

색채과학과 산업



박 승 옥

대전대학교 색채과학연구소

1. 서 론

모든 공산품에서 색채는 사용자의 감성적 인터페이스에 매우 중요한 요소로 고려되고 있다. 특히 컴퓨터 모니터와 같은 컬러 디스플레이의 경우 색상의 표현특성이 사용자의 감성적 만족도에 영향을 주는 중요한 요인이라고 할 수 있다. 최근에는 멀티미디어의 대중화로 대부분의 사람들이 컬러 디스플레이를 사용하여 광범위한 영역의 영상정보를 주고받게 되므로 정확한 색의 재현은 정보의 전달에 중요한 요인이 되고 있다.

최근에는 제품디자인에서 대부분의 작업이 컴퓨터를 사용하여 이루어지고 있어 자연스러운 영상색의 재현은 감성상품 개발에 핵심기술이 되고 있다. 색채는 감성과 1대 1 대응이 되는 요소로써 원하는 감성에 일치되는 정확한 색을 디자인하는 것이 무엇보다도 중요하다. 그러나 컴퓨터에 동일한 데이터가 입력되어도 처리 시스템이나 모니터의 종류 등에 따라 화면에 나타나는 색이 달라지게 된다. 장치마다 나타낼 수 있는 색의 영역이나 백색의 색도와 휘도 등의 색특성의 차이로 인하여 색의 차이가 발생하게 되는 것이다. 이러한 장치적 특성까지도 고려하여 색을 정확하게 재현하는 기술이 필수적으로 요구되면서 색채과학에 관해 관심을 갖게 되었다.

먼저 색채가 감성에 미치는 영향을 살펴본 후 색채의 과학적 정의와 표시방법 등을 기반으로한 색일치 기술에 관해 살펴보고자 한다.

2. 색채와 감성

색은 정보를 담고 있을 뿐만 아니라 사람의 감성에 커다란 영향을 미친다. 우선 색이 가진 정보에 대해서 생각해 보자. 칼라 TV가 보급되기 전 흑백 TV로 운동 경기를 시청한 경험들을 되살려 본다. 청색 유니폼과 붉은 색 유니폼이 구별되지 않아 선수 식별이 어려워 답답했던 기억이 있을 것이다. 이와 같

이 색은 그 자체로 정보를 지니게 된다. 식물도감이나 미술 작품집을 CD로 제작할 경우 색이 본래의 대상과 다르거나 모니터마다 다른 색으로 재현되면 제품의 신뢰도가 크게 떨어질 것이다. 홈쇼핑 분야도 색의 영향을 많이 받고 있다. 색의 재현이 불충분하기 때문에 모니터 상으로는 상품의 색을 확인하기가 어렵기 때문에 홈쇼핑의 대상이 되는 품목이 제한되어 있다. 의료용 기기들에서는 색의 정밀도가 더욱 요구된다. 의사와 환자가 멀리 떨어져서 모니터를 통하여 진찰을 하는 경우 색의 오차는 중대한 문제를 일으킬 수도 있다.

색은 또한 사람의 감성에 영향을 주기도 한다. 오감이 구매 의사에 영향을 미치는 정도는 시각(87%), 청각(7%), 촉각(3%) 등이라고 하는 자료에서 알 수 있듯이 시각의 영향이 절대적이다. 시각 중에서는 색의 영향이 많은 부분을 차지하고 있음을 보여주는 다음과 같은 일화가 있다. 어느 사업가가 만찬회에 손님들을 초대했다. 방문객을 영접한 것은 주방에서 스며 나오는 맛있는 냄새였다. 손님들은 제각기 음식이 나오기를 초조히 기다렸다. 모두 산해진미가 넘치는 식탁에 둘러앉았을 때 주인은 빨간 전등을 켰다. 그 순간 시금치는 새까맣게 변색되고 감자는 맑은 빨강색으로 변했다. 손님들이 놀라움에서 깨어나기 전에 이번에는 파란 전등으로 바뀌었다. 불고기는 마치 썩은 듯이 보이고 감자도 곰팡이가 핀 것 같이 느껴졌다. 손님들은 전부 식욕을 잃고 말았다. 그 순간 또다시 노란 등불로 바뀌었다. 포도주는 회색으로 보이고 사람들의 안색은 창백하게 변했다. 여기에 이르러 몇 명의 예민한 부인들은 더 있을 수가 없는 듯 자리를 박차고 방을 나갔다. 그것이 조명색의 변화에 의한 것임을 누구나 알고는 있었으나 식욕이 없어진 것이다. 주인은 파란대소하며 즉시 보통의 조명으로 바꾸어 놓았다. 덕분에 손님들은 화기가 되살아나 아늑한 분위기를 다시 이룰 수가 있었다. 이것은 한 예에 불과하지만 우리들이 의식을 하든 안하든 간에 색이 우리들 생활에 큰 영향을 미친다는 것은 사실인 것이다.

