



4K UHD 로가리즘 색보정의 이해 ②

CIE 표준 컬러 및 비디오 색공간의 기본 개념 및 이해

+ 박원주 (주)컬러티브 대표이사

- ① 4K UHD 실감영상의 컬러 프로세스 기술
- ② CIE 표준 컬러 및 비디오 색공간의 기본 개념 및 이해
- ③ 실감영상의 표현으로서 로가리즘(Logarithm) 색보정(Digital Intermediate) 작업
- ④ ACES 기반의 차세대 색관리 시스템 이해



최근에 화두가 되고 있는 4K · 8K 디지털 시네마 카메라, 그리고 슈퍼 35mm 디지털카메라, vDSLR, 최소형 스포츠캠 등 방송 및 영화에서 쓰이는 촬영도구는 날이 갈수록 다양해지고 있다. 감상하는 사람 역시 수려한 영상미에 대한 눈이 높아졌다. 이런 상황과 맞물려 차세대 영상기술로서 실감영상이 대두되고 있으며, 색보정 작업에 대한 중요성 또한 커지고 있다. 어쩌면, 컬러 보정을 위한 작업자만이 색에 대한 이해를 갖고 있어야 하는 시대는 지났는지도 모른다.

앞의 연재에서 4K UHD 실감영상의 컬러 프로세스 기술에 대해서 전반적으로 살펴보았다. 이번 연재에서는 컬러 프로세스에서 사용되는 표준 기술들에 대해서 구체적으로 살펴보기로 한다.

디지털 컬러 보정이 갖는 영상의 심미함은 최적의 색 배합에 있지 않다. 오히려 디스플레이 장치에서 발광소자의 난반사로 만드는 색 혼합에 있다. 그래서 이 컬러들이 결정 불가능한 상태가 될 때 우린 심미함을 느끼게 된다. 개념화할 수 있다면 이미 심미함은 아니다. - 색보정에 대한 단상 중...

인간, 컴퓨터, 그리고 컬러 시스템?

색보정 툴의 내부를 보면 색채 과학과 기술을 중심으로 수많은 기능들이 유기적으로 작동하고 있음을 알 수 있다. 이 바탕에는 표준화된 색체계(Color System)들이 포함돼 있다. 물론 이 색체계들은 소프트웨어에서 겉으로 드러나지 않는다. 복잡하게 나열된 수치들과 이것의 연산과정을 색보정 인터페이스에서 굳이 보여줄 필요는 없을 것이다. 표준화된 색체계의 기초개념을 이해한다는 것은 복잡하게 얹혀 있는 색보정의 수많은 기능들을 쉽게 정리하여 자유롭게 활용할 수 있다는 것을 의미한다.

세상에는 수많은 색들이 존재하고 각각의 색을 표현하는 방식 또한 매우 다양하다. 문제는 서로 다른 환경에서도 동일한 색을 지칭할 수 있게끔 하는 뭔가가 필요하다는 것이다. 색체계가 바로 그것이다. 즉 하나의 수치화된 색체계를 통해 서로 약속을 한 것이다. 색체계 덕분에 서로 다른 인터페이스를 지닌 색보정 소프트웨어에 컬러리스트가 쉽게 적응할 수 있는 것이다. 인간이 색을 지각하는 원리, 그 자체가 색체계의 원리다.

인간의 안구에는 빛을 지각하는 추상체라는 기관이 있다. 이 추상체는 빛을 장파장, 중간파장, 단파장으로 나눠 물리적인 ‘양’으로 지각하게 된다. 이렇게 지각된 빛 정보는 신경계를 통하여 대뇌에 전달된다. 이때에 밝기와 색차 정보가 따로 전달된다고 한다. 마치 반대색설에 기반을 둔 비디오 색체계의 구성 원리와 같은 개념이다. 이렇게 전달된 색정보는 대뇌에서 최종적으로 색상, 채도, 명도로 인지된다. 이런 과정을 그대로 적용시킨 것이 색보정 프로세스이다. 결국, 색체계의 구성 원리를 이해함으로써 색보정 프로세스를 이해하게 되고 결국 서로 다른 소프트웨어 환경에서도 쉽게 적응이 가능하게 된다는 것이다.

