

C군의 B급 잡설, 色 : 第三篇

조인준 KBS 기술연구소 차장

지난 호에서 색(色)에 관한 여러 가지 사실을 C군의 성격과 어울리지 않게 과학적이고 체계적으로 나열하려고 노력했습니다. 하지만 복잡하게 얽혀있고, 시간상으로도 뒤죽박죽인 이야기를 일목요연하게 정리하는 것이 C군의 지적능력에는 쉽지 않은 일이었던 것 같습니다. 이번 호를 준비하며 지난 내용을 다시 읽어보니 여기저기 부족함이 심심찮게 눈에 들어왔습니다. 소중한 시간을 할애하여 변변치 못한 C군의 글을 읽어주시는 모든 분들께 감사드리며, 한층 더 복잡하고 뒤얽힌 이야기가 진행되는 이번 호에서는 세심한 주의를 기울여, 되도록 쉽게 흐름을 따라갈 수 있는 글이 되도록 분발하겠습니다.

시작하기에 앞서, 지난 호의 내용을 간략하게 환기하는 것이 좋을 것 같습니다. 지난 호에서 소개된 내용이 앞으로 전개될 이야기의 중요한 토대가 되기 때문입니다.

- 1800년대 영(Young)과 헬름홀츠(Helmholtz)에 의해 빨강, 초록, 파랑의 세 가지 빛을 혼합하면 모든 색의 빛을 만들 수 있다는 가설인 빛의 3원색설이 주장되었다.
- 특정 광원에 의한 조명하에서 서로 다른 반사율을 가진 물체들이 동일한색으로 보이는 현상을 조건등색이라고 한다.
- 그라스만의 법칙
 - (1) 색은 색상, 채도, 명도로 정의된다.
 - (2) 모든 색은 보색이 존재하며, 어떤 색과 그 색의 보색을 합하면 무채색이 된다.
 - (3) 서로 다른 스펙트럼을 가지는 두 빛의 색상(Hue)과 채도(Saturation)가 같으면, 두 빛을 혼합한 빛의 색도 혼합되기 전의 두 빛과 같은 색상과 채도를 가진다.
 - (4) 임의의 개수의 빛을 혼합할 경우, 혼합된 빛의 명도(Luminance)는 각각의 빛의 명도를 모두 더한 것과 같다.

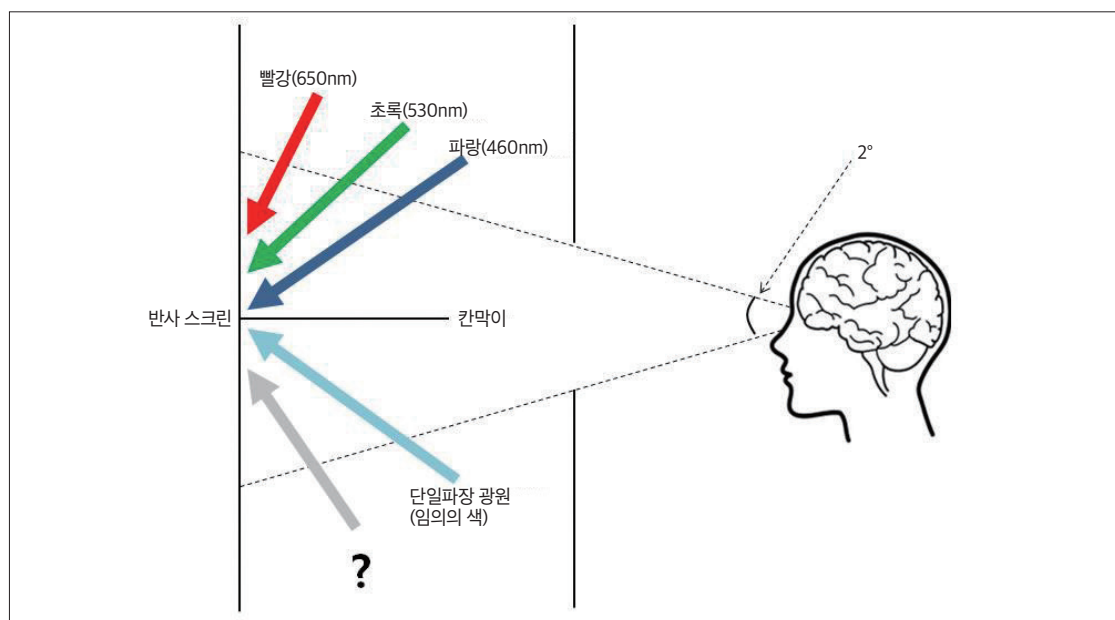
위 네 가지 사항은 색에 관한 본 연재가 끝날 때까지 기저에서 작용하는 원리가 되므로 항상 염두에 두시고 C군이 드리는 이야기들에서 하나씩 짚어보시기 바랍니다. 그럼 지난 호에서 무리한 심령극을 연출했던 1931년 9월 18일 오전 9:30분, 프랑스, 독일, 영국, 일본, 네덜란드, 그리고 미국에서 온 21명의 사람들이 모인 케임브리지 대학의 어느 건물 안의 환영으로 돌아가서 이야기를 하겠습니다.

