

방송용 모니터 소개 - 3

: 모니터의 색감과 조정기능

글.

신수근 (주)세븐스타웍스(구 티브이로직) 이사

연재목록

1부: 디스플레이 트렌드(CRT, PDP, LCD (다양한 BLU), OLED

2부: 모니터의 종류와 차이(컴퓨터용, 그래픽용, 방송용, 의료용)

3부: 모니터의 색감과 조정기능(색감의 정의, 밝기/명암/색상/색농도+백라이트, 감마 등)

4부: UHD 방송용 모니터의 조건(해상도, 프레임율, 색상수, 감마코딩, 색재현범위 등)

5부: HDR 방송용 모니터의 조건(HDR 트렌드, HDR 표준, HDR 디스플레이의 요구 조건)

들어가며

이번 호에서는 우리가 흔히 말하는 '색감'이 무엇이며 어떤 요소들이 색감에 영향을 주는지를 먼저 살펴보겠다. 특히, 그러한 색감이 모니터나 TV와 같은 디스플레이 기기에서 어떤 의미를 가지는지, 그리고 어떤 파라미터들에 의해 조정(혹은 조절)되는지 작동 원리에 대해 살펴보도록 하겠다.

모니터의 색감이란?

우리가 매일 사용하고 있는 모니터, TV, 스마트폰과 같은 디스플레이 기기들의 경우 빛을 반사해서 색을 보여 주는 물체색과는 달리 스스로 빛을 내고 이 빛을 이용하여 여러 가지 정보나 그림, 영상 등을 보여 주는 장치이다. 스스로 빛을 낸다고 했지만 좀 더 정확히 얘기하자면 CRT, PDP, OLED 등과 같이 스스로 빛을 내는 디스플레이가 있는가 하면, LCD와 같이 빛을 투과시키는 디스플레이도 있고, 프로젝터나 프로젝션 디스플레이 등과 같이 빛을 반사시켜 영상을 보여 주는 기기도 있다. 어떤 방식이 되었건 기기 스스로 빛을 내어 영상을 표시한다는 차원에서(빛을 반사시키는) 물체색과는 확연히 구분된다.

디스플레이 기기는 스스로가 광원(Light Source)이며, 따라서 빛의 3원색인 Red, Green, Blue를 조합해서 여러 색을 만들어 내는 가산혼합(Additive Mixture)의 원리가 적용된다. 즉, 빛은 여러 색을 더할수록 밝아진다는 측면에서 색을 더할수록 어두워지는 감산혼합(Subtractive Mixture)을 하는 물체색과 반대되는 특성을 가진다. 요즘에는 빛의 3원색에 White를 추가한 OLED가 널리 보급되고 있기도 하고, RGB에 Yellow를 추가하여 4원색을 이용하는 디스플레이가 나오기도 했지만 아직까지도 대부분의 디스플레이 기기들은 RGB 3원색을 활용하고 있으므로 이번 호에서는 이를 기반으로 설명 드리도록 하겠다.

요즘은 모니터와 TV의 경계가 많이 무너지기는 했지만 일단 보다 설명을 쉽게 하기 위해 다음과 같이 3가지의 제품군으로 디스플레이를 구분해 보자.

· **PC용 모니터** : DVI, HDMI, DisplayPort 등의 디지털 인터페이스를 통해 컴퓨터의 선형 무압축 RGB 신호를 입력받아 컴퓨터의 정보나 영상을 화면에 표시해 주는 디스플레이 기기. TV 튜너나 추가적인 영상인터페이스를 탑재한 모니터도 많다.

· **가정용 TV** : 지상파 TV 방송 신호를 수신할 수 있는 튜너(Tuner) 및 안테나, 각종 비디오 인터페이스(HDMI, Component Video, CVBS 등)와 RF 입력단자, 그리고 스피커를 탑재한 디스플레이 기기를 뜻한다.

· **비디오 모니터** : PC 디지털 RGB 신호의 표시보다는 동영상의 표시에 특화된 모니터를 뜻한다. 외형적인 차이점을 기준으로 간단하게 말하자면 PC용 모니터에 다양한 비디오 인터페이스를 장착한 모니터, 혹은 가정용 TVG에서 TV 튜너와 스피커 등을 뺀 것이라 할 수도 있다.

이러한 모니터나 TV의 색감에 가장 큰 영향을 미치는 5대 요소를 계측하고 분석, 종합하면 그 디스플레이의 컬러 특성에 대해 이해할 수 있게 된다. 5대 요소는 바로 Luminance, Contrast, Color Gamut, Color Temperature, Gamma인데 하나씩 살펴보도록 하겠다.

Luminance

우리말로로는 ‘휘도(輝度)’라고 한다. 디스플레이와 같은 면광원의 밝은 정도를 나타낼 때 쓰는 용어로 그 단위는 candela per square-meter(cd/m²)이다. 이때 면광원이라 함은 그 빛을 내는 원리가 자발광이든 투과되거나 반사된 것이든 상관없이 일정한 면적에서 빛을 발하면 무조건 면광원이라 한다. Luminance(줄여서 Lv.)는 국제 표준의 단위(SI)이며, 면광원의 밝기나 색에 대해서는 CIE(국제조명학회) 색체계의 가장 기본단위인 CIE XYZ(3차극치)의 ‘Y’와 동일하다. 어쨌거나 Luminance가 높을수록 면광원이 밝다는 것이며, 그 단위는 음절이 긴 공식용어인 cd/m² 대신 흔히 간단히 줄여서 니트(nit)라고도 부른다.

참고로, “이 모니터의 밝기는 500칸델라이다”와 같은 표현은 틀린 것이다. ‘밝기’는 상대적이고 추상적인 개념이며 그 밝은 정도를 계량화할 수 없다. 그리고 면광원의 휘도 단위일 경우 ‘500 칸델라’가 아니라 ‘500 칸델라 퍼 스퀘어미터’ 혹은 ‘500니트’라고 불러야 맞다.

Contrast

우리말로 ‘명암’ 혹은 ‘명암대비’라 한다. 말 그대로 밝은 빛(색)과 어두운 빛(색)이 이루는 대비를 뜻하며, 흔히 가장 밝은색인 백색과 가장 어두운색인 흑색 간의 대비를 뜻한다. 물론, 서로 다른 색 간의 대비에 대해서도 사용하지만 일반적으로는 흑백의 대비가 가장 큰 차이를 보인다. 따라서 명암대비를 표시하는 다양한 방법이 있지만 디스플레이 업계에서 가장 흔하게 사용하는 개념은 명암비 즉 Contrast Ratio라는 것이다. 이는 백색의 휘도를 흑색의 휘도로 나눈 것인데, 명암대비의 계산값(수치)과 실제 시각적인 느낌 사이에는 상당한 차이가 있기도 하지만 그 개념과 계산이 매우 쉽고 단순하기 때문에 널리 사용되고 있다. 물론, 시각적으로 느끼는 것보다 항상 더 좋은 수치를 보여준다는 점도 디스플레이 제조사에게는 이 용어와 개념을 애용하게 된 매우 큰 매력이었을 것이다.