일본에서의 연구에 의하면 단색의 이미지를 W(Warm)-C (Cool), H(Hard)-S(Soft) 2축상에 그림 1과 같이 매핑할 수 있다고 한다^[1]. 또한 여러색이 배색을 이룰 때의 이미지는 그림 2와 같이 나타내어진다고 한다. 한편 감성을 나타내는 대부분의 형용사에 대한 이미지는 그림 3과 같이 매핑되므로 색과 감성은 1대 1 대응을 이룬다고 볼 수 있다. 물론 위의 결과들은 일본 사람들의 감성을 조사한 것이기 때문에 우리의 감성과는 차이가 있을 수 있겠지만 색의 차이가 다른 감성을 나타낸다는 것을 잘 보여주고 있다. 따라서 물체가 내는 원래의 색을 얼마나 정확히 재현할 수 있는가, 디자이너가 의도한 색을 어떻게 충실히 표현할 수 있는가 하는 것이 중요한 문제가 된다. 더구나 디스플레이마다 색특성이 다른 것을 극복하는 것이 과제로 대두된다. 모니터 상으로 예술 작품을 감상할 때 가령, 고려청자 특유의 오묘한 색이 어느 정도 재현될 수 있는지 게다가 사용하는 모니터마다 다른 색이 나온다면 과연 고려청자의 예술성이 표현될 수 있을지?

3. 색채과학적 색표시 방법

색은 이미 잘 알려진 바와 같이 특정한 파장의 가시광선이 눈에 자극을 일으키는 것이다. 태양 광선을 프리즘을 통과시키면 여러 색이 나타남을 알 수 있다. 그러나 특정한 색을 나타내는 스펙트럼이 유일한 것은 아니다. 녹색과 적색의 광선을 혼합하면 황색이 된다. 좀 더 구체적으로 표시하면 세기가 6W이

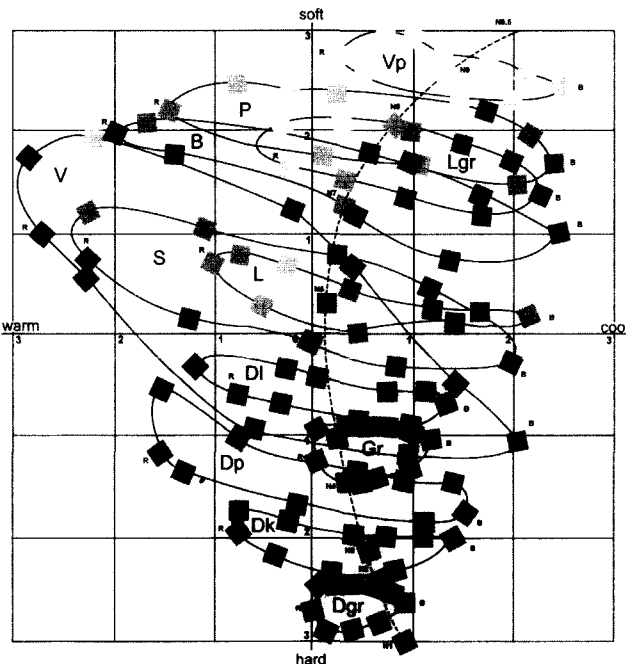


그림 1. 단색 이미지 스케일.

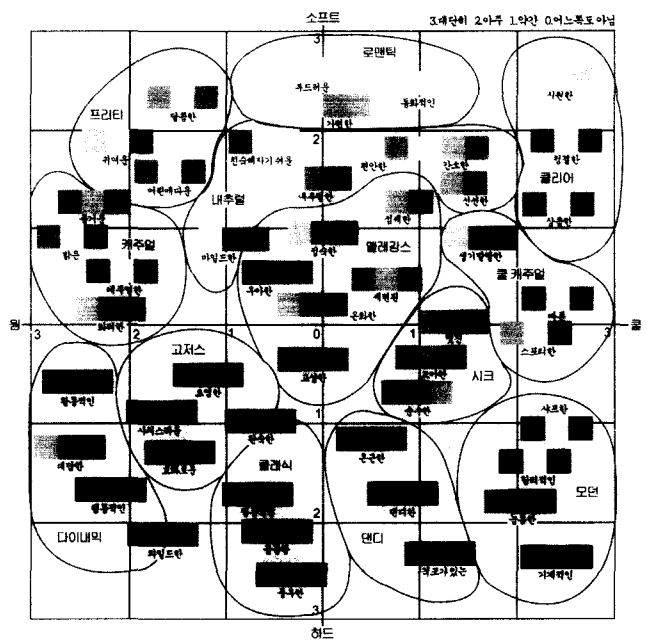


그림 2. 감성 이미지 스케일.