1931년 9월 18일 케임브리지 대학에서는 CIE(Commission Internationale Eclairage, 국제조명위원회)의 측색법(Colorimetry, 색을 측정하는 방법) 위원회의 회의가 있었습니다. 이 회의에서는 1931년 이후 현재에 이르기까지 측색법의 황금률로 자리매김하고 있는 'CIE 1931 측색법'의 의결이 이루어졌습니다('CIE 1931 Colorimetry'를 'CIE 1931 측색법'이라고 표현하였습니다. 측색법이라는 표현이 학계에서도 통용되는 표현인지는 모르겠습니다. C군이 이 분야 전문가가 아니어서 생기

는 문제이니, 이점 참고하시어 공식적으로 널리 쓰이는 용어가 아닐 수도 있다는 점에 대한 양해 부탁드립니다). 의결이라고는 하지만 1차 대전 이후 피폐해진 유럽의 환경으로 인해 대부분의 학문관련 활동은 미국과 영국의 주도로 이루어지고 있던 탓에 'CIE 1931 측색법' 의결에서도 미국과 영국의 동의로 큰 이견 없이 통과되었다는 말이 있습니다. 하지만, 쉽게 통과되었다고 'CIE 1931 측색법'의 가치를 간과해서는 안됩니다. 1931년에 비해 비약적인 기술발전을 이룬 현재에도 계속 사용되고 있다는 사실만으로도 상당히 잘 만들어진 측정법이라는 것을 알 수 있습니다. 앞서 'CIE 1931 측색법'은 1931년의 회의에서 의결이 되었다고 말씀드렸습니다. 그렇다면 이 측색법은 당연히 1931년 회의 이전에 만들어졌었어야 회의에 제출되어 의결을 할 수 있었겠죠?

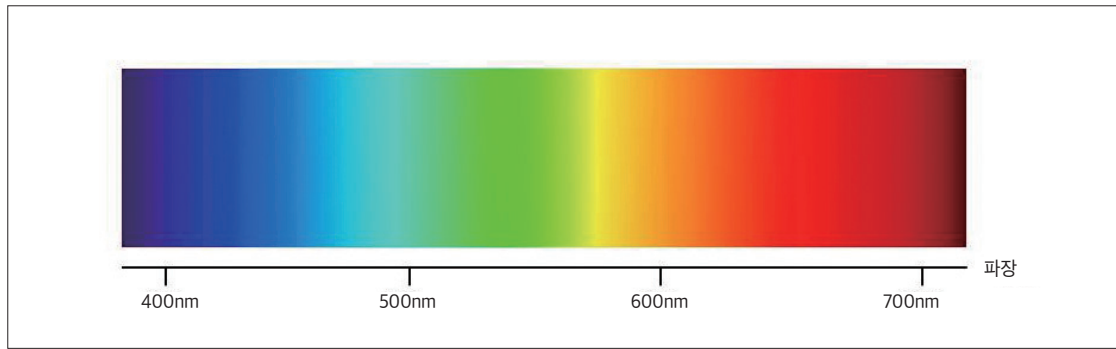
'CIE 1931 측색법'의 기초가 되는 실험은 1920년대 후반 영국에서 진행되었습니다. 실험을 진행한 주인공은 임페리얼 컬리지(Imperial College)의 W. D. 라이트(Wright)와 국립 물리학 연구소(NPL, National Physical Laboratory)의 J. 길드(Guild)였는데, 재미난 사실은 이 두 사람은 각각 독립적으로 실험을 진행하였다는 것입니다. 이 둘은 어떤 실험을 했기에 이 실험이 85년 가까이 지난 현재에도 여전히 강력한 측색법의 근간이 되었을까요?

