

C군의 B급 잡설, 色 : 第五篇

조인준 KBS 기술연구소 차장

오늘도 불철주야 대한민국 방송기술 발전을 위해 애쓰시는 독자 여러분 안녕하십니까? 지난여름의 폭염이 무색할 정도로 날씨가 무척이나 상쾌해졌습니다. 선선해진 날씨만큼이나 본 연재의 내용도 가볍고 자명해지면 좋겠지만, 불행히도 본 연재의 내용은 점점 더 복잡한 미궁으로 빠져들 수밖에 없을 것 같습니다. 겉으로는 단순하고 명쾌한 잡학의 세계를 추구해놓고, 항상 내용은 기대에 못 미치는 아리송함으로 끝을 맺고 마는 최근의 실망스러운 전개 반복에 대해 우선 죄송한 마음을 전해드립니다. 이런 상황으로 빠져든 주된 원인은 C군의 부족한 지식과 표현력이겠지만, 궁색한 변명이라도 짜내어 C군 나름대로 하소연을 하자면, 설명해야 할 대상에 이런저런 사연들이 얹혀있어서 쉽게 풀어내기가 생각처럼 쉽지 않을 때가 많습니다. 간단명쾌하게 전개하기 쉽지 않은 이번 호의 내용을 시작하기에 앞서 너무 사설이 길었습니다. 그럼 본론으로 들어가겠습니다. 색(色)에 관한 지난 연재의 내용을 요약하면 다음과 같습니다.

- 1929년 영국의 W. D. 라이트는 10명의 피실험자를 대상으로 400nm~700nm 사이의 단일파장 가시광선을 10nm 간격으로 보여주고 이와 똑같은 색을 내도록, 피실험자들이 빨강(650nm), 초록(530nm), 파랑(460nm) 광원의 세기를 조절하게 한 후, 그 수치를 표로 정리함. 단, 빨강(650nm), 초록(530nm), 파랑(460nm) 광원의 세기를 최대로 하면 실험의 기준이 되는 백색이 됨.
- 비슷한 시기 영국의 J. 길드는 7명의 피실험자를 대상으로 380nm~780nm 사이의 단일파장 가시광선을 5nm 간격으로 보여주고 이와 똑같은 색을 내도록, 피실험자들이 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기를 조절하게 한 후, 그 수치를 표로 정리함. 단, 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기를 최대로 하면 실험의 기준이 되는 백색이 됨.
- W. D. 라이트가 10nm 간격으로 실험한 400nm~700nm 사이의 데이터를 모두 이용하여 J. 길드의 실험으로 환산해보면, 매우 미세한 오차로 J. 길드의 실험결과와 일치하였고 J. 길드는 자신의 실험결과를 W. D. 라이트의 실험 결과와 종합하여 1931년 케임브리지 대학교에서 열린 CIE 측색법(Colorimetry) 위원회 회의에 제출함.

이번 호부터는 J. 길드가 제출한 실험 결과를 바탕으로 1931년 케임브리지 대학교에서 열린 CIE 측색법 위원회에서 다루어진 내용에 관해 설명해 드리겠습니다.

그런데 말입니다...

‘측색법’과 J. 길드가 제출했다는 실험 결과가 무슨 상관일까요? J. 길드의 실험 결과는 단순히 특정 파장의 빛과 같은 색을 내는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기를 나열한 것일 뿐인데, 이를 바탕으로 어떻게 색을 측정하는

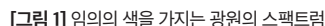
방법을 만든다는 것일까요? 솔직히 C군도 지금 이를 어떻게 설명해야 좋을지 머리가 복잡합니다. 설명을 위해 J. 길드가 CIE 위원회에 제출한 실험 결과 일부를 [표 1]에 나열하였습니다.

파장(nm)	빨강(700nm)	초록(546.1nm)	파랑(435.8nm)
380	0.0272	-0.0115	0.9843
385	0.0268	-0.0114	0.9846
390	0.0263	-0.0114	0.9851
⋮	⋮	⋮	⋮
435	0.0012	-0.0007	0.9995
440	-0.0084	0.0048	1.0036
⋮	⋮	⋮	⋮
545	-0.0293	1.0282	0.0011
550	0.0974	0.9051	-0.0025
⋮	⋮	⋮	⋮
650	0.9888	0.0113	-0.0001
655	0.9918	0.0083	-0.0001
660	0.9940	0.0061	-0.0001
⋮	⋮	⋮	⋮
700	1.0000	0.0000	0.0000
⋮	⋮	⋮	⋮
780	1.0000	0.0000	0.0000

