

색채계측에 대하여

김 창 순 (한국표준과학연구원 양자연구부)

색채는 우리생활에 가장 친근한 현상이고 우리가 이 세상에 태어나 다시 떠나는 날까지 평생 관계를 맺고 지내야 하는 환경이기도 하다. 우리의 일상 생활에 이토록 깊은 관계가 있는 일상 그 자체라고 까지 할만큼 가까운 현상이기 때문에 색채가 우리에게 전하는 직, 간접적인 영향은 실로 지대하기 짝이 없다. 우리 가족이나 가까운 친구의 얼굴이나 피부색이 조금만 변화여도 우리는 예민하게 파악할 수 있다. 우리가 참 아름답다고 느끼는 색채에서 약간만 벗어나도 아니올시다 하고 고개를 젓는 경우가 허다하다. 인간이 감지하는 색채의 정밀도는 현대과학이 따라가기에도 버거울 정도로 예민한 것이다.

현대사회에서 인간은 자연의 색채보다도 인공적인 색채환경에 휩싸이는 경우가 더욱 빈번하다. 한 낮에도 인공 조명이래서 생활하는 경우가 점점 늘고 있다. 수 만년 동안 자연의 색채에 익숙하였던 인류는 이제는 점점 더 인공의 색채에 접하는 기회가 늘어나게 되고 때로는 부자연한 색채환경 속에서 정신적인 부담과 스트레스를 느끼기도 한다. 또한 사회의 발전과 더불어 의사전달과 광고 등에 색채는 더욱 빈번히 사용되고 있다. 여러 색료 기술의 발전과 저렴한 색료의 보급과 더불어 색채가 예술가의 캔버스에서 벗어나 일반인의 걸으로 다가섬에 따라 색채는 우리사이에 보다 빈번하고 가까운 개념으로 변했다. 색채의 영향력이 점점 더 커지고 공산품이

나 생활환경에서 색채의 중요성이 점점 더 부각됨에 따라 보다 아름답고 즐거움을 주는 색채환경을 구현하고자 하는 인간의 노력은 그 동안 자연스럽게 친근해 졌던 색채를 보다 분석적이고 과학적인 시야로 새롭게 접근하게 하였다.

색채에 대한 과학적인 접근의 가장 첫걸음은 색채의 객관적인 표현이다. 색채를 정확하게 전달하는 색채의 이름이나 좌표를 정하고자 하는 노력이 바로 금세기초 국제조명위원회(CIE : Commission Internationale de L'Eclairage)에서 이루어진 색채계측에 관한 국제표준화 작업이다. 이 위원회에서는 색채를 인간에게 색채감각을 일으키는 물리적인 자극광선(stimulating light)으로 객관화하고 이에 대한 인간의 색채자극을 표준화하였다. 이러한 작업은 색채를 느끼는 인간의 감각체계와 정보처리 과정 등 핵심적인 지식과 연구가 부족한 상황에서 다소 무리가 없는 것은 아니었으나, 색채의 체계적인 연구를 위해서는 표준화가 가장 시급한 단계라는 것이 이 작업에 참가한 과학자들과 각 회원국들의 공통된 인식이었다. 이러한 상황에서 1931년 CIE는 색채의 계측을 위한 측정표준을 추천하게 되었다.(CIE recommendation 15 : 1931)

그 후 60여년간 CIE 추천표준은 여러가지 허점과 다양하게 제시되는 문제점에도 불구하고 색채과학의 기반이 되었으며, 그 동안 여러 산업분야에 도움을

주는 국제산업표준으로서의 몫을 단단히 하였다. 이러한 표준화 개념은 거대한 현대산업사회의 모범적인 사례로 지목되었고 지금은 국제표준기구인 ISO (International Standards Organization)에서도 CIE의 위상을 높이 인정하여 색채와 조명에 관련된 표준화작업은 CIE에 일임하고 CIE에서 의결된 추천안은 수정없이 국제표준규격(International Standard)으로 받아들이고 있다.

이 글에서는 일견 애매하고 불분명한 인간의 자극과 감각의 영역인 색채를 어떻게 객관적이고 계측가능한 양으로 취급할 수 있는 지, 색채의 표준화와 색채계측은 어떻게 유지되고 시행되는지에 대한 설명을 하기로 한다.

1. 색채의 삼 요소

색채를 인간에게 일어나는 일정한 시각자극으로 정의 할 때, 이러한 자극(색채)이 일어나기 위해서는 세 가지 요소가 있어야 한다. 첫 번째, 우리 인간의 눈에 보이는 가시광선(파장이 380nm~780nm 사이의 전자파 : 1nm=1,000,000,000분의 1m)을 복사하는 광원이 있어야 한다. 두 번째, 요소는 물론 물체이다. 각 물체마다 고유의 파장에 따른 반사율 분포가 있다. 이것을 분광반사율이라 하는데 이 분광반사율에 의하여 비춰진 광선은 물체 고유의 색채로 바뀌게 된다. 이렇게 물체에 의하여 변조된 광선(stimulating light : 자극광선)이 세 번째, 요소인 사람의 눈에 의하여 색채로서 감지되게 된다. 즉 색채란 인간의 눈에 의한 자극현상이라는 뜻이다.