지금부터 이들이 어떤 실험을 하였으며, 이들의 실험이 큰 틀에서는 같았지만 세부적으로는 어떻게 달랐는지, 또 다소 다른 이 둘의 실험이 어떻게 CIE 1931 측색법을 정의하는데 동시에 기여했는지 하나씩 설명하겠습니다.



[그림 1] W. D. 라이트의 실험

1929년 W. D. 라이트는 파장 650nm의 빨강 광원, 파장 530nm의 초록 광원, 파장 460nm의 파랑 광원(빛은 파동의 입장에서 보면 하나, 또는 복수의 파장을 가진 파동들의 혼합으로 볼 수 있습니다.)을 이용하여 [그림 1]과 같은 실험을 하였습니다. 실험의 내용은 다음과 같습니다. 시야각이 2°가 되도록 구멍을 뚫은 벽 뒤에는 임의의 단일 파장을 가지는 광원과 빛의 세기를 조절할 수 있는 빨강 광원(파장 650nm), 초록 광원(파장 530nm), 파랑 광원(파장 460nm)이 칸막이를 사이에 두고 떨어져 있고, 이들 광원에서 나온 빛은 스크린에 반사되어 관찰자의 눈으로 입사하게 됩니다. 이때 빨강, 파랑, 초록 광원의 세기는 관찰자가 조절할 수 있습니다. 시야각이 2°가 되도록 구멍을 뚫은 이유는 앞선 연재에서 설명드린해 인간의 원추세포(색을 감각하는 세포)가 집중된 황반에만 빛을 투사하기 위함입니다. 황반에는 명암만을 감지하는 간상세포가 거의 없고 색을 감지하는 원추세포만이 분포하므로 인간의 색감각을 정확히 측정하기 위함입니다.



[그림 2] 파장별 빛의 색상

이 실험이 어떻게 진행되는 실험인지 벌써 감이 슬금슬금 오고 있을 겁니다. 실험에서 임의의 단일파장 광원은 [그림 2]와 같이 인간의 가시영역에 있는 특정 파장의 빛을 발산합니다. [그림 2]에서도 보이듯이 빛은 각 파장마다 고유의 색을 가지고 있으므로 임의의 광원에서 발산하는 단일 파장의 빛은 인간의 가시영역에 있는 색 중에서 가장 채도가 높은 색이 됩니다. 특정한 단일 파장의 빛이 왜 가장 채도가 높은 색이 되는지에 관해서는 뒤에서 자세히 설명하도록 하겠습니다. 본론으로 돌아와서, 임의의 단일파장을 가진 광원에서 발산된 빛이 스크린에 반사되어 피실험자의 눈에 입사하면 피실험자는 그 파장에 해당하는 색을 인지하게 됩니다. 그런데 임의의 단일파장 광원에서 나온 빛은 피실험자가 보고 있는 구멍의 중앙에 위치한 칸막이에 막혀 있으므로, 피실험자가 보고 있는 구멍의 반만 임의의 광원의 색으로 채워지게 됩니다. 구멍의 나머지 반은 빨강(파장 650nm), 초록(파장 530nm), 파랑(파장 460nm) 광원에서 발산된 빛이 혼합된 색으로 채워집니다.