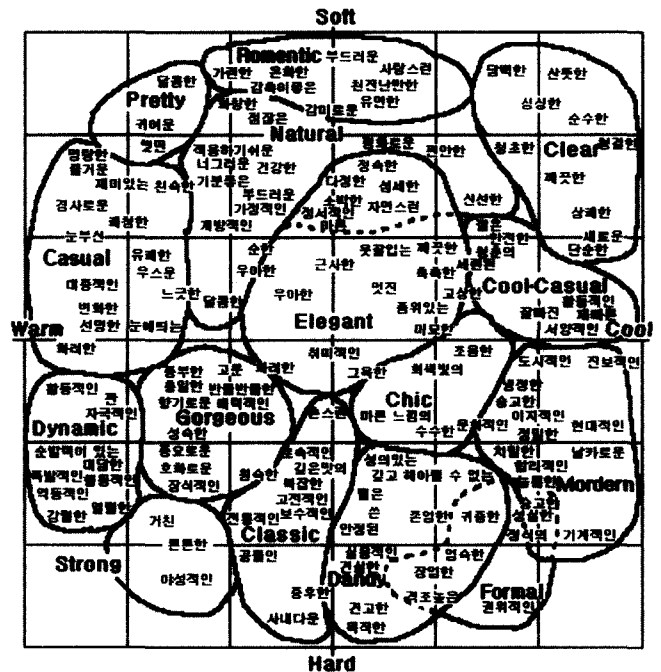


그림 3. 배색 이미지 스케일.

고 파장이 0.54 μm 인 녹색 광선과 세기가 25W이고 파장이 0.65 μm 인 적색 광선이 혼합되어 나타내는 색을 A색이라고 하자. A색과 B색을 나타내는 빛의 스펙트럼 분포는 전혀 다르지만 사람의 눈은 A색과 B색을 구별하지 못한다. 이러한 현상을 색일치(color matching)라고 하며 A색과 B색은 색일치되었다고 한다. 또한 이와 같이 다른 스펙트럼 분포를 나타내

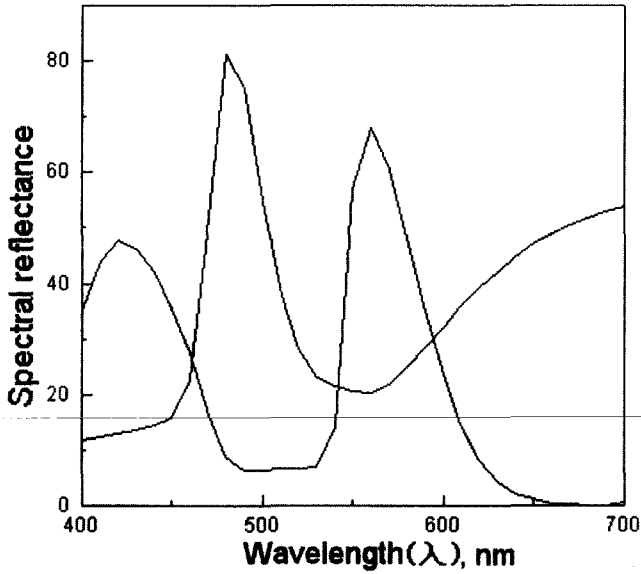


그림 4. 표준광원 C하에서 조건동색을 이루는 두 페인트의 분광 반사 스펙트럼.

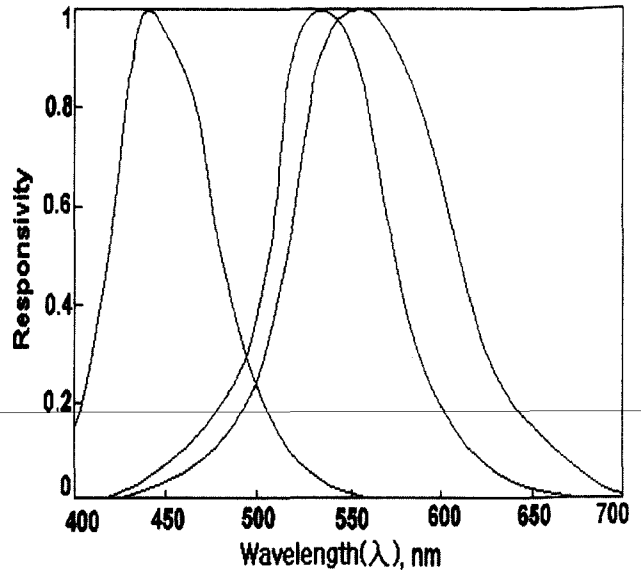


그림 5. 사람 눈의 원추세포의 분광감도.