이렇게 색채가 이루어지기까지 세 가지 요소를 전제할 때, 이들 각 요소마다 조건이 바뀌게 되면 바로 색채에 영향을 미치게된다. 이러한 각 요소별 변인을 분석하고 이를 표준화시키는 과정이 바로 색채계측의 표준화 작업이고 또한 색채를 측정할 때에 각 별히 주의해야할 점들이기도 하다.

각각의 광원은 고유의 분광복사분포가 있다. 이는 단순히 광원의 밝기를 말하는 것이 아니라 각 파장마다의 상대적인 복사강도의 분포(relative spectral intensity distribution)를 의미한다. 어떠한 광원 아

래서 색채를 관측하느냐에 따라 색채가 다르게 보인다. 수은등과 형광등과 같은 방전등들은 일반적으로 단파장의 복사량이 풍부하여 한색계열의 색채(파랑, 보라, 청록, 녹색 등)들이 잘 보인다. 반면에 백열등과 같은 방열등은 장파장 복사량이 풍부한데 비하여 단파장의 복사량이 부족하여 한색계열의 색채들이 죽어 보이고 난색계열의 색채(노랑, 주황, 빨강 등)들이 잘 살아난다. 광원의 색채 재현성을 평가하는 지표로 연색지수를 사용하고 있으나, 연색지수는 광원의 색온도에 해당하는 daylight나 Plankian radiator(완전복사체)를 기준으로 비교한 수치이므로 주의해야 한다.

물체는 각기 고유의 분광반사율이 다르다. 또한 물체의 표면상태에 따라 색채가 다르게 보이기도 한다. 대개 물체 표면의 뽀짝거림(gloss)이 색채측정의 객관성을 떨어뜨리는 경우가 많은 데 이러한 문제 때문에 뽀짝거림을 피하여 색채를 측정하거나 관측하는 것이 일반적이다. 또한 색채를 최종적으로 인식하는 사람의 눈이 색채의 변인이 된다. 같은 사람도 시간적, 공간적 색채적응상태에 따라 색채가 다르게 보일 수 있다. 또한 사람들 사이에는 적지 않은 색채감각의 차이가 존재할 수 있다. 인간의 색채에 대한 감응도는 분광감응도(spectral sensitivity)로 정의 할 수 있다.

2. 색채의 표준화

위에서 말한 변수들을 표준화하면 색채를 객관적으로 측정할 수 있는 색채계측이 가능하게 된다. 광원에 대하여는 흐린 날 빛들이 구름에 분산되어 비춰지는 빛의 분광분포를 기준으로 표준광 C(CIE standard illumination C)를 정하였고 이에 더하여 재현성이 좋은 표준광 A, 맑은 날의 분광분포를 기준으로 한 B, 표준광 C에 자외선 복사부분을 보강한 D65 등의 표준광을 정하였다. 물체 표면에서의 뽀짝거림에 의한 효과를 최소화하기 위하여 45/0, 0/45, D/0, 0/D의 네가지 관측 geometry를 색채측정의 표준으로 정하였다. 인간의 색채에 대한 분광감응도는 약 250명의 피시험자에 대하여 각 파장의

단색광을 red(700nm) green(546nm) blue(436nm)의 삼원색으로 matching 시키는 실험을 하였다. 즉 가시광선의 각 단일파장은 이 세 가지 삼원색 자극의 조합으로 해석한 것이다. 따라서 전 가시광선 영역에서 이 세 가지 삼원색의 자극을 모두 모으면 특정한 색채를 삼원색자극의 특별한 조합으로 지정 할 수 있다는 이론이다. 실험 결과 몇 가지 예기치 못한 문제(-자극치 등)와 계산적인 편의를 위한 수학적 조작이 있었지만 색채의 계측은 크게 이러한 개념에서 벗어나지 않았다.

색채표준화는 색채의 삼 요소에 대한 표준화를 바탕으로 색채를 삼차원 좌표로 지정할 수 있는 계측 체계로 완성되었다.

$$X = k \int_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \int_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

단, $k = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$

$S(\lambda)$: 광원의 분광분포
 $R(\lambda)$: 물체의 분광반사율
 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: 표준관측자의 색시감효율함수
 (식 1-1)

(식 1-1)은 CIE 삼자극치를 계산하는 식으로 X 값은 빨간색 자극치에 Z 값은 파랑색 자극치에 그리고 Y 값은 밝기(brightness)에 대응되는 수치이다.

3. 색좌표계

측정된 색채좌표는 전체 색채를 표현할 수 있는 색채공간에 하나의 점으로 표시되며 이렇게 계측된 색채들이 자리하는 공간을 색좌표계(color coordinate system)라고 한다.