두 개의 색이 나란히 인접해 있을 때 인간의 눈으로 구분할 수 있는 최대의 명암대비는 약 100:1이라고 하지만 조명환경, 배경색, 샘플의 크기, 거리 등에 따라 이 값은 더 높아질 수도 있다. 디스플레이에 있어서 가장 중요한 것은 매우 높은 백색 휘도와 매우 낮은 흑색 휘도를 동시에 구현할 수 있는 기능이다. 이런 능력은 자발광 디스플레이인 CRT, PDP, OLED에서 유리하고 백라이트의 빛을 액정으로 투과하거나 차단하는 방식인 LCD에서는 구조적으로 매우 불리하다. 반면에, 자발광 디스플레이들은 Burn-in 현상에 취약하다는 단점을 가지고 있다. 아마 향후 10년 이내에는 Quantum Dot을 사용한 무기EL이 상용화되어 이러한 모든 문제점들을 속 시원히 해결해 줄 수 있지 않을까 기대해 본다.

Gamma (TRC, EOTF)

감마(Gamma)는 그 개념뿐 아니라 계측과 계산에 있어서도 많은 논란과 혼란이 있어 왔기 때문에 2000년대에 들어 와서는 Gamma라는 용어 대신 변환함수(Transfer Function)라는 용어를 사용하자는 주장이 나왔고 결국 ISO나 ITU 등의 국제표준문서에 많이 사용되게 되었다. 방송 엔지니어들에게 가장 많은 영향을 미친 Gamma에 대한 오해에 대한 이야기 하나만 설명하고 넘어가도록 하겠다.

감마는 CRT를 비롯한 디스플레이에만 있는 용어가 아니다. 카메라나 스캐너 등에 적용되는 감마도 있고, sRGB나 AdobeRGB와 같은 이미지 포맷에 적용되는 감마도 있으며, Mac과 같은 컴퓨터 시스템에 적용되는(시스템) 감마도 있다. 크게 보서는 입력장치(카메라, 스캐너 등)에 적용되는 인코딩 감마(Encoding Gamma)와 컴퓨터에 적용되는 시스템 감마(System Gamma), 그리고 모니터 등의 디스플레이 감마(Display Gamma)의 3가지로 구분할 수 있겠다. 하지만, 요즘은 시스템 감마를 거의 사용하지 않으므로 결국 인코딩 감마와 디스플레이 감마 2가지로 크게 구분이 가능하다.

방송과 관련된 일을 하시는 분들의 경우 ‘카메라 감마(Camera Gamma)’ 혹은 ‘역감마(Inverse Gamma)’라는 용어에 익숙할 것이다. 카메라 감마란 카메라의 렌즈로 입사되는(선형적인) 빛을 센서에서 감지한 후 곧장 비선형으로 변환시키는 데에서 유래했다. 이 카메라 감마는 자승값을 $1/2.2(=0.45)$ 혹은 $1/2.4(=0.42)$ 등과 같은 값을 뜻하는데, 이것이 바로 CRT 감마의 대략적인 역수에 해당하기 때문에 역감마(Inverse Gamma)라는 용어를 사용하는 것이다. 그런데 적지 않은 제조사나 강사들이 이런 수치의 유래를 설명하면서 잘못된 정보를 제공하여 많은 엔지니어들이 오해하는 경우를 보게 된다. 즉, CRT가 2.2나 2.4 정도의 감마를 가지기 때문에 카메라 감마 혹은 인코딩 감마가 그 역수가 되는 $1/2.2$ 혹은 $1/2.4$ 의 감마를 가지도록 고안되었다는 것이다. 예를 들어, 카메라에 촬영된 선형적인 오리지널 영상이 카메라의 역감마와 CRT의 감마를 거쳐 다시 원래의 선형으로 재현된다는 것이다.

이와 같은 설명은 결론적으로 틀리다고 할 수는 없다. 즉, 카메라에서 $1/2.4$ 와 같은 감마로 비선형 인코딩을 한 것이 CRT(혹은 CRT와 동일하게 보정된) 디스플레이의 감마 특성(2.4)으로 인해 자연스럽게 디코딩되는 것은 맞다. 하지만, 이것은 우연한 결과일 뿐 애초에 카메라에서 인코딩 감마를 적용하는 그 목적 자체는 아니다. 카메라에서 감마를 활용하여 비선형 인코딩을 하는 근본적인 이유는 한정된 대역폭을 최대한 효율적으로 활용하기 위함이다. 동일한 데이터 용량을 유지하면서 효율을 높이는 방법에는 여러 가지가 있다. 우선 색공간을 RGB에서 색차공간인 YCbCr로 바꾸기만 해도 약 1/3 정도의 용량을 절감할 수 있다. 여기에 인간의 시각 특성이 색보다는 밝기의 변화에 민감한 특성을 이용하여 sub-sampling을 4:4:4가 아닌 4:2:2이나 4:2:0으로 낮춘 것이나, 수평주사선을 짝수와 홀수로 구분하여 하나의 Frame을 2개의 Field로 나눠 주는 Interlace 방식도 마찬가지이다. 인간의 눈이 구분하기 어려운 수준의 미세한 화질 저하가 발생하지만 대신 데이터 용량을 줄일 수 있다. 더 나아가서는 MPED과 같은 압축기술도 화질을 미세하게 희생하면서 데이터 용량을 줄인 사례라 하겠다.

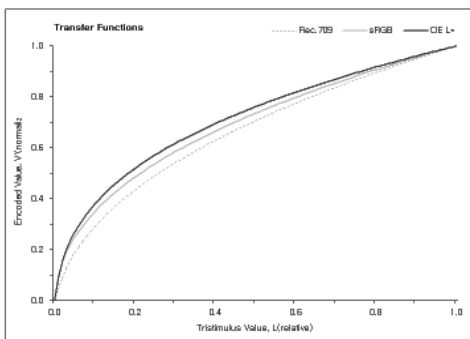


그림 1. 다양한 광전변환함수 (Opto-Electrical Transfer Function, EOTF)

카메라에서 감마를 적용하는 목적도 마찬가지로 효율향상을 위한 것이다. [그림 1]의 그래프에서 CIE L*는 빛의 밝기에 대한 인간의 시각 특성을 측정한 결과이다. 이 CIE L*가 뜻하는 것은 인간의 눈이 밝은빛(혹은 계조)에서의 변화에 상대적으로 둔감하고, 어두운빛(혹은 계조)에서의 변화에 상대적으로 민감하다는 것이다. 즉, 이러한 특성이 시사하는 것은 밝은 계조에서 데이터를 좀 줄여서 어두운 계조에 더 많은 데이터를 사용한다면 같은 데이터 용량으로 보다 좋은 화질을 구현할 수 있다는 것이다. 이러한 역할을 하는 것이 바로 카메라 감마

혹은 인코딩 감마인데, 그래프에서 보는 바와 같이 HD 방송용 인코딩 감마 표준인 Rec.709나 인터넷 컬러 인코딩 표준인 sRGB나 모두 CIE L*와 비슷한 형태의 위로 볼록한 비선형 커브 특성을 가지고 있다. 단지, 그 기울기만 조금씩 다를 뿐이다.