는 빛이 같은 색을 나타내는 현상을 조건동색(metamerism)이라고 한다^[2,3]. 조건동색은 다른 색의 두 물체가 어떠한 조명 하에서는 같은 색으로 보이게 만들기도 하고 다른 조명 하에서는 다른 색으로 보이도록 만들기도 한다.

그림 4에 두 페인트의 분광반사 스펙트럼을 예로써 나타내었다^[4]. 이 두 페인트에 의해 반사된 빛의 스펙트럼 성분은 다르지만 표준광원 C아래에서는 사람의 눈에 동일한 색으로 보인다. 따라서 색을 다룰 때에는 조명의 영향을 매우 신중하고 고려하여야 한다.

색일치나 조건동색 등의 현상이 나타나는 이유는 사람이 색을 인식하는 과정과 밀접한 관련이 있다. 빛은 눈의 망막에 도달하여 수광체(photoreceptor)에서 흡수된 후 신경신호로 변환된다. 4개의 수광체 중 3개가 색을 구별하는 데 사용되며 그 형태를 따라 원추세포(cone)라고 부른다. 3개의 원추세포는 그림 5에서 보듯이 다른 분광감도를 갖는데 각각 장파장(Red), 중간파장(Green), 단파장(Blue) 영역에서 최대의 민감도를 갖는다^[5].

사람은 이 원추세포의 신호에 의해서만 색을 구별할 수 있으므로 물체의 분광반사율이 달라도 같은 색으로 보이는 경우가 생기게 된다. 이러한 색지각 특성 때문에 임의의 색은 다른 색들의 적절한 혼합에 의해 재현될 수 있다. 3개의 색을 적절히 선정하면 대부분의 색을 재현할 수 있는데 이것을 원색(primary), 또는 3원색이라 부르며 적색(Red), 녹색(Green), 청색(Blue)이 주로 사용된다. 어떤 색을 나타내는데 필요한 원색의 양 R, G, B 를 그 색의 3자극치(tristimulus value)라고 부른다. 3자극 색측정(tristimulus colorimetry)에서는 색의 스펙트럼에는 관계없이 3자극치가 같으면 같은 색으로 간주한다. 예를

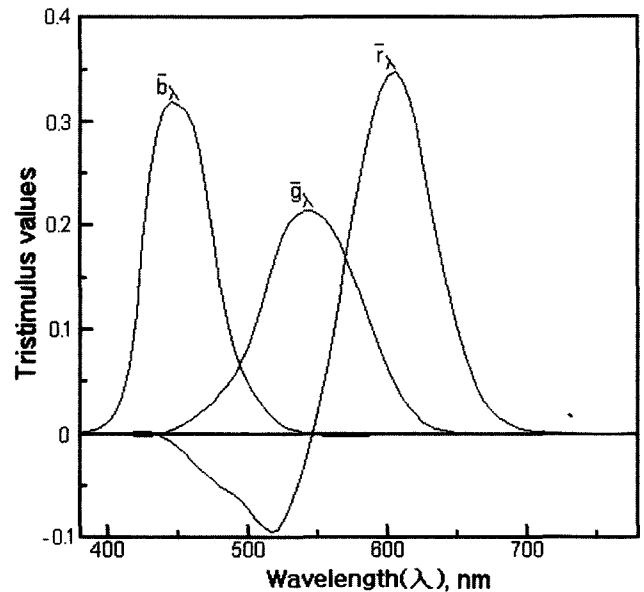


그림 6. 단위에너지 스펙트럼의 3자극치.

들어 3원색이 파장이 $0.70 \mu\text{m}$ (Red), $0.546 \mu\text{m}$ (Green), $0.436 \mu\text{m}$ (Blue)인 단색광일 경우를 생각해 본다. 그림 6에 임의의 파장의 단색광을 재현하는데 필요한 각 원색의 양(3자극치) $\bar{r}_\lambda, \bar{g}_\lambda, \bar{b}_\lambda$ 를 나타내었다. 이것을 단위 에너지 스펙트럼의 3자극치(tristimulus values of equal energy spectrum) 또는 색일치 함수(colormatching function)라고 한다^[4]. 그림 6에서 보듯이 일부 구간에서 음의 자극치를 나타내고 있다. 다시 말해서 이 부분의 색은 이 3원색으로는 나타낼 수 없다는 것을 알 수 있다.