색좌표계에서 두 색채간의 거리는 바로 색차(color difference)가 되는데 이 색차가 사람이 객관적으로 느끼는 색차감과 얼마나 일치하느냐가 초기 CIE 색좌표계들의 문제점으로 지적 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 균일색 공간좌표들의 연구가 성과를 거두어 지금은 광원색에 대하여는 Uniform Chromaticity Scale(CIE 1976 UCS (u', v'))이 개발되었고, 물체색에 대하여는 CIE $L^*a^*b^*$ 좌표계와 CIE $L^*u^*v^*$ 좌표계가 개발되어 여러 분야에서 폭넓게 사용되고 있다.

색채는 sample의 크기에 따라 다르게 느껴진다는 것이 밝혀져 1964년 중전의 2도 시야 표준관측자의 색시감함수(color matching functions of CIE 1931 standard observer : $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$)에 대하여 10도 시야의 표준관측자 색시감함수(color matching functions of CIE 1964 supplementary standard observer : $\bar{x}_{10}, \bar{y}_{10}, \bar{z}_{10}$)가 추가되었다.

4. 색채의 측정표준

색채 측정에 영향을 미치는 세 가지 요소의 표준화를 통하여 색채를 측정함에 있어서 실질적인 계측량은 분광반사율 뿐이다. 분광반사율 $R(\lambda)$ 를 측정하면 (식 1-1)에 의하여 색좌표가 측정되게 된다. 그런데 바로 이 $R(\lambda)$ 의 기준이 되는 반사율 100%의 개념이 어려움이 있었다. 반사율 100%란 어떤 것인가? 이 개념이 설정된다 하더라도 이 기준은 어떻게 측정되고 구현되어야 하나? 하는 문제들이다. CIE에서는 잠정적으로 MgO의 반사율을 100%로 설정하고 이를 분광반사율의 측정표준으로 설정하였다. 그러나 백색표준물질에 대한 연구와 절대반사율 측정방법에 대한 연구가 상당한 성과를 거둠에 따라 1971년 CIE에서는 분광반사율의 측정표준을 이상적인 완전확산반사체(PRD : Perfect Reflecting Diffuser)의 반사율(reflecting factor)을 기준으로 하는 절대반사율 척도로 개정하였다.

절대반사율을 측정하는 방법과 측정정확도는 각국의 표준기관마다 다소간의 차이는 있으나, 현재 국제표준은 불확도 0.02% 내외로 일치하고 있다. 절

대반사율에 대한 국제표준은 약 4년마다 국제적인 선진 표준기관이 백색기준물을 교환하여 측정결과를 비교하여 유지하고 있다. 우리 나라는 1996년 처음으로 절대반사율 측정장치를 개발하고 국제표준수준에 일치하는 측정결과를 발표함으로써 국제표준을 함께 측정하는 나라로써 발돋움하게 되었다.

절대반사율 측정장치에서 교정된 백색기준판은 색채계나 분광광도계의 반사율이나 색채값을 측정하기 전에 장비의 교정 기준으로 사용된다. 이러한 표준체계가 잘 유지되어야 정확한 색채측정 값을 얻을 수 있고 이를 바탕으로 색채의 정밀한 관리가 가능하게 된다.

5. 정직한 색채계측의 영향

색채의 가장 이상적인 관리는 색채를 정확하고 섬세하게 재현할 수 있는 기술을 의미하는데, 이를 위해서는 색채의 정확하고 정밀한 측정기술을 확보하는 것이 필수적이다. 색채의 섬세하고 정확한 재현은 오늘날 국제시장에서 또 하나의 숨겨진 첨단기술로 부각되고 있다.

소비자들의 기호에 정확하게 일치하는 색채를 생산하기 위하여 소비자들의 예민하고 섬세한 색채에 대한 감성적인 요구나 기호성향을 파악하는 기술과 이를 재현하기 위한 기술은 상당한 경험과 실력을 필요로 한다. 색채와 배색으로 느껴지는 여러 가지 감성을 체계화하고자 하는 노력도 상당한 성과를 거두고 있다. 디자이너가 지정하는 색채가 최종 생산품에 이르기까지 정확하게 재현되도록 하기 위하여 CCM(Computer Color Matching system)등과 같은 첨단기술과 장비들이 활용되고 있다. 인간이 색채를 분류하는 분류체계에 가장 가깝게 접근하기 위한 노력이 여러 가지의 색채분류체계의 개발로 나타나고 있다.(스웨덴의 NCS color system, 일본의 PCCS color 체계, 미국의 Munsell system 등) 이러한 노력들은 인간에 대한 색채의 감성적이고 직접적인 영향을 증시한 결과이다. 색채의 감성적이고 직접적인 영향에 대한 이해와 활용수준은 상품시장에서 생활 환경에서 문화활동에서 어떤 제품의 색채디자인이나 행사의 색채기획 등을 통하여 특정한 집단의 품격과 문화를 평가할 수 있는 척도로서 떠오르고 있는 것이다.