앞에서 설명한 바와 같이 카메라 감마 혹은 인코딩 감마를 적용하는 목적은 영상처리의 효율을 높이기 위함이고, 결과적으로는 CRT가 그 카메라 감마의 반대되는 감마 특성을 가지고 있기 때문에 별도로 디코딩을 해 주지 않더라도 자연스럽게 카메라 감마와 CRT 감마의 합성으로 원래의 오리지널 영상이 가지는 선형적인 톤이 재현된다는 것이다. 단지, (카메라 감마와 디스플레이 감마가 합성된) 최종적인 영상이 완벽한 선형으로 재현되는 것은 아니고 (사용자의) 조명 환경에 따라 약간씩 다른 기울기를 가진 톤 재현 특성을 갖도록 고안된 것이다. 아래의 그림은 HD 방송에서 감마가 하는 역할을 이미지 시뮬레이션과 함께 설명하고 있다. TV 방송의 경우 사용자의 조명환경을 Dim(약간 어두운)으로 간주하고 있기 때문에 최종적으로 약 1.25 정도의 톤 커브가 재현되도록 고안되었다. 완전히 캄캄한 조명환경에서 시청하는 극장용 영화의 경우 최종 감마가 약 1.5 정도가 되도록 인코딩된다. 즉, 어두운 조명환경일수록 더 높은 감마로 재현을 해야(실제로 볼 때와 비교하여) 자연스러운 톤이 재현되기 때문이다.

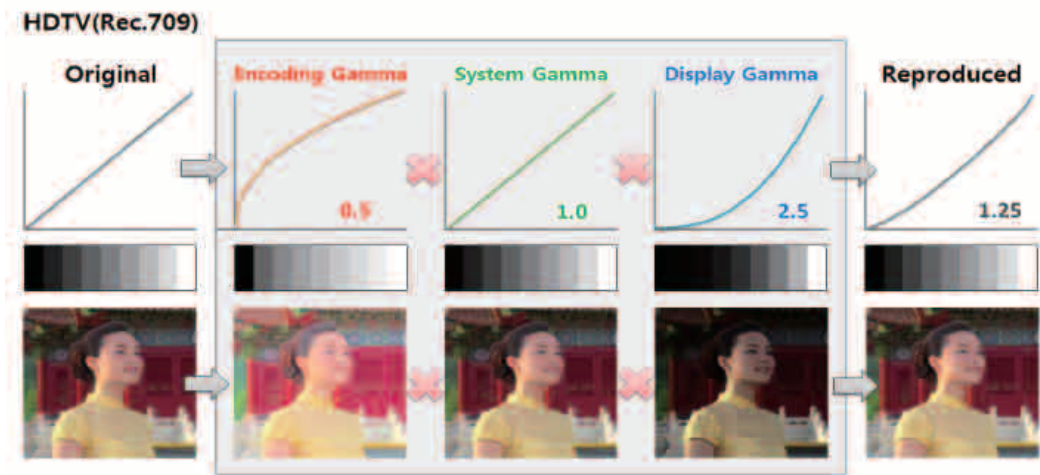


그림 2. HD 방송과 감마의 역할

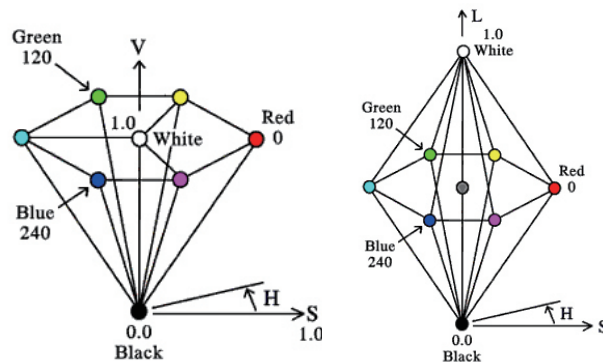


그림 3. HSL(좌)과 HSV(우) 색공간 비교

Color Gamut

색공간(Color Space)이란 인간이 인지하는 색 혹은 색감을 그 핵심 구성요소에 바탕하여 수학적으로 보통 3차원 공간에 체계적으로 표시하는 방법이다. 다른 말로 Color System이라고 하기도 한다. RGB나 HSL, HSV, YCbCr, YUV, YIQ, CIE XYZ 등 매우 다양한 색공간이 있다. 디스플레이는 RGB 3원색을 가산혼합하여 다양한 색을 만들어 내지만 그 뒷단에서 색을 조정할 때에는 인간이 좀 더 이해하기 쉬운 색공간인 HSL, HSV, YUV 등의 색공간을 사용한다. 왜냐하면 인간은

색을 볼 때 어떤 절대적인 수치로 계측하는게 아니라 상대적으로 인지하기 때문이다. 즉, 밝다 vs 어둡다, 색이 선명하다 vs 칙칙하다, 불그스름하다 vs 푸르스름하다 등과 같이 상대적으로 느끼기 때문에 색의 조정 또한 이와 같이 색의 밝은 정도와 색의 종류(붉은색, 푸른색 등), 그리고 색의 농담(채도)을 통해 조정하는 것이 쉽다.

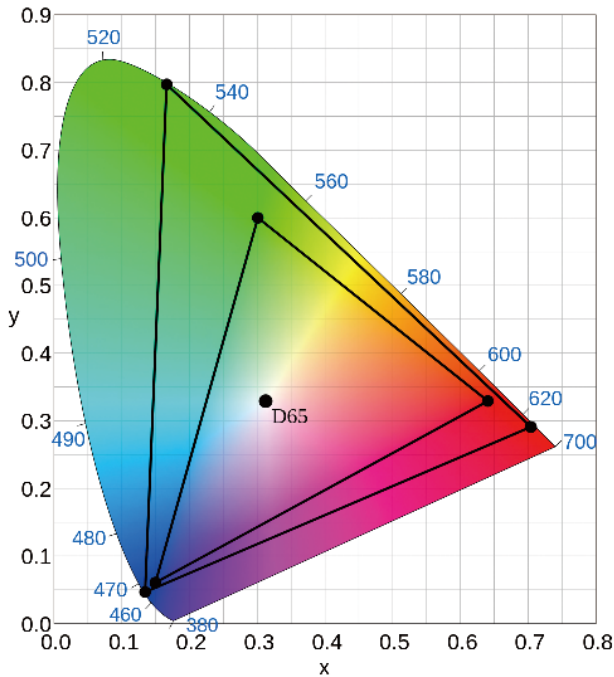


그림 4. CIE xy 2차원 색공간에 표시한 Rec.709 (HDTV)와 Rec.2020 (UHDTV) 비교

CIECAM02인데 인간의 시각 특성을 대부분 반영한 정교한 모델이기는 하나 개념이 어렵고 계산도 복잡하여 학문적인 용도로 주로 사용되고, 등장한 지 10여 년이 지났지만 아직 산업현장에서 널리 쓰이고 있지는 못하다. 하지만, 휘도와 명암대비까지 함께 보여 주는 이러한 진보된 모델도 상대적인 컬러 볼륨의 개념으로만 비교해 줄 수 있을 뿐 얼마나 정확하게 표준에 맞게 색을 재현하는지의 여부에 대해서는 알려 주지 못한다.