3자극 색측정에 의하면 색은 3개의 숫자로 표시되므로 3차원 좌표의 한 점으로 표시할 수 있다. 원점으로부터 3축이 설

정되고 각 축은 3원색의 양으로 배정된다. 임의의 색은 세 벡터의 합으로 표시되며 벡터의 세 성분이 3자극치에 해당된다. 그림 7에 이 체계가 표시되어 있는데 $R=2, G=4, B=3$ 의 3자극치의 색이 벡터 F 로 표시되어 있다. 벡터의 길이는 빛의 휘도(luminance)를 나타내며 방향은 색도(chromaticity)를 나타낸다. 여기서 색도는 색상과 채도가 포함되어 있는 양이다. $R+G+B=1$ 인 평면은 3축의 단위점을 지나는 단위평면이다. 임의의 색의 색도는 벡터와 단위평면의 교차점 F_0 로서 단위평면에 사상된다. 이와 같이 단위평면 위에 사상된 색도를 색도도(chromatic diagram)라고 하며 그 평면에서의 색의 좌표를 색도좌표라고 한다. 색도도에서 말굽 모양 내부의 색이 자연계에 존재하는 색이며 곡선으로 된 경계선이 단일 파장 스펙트럼의 색이다. 색도도 상에서 두 개의 색을 섞으면 혼합색의 좌표는 두 색의 좌표를 잇는 직선 상에 위치한다. 따라서 자연계에 존재하는 모든 색은 단일 파장의 광선 몇 개를 적절한 비율로 섞으면 만들 수 있다. 여러 색을 혼합할수록 혼합색의 순도는 떨어진다. 즉 곡선의 경계선에 위치한 색이 가장 순도가 높으며 내부로 들어갈수록 순도가 떨어진다.

말굽 모양의 곡선 상에 3개의 점을 선택하여 삼각형을 만들어 보면 삼각형의 면적은 말굽의 면적 보다 항상 작게 되므로 자연계에 존재하는 3원색으로는 모든 색을 나타낼 수 없다. 따라서 그림 6과 같이 음의 자극치가 존재하게 된다. 그러나 3원색을 정하는데 있어서 실제 색으로만 한정할 필요는 없다. 음과 양의 휘도의 빛을 조합하여 가상의 원색을 선정할 수 있다. 물론 이러한 원색은 실제로는 존재하지 않는 가상의 색이다. 예를 들어 $0.7 \mu\text{m}$ (적)의 원색에 $0.49 \mu\text{m}$ (청-녹)의 색을 빼줌으로써 적색의 원색 보다 더 붉은 가상의 원색을 만들 수 있다. 같은 방법으로 휘도가 0인 가상의 원색도 만들 수 있다. 표색계(color specification system)가 유용하려면 심리적 요인들을 고려해야하므로 관측자에 따른 차이도 고려되어야 한다. CIE

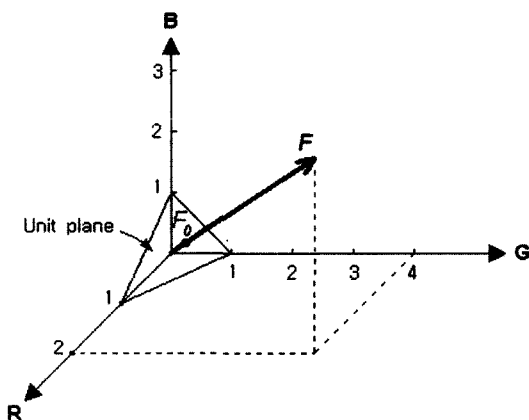


그림 7. 삼자극치 직교좌표계.

(국제조명위원회)에서는 많은 관측자들의 반응을 평균하여 표준관측자를 정의하였다. CIE는 이 표준관측자와 가상의 3원색을 결합하여 CIE 3자극체계를 만들었다. 따라서 CIE 색체계에서는 임의의 색은 그 색을 만드는 데 필요한 원색의 양 즉 3자극치 X, Y, Z 로 표시된다. 단위평면에서의 색도좌표는 $x = \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z}, z = \frac{Z}{X+Y+Z}$ 로 정의된다.

선정된 가상의 3원색은 다음과 같은 특징을 가지도록 설정되었다.

1. 3자극치는 모두 양수의 값을 가진다.
2. 적색 원색과 청색 원색의 휘도는 0으로 설정되어 녹색 원색의 휘도가 나타내려고 하는 색의 휘도와 같다.
3. 청색 원색은 파장이 $0.54 \mu\text{m}$ 이상의 빛에 대해서는 3자극치가 0이 되도록 설정된다.

따라서 $0.54 \mu\text{m}$ 이상의 빛에 대해서는 스펙트럼 색의 궤적은 $x+y=1$ 의 직선에 가깝다.

4. 좌표축의 방향은 단위평면에서 x 축과 y 축이 직교한다. 이렇게 하여 만들어진 좌표가 CIE 색도도이며 그림에서 보았듯이 스펙트럼색의 좌표를 연결하면 말굽모양이 된다. 등에 지 스펙트럼 분포를 지닌 백색의 색도좌표는 $(1/3, 1/3, 1/3)$ 로 표시된다. 이와같이 정의된 단위 에너지 스펙트럼의 3자극치 또는 색일치 함수 $(\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda)$ 는 그림 8에서 볼 수 있듯이 모두 양수이다.

