

## C군의 B급 잡설, 色: 第九篇

지난 호에서 새해와 새해에 찾아오는 묘한 상실감에 대한 이런저런 뉘드리를 늘어놓았었는데, 다시 새해를 이야기하는 구정이 찾아왔습니다. 달력상으로 새해는 이미 지났는데 명절 분위기는 새해가 한 달도 더 지난 구정이 훨씬 짙으니, 휴일 때문에 좋은 것 같으면서도 알 수 없이 허전한 뭔가가 있기도 한 기분입니다. 이 아리송한 기분을 그대로 살려서 알맹이는 이미 다 읊고 지나간 듯하지만, 여전히 허전한 무언가를 채워줄 대망의 아홉 번째 색(色)에 관한 연재를 시작하겠습니다. 어려운 이야기는 다 끝났고 CIE xyz 색공간에 관해 알아두면 좋은 것들을 나열하는 것만이 남았으므로 진도를 시원시원하게 뿜도록 하겠습니다.

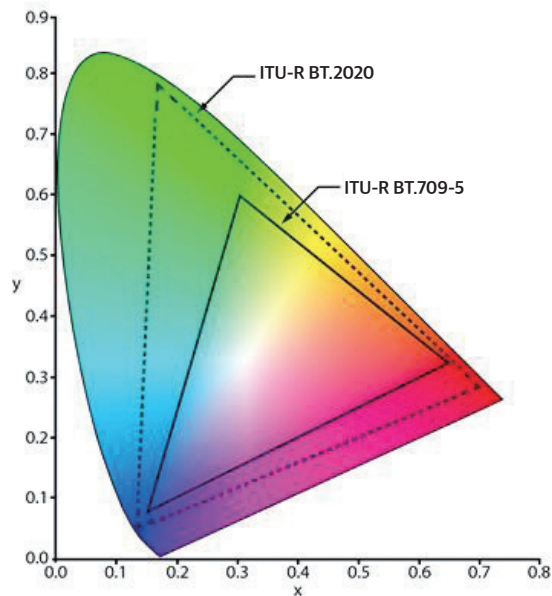


그림 1. CIE 1931 색도분포표  
/ 출처 : [www.stylezineblog.com](http://www.stylezineblog.com)

지난 여덟 번째 연재에서 [그림 1]의 'CIE 1931 색도분포표'가 어떻게 탄생되었는지 설명했습니다. 특정 파장의 빛과 같은 색을 내는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합에서 시작한 Guild의 실험 데이터를 이용해 임의의 스펙트럼을 갖는 빛의 X, Y, Z 값을 계산하여 색을 수치로 표현할 수 있게 되었고, 이 X, Y, Z 값을 [수식 1]에 따라 x, y, z로 변환한 후, [수식 2]의 관계를 이용하여 2차원 xy평면에 그린 것이 [그림 1]의 'CIE 1931 색도분포표'입니다. 여기서 Y는 빛의 휘도를, y는 0~1 사이로 정규화된 빛의 휘도를 나타낸다는 것을 꼭 기억하세요.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad \dots\dots\dots \text{[수식 1]}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

$$x+y+z = \frac{X+Y+Z}{X+Y+Z} = 1, \quad z = 1 - (x+y) \quad \dots\dots\dots \text{[수식 2]}$$