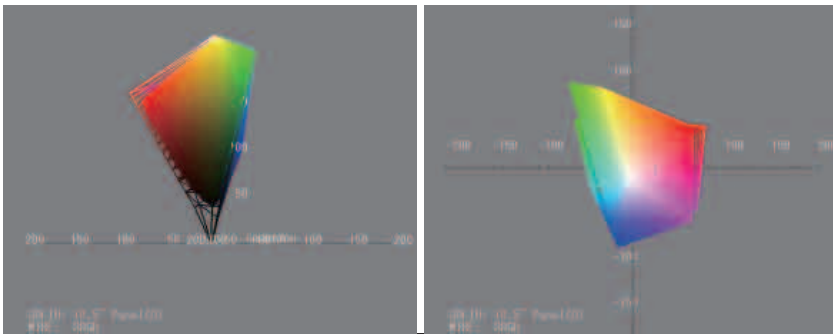


그림 5. 최신의 컬러퍼피어런스 모델인 CIECAM02의 3차원 공간에서 본 Color Gamut / 출처 : 모니터포유

더 온도가 올라가면 푸른색으로 변한다고 한다. 이렇게 온도에 따라 흑체의 색이 변화하는 것을 CIE 색도도 상에 색좌표로 찍어 쪽 연결한 것을 흑체궤적(Black Body Locus)이라고 한다. 혹은 플랑크 궤적(Planckian Locus)이라고도 한다. 색온도는 한마디로 말해서 '백색의 색감'이라 생각하면 쉽다. 같은 백색 중에도 좀 누르스름한 백색, 불그스름한 백색, 푸르스름한 백색 등 다양한 컬러 톤이 들어갈 수 있다. 이렇게 백색의 범위를 넓게 정의하는 것은 조명 환경에 따라, 색이 들어간 물체의 크기나 배경에 따라, 그리고 보는 사람의 색에 대한 감정이나 습관에 따라 다를 수 있기 때문이다.

다음의 왼쪽 그림(CIE xy 색도도)에서 박스 안에 있는 검정색 실선이 바로 흑체궤적이고 대략 5000K부터 10000K까지를 백색의 영역으로 쳐 준다. 우측에는 흑체궤적(빨강색 실선)의 위아래로 여러 겹의 수평방향 곡선을 함께 표시해 놓았다. 같은 6500K라

한편, 색공간과 혼동이 많이 일어나는 개념이 바로 색재현범위(Color Gamut)이다. 색재현범위란 어떤 특정 디스플레이가 가지는 색재현 능력을 특정 색공간에 표시한 것이다. 예를 들어, HD 방송을 위해 만들어진 국제표준인 ITU-R BT.709에는 RGB 3원색의 색좌표를 정의한 부분이 있다. 이는 HD 방송용 표준 디스플레이의 3원색은 CIE xy 색공간에서 각각 Red(0.64, 0.33), Green(0.30, 0.60), Blue(0.15, 0.06)의 색좌표를 가져야 한다는 것이며, 이들 3원색을 연결한 3각형이 바로 색재현 범위(Color Gamut)가 되는 것이다.

위에서는 색재현 범위를 간단히 2차원적으로 표시했지만, 위의 CIE xy 색공간의 경우 빛의 밝기에 대한 정보가 빠진 2차원 공간이기 때문에 실제 인간이 느끼는 그대로를 표시해 주지는 못한다. 따라서, 색이 얼마나 밝은 지에 대한 정보를 포함한 아래와 같은 3차원 색공간에서 색재현 범위를 표시할 필요가 있다. 현재 가장 진보된 모델은

Color Temperature

우리말로 색온도라고 한다. 정확한 용어로는 상관 색온도(Correlated Color Temperature)라고 한다. 빛을 전혀 반사하지 않고 흡수하기만 하는 이상적인 흑체(Black Body)를 가열하면 처음에는 붉은 색을 띠다가 온도가 올라갈수록 점차 백색으로, 그리고

하더라도 위쪽(Green-Yellow)으로 좀 올라가거나 아래쪽(Magenta)으로 좀 내려가더라도 같은 6500K의 색온도로 간주한다는 것이다. 그 허용 편차는 상하로 Δuv 가 0.02까지이다. 즉, 좀 누르스름한 6500K이건, 흑체궤적 위의 6500K이건, 좀 불그스름한 톤이 들어간 6500K건 모두 같은 6500K라고 본다는 것이다. 그래서 상관색온도라는 용어를 사용한 것이며, 이들을 연결한 선을 'iso-temperature line'이라 부른다. 즉, 등색온도선이라는 뜻으로 아래의 우측 그림에서 빨강색 실선과 교차하는 세로선들이라 보면 되겠다.

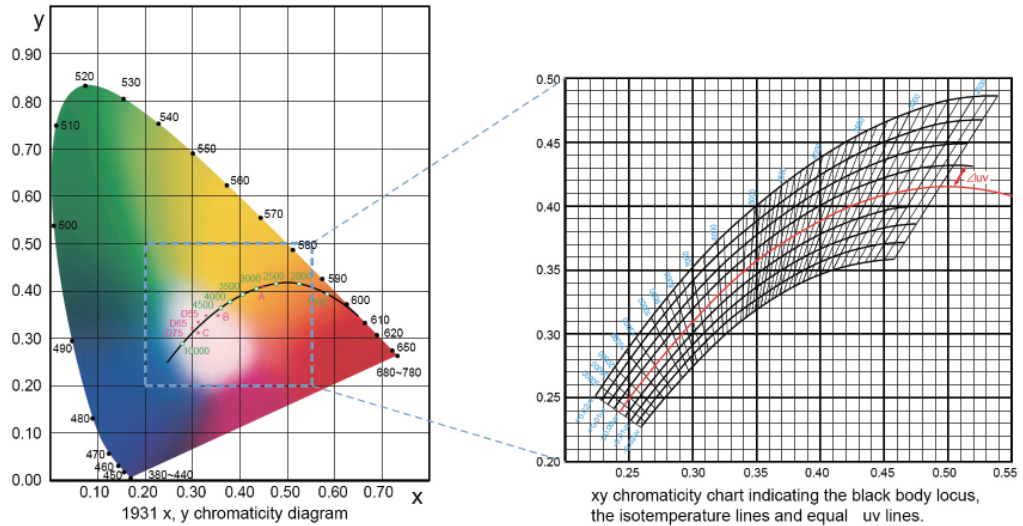


그림 6. 백색의 상관색온도 (흑체궤적으로부터의 허용편차)

현재 사용하고 있는 거의 대부분의 색온도 표준은 D65이다. SDTV, HDTV, UHDTV 그리고 인터넷 컬러의 사실상 표준인 sRGB나 그래픽을 위한 AdobeRGB 등에서 모두 D65를 표준으로 하고 있다. D65는 Daylight 6500K로 흑체궤적 6500K와는 약간(Δuv 로 0.004 정도)의 차이가 있는데 흔히 그 차이가 무시되어 설명되기도 한다. 어쨌든 D65가 표준이 된 이유는 현대 컬러과학이 유럽에서 발달했기 때문이라고 한다. 북유럽(영국?)에서 정오경 북녘 하늘을 바라봤을 때의 전형적인 하늘색이 D65라는 것이다. 실제 봄이나 여름의 맑은 날의 하늘은 5000K~5500K 정도이다. 이에 따라 사진 혹은 인쇄물에 대해서는 D50을 기준으로 삼기도 하며, 동영상 카메라로 야외에서 촬영할 경우에도 5000K 혹은 5500K, 5600K로 설정하곤 한다. D65는 어디까지나 디스플레이(모니터, TV 등)의 표준이지 촬영할 때의 카메라 표준은 아니라는 점을 기억해 주시기 바란다.