빛이 단색광이 아니고 여러 파장의 빛이 혼합되었을 때 그 빛의 스펙트럼 분포($\Phi(\lambda)$)가 주어지면 3자극치는 다음과 같이

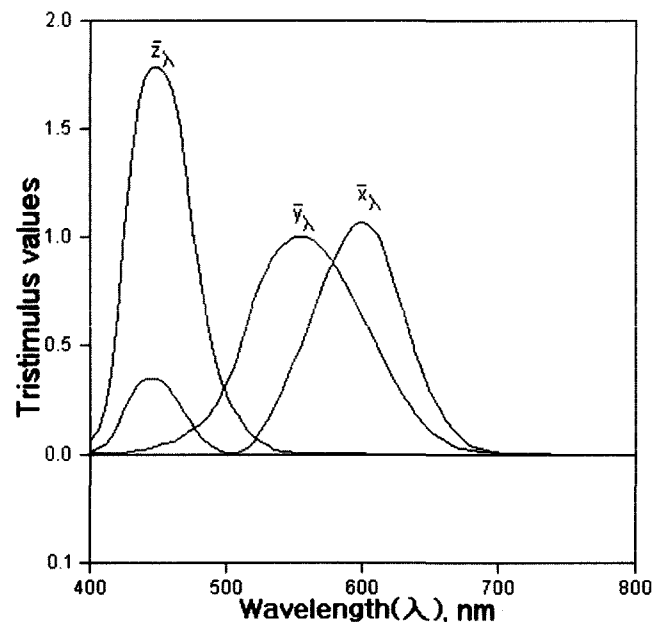


그림 8. CIE 표준관측자의 색일치 함수.

주어진다.

$$\begin{aligned} X &= \int \bar{x}_\lambda \Phi(\lambda) d\lambda \\ Y &= \int \bar{y}_\lambda \Phi(\lambda) d\lambda \\ Z &= \int \bar{z}_\lambda \Phi(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

빛이 물체에서 반사된 물체색의 경우는 조명의 스펙트럼 성분 $E(\lambda)$ 와 물체의 분광반사율 $R(\lambda)$ 를 곱하여 다음과 같이 되며 이 때의 3자극치는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} X &= \int \bar{x}_\lambda R(\lambda) E(\lambda) d\lambda \\ Y &= \int \bar{y}_\lambda R(\lambda) E(\lambda) d\lambda \\ Z &= \int \bar{z}_\lambda R(\lambda) E(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (2)$$

영상색은 모니터 3원색의 적절한 양이 혼합되어 나타난다. 3원색의 최대휘도를 지닌 스펙트럼분포를 $\Phi_{r,m}(\lambda)$, $\Phi_{g,m}(\lambda)$, $\Phi_{b,m}(\lambda)$ 라 하고 혼합된 양을 R, G, B 라 하면 혼합된 색의 스펙트럼분포 $C(\lambda)$ 는^[6]

$$C(\lambda) = R\Phi_{r,m}(\lambda) + G\Phi_{g,m}(\lambda) + B\Phi_{b,m}(\lambda) \quad (3)$$

이다. 따라서 모니터의 3원색이 다르면 다른 색이 나오며 이것이 기기마다 다른 색을 표시하는 원인중의 하나이다. 영상색의 3자극치는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} X_c &= RX_r + GX_g + BX_b \\ Y_c &= RY_r + GY_g + BY_b \\ Z_c &= RZ_r + GZ_g + BZ_b \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $X_r = \int \bar{x}_\lambda \Phi_{r,m}(\lambda) d\lambda$, $Y_r = \int \bar{y}_\lambda \Phi_{r,m}(\lambda) d\lambda$, $Z_r = \int \bar{z}_\lambda \Phi_{r,m}(\lambda) d\lambda$ 이고 g 나 b 에 대해서도 마찬가지이다. 이로부터 삼자극치 X_c, Y_c, Z_c 와 모니터 3원색 빛의 양 R, G, B 의 관계를 행렬식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{pmatrix} \quad (5)$$

4. 표시장치간의 색일치

모니터와 프린터의 색의 차이는 그래픽 디자인 등과 같이 색에 민감한 분야에서는 매우 골치 아픈 문제가 되어왔다. 포토샵이나 여러 종류의 소프트웨어를 사용하여 영상을 만들어 프린터로 뽑아보면 마음에 들지 않아 당황하는 일이 종종 일어난

다. 그들에게 있어서 색의 불일치는 대단히 중요한 문제가 되고 있다. 이것은 모니터와 프린터의 색영역(color gamut)이 달라서 일어나는 현상이다. 그림 9의 색도도에서 직선으로 이루어진 다각형 내의 색이 표시 가능한 영역인데 프린터보다 모니터의 색영역이 매우 더 넓은 것을 알 수 있다. 따라서 모니터상의 영상의 색을 프린터에 정확히 표시하기는 매우 어렵다^[7].

