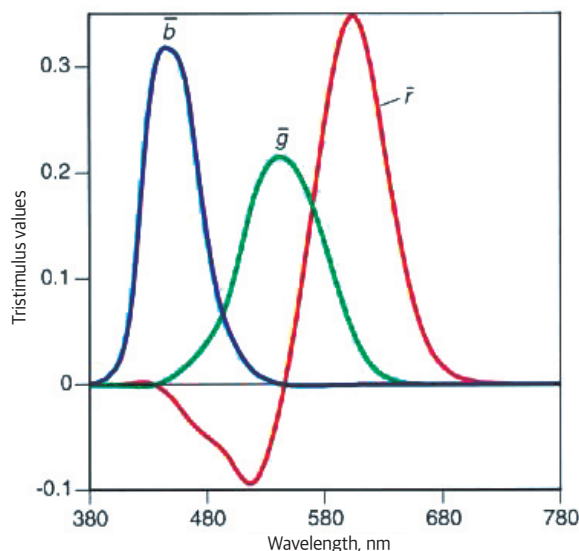


C군의 B급 잡설, 色 : 第六篇

조인준 KBS 기술연구소 차장

벌써 색(色)에 관한 연재만 여섯 번째에 이르고 있습니다. 한 달에 한 번씩 소개해 드렸던 내용들을 종합해야 이어지는 내용들에 대한 이해가 가능한 연재이기 때문에 독자 여러분께서 읽기에 편한 연재는 아닌 것 같습니다. 또한, 실용적 내용이라기 보다는 기초적인 내용이 주가 되다 보니 이해에 들어간 수고에 비해 당장 이용가치가 떨어지는 것도 사실인 것 같습니다. 그래도 C군이 본 색에 관한 연재를 이어가는 것은, 나름대로 촬영에서 편집 및 색보정, 그리고 TV에서 영상이 표현되기까지 방송 영상신호의 포맷과 의미를 이해하는데 가장 핵심적인 내용이라는 판단을 하고 있기 때문입니다. 본 연재의 최종목표인 측색학의 이해를 바탕으로 색과 관련된 방송 영상신호의 여러 측면들을 독자 여러분께서 독자적으로 종합하고 체계를 두어 이해하실 수 있다면, 본 연재를 읽고 이해하며 들인 시간과 노력이 헛되지 않는 것이라고 생각합니다. C군도 최대한 지난 호의 세세한 내용을 기억 못 하더라도 대강의 내용만 알고 있으면 현재의 내용을 이해하는 것에 무리가 없도록 이야기를 전개하겠습니다.



【그림 1】 연속함수로 정리된 J. 길드의 실험데이터 / 출처 : Principles of Color Technology, Wiley 출판사

지난 호에서 'CIE 측색법'의 기본 원리는 각각의 최대치를 혼합하면 기준백색이 되는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원을 설정하고, 임의의 스펙트럼의 빛이 있을 때, 그 빛의 색을 등색의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비로 표시하는 것임을 알려드렸습니다. 아울러 실세계에 존재하는 임의의 빛은 연속된 스펙트럼을 가지고 있으므로 빛의 색과 등색의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비를 계산함에 있어서 CIE는 [그림 1]의 연속함수를 정의하였다는 것을 말해드렸습니다. 임의의 색을 가지는 빛의 스펙트럼에 [그림 1]의 $\bar{r}$ 를 곱하여 적분한 것

이 빨강(700nm) 광원의 혼합비, [그림 1]의 $\bar{g}$ 를 곱하여 적분한 것이 초록(546.1nm) 광원의 혼합비, [그림 1]의 $\bar{b}$ 를 곱하여 적분한 것이 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비가 됨을 다시 상기시켜드립니다. 지난 연재들에서 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원과 관련하여 ‘광원의 혼합비’와 ‘광원의 세기’가 혼용이 되어 왔습니다. 이는 앞서 몇 번 언급이 되었던 ‘기준 백색’ 때문에 생기는 것입니다. 기준백색의 밝기는 그때그때 조명상황에 따라서 달라지는 것이기 때문에 기준백색에 대하여 다른 단위들을 상대적으로 스케일링하여 사용하게 됩니다. 이런 부분에 대한 문제로 ‘광원의 혼합비’나 ‘광원의 세기’ 등으로 표현이 일관되지 못했던 부분이 있었습니다. 하지만 엄밀한 분석보다는 개념 위주의 이해를 목적으로 하는 본 연재의 특성상 ‘광원의 혼합비’ 또는 ‘광원의 세기’에 엄밀한 의미부여 대신 맥락만 짚으시는 것이 좋을 것 같습니다. 사실 이렇게 말하는 C군도 엄밀한 분석의 잣대를 들이대면 상황에 따라 이들 표현을 구분하여 쓰는 것이 아리송한 것이 사실입니다. (^_^)