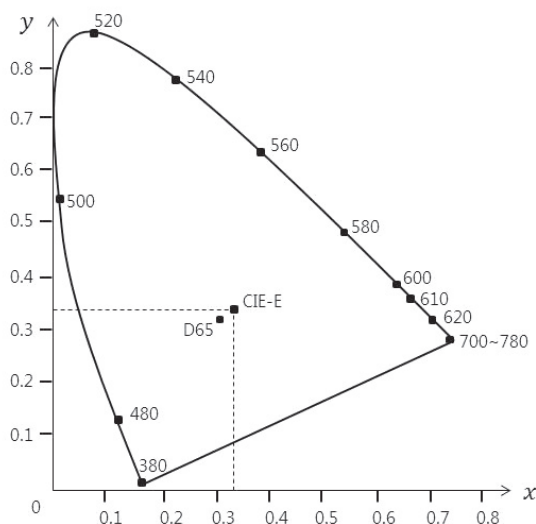


그림 2. CIE 1931 색도분포표

[그림 1]에 다른 정보를 추가하여 다시 그린 [그림 2]를 통해 ‘CIE 1931 색도분포표’에 관해 조금 더 자세히 알아보겠습니다. 우선 [그림 2]에서 가장 먼저 눈에 띄는 것은 말발굽 모양의 외곽선을 따라서 분포하는 숫자들입니다. 이 숫자들은 무엇을 의미할까요? 이 숫자들의 의미는 특정 파장의 빛과 같은 색을 내는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합에서 시작한 Guild의 실험 데이터에서 찾을 수 있습니다. Guild의 실험을 소개할 때 380nm부터 780nm까지 5nm간격의 단일파장의 빛과 등색의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비를 찾는 실험이라고 전해드렸습니다. [그림 2]의 말발굽 모양의 외곽선은 Guild가 실험에서 사용한 380nm부터 780nm 사이의 단일 파장을 갖는 빛의 색을 평면 위에 표시한 것입니다. 바꾸어 이야기하면 말발굽 모양 외곽선은 380nm부터 780nm 사이의 단일 파장이 갖는 빛의 색을 나타내는 xy값이 됩니다. [그림 2]의 말발굽 모양을 따라 푼툼툼툼 쓰여 있는 380~780 사이의 숫자들은 앞서 언급된 단일 파장들 중 일부만을 곡선 위에 표시한 것입니다.

[그림 2]에서 처음 눈에 들어오는 외곽선 위의 숫자들에서 다른 곳으로 눈을 돌리면, 그 다음에 눈에 들어오는 것이 CIE-E, D65라고 표시된 점들입니다. CIE-E의 좌표는 (1/3, 1/3)이고, D65의 좌표는 (0.31271, 0.32902)입니다. 우선 CIE-E라고 표시된 점부터 설명을 드리면, 이 점은 Guild의 실험에서 사용된 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원을 모두 최대치로 섞어서 만들어지는 백색의 xy좌표입니다. CIE-E로 표시된 이 백색은 모든 파장에서 동일한 에너지를 가지는 스펙트럼을 가지는 빛의 색입니다. 하지만 자연계에는 모든 파장에서 동일한 에너지를 가지는 빛이 존재하지 않으며, 실험을 위해 고안된 가상의 백색광이라고 C군은 알고 있습니다.

그럼 D65라고 표시된 점은 무엇일까요? CIE에서는 D65를 북-서유럽의 맑은 하늘에서 산란된 한낮의 태양광으로 정의하고 있습니다. 물론, 과학에서 이런 모호한 표현은 의미를 가질 수 없으므로 D65의 파장별 에너지 스펙트럼도 정의되어 있습니다. 그런데 말입니다. 왜 한낮의 태

양광으로 백색광을 정했을까요? 사실, 인간이 보는 사물의 색은 사물이 자체적으로 발산하는 것에 의한 것이 아니라, 외부의 광원으로부터 나온 빛이 사물에 반사되어 눈을 자극하고, 이 자극을 뇌가 해석한 것입니다. 엄밀히 말하면, [그림 2]의 말발굽 한 가운데의 D65의 xy 좌표값은 백색물체(표면에 입사한 빛을 전부 반사하는 물체)에 반사된 D65 광원의 색입니다. 사실 D65 광원 자체의 스펙트럼으로부터 xy 좌표값을 구하던, 백색물체에서 반사된 D65의 스펙트럼으로부터 xy 좌표값을 구하던 내용적으로는 차이가 없지만, 기준백색이라는 개념을 확실히 하기 위하여 첨언하였습니다. 그러면 CIE-E와 D65 두 가지 중에 일반적으로 기준이 되는 백색은 무엇일까요? 이에 대해서는 통상적으로 D65를 기준으로 사용하는 것 같습니다. 이유는 아마도 인간이 자연에서 가장 흔하게 접하는 광원이 D65이므로, 인간의 뇌가 가장 자연스럽게 백색으로 인식하는 광원의 색이 D65이기 때문인 것 같습니다. CIE-E는 CIE 색도분포표가 나오게 된 실험의 중요한 요소이므로, [그림 2]에 참고로 표시하였습니다.