이러한 현상은 디스플레이의 종류에 따라서도 다르게 된다. CRT와 액정 디스플레이의 색영역의 크기는 큰 차이가 없으나 액정은 녹색 영역, CRT는 청색 영역이 더 표시됨을 알 수 있다. 뿐만 아니라 같은 CRT 모니터 사이에서도 제조회사나 모델에 따라서도 영상의 색이 매우 다르다.

그림 10은 현재 국내에서 널리 사용되고 있는 3가지 제품을 비교한 것이다. 색영역은 비슷하여도 제품에 따라 백색과 바탕색의 색도좌표가 서로 달라 모니터마다 색특성이 다르게 된다^[8]. 전자출판에 종사하는 프로그래머들에 있어서는 기기(device)들 사이의 색 불일치가 매우 첨예한 문제가 된다. 예를 들어 그림책, 미술 백과사전 등을 CD-ROM으로 출판할 경우 식물, 동물 또는 작품의 색을 그대로 재현하는 것이 매우 중요하다. "일본의 새"라는 CD-ROM을 제작하던 일본의 한 엔지니어는 모니터 종류와 타입이 명시되지 않은 경우, 색차이 문제가 개발 과정에서 가장 어려운 문제라고 호소했다.

이와 같이 기기마다 사용되는 3원색이 다르므로 3원색의 색좌표가 다르고 따라서 표현되는 영상색의 색좌표가 다르게 된다. 프린터는 모니터와 달리 가색혼합이 아닌 감색혼합법을 사

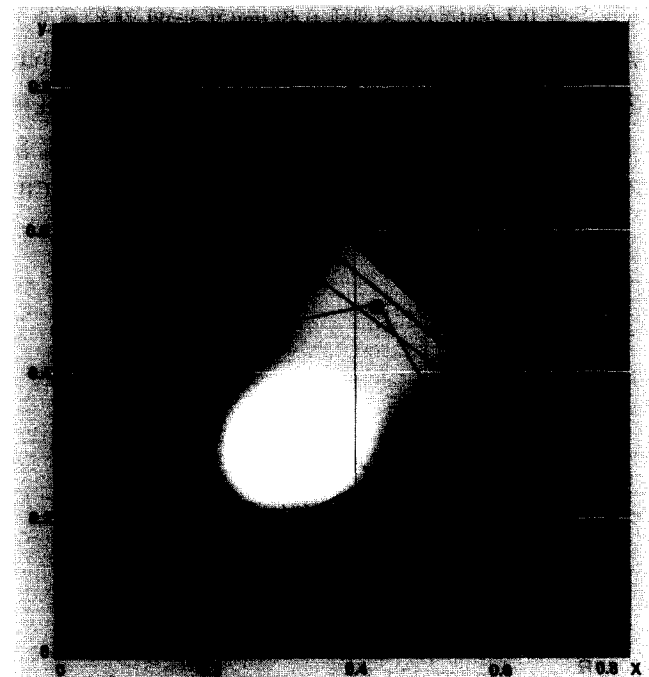


그림 9. 색도 도상에서의 색표시장치의 색영역 비교.

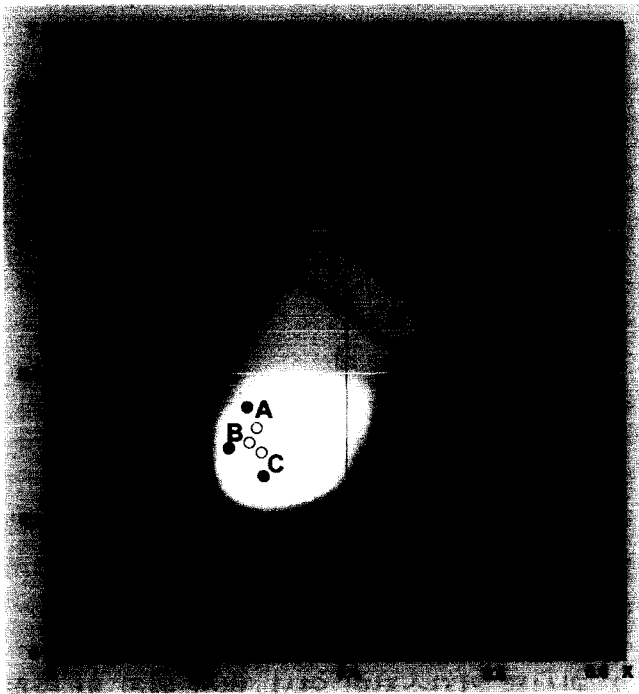


그림 10. 3가지 제품의 CRT모니터 색특성 비교.