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
⋮	⋮	⋮	⋮
505	-1.3182	1.7195	0.5987
510	-1.3371	1.9318	0.4053
⋮	⋮	⋮	⋮
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] 입자의 광원과 등색의 빨강, 초록, 파랑 광원의 혼합비

그럼 본론으로 돌아와서, 지난 호의 말미에서 알려드렸듯이 CIE 측색법은 앞의 광원과 $\bar{r}$, $\bar{g}$, $\bar{b}$ 를 곱한 적분값, 다시 말해 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm)의 혼합비 대신 x , y , z 라는 값으로 색을 나타냅니다. x , y , z 는 물론 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm)과 관련이 있습니다. 하지만 왜 굳이 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm)과 직접적으로 관련이 있는 단위 대신 x , y , z 라는 다른 단위를 정의했는지 지금부터 설명하겠습니다. 지난 ‘CIE 측색법’ 연재의 여러 곳에서 가시영역의 단일파장 빛이 가지는 색을 등색의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합으로 나타낼 때 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비 중에 하나는 [표 1]과 같이 음수가 섞여 있던 것을 기억하실 것입니다. 이 음수가 x , y , z 를 사용하게 된 직접적인 원인이 되는데 구체적 이유는 다음과 같습니다.

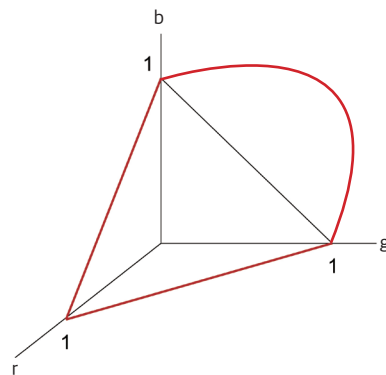
‘CIE 측색법’의 정의가 진행되던 당시 미국의 한 회사에서는 물체가 가지는 빛의 반사율이나 투과율 등을 측정할 수 있는 기계를 개발하고 있었고, 이 기계는 내부적으로 측색법에 따른 계산을 수행해야 했던 것 같습니다. 하지만 때는 1930년 전후로 아날로그 전기회로로 모든 계산을 구현해야 했습니다. 당시 아날로그 회로로 어떻게 계산하는 장치를 구현했는지 구체적으로 알 수는 없지만, 하나의 변수가 양수와 음수를 모두 가지면 양수를 위한 1채널과 음수를 위한 1채널을 합하여 모두 2개의 채널로 회로를 구성하여 구현해야만 했다고 합니다. [표 1]과 같이 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비를 나타내는 값에 양수와 음수가 모두 존재할 경우 측정기는 내부적으로 양수의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑

(435.8nm) 광원을 위한 3채널, 음수의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원을 위한 3채널, 도합 6채널로 구현이 되어야 했습니다. 지금의 기준으로 생각하면 그깟 아날로그 회로 3채널이던 6채널이던 제조, 생산 및 판매가격에 얼마나 차이가 있을까 생각할 수도 있지만, 1930년대에는 꽤 큰 차이가 있었던 것 같습니다. 또한 1930년대에는 계산기도 발달하지 않았던 시절이라 대부분의 계산을 수계산으로 수행해야 했습니다.