Grayscale color linearity



그림 7. 계조선형성이 좋은 경우와 그렇지 못한 경우 (전형적인 저가형 LCD)의 비교 / 출처 : 모니터포유

색온도는 빛의 3원색인 Red, Green, Blue가 어떤 비율로 혼합되었는지에 따라 달라진다. 하지만, 일반적으로 색온도라 하면 단순히 백색의 색온도를 뜻하기 때문에 아무리 휘도, 감마, 색온도, 색재현율이 동일하다고 하더라도 실제 디스플레이의 색감이 완전히 다르게 나타나는 경우가 있다. 그 대표적인 이유가 바로 회색 계조들의 색온도가 일치하지 않는 경우이다. (백색의)색온도는 peak R, G, B 값의 혼합비율에 의해 좌우되지만 이것만으로 모든 것이 해결되지는 않는다. Black부터 White에 이르기까지의 중간 회색 계조들의 색온도가 일정하지 않은 경우가 많기 때문이다. 전문적인 모니터나 고급 TV들은 공장에서 생산될 때 감마와 함께 이 회색 계조들의 색온도도 보정해서 나온다. [그림 7]의 첫 번째 그림은 백색의 색온도가 같더라도 중간에 있는 회색 계조들의 색온도가 다를 경우 어떻게 보이는지를 시뮬레이션 한 경우이고, 두 번째 그림은 실제 이런 모니터를 계속했을 때 CIE xy 색도도 상에 어떻게 색좌표가 표시되는지를 보여 주고 있다.

모니터의 조정기능

우선 일반적인 비디오 모니터 혹은 소비자용 TV에 흔히 탑재되어 온 가장 기본적인 컬러 조정 기능은 Brightness, Contrast, Chroma, 그리고 Tint 정도이다. LCD 시대로 오면서 여기에 Backlight Level이 추가되었지만 요즘도 일부 저가형 모니터나 TV에 이 백라이트 레벨을 조절하는 기능이 없는 경우가 많다.

Brightness & Contrast Control

먼저, 앞서 설명 드린 색감에 영향을 미치는 요소로서의 Brightness 및 Contrast라는 개념과 지금부터 설명하는 Brightness Control 및 Contrast Control은 그 용어는 동일하지만 실제로는 조금 다른 개념이라는 점을 유념하시기 바란다. 즉, 색감을 구성하는 요소로서의 Brightness 및 Contrast가 디스플레이의 화질을 조절하는 요소로서의 Brightness 및 Contrast와 그대로 일치하는 것은 아니라는 것이므로 혼동하지 마시라는 것이다.

우리가 화면의 밝은 정도를 조절해야 하는 가장 중요한 경우는 바로 디스플레이 기기를 사용하는 주변 여건, 즉 조도가 달라지는 경우이다. 예를 들어, 방의 불을 모두 끄고 영화를 보는 경우를 상상해 보자. 일반적인 LCD TV의 휘도가 약 150~350nit 사이이기 때문에 조명이 전혀 없는 어두운 방에서라면 매우 눈부실 것이다. 이런 경우 상당히 많은 분들이 모니터나 TV의 '밝기' 즉 Brightness 컨트롤에 손을 댈다. 하지만, 이는 용어가 주는 잘못된 이미지에 의한 잘못된 선택이다. 왜냐하면 실제 Brightness 조절기능이 주는 효과는 우리가 일반적으로 기대했던 것과는 꽤 큰 거리가 있기 때문이다.

Brightness 조절기능은 흔히 'Offset' Control이라고도 불리는데 일부 제조사에서는 'Black Level' Control 기능이라고 부르기도 했다. 왜냐하면 Brightness를 올리거나 낮추면 흑색부터 백색까지의 모든 색에 영향을 미치지만 밝은색에 비해 어두운색의 변화에 더 큰 영향을 주고, 특히 사람의 눈도 어두운색의 변화에 더 민감하기 때문이다. 즉, Offset Control은 수학적으로 보면 덧셈/뺄셈을 하는 것이다. 흑색에서부터 백색까지의 모든 밝기 레벨을 동일한 수치만큼 올려 주거나 내려 주는 것이다. $y = ax^2 + b$ 와 같은 함수에서 바로 b의 역할을 하는 것이 바로 Brightness인 것이다. 그런데, CRT는 비선형적 특성 (즉, 감마 특성)을 가지기 때문에 이런 조절결과 White의 밝은색보다는 Black과 같은 어두운색에 더 큰 (시각적) 차이를 유발한다.

반면에 Contrast Control은 다른 말로 'Gain' control 혹은 'Picture Level' control이라고 불리기도 한다. 앞서 설명한 2차 함수 공식인 $y = ax^2 + b$ 에서 a의 역할을 하는 것이 바로 이 Contrast 혹은 Gain control이라 하겠다. 이 Contrast Control은 (그 명칭이 가지는 어감으로 인해) 조절할 경우 디스플레이가 보여 주는 영상의 명암대비가 강화되거나 감소될 것이라는 선입견을 갖게 된다. 사실이지만 Contrast를 일정 수준 이상으로 올리면 색이 오버되거나 명부가 날아가 버리는 현상이 나타난다. 반대로 Contrast를 감소시킬 경우에는 전체적인 명암대비는 비록 조금 감소하지만 암부가 뭉개지거나 명부가 날아가는 등의 문제가 발생하지는

않는다. 따라서 어두운 조명하에서 눈부심을 방지하기 위해 화면의 전체적인 밝기를 낮추면서도 계조나 색이 손실되지 않게 하려면 (Brightness가 아닌) Contrast를 낮춰 주어야 하는 것이다.

[그림 8]은 디지털적으로 Gain(= Contrast, Picture)과 Offset(= Brightness, Black Level)을 조정하여 입력값을 증감시킬 경우 출력값이 어떻게 달라지는가를 보여 주고 있다. 앞서 설명한 바와 같이 Offset은 더하기와 빼기(+/-)의 기능을, 그리고 Gain은 곱하기/나누기($\times/\div$)의 기능을 하고 있음을 알 수 있다. Offset을 증가시키면 모든 계조의 밝기가 증가하지만 인간의 눈이 민감한 흑색 등 어두운 계조의 증가가 두드러지기 때문에 Black이 허영게 뜨는 등 색감에 좋지 않은 영향을 미친다. 모니터를 사용하는 환경이 매우 밝은 상황이라면 Black Level은 낮을수록 좋기 때문에 Offset을 증가시키는 것은 바람직하지 않다. 한편, 모니터를 더 밝게 보고 싶다고 해서 Gain을 증가시키면 명부(밝은 계조)들이 백색으로 포화되어 버리는 현상, 즉 하이라이트가 날아가 버리는 현상이 발생하기 때문에 역시 색의 손실 문제가 발생한다.