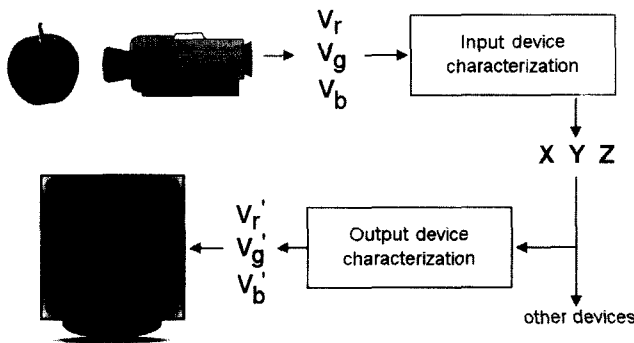


그림 11. Color management 소프트웨어의 흐름도.

용하므로 더욱 세심한 고려가 요구된다. 또한 모니터나 프린터와 같은 영상출력기기 외에도 스캐너, 디지털 카메라와 같은 영상입력기기의 색특성도 고려되어야 한다. 따라서 영상표시에는 이러한 영상기기마다의 색특성을 고려한 색일치 기술이 반드시 필요한 것이다. 현재 이러한 목적으로 자연색 재현 연구 또는 장치에 독립적인 색재현 기술(device independent color imaging)에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다^[9]. 그림 11은 입력장치의 색특성을 고려하여 영상신호를 장치에 무관한 표준화된 색공간의 정보로 변환시킨 후 다시 출력장치의 색특성에 맞게 영상신호를 변환시키는 Color management 소프트웨어의 흐름도를 나타낸다^[10]. Adobe Photoshop이나 QuarkXPress에 사용되는 Daystar ColorMatch, Applesync 등을 예로 들 수 있으며, 최근에는 Win95 등의 OS에

같이 공급이 되는 추세이다. 국내기업에서도 이러한 소프트웨어가 곧 제품화될 예정이다.

5. 결 론

더욱 많은 영상기기들이 가정에 보급될 전망이며 이에 따라 기기들 사이의 색차이에 대해 불편함을 느끼는 사람의 수는 증가될 전망이다. 이 기기들 중에서 예를 들어 멀티미디어 모니터는 광범위한 영역의 영상 자료들을 스크린에 표시할 것이며 고품위 텔레비전(HDTV)은 비디오, 프린터와 연결될 것이다. TV등의 가전제품을 만드는 회사들은 아직은 색일치에 대해 관심을 두고 있지 않다. 그러나 장래에는 TV에 CD-ROM 플레이어, CD-I 플레이어 그리고 디지털 카메라와 같은 다양한 기기들이 연결될 것이므로 색일치의 중요성은 더욱 증대될 것이다. TV가 현재와 같이 모델에 따라 색이 다르다면 TV 수상기는 CD-I 등의 소프트웨어 디자이너가 의도한 색을 재현하지 못할 것이다.

색채과학은 과학과 예술을 접목시켜 고감도 산업기술의 개발을 이룩할 수 있는 연구분야이다. 이 분야는 과학, 공학, 디자인, 예술 등 여러 분야의 학제적 공동 연구가 필요하며, 정보화 시대에 있어서의 색에 대한 활용성이 더욱 증대될 것으로 예상되는 바 각 분야의 전문가들이 색채과학에 대해 많은 관심을 갖기를 바란다.

참고문헌

1. Shigenobu Kobayashi, "The aim and method of the color image scale", *Color Research and Application*, pp. 93-107, 6(2), 1981.
2. R. Tackson, *Computer Generated Colour*, John Wiley & Sons, 1994, ch.1.
3. Leo Levi, *Applied Optics*, vol.1, John Wiley & Sons, 1968, ch.1.
4. G. Wyszwcki, *Color Science*, 2nd, John Wiley & Sons, 1982, ch.3.
5. R. W. G. Hunt, *Measuring Color*, Ellis Horwood Limited, 1987, ch.2.
6. R. S. Berns, "CRT colorimetry. Part I: theory and practice", *Color Research and Application*, pp. 299-314, 18(5), 1993.
7. Hiroki Eda, et al., "Color management: Standardization of color displayed by PC peripheral devices", *Nikkel Electronics (Asia)*, pp. 22-29, March, 1993.
8. 박승옥, 김홍석, "CRT 디스플레이의 색평가 및 비교", 제8회 광기술 워크샵 논문집, pp. 46-53, 1998.
9. R. Eschbach and K. Brann, "Recent progress color science", *IS & T*, 1997.
10. Roy S. Berns, "Colorimetry, Part II: imaging applications", *Optics & Photonics News*, pp. 23-27, October, 1995.