맞습니다. 이 실험은 빛의 삼원색설에 근거하여 특정 단일파장의 빛으로부터 인간이 감각하는 색을 빨강, 초록, 파랑의 혼합으로 재현하는 것입니다. 실험이 시작되어 임의의 광원이 특정 단일파장으로 설정되고 색을 내기 시작하면, 맞은편 빨강, 초록, 파랑이 혼합된 광원의 색과는 다를 것입니다.

다시 환기하지만, 이 빨강, 초록, 파랑 빛의 세기는 조절이 가능합니다. 피실험자의 역할은 바로 임의의 광원의 색과 빨강, 초록, 파랑 광원의 빛을 합해서 만들어지는 색이 같아지도록 빨강, 초록, 파랑 광원의 세기를 조절하는 것입니다. W. D. 라이트는 400nm부터 700nm까지 10nm 간격으로 임의의 단일파장 광원을 설정하여, 각 임의의 단일파장 광원이 가지는 색과 같은 색을 내는 빨강(파장 650nm), 초록(파장 530nm), 파랑(파장 460nm) 광원의 세기를 [표 1]과 같이 측정하였습니다. 지면관계상 W. D. 라이트가 진행한 실험의 일부만을 표에 정리하였습니다. 이 실험에서 피실험자는 모두 10명이었고 정상시각을 가지고 있었다고 합니다. 표에 정리된 수치는 10명으로부터 측정된 결과의 평균을 내어 만들어진 것으로 알려져 있습니다. 그런데 [표 1]을 보면 뭔가 이상한 점이 눈에 들어옵니다. 400nm, 410nm에서는 초록색 광원의 세기가 음수이고, 500nm, 510nm에서는 빨강색 광원의 세기가 음수이며, 640nm에서는 파랑색 광원의 세기가 음수입니다. 그리고 마지막 700nm에서는 다시 초록색 광원의 세기가 음수가 됩니다. 어떻게 빛의 세기가 음수가 될 수 있을까요? 빛이 없으면 세기가 0이므로 빛의 세기는 0이 최소값인데, 어떻게 이 최소값보다 작은 음수가 나올 수 있는 걸까요? 이에 대한 설명은 다음과 같습니다.

앞서 [그림 2]에서 각 파장별 빛의 색을 이야기하며, 단일 파장의 빛으로 된 색의 채도가 가장 높다고 말씀드렸습니다. 지난 호에서 잠시 소개했던 색입체를 떠올려보시기 바랍니다. 색입체의 중심축은 맨 아래 검정을 시작으로 중간은 회색, 그리고 맨 위는 흰색으로 변하는 무채색으로 되어 있습니다. 이 중심축을 형성하는 무채색의 변화로 색입체는 수직방향으로 휘도를 나타낸다는 것을 쉽게 알 수 있습니다. 그리고 이 무채색의 중심축은 각도에 따라 파랑→초록→노랑→빨강→보라를 거쳐 다시 파랑으로 변화하는 색상들로 감싸져 있습니다. 그렇습니다. 이 중심축을 기준으로 각도가 색상을 정의하게 됩니다. 이때, 특정

각도에서 중심축으로부터의 거리가 그 색상의 채도가 되어 중심축에서 떨어질수록 채도가 높아집니다. 다시 한 번 강조하면 중심축에서 멀어질수록 각도에 따라 흰색에서 특정 색상으로 점점 짙어집니다.