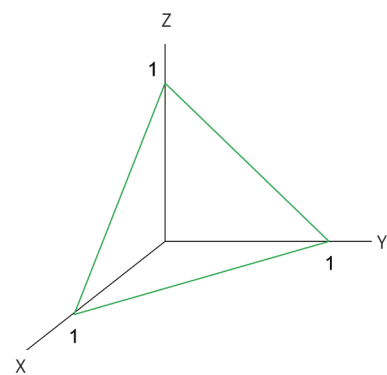
그런데 [그림 1]에 소개된 $\bar{r}$, $\bar{g}$, $\bar{b}$ 함수를 광원의 스펙트럼과 곱하여 적분하는 것을 수계산으로 한다고 가정합니다. 이 경우 하나의 광원의 색에 대한 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비를 구하는데 수십 또는 수백 번의 덧셈, 뺄셈, 곱셈을 해야 합니다. 만약 계산 중간 중간에 나타나는 모든 수가 양수라면 계산실수를 할 가능성이 적지만 양수와 음수가 섞여 있을 경우 덧셈보다 복잡한 뺄셈 등의 계산에서 실수확률이 높아져서 수십, 수백 번의 지루한 사칙연산을 몇 번이고 되풀이해야 하는 경우가 생길 수 있습니다. 이러한 현실적인 문제점이 반영되어 'CIE 측색법'에서는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비에서 음수를 모두 없애고 양수만으로 구성된 x , y , z 라는 새로운 값을 정의하게 됩니다. 이렇게 양수만으로 이루어진 x , y , z 라는 단위를 사용하게 되면 위에서 언급된 측정기의 개발에도 3채널로 이루어진 아날로그 회로를 사용하여 구조를 대폭 단순화할 수 있고, $\bar{r}$, $\bar{g}$, $\bar{b}$ 함수를 이용한 수계산 시에도 음수가 사라진 덕분에 적분과정에서 합을 구할 때 실수를 대폭 줄일 수 있습니다.

그럼 어떻게 x , y , z 를 정의했을까요?

[그림 2]는 가시광선의 색에 대응하는 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비를 3차원으로 보여주고 있습니다. r 축은 빨강(700nm) 광원의 혼합비, g 축은 초록(546.1nm) 광원의 혼합비, b 축은 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비입니다. [그림 2]에서 붉은색으로 표시된 외곽선은 380nm~780nm 사이의 단일파장을 갖는 가시광선의 색을 나타내며 [표 1]의 데이터에 해당하는 점들을 이은 것과 같습니다. 붉은 외곽선 내부의 영역은 여러 파장이 혼합된 가시광선의 색을 나타냅니다. [그림 2]의 붉은색 외곽선 우측의 곡선으로 튀어나온 부분은 r 축이 음수의 값을 갖는 것이 쉽게 보입니다. [표 1]에서 음영 처리된 505nm와 510nm에 해당하는 부분이 이 곡선 위에 놓이게 됩니다. [그림 2]의 붉은 외곽선의 좌측에서 뾰족하게 만나는 두 개의 직선들도 그림에서 표현하기 어려울 정도로 미세하게나마 g 축과 b 축으로 음수의 값을 가지고 있습니다.



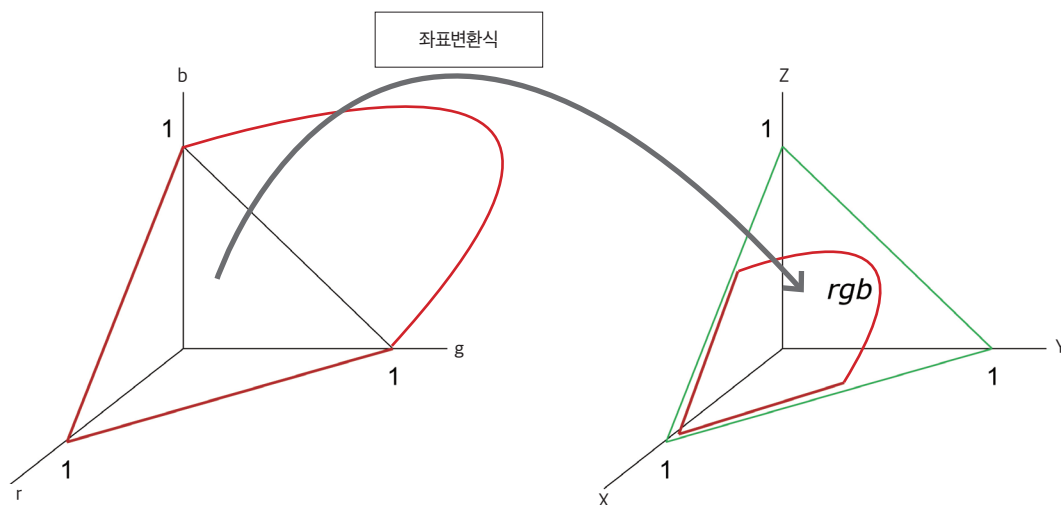
[그림 2] 가시영역의 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원의 혼합비