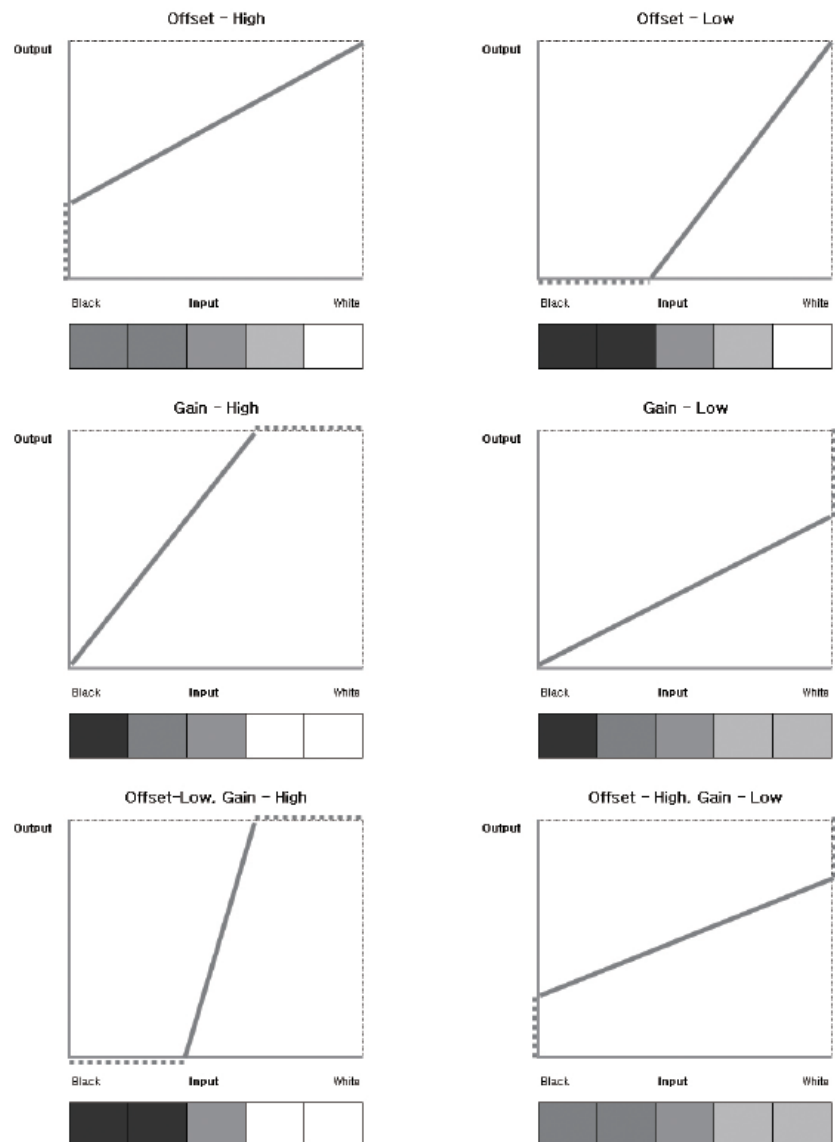


그림 8. Gain Control vs Offset Control 기능 비교

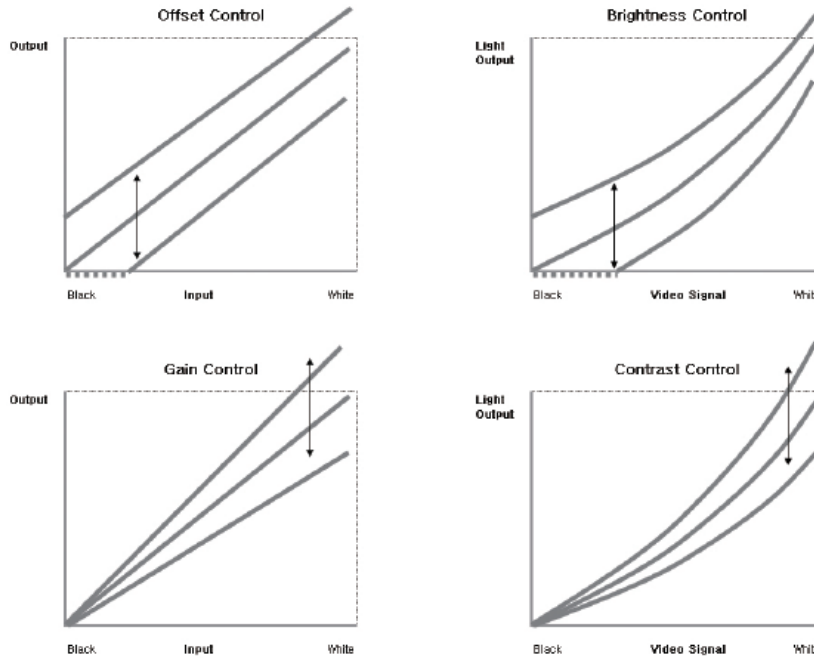
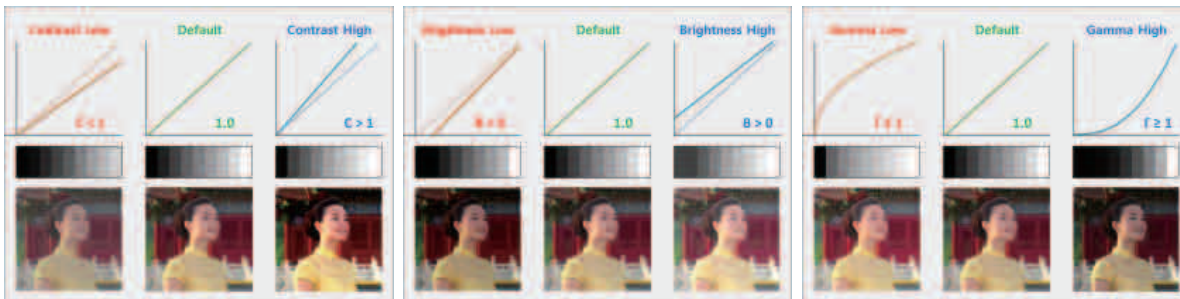


그림 9. Offset, Gain vs Brightness, Contrast의 비교

또, 한 가지 중요한 고려사항으로 [그림 8]은 순전히 디지털적인 입력값과 출력값에 대한 그래프라는 것이다. 실제 디스플레이에 이러한 Gain과 Offset 조정을 하게 될 경우에 휘도의 증감은 [그림 9]와 같이 비선형적 특성을 보이게 된다. 이와 같은 비선형적 특성을 가지는 이유는 CRT(Cathode Ray Tube, 음극선관)가 선형적인 입력값에 대해 비선형적 휘도 출력 특성을 가지고 있기 때문이다. 우리가 흔히 많이 사용하는 말로 감마(Gamma) 특성 때문이라 하겠다. 앞서 사용한 2차 함수 $y = ax^2 + b$ 에서 x 에 붙은 자승값(2)이 바로 감마라 하겠다. 이러한 CRT 고유의 감마 특성을 다른 말로는 톤 재현 커브(Tone Reproduction Curve)라고도 하고, 요즘은 전광변환함수(Electro-Optical Transfer Function, EOTF)라 부르기도 한다. LCD나 PDP, OLED 등의 디스플레이들은 원래 CRT와 다른 톤 재현 특성을 가지지만 모든 표준들이 CRT의 톤 재현 특성(= 감마)을 기준으로 만들어진 관계로 이들 평판 디스플레이들도 CRT와 동일하거나 매우 유사한 톤 재현 특성을 보이도록 보정되어 생산된다. 따라서 디스플레이 기술과 관계없이 CRT의 감마 특성과 동일하다고 가정하면 되겠다.

Gamma (TRC or EOTF) Control

그림 10. Gain(= Contrast or Picture Level)
Control의 조정 결과 시뮬레이션그림 11. Offset(= Brightness or Black Level)
Control의 조정 결과 시뮬레이션그림 12. Gamma(= TRC or EOTF)
Control의 조정 결과 시뮬레이션

위에서 CRT뿐 아니라 LCD와 OLED 등 모든 디스플레이들이 CRT와 동일하거나 매우 유사한 감마 특성(= 톤 재현 특성 혹은 전광 변환함수 EOTF)를 가진다고 하였다. Gain이나 Offset이 입력값에 대해 사칙연산을 하는 효과를 나타낸다고 설명했는데, Gamma

는 입력값에 대해 자승값의 작용을 하며, 이에 따라 감마를 Power Function이라 부르기도 한다. 어쨌든 감마는 비선형적으로 작용하기 때문에 Black이나 White쪽에는 거의 영향을 미치지 않으면서 중간 계조의 밝기만에 변화를 주기 때문에 암부가 뭉개지거나 명부가 날아가는 문제없이, 즉 계조의 손실 없이 조명환경의 변화에 효과적으로 대응할 수 있다. 우선, 실제 컬러 이미지에 Gain, Offset, Gamma가 어떤 영향을 미치는지는 시뮬레이션한 결과를 비교해 보시기 바란다.