파장(nm)	빨강(650nm)	초록(530nm)	파랑(460nm)
400	0.037	-0.058	1.021
410	0.037	-0.057	1.020
⋮	⋮	⋮	⋮
500	-0.135	0.754	0.381
510	-0.117	0.952	0.165
⋮	⋮	⋮	⋮
640	0.979	0.023	-0.003
⋮	⋮	⋮	⋮
700	1.026	-0.026	0.000

【표 1】 W. D. 라이트의 실험결과 요약

빛의 삼원색설에서는 빨강, 초록, 파랑의 빛을 섞어서 어느 색이나 만들 수 있다고 했습니다. 그런데 정확히는 색입체로 이야기 할 때, 색입체에서 특정 각도에 해당하는 색상을 만들 수 있다는 것일 뿐, 그 색상 중에서 가장 채도가 높은 색을 재현하지는 못 합니다. 앞서 가시광선 스펙트럼에서 특정 파장의 빛이 가장 채도가 높다고 말씀드렸습니다. 바꾸어 이야기하면 단일 파장을 가 진 빛이 가장 채도가 높은 색을 낸다는 것이므로, 빛이 특정 길이(nm)의 단일 파장으로만 구성되어 있을 때 가장 채도가 높고, 여러 파장의 성분이 섞일수록 채도가 떨어져 보이게 된다는 것입니다. 그렇다면 당연히 빨강, 초록, 파랑을 혼합하여 가시광선 스펙트럼 중 특정 단일파장의 빛의 색을 표현하게 되면, 그 특정 단일파장의 빛과 색상을 맞출 수는 있어도, 빨강, 초록, 파랑 빛의 혼합과정에서 서로 다른 파장들이 섞였기 때문에 목표로 했던 단일파장의 빛이 가진 채도까지 도달할 수 없는 것입니다.

그럼 다시 W. D. 라이트의 실험결과로 돌아가서 음수의 의미를 말씀드리겠습니다. W. D. 라이트의 실험에서 임의의 광원의 색 과 같은 색을 내는 빨강, 초록, 파랑의 빛의 세기를 찾는다는 것은 임의의 광원의 색과 같은 색상(색입체의 중심축을 기준으로 한 각도), 채도(색입체의 중심축으로부터의 거리), 휘도(색입체의 수직방향 위치)를 가진 빨강, 초록, 파랑 빛의 혼합을 찾는다 는 것입니다. 그런데 빨강, 초록, 파랑 빛을 혼합하면 색상 및 휘도는 맞출 수 있어도, 채도는 맞출 수 없으므로 이를 극복하기 위해 묘수를 동원했습니다. 바로 임의의 특정 파장의 빛에 빨강, 초록, 파랑 중 한 가지 색을 더해서 채도를 떨어트린 다른 색 을 만들어 놓고, 이 색을 나머지 두 색으로 맞추는 것입니다. 그리고 이 특정 파장의 빛에 더해진 색을 실험결과와 표에 음수로 적어 넣은 것입니다.

다시 말해서 W. D. 라이트의 실험결과에서 음수로 표시된 부분은 임의의 특정 파장의 빛에 더해졌다는 것입니다. [그림 1] 좌 측 하단의 ‘?’표로 표시한 광원이 바로 채도를 떨어트리기 위해 사용한 빨강, 초록, 파랑 광원 중 하나입니다. 중요한 사항이므 로 예를 이용해서 다시 한 번 강조하겠습니다. [표 1]의 640nm 파장의 빛을 예로 들겠습니다. 이 640nm 파장의 빛의 색을 똑같이 표현하기 위해 빨강(650nm) 0.979, 초록(530nm) 0.023, 파랑(460nm) -0.003을 혼합했다는 것은 사실 640nm의 빛에 파랑(460nm) -0.003을 더했더니 빨강(650nm) 0.979과 초록(530nm) 0.023을 혼합한 것과 같아졌다는 것입니다.

지금까지 W. D. 라이트의 실험을 간략하게 설명드렸습니다. 다음 호에서는 J. 길드의 실험이 W. D. 라이트의 실험과 어떤 부 분에서 다소 달랐으며, W. D. 라이트의 실험 데이터와 합쳐져서 어떻게 CIE 1931 측색법의 기초가 되었는지 설명해드리겠습니다. 무더운 여름 건강 조심하시기 바랍니다. 🍷

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