[표 1] J. 길드가 CIE 위원회에 제출한 실험 결과의 일부

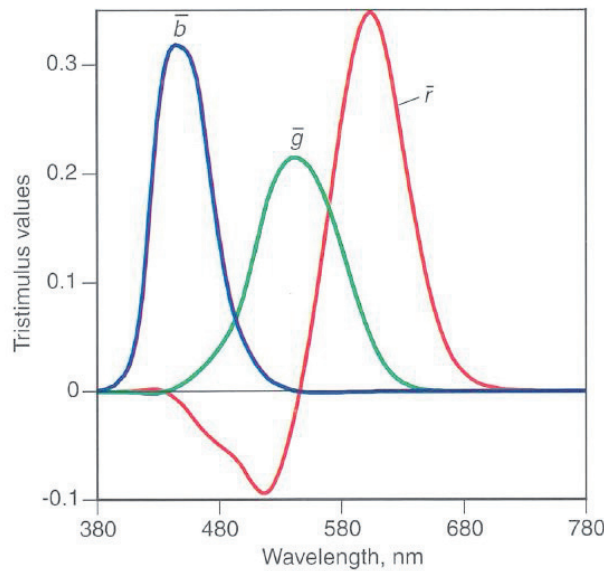
‘측색법’과 J. 길드가 제출한 실험 결과의 연관성을 설명하기에 앞서 지난 연재에서 설명했지만 중요한 점 두어 가지를 다시 부연하면, J. 길드의 실험에서 빨강, 초록, 파랑 광원의 세기는 각각이 모두 1(최대치)일 때, 그 혼합은 J. 길드가 정의한 기준 백색이 되도록 설정되었습니다. 기준 백색에 관한 내용 또한 적지 않으므로 추후 기회가 닿으면 설명하도록 하겠습니다. 또, 본 연재를 중간부터 보는 독자께서는 음수로 된 광원의 세기가 의아하실 것 같습니다. 광원의 세기가 음수인 경우에 대한 설명은 본지 8월호와 9월호의 내용을 참고하시기 바랍니다.

[표 1]에 의하면 380nm의 단일파장 광원과 같은 색을 내는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기는 각각 0.0272, -0.0115, 0.9843이고 550nm의 단일파장 광원과 같은 색을 내는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기는 각각 0.0974, 0.9051, -0.0025입니다. 그렇다면 380nm의 단일파장 광원과 550nm의 단일파장 광원을 합한 빛의 색은 어떤 값의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기를 가질까요? 380nm의 단일파장 광원과 550nm의 단일파장 광원을 밝기를 유지하며 1:1로 혼합했다면, 이 혼합된 빛과 같은 색을 갖는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기는 각각 $\frac{1}{2} \times 0.0272 + \frac{1}{2} \times 0.00974$, $\frac{1}{2} \times (-0.0115) + \frac{1}{2} \times 0.9051$, $\frac{1}{2} \times 0.9843 - \frac{1}{2} \times 0.0025$ 이 됩니다. 만약 밝기를 유지하며 2:1로 혼합했다면 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기는 각각 $\frac{2}{3} \times 0.0272 + \frac{1}{3} \times 0.00974$, $\frac{2}{3} \times (-0.0115) + \frac{1}{3} \times 0.9051$, $\frac{2}{3} \times 0.9843 - \frac{1}{3} \times 0.0025$ 가 될 것입니다. 380nm 광원과 550nm 광원의 혼합은 같은 색을 갖는 빨강, 초록, 파랑 광원의 조합을 혼합한 것과 같다는 것은 매우 직관적이라서 더 이상의 추가 설명은 필요 없을 것 같습니다.