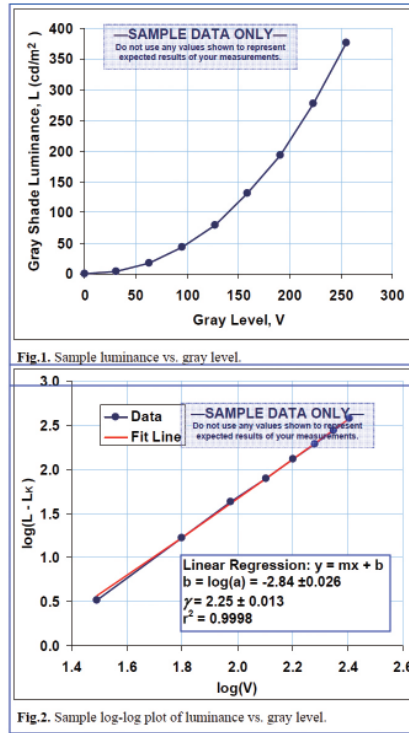


그림 13. 디스플레이 감마의 계측과 계산 / 출처 : IDMS ver. 1.03

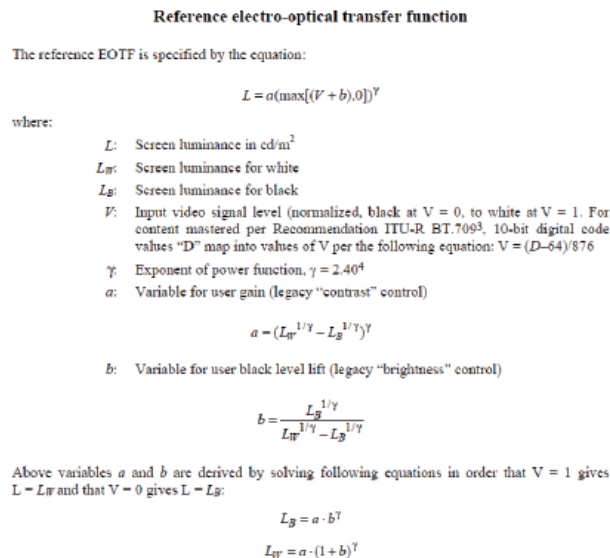


그림 14. 레퍼런스 디스플레이의 EOTF 표준 / 출처 : ITU-R BT.1886

감마(Gamma) 값이 1에 가까울수록 톤 재현 커브(TRC)는 직선에 가까워진다. $y = ax^2 + b$ 에서 자승값인 2 대신에 1을 넣으면 $y = ax + b$ 가 되기 때문에 단순한 직선이 되며 Gain(=a)과 Offset(=b)의 영향만 남기 때문이다. 반면 감마값이 1.5, 2.0, 2.5 등으로 커질수록 아래로 많이 처진 곡선이 된다. CRT의 감마를 계산하는 방법은 여러 가지가 있지만 가장 쉬운 개념은 입력값(= 입력전압)에 대비한 출력값(= 휘도)을 계조별로 측정하여 통계를 내는 것이다. 즉, CRT의 음극(Cathode)에 입력되는 전압을 0mV에서부터 일정한 간격으로 증가시킬 경우, 출력되는 휘도(Luminance, 단위 : cd/m² or nit)를 측정한 후 그 휘도가 증가하는 정도를 통계처리하면 된다. 이는 곧 Black부터 White까지의 입력신호에 대한 휘도 출력값의 함수관계라 할 수 있다.

계산 방식에 따라 다르긴 한데 일반적으로 CRT의 감마는 약 2.3에서 2.5 정도로 간주한다. 북미에서는 전통적으로 2.4를 사용해 왔었는데, 유럽의 경우 EBU에서 제정한 스펙을 통해 CRT의 정확한 감마는 2.35이므로 이를 사용할 것을 권장하기도 했었다. 하지만 2011년에 ITU(국제방송연맹)에서 방송용 레퍼런스 디스플레이의 감마를 2.4로 정하는 국제표준(ITU-R BT.1886)을 제정함으로써 논란이 종식된 바 있다.

전문가용 모니터나 고급 TV의 경우에는 사전에 공장에서 보정해 놓은 1D LUT를 활용하여 감마 수치를 변경할 수 있는 몇 가지 옵션을 제공하는 것이 보통이다. 혹은, 별도의 측색기와 소프트웨어를 활용하여 모니터의 감마를 직접 사용자가 보정해서 사용할 수 있는 옵션을 제공하기도 한다. 보정된 데이터를 모니터 보드에 직접 기록해서 보정된 값이 나오도록 하는 방식을 하드웨어 캘리브레이션 방식이라 하고, 보정용 데이터를 컴퓨터에 저장하여 그래픽 카드의 출력 값을 변경되도록 하는 방식을 소프트웨어 캘리브레이션 방식이라 한다. 대부분의 전문가용 디스플레이들은 하드웨어 방식을 지원하고 보정용 소프트웨어도 함께 제공한다.

Backlight

앞서 Brightness, Contrast 그리고 Gamma 조절기능에 대해 설명을 했는데, LCD가 등장하면서 좋아진 점 중 하나는 백라이트 (Backlight) 조절기능이 추가된 것이다. CRT, PDP, OLED와 달리 LCD는 스스로 빛을 낼 수가 없다. 따라서 뒤에 백라이트가 항상 켜져 있는 상태에서 액정(Liquid Crystal)을 이용해 빛을 막거나 통과시켜 줌으로써 계조를 만들어 준다. 이런 방식의 장점으로는 화면 깜박임(Flicker)이 없다는 것과 휘도를 꽤나 높이 올릴 수 있으면서도 수명이 길다는 것이다. 반면에 단점으로는 액정 사이로 빛이 약간씩 새어 나오는 바람에 완벽한 Black을 구현하기 어렵다는 점, 액정의 응답속도가 느려 잔상(Motion Blur)이 발생한다는 점, 시야각에 따라 계조나 색상의 표현이 자발광 디스플레이에 비해 부족하다는 점 등이 있다.

어쨌든 백라이트의 레벨을 조절하면 Gain, Offset, Gamma 등을 조절하지 않더라도 조명환경 변화에 적절히 대응할 수 있기 때문에 상당히 편리하다. 단지, 제조사나 모델에 따라서는 백라이트와 Offset 등을 연동시켜 놓는 경우도 있으므로 주의가 필요하다. 즉, 일정 구간에는 백라이트의 레벨이 조절되도록 하지만, 그 이상부터는 Brightness Control이 작동하도록 구현해 놓은 그런 모니터나 LCD TV도 있다. 매뉴얼이나 스펙에 표기된 것이 아니라 직접 만져 봐야 확인이 가능한 것이라 구매 전에 확인하는 것은 불가능하다. 아마 요즘 출시되는 제품에는 없을 것이라 생각한다.

Hue (Tint) & Saturation (Chroma, Color)

요즘은 매우 다양한 화질 조정용 기능들이 탑재된 TV들이 나오고 있지만, 아직도 적지 않은 저가형 TV에는 Brightness, Contrast와 함께 골랑 Chroma/Hue 혹은 Color/Tint와 같은 색 조정 기능만이 제공된다. 여기에 백라이트까지 5가지 정도만 제공되는 경우도 있다.