[그림 2] 말발굽 모양의 외곽선 위의 숫자들과 중심부의 두 백색점이 처음엔 낯설었지만, 이제 그 의미를 알아가겠습니다. 그런데, 역시나 산 넘어 산이라고... [그림 2]에서 알만한 사실은 다 안 것 같았는데, 문득 눈에 들어오는 이상한 점이 있을 것입니다. 바로 말발굽 모양의 밑변으로 보이는 직선 위에는 아무 숫자도 쓰여 있지 않은 것입니다. 앞서 말발굽 모양의 외곽선을 설명하며, 외곽선 주변의 숫자는 해당 xy 좌표값을 갖는 색을 내는 광원의 파장이며, 이 광원에서 나오는 빛은 하나의 파장 성분으로만 이루어져있다고 설명했습니다. 그리고 이 설명에 [그림 2]의 말발굽 모양의 밑변에 왜 아무 숫자가 없는지에 관한 힌트가 있습니다. 바로 그 밑변 부분의 색은 단일 파장 광원으로는 낼 수 없는 색들이기 때문입니다. 밑변의 색들은 '빨강' 광원의 빛과 '파랑' 광원의 빛을 섞으면 얻을 수 있는 색이지만, 인간의 가시영역인 380nm~780nm 사이의 단일 파장 광원으로는 낼 수 없는 색이라는 것입니다.

이제 [그림 2] 말발굽 모양의 외곽선 위의 숫자들의 의미와 유무에 관한 의미까지 알았으니, 자연히 관심은 말발굽 모양의 내부로 향할 것입니다. 말발굽 모양의 외곽선은 단일 파장의 빛의 색이라고 했으니 당연히 말발굽 모양의 내부는 단일 파장의 빛이 아닌 이 파장, 저 파장의 빛들이 섞인 빛의 색이겠죠? 네, 그렇습니다. 말발굽 모양의 내부로 갈수록 그 색을 내는 빛의 스펙트럼은 이 파장 성분, 저 파장 성분 골고루 섞이게 됩니다. 그럼, 이와 진도를 빼는 김에 [그림 3]을 통해서 빛의 파장과 색의 상관관계에 관한 설명을 더 이어가도록 하겠습니다.