‘측색법’과 J. 길드가 제출했다는 실험 결과의 연관성을 설명한다고 하더니, 대담 C군은 [표 1]에서 파장 두 개를 따와서는 대응되는 빨강, 초록, 파랑 광원의 세기를 임의의 비율로 더하는 예를 보여주었습니다. 어떤 독자께서는 감이 오기도, 어떤 독자께서는 크게 감이 오지 않기도 할 것 같습니다. [그림 1]을 참고하여 앞의 예를 확장해보겠습니다. 앞의 예에서는 2개의 파장만 이용하여 예를 들었지만, 실세계의 빛은 단순히 몇 개의 파장으로 이루어진 것이 아니라 일정 범위의 파장에 걸쳐 연속된 스펙트럼을 갖습니다. 머릿속에 조금 더 현실적인 그림을 그릴 수 있도록 [그림 1]과 같이 연속된 스펙트럼을 갖는 빛을 예로 들어보겠습니다. [그림 1]처럼 임의의 색을 가지는 광원의 스펙트럼을 잘게 쪼개 보겠습니다. 아마, 고교 시절 미적분을 배우던 때, 원가 연속함수를 잘게 쪼개서 연속함수와 근사시킨 기억이 있으실 겁니다. 이 경우도 비슷한 경우라고 생각하시면 됩니다. 부정확하고 적절치 않은 예이나, 손쉽게 ‘느낌적인 느낌’을 전달하기 위해서 [그림 1]의 스펙트럼을 380nm부터 780nm까지 5nm 간격으로 샘플링했다고 가정합니다. [표 1]의 데이터도 정확히 380nm부터 780nm까지 5nm 간격이니 쉽게 [표 1]의 파장별 빨강, 초록, 파랑 광원의 세기들에 [그림 1]의 파장별 샘플의 크기를 곱하여 모두 더하면 같은 색의 빨강, 초록, 파랑 광원의 세기를 계산할 수 있습니다. 앞선 예에서 2개의 단일파장 광원을 더한 빛의 색과 같은 색의 빨강, 초록, 파랑 광원의 세기를 계산하는 것을 보여드렸는데, [그림 1]을 이용한 예도 단일파장 광원의 개수가 훨씬 많은 뿐 기본적으로 처음의 예와 다르지 않다고 생각하시면 됩니다.

92 BROADCASTING & TECHNOLOGY



[그림 2] 연속함수로 정리된 J. 길드의 실험 데이터 / 출처 : Principles of Color Technology, Wiley 출판사

또, 또, 그런데 말입니다...

그래도 권위 있는 국제기구에서 만든 ‘측색법’인데 앞의 예에서 보여드린 것처럼 5nm 단위로 단순하게 스펙트럼에 따라 파장 별로 비율을 곱해서 모두 더하는 방법을 제시하지는 않았습니다. 예를 들기 전에도 C군이 이야기하였듯이, 적절치는 않지만 직관적인 이해를 돕기 위해 5nm 간격으로 막무가내 근사를 한 것입니다. 실제로 임의의 스펙트럼을 가지는 빛의 색과 같은 색의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기를 계산함에 있어서 CIE는 [그림 2]의 연속함수를 정의하였습니다. [그림 2]의 연속함수를 임의의 색을 가지는 빛의 스펙트럼에 곱한 것을 적분하여 같은 색의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 세기를 구하게 됩니다. 임의의 빛의 스펙트럼과 [그림 2]의 $\bar{r}$ 를 곱하여 적분한 것이 빨강(700nm) 광원의 세기, [그림 2]의 $\bar{g}$ 를 곱하여 적분한 것이 초록(546.1nm) 광원의 세기, [그림 2]의 $\bar{b}$ 를 곱하여 적분한 것이 파랑(435.8nm) 광원의 세기가 됩니다. ‘단순하고 명쾌한 잡학의 세계를 추구’하는 본 연재의 정신에 입각하여, 굳이 적분식을 적어놓고 구구절절 설명하는 현학적 허세는 부리지 않겠습니다.

또, 또, 또, 그런데 말입니다...

이제 대충 ‘CIE 측색법’에서 나올 것은 다 나온 것 같은데, 실은 그렇지 않다는 절망적 사실을 알려드립니다. CIE 측색법을 보시면 지금까지 설명한 $\bar{r}$, $\bar{g}$, $\bar{b}$, 또는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 등은 보이지 않고 x, y, z 같은 문자만 보입니다. 물론, x, y, z 가 [그림 2]의 $\bar{r}$, $\bar{g}$, $\bar{b}$ 와 관련은 있지만, 이제까지의 내용으로 봐서 충분히 보이는 $\bar{r}$, $\bar{g}$, $\bar{b}$ 대신 왜 x, y, z 같은 다른 단위를 정의했는지에 관한 의문이 당연히 생길 것입니다. 이에 관해서는 다음 호에서 상세히 설명해 드리겠습니다. 부족한 내용을 끝까지 읽어주셔서 감사합니다. 🙏

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