	21.51	19.73
9	5P	3	10	17.19	6.46
10	7.5RP	3	10	18.29	10.66
11	10RP	7	8	17.88	6.49
12	5YR	4	8	6.40	10.46

그림 5의 (a), (b)는 다크 모드와 라이트 모드 각각에서 원본 색채와 실험 결과를 비교한 그래프이다. 다크 모드와 라이트 모드에서는 대부분 원본 색채보다 채도에 해당하는 색채 속성이 더 낮게 평가된 결과를 알 수 있으며 라이트 모드가 다크 모드 보다 채도 속성을 높게 인지한다는 결과를 알 수 있다. 그림 6은 원본 색채와 각각의 화면 모드에서 실험한 색채 속성 평균 결과 값을 나타낸 그래프이다.

피험자가 제시된 KS색채 자극과 동일하다고 인지한 후 조절된 색채는 실험에 사용된 디스플레이의 특성이 반영된 XYZ로 변환하여 분석하였다. 변환된 XYZ는 디

스플레이 물리적 특성 값이 반영된 CIECAM02로 변환하여 각각의 색채 속성을 비교할 수 있도록 하였다.

실험 결과는 변동계수를 통해 데이터의 경향성을 분석하였으며 식(3)과 같다.

$$CV = \frac{100}{\bar{y}} \left[\frac{\sum (x_i - \bar{y})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (3)$$

수식에 사용된 n 은 실험에 사용된 자극의 개수를 의미하며, x 는 비교하고자 하는 집단, \bar{y} 는 y 집단의 평균을 나타낸다. 예를 들어 변동계수가 0과 가까우면 두 집단은 완벽하게 일치한다고 볼 수 있다.

표 4. 화면 모드에 따른 색채 속성 변동계수(CV)

Table 4. Colour attributes coefficient of variation (CV) according to screen mode

Display mode	CIECAM02 J	CIECAM02 C
Dark	11.96	2.90
Light	2.97	2.35

표 4는 화면 모드에 따라 밝기에 해당하는 CIECAM02 J와 채도에 해당하는 CIECAM02 C의 인지 차이를 알아보고자 변동계수를 사용하여 경향성을 분석하였다. 표 4에서 보이는 바와 같이 다크 모드에서 색채 속성 중 밝기에 해당하는 경우 원본 색채와 일치성에 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 사용자 중심의 다크 모드와 라이트 모드에서 시각적 색채 인지특성에 대해 알아보하고자 KS 12가지 색채 자극을 대상으로 색채 속성을 각각 제어하여 정신물리학 실험을 진행하였다. 실험 결과 다크 모드에서는 청록색, 노랑색, 남색, 라이트 모드에서는 연두색, 청록색, 남색이 가장 큰 색차를 나타냈다. 다크 모드와 라이트 모드에서 편차가 가장 큰 색으로는 노랑색, 분홍색, 보라색임을 알 수 있었다. 다크 모드와 라이트 모드에서는 공통적으로 대부분 원본 색채보다 채도에 해당하는 색채 속성이 더 낮게 평가된 결과를 알 수 있었으며 라이트 모드가 다크 모드 보다 채도 속성을 더 높게 인지한다는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 다크 모드에서 색채 속성 중 밝기에 해당하는 경우 원본 색채와 일치성에 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 밝기에 가장 민감한 시각적 특성을 기반으로 사용자 중심의 화면 모드에서 제시되는 색채의 기본적 특성을 알 수 있으며 색채 속성을 어떻게 인지하는지에 대한 기초연구로 활용 가능하다. 향후 진행할 연구 과제로는 본 연구에서 실험 자극으로 사용된 KS 12가지 유채 색상 외 밝기 속성과 채도 속성 범주를 체계적으로 분리 및 확대하여 연구를 진행하고 화면 모드에 따른 시각적 피로도도 관련된 연구 범위를 확대하여 진행할 예정이다.

저 자 소 개

홍 지 영(정회원)



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

References

- [1] J.Y. Hong, Y.S. Park, "A Comparison Study of Colour Perception considering Peripheral Vision on Display Device", JIIBC, Vol. 16, No. 1, pp.33-42, 2016. DOI:https://doi.org/10.7236/jiibc.2016.16.1.43
- [2] Fairchild M. D., "Color Appearance Models", New York, Addison-Wesley, 1998.
- [3] Wyszecki G, Stiles WS., Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd edition, 2000.
- [4] Nizami, Lance. "A Computational Test of the Information-Theory Based Entropy Theory of Perception: Does It Actually Generate the Stevens and Weber-Fechner Laws of Sensation." Proceedings of the World Congress on Engineering. Vol. 2. 2009.
- [5] J. C. Stevens and S. S. Stevens. "Brightness perception in complex fields", J.Opt. Soc. Am., vol. 57, pp. 953-957, 1967.
- [6] C. J. Bartleson. "Optimum image tone reproduction", J. SMPTE, vol. 84, pp. 613-618, 1975.
- [7] C. J. Bartleson. "Brightness function: effects of adaptation", J.Opt. Soc. Am., vol. 53, pp. 375-385, 1963.
- [8] Hunt R. W. G., "The Reproduction of Colour", England, Fifth Edition, Fountain Press, 1995.