Saturation은 색의 농담을 구별하는 용어이기도 하고 색이 포화되는 정도를 나타내기도 한다. 일반적으로 포토샵 등에서 Saturation을 증가시키면 색이 더욱 진하고 선명하게 바뀔 것이다. 색 조정에 있어서 Saturation을 증가시킨다는 것은 RGB Gain을 올리는 것과 같은 개념인데, RGB 색공간이 아니라 일반적으로 우리가 컬러를 보다 쉽게 이해하고 사용할 수 있는 HSL이나 HSV와 같은 색공간에서는 무채색의 중심부에서 바깥쪽으로 밀어낼수록 색이 선명해진다. 산업분야나 제품에 따라서는 Saturation 대신 Chroma라는 용어를 사용하기도 하고, 어떤 제조사들은 같은 기능에 대해 Color라는 용어를 사용하기도 한다. 이것은 아마도 Colorfulness의 의미로 사용하는 것 같다.

Hue는 우리말로 ‘색상’이라고 하는데 빨강색-파랑색-초록색은 전혀 Hue가 다른 색이고, 비슷한 색 중에서도 개나리색-노란색-황금색은 Hue가 조금씩 다른 것이다. 이런 색 간의 차이를 Hue라고 하는데, 제조사나에 따라서는 이러한 색상 조정기능을 틴트 (Tint)라고 부르기도 한다. 사실 Tint는 그다지 정확한 용어는 아니지만 그간 TV의 조정기능으로 많이 사용되어져 온 용어라 이해를 돕기 위해 적어 보았다.

고급 색조정 기능들

일반적인 보급형 TV나 비디오 모니터에는 앞에서 설명한 4~5가지 기능들이 컬러를 조정할 수 있는 전부였지만, 전문가용 모니터 혹은 고급형 TV에는 다음과 같은 기능들도 들어가는데 간략히 설명 드리도록 하겠다.

Color Temperature

전문가용 디스플레이나 고급 TV들은 색온도 조정기능을 제공하는 경우가 많은데 일반적으로는 사전에 공장에서 미리 보정된 여러 개의 특정 색온도 값을 선택할 수 있게 해준다. 예를 들어, 5000K, 6500K, 7500K, 9300K 등 혹은 외부의 측색기를 활용하여 사용자가 원하는 휘도와 색온도, 감마값을 설정해서 이에 맞게 디스플레이의 색보정이 이루어질 수 있는 기능을 제공하는 제품들도 있다.

백색의 색온도는 일반적으로 RGB의 Gain값을 조정해서 맞출 수 있는데, 앞서 설명한 바와 같이 백색의 색온도를 표준에 맞게 잘 보정하는 것도 중요하지만 회색 계조들의 색온도 역시 중요하다. 이러한 전체적인 계조의 색 밸런스는 RGB의 Offset과 Gain을 모두 동원해도 쉽게 보정되지 않는 경우가 많기 때문에 R, G, B별 1D LUT(Look-Up Table)를 사용해서 보정하게 된다. 이러한 1D LUT는 감마를 보정할 때 같이 하게 되므로 실제 색보정 작업에서는 따로 목표값을 설정하지는 않게 되며, 단지 감마를 몇 단계 스텝으로 보정할 것인지에 따라 감마와 계조선형성의 정밀도가 달라질 뿐이다.

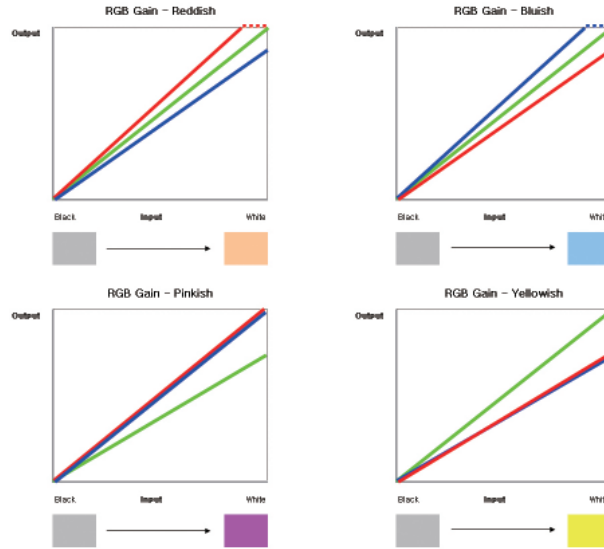


그림 15. RGB Gain Control을 활용한 색온도의 조정

Color Gamut Control

요즘에는 다양한 기술을 바탕으로 넓은 색역(= 색재현범위)을 구현하는 디스플레이들이 경쟁적으로 출시되고 있다. LCD의 경우 백라이트와 컬러필터의 광 특성에 의해 달라지는데 WCG-CCFL, RGB-LED, WCG-White LED 등 다양한 백라이트가 시도되었고, 최근에는 입자의 크기에 따라 다른 파장대의 빛을 내는 퀀텀닷(Quantum Dot)의 등장으로 보다 간단한 구조와 저렴한 비용으로 넓은 색역을 구현할 수 있게 되었다. 한편, OLED의 경우에도 기존의 HDTV 표준보다는 훨씬 넓은 색역을 구현할 수 있어 당분간 대형 TV 시장은 Quantum Dot + LED 백라이트 제품군과 OLED의 경쟁구도로 재편될 것으로 보인다.

< Standard LUT >

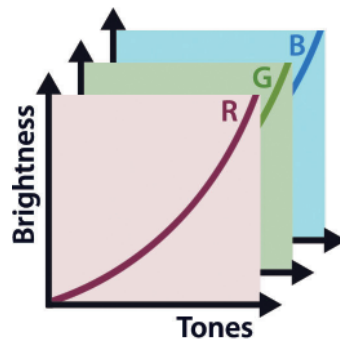


그림 16. 감마와 계조선형성 보정을 위한 1D LUT

< 3D - LUT >

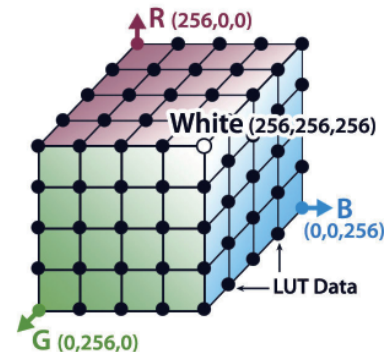


그림 17. 정밀한 색역 조정을 위한 3D LUT (Look-Up Table)

디스플레이 입장에서 이렇게 넓은 색역을 재현할 수 있는 능력이 무조건 좋은 것이다. 하지만, 전체적으로 일관된 컬러를 유지한다는 차원에서 무조건 좋은 것은 아니다. 왜냐하면 예전에 만들어 놓은 콘텐츠들은 모두 Rec.601이나 Rec.709 혹은 DCI를 기준으로 인코딩이 되어 있기 때문에 디스플레이에서 이들 색역들을 정확하게 지원하지 못한다면 오히려 원본 역상의 색감을 왜곡해 버리는 꼴이 되기 때문이다. 따라서, 고급형 TV나 전문가용 모니터에서는 광색역 디스플레이를 채용한 후 다양한 색역의 콘텐츠에 맞게 색역을 정확하게 변경시키는 기능은 필수적이다. 그리고 이러한 색역의 조정을 정확하게 하기 위해서는 단순한 매트릭스로는 곤란하기 때문에 3D LUT를 사용하게 된다. 