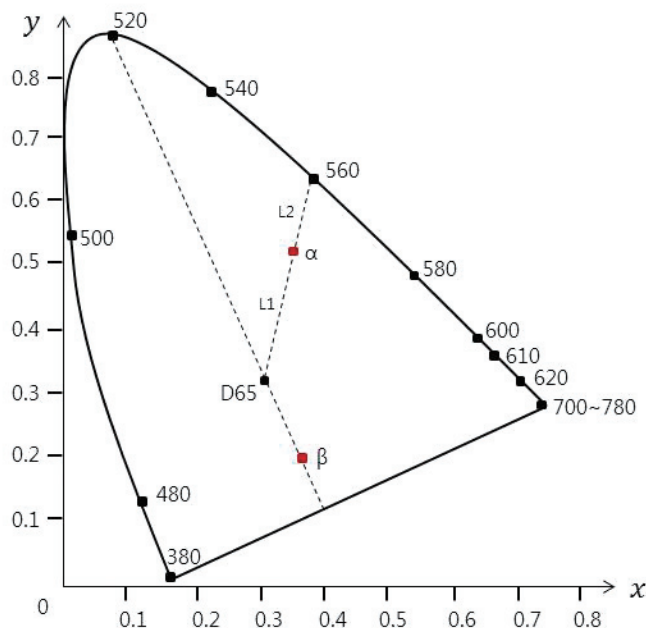


그림 3. CIE 1931 색도분포표

색에 관한 연재의 초기에 인간이 색을 분류하는 기준으로 휘도, 색상, 채도를 설명한 적이 있습니다. 이제 'CIE 색도 분포표'와 우리가 흔히 색을 분류하는 기준인 휘도, 색상, 채도를 연결해서 'CIE 색도 분포표'를 통한 색의 이해를 높여보도록 하겠습니다. 색채에 관해 심도 있는 지식 이 없는 C군은 휘도는 빛의 밝기이고, 색상은 색의 계열을 나눈 것이고, 채도는 색의 짙은 정도라고만 이해하고 있습니다. 이런 이해가 적절한 지 적절치 못하니 그 판단조차 확신이 없지만, 대충 감으로 때려보면 큰 문제는 없을 것 같으므로 그냥 이 정도의 의미로 휘도, 색상, 채도를 사용하도록 하겠습니다. 우선 앞서서 Y는 빛의 휘도를, y는 0~1 사이로 정규화된 빛의 휘도를 나타낸다고 말씀드렸으니, 휘도는 넘어가도록 하겠습니다. 그럼 색상과 'CIE 색도 분포표'는 무슨 상관이 있을까요? 이 질문에 답하기 위해서 [그림 3]에서 빨간색으로 표시된 두 점 α와 β를 예로 들겠습니다. [그림 3]에서 α의 색상은 기준백색으로부터 α를 지나는 선을 길게 그어 그 선과 말발굽 모양의 외곽선의 교점에 해당하는 색을 갖는 단일 파장 광원의 파장인 560nm를 이용하여 표현합니다. 이 예의 경우 α의 색상을 이야기할 때, 'α는 주파장이 560nm인 색' 정도로 표현하게 됩니다. 다시 말해서, 560nm 단일 파장으로 이루어진 빛의 색과 같은 계열의 색이라는 것입니다. 이렇게 매우 명쾌한 방법으로 'CIE 색도 분포표'에서 색상에 관한 정보를 읽을 수 있습니다.

그런데, 여기서 애매한 문제가 나타납니다. 그럼 β의 경우는 어떻게 파장을 통해 색상을 표현할까요? 기준백색으로부터 β를 지나는 선이 말발굽 모양의 외곽선과 만나는 부분은 단일 파장의 빛으로는 구현할 수 없는 색을 내는 구간이니 말입니다. 이때는, 기준백색과 β를 지나는 선을 반대방향으로 연장하여 β로부터 기준백색 반대편에 있는 말발굽 모양 외곽선과의 교점을 이용합니다. 이 교점에 대응되는 파장인 520nm는 β의 보색의 파장이며, β의 주파장으로 사용됩니다. 휘도와 색상에 대한 'CIE 색도 분포표'의 상관관계가 설명되었으니, 남은 것은 이제 채도 하나입니다.

'CIE 색도 분포표'와 채도에 관한 구체적 설명에 앞서 가장 기본이 되는 것을 짚고 넘어가겠습니다. 채도를 스펙트럼의 시각에서 보면, 가장 채도가 높은 색을 내는 빛은 단일 파장의 빛입니다. 인간의 가시영역인 380nm~780nm 사이의 단일 파장 광원의 색이 인간이 구별할 수 있는 가장 순수한 색이며, 나머지 색들은 이 색들을 조합하여 얻어지는 색이므로 단일 파장 광원의 색이 가장 채도가 높은 색이라고 이해하면 큰 무리가 없을 것 같습니다. 그렇다면, 모든 파장의 빛이 다 섞이고 섞여 얻어지는 백색의 경우는 채도를 0으로 정의하는 것이 합당하겠죠? [그림 3]의 α를 예로 들어 채도를 계산하는 법을 설명하겠습니다. α의 채도는 [수식 3]과 같이 정의됩니다.

$$\alpha\text{의 채도} = \frac{L1}{L1 + L2} \quad \dots\dots\dots [\text{수식 3}]$$

$L1$  : 기준백색과 α 사이의 거리

$L2$  : α와 말발굽 모양의 외곽선 사이의 거리

직관적으로 '뽀' 와닿는 식이라고 생각합니다. 앞서, 단일 파장의 빛의 색이 가장 채도가 높고, 백색의 채도는 0이라고 했습니다. [수식 3]을 보면 α가 외곽선에 접근하면 할수록 1(최대값)에 가까워지고, 기준백색에 접근할수록 0에 가까워지는 것을 알 수 있습니다.

이제 'CIE 색도 분포표'를 통해 휘도, 색상, 채도에 관한 정보를 얻는 것까지 진도를 뽀았습니다. 남은 것은 마지막 하나입니다. 바로 HD와 UHD TV의 색상과 관련한 표준을 지금까지 설명한 'CIE 측색법' 및 'CIE 색도분포표'에 관한 지식을 집대성하여 이해하는 것입니다. 그럼 다음 호에서 대망의 열 번째 연재를 통해 색에 관한 모든 것에 대단원의 막을 내리겠습니다. 감사합니다!!! 📺

**P.S. C군의 잡설은 귀동냥에 근거하여 재구성된 것이므로 사실과 다를 수 있음을 항상 유념해주세요.**