[그림 3] 모든 좌표값을 양수로 만들기 위한 XYZ좌표계

이렇게 양수와 음수가 섞여 있는 r , g , b 좌표상의 영역을 어떻게 하면 모든 좌표값이 양수가 되게 할 수 있을까요? 그 첫걸음으로 우선 새로운 좌표계 X , Y , Z 를 [그림 3]과 같이 정의합니다.

[그림 2]와 [그림 3]을 함께 보면서 이미 감을 잡은 독자분들이 많을 것 같습니다. 그렇습니다. 먼 옛날, 고등학교 시절에 행렬식으로 배운 좌표변환을 이용하면 양수와 음수가 함께 있는 rgb 좌표계의 가시광선 영역을 모두 양수로만 이루어진 XYZ 좌표계의 임의의 영역으로 매핑(Mapping)할 수 있습니다. 여기서 한 가지 짚어드리고 싶은 점은 rgb 좌표계와 XYZ 좌표계가 1:1로 대응이 된다면, 다시 말해서 rgb 좌표계 상의 한 점과 XYZ 좌표계 상의 한 점이 1:1로 대응되는 관계라면 X, Y, Z로 색을 나타내어도 문제가 될 것이 없다는 것입니다. 'CIE 측색법'의 중요한 목표 중의 하나는 색을 수치화하여 객관화하는 것입니다. 특정 스펙트럼을 갖는 빛의 색을 rgb 좌표계로 나타내던 XYZ 좌표계로 나타내던 그 색을 고유하게 구별할 수만 있고, 같은 좌표값을 가지는 색들은 같은 색이라는 사실에 변함이 없다면 어떤 좌표계를 써도 무방하다는 것입니다. 물론, 'CIE 측색법'의 바탕이 되는 실험에 사용되었던 빨강(700nm), 초록(546.1nm), 파랑(435.8nm) 광원과 직접적으로 연관된 rgb 좌표계가 더욱 직관적이기는 하지만, 앞서 설명드렸던 1930년대 당시의 극복하기 힘든 현실적 문제가 있었으므로 그 대안으로 사용된 XYZ 좌표계도 측색법 본연의 목적으로 볼 때 이상할 것은 없다는 것입니다.



[그림 4] rgb→XYZ 좌표계 변환

[그림 4]에서 rgb→XYZ 좌표계 변환을 도식화하였습니다. rgb→XYZ 좌표변환의 핵심은 고교수학의 행렬부분에서 자주 나오던 행렬로 표현 가능한 '좌표변환식'을 이용하여 [그림 4]의 좌측에 있는 양·음수 모두로 이루어진 가시광선 영역의 rgb 좌표를 [그림 4]의 우측에 있는 XYZ 좌표계의 녹색으로 표시된 삼각형과 원점을 포함하는 사면체 내부에 대응시키는 것입니다. 그러면 당연히 여기서의 핵심은 '좌표변환식'이 되겠죠? 그런데 이 '좌표변환식'을 주먹구구로 만들지는 않았을 것 같지 않습니까? 그렇습니다. 역시나 이 '좌표변환식'에도 매우 세련된 아이디어들이 녹아 있습니다. 다음 편에서 이 '좌표변환식'에 깔려 있는 세련된 아이디어(?)를 집중적으로 다루도록 하겠습니다. 읽어주셔서 감사합니다 !!! 📖

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