컴퓨터의 색체계, RGB

컴퓨터의 색체계는 기본적으로 RGB 방식이며 구성 원리는 다음과 같다. RGB 방식은 Red, Green, 그리고 Blue 채널로 이뤄져 있다. 각 채널은 회색 계조로 데이터값의 역할을 한다. 이렇게 각각의 회색계조(데이터값)를 조합해 컬러를 만들게 된다. 참고로 각 채널의 회색계조 범위는 이미지가 재현할 수 있는 색의 한계치를 결정한다. 잘 알려진 비트덱스(Bit-Depth)가 바로 그것이다. 비트덱스 수치가 높을수록 재현할 수 있는 색이 풍부해져 자연스럽게 컬러풀한 영상이 만들어진다.

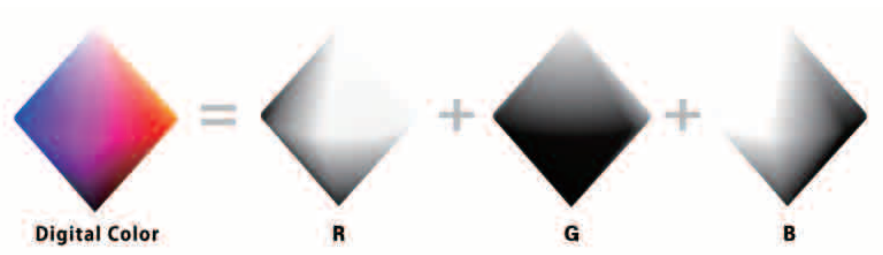


그림 1. RGB 방식의 컬러재현 원리

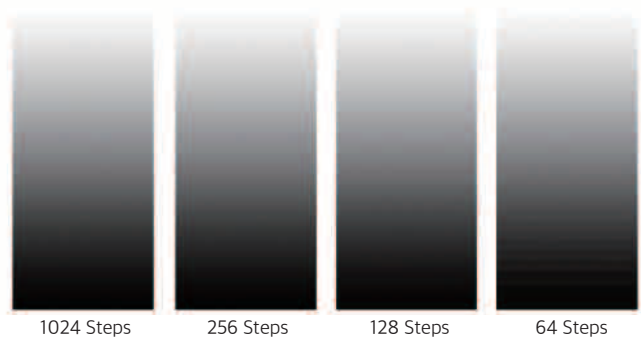


그림 2. 비트덱스에 따른 해상도 차이

인간의 색체계, HSL

인간이 어떻게 색깔을 지각하는지에 근거해 만든 색체계가 바로 HSL이다. 우선, **색상(Hue)**은 특정한 색의 범주를 정의할 때 쓴다. 또 원색을 중심으로 연속적으로 연결시켜 놓은 것이 색상환(Color Wheel)이다. 당연히 색상환에는 채도와 밝기는 포함되지 않으며 색상을 표시할 때 각도를 사용한다. 실제 포토샵의 컬러피커를 봐도 색상 부분은 각도로 표시돼 있다. 색보정 프로그램에서도 HSL 방식이 사용되는데 비디오스코프(Vector Scope)로 잘 알려진 벡터스코프(Vector Scope)가 여기에 해당된다.



그림 3. 컴퓨터 컬러방식(왼쪽)과 인간 컬러방식(오른쪽) 차이

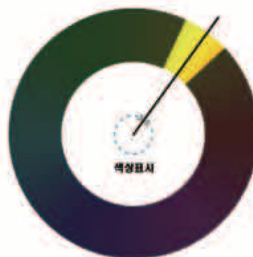


그림 4. 색상 표시

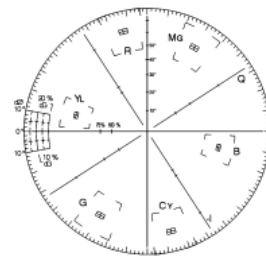


그림 5. 색상의 개념의 벡터스코프

이론상 색상은 독립적으로 기능해야 한다. 하지만 실제로는 채도와 명도가 상호 연관돼 작동한다. 그림을 보면 동일한 색상이 배경색의 차이에 의해 다른 채도와 밝기를 가진 색상으로 지각되는 것을 느낄 수 있다. 색보정 실무에서 화이트 스팟(White Spot) 지점을 만들어 수시로 안구를 리셋해주는 것도 이같은 착시현상을 방지하기 위한 것이다.



그림 6. 배경에 따른 색상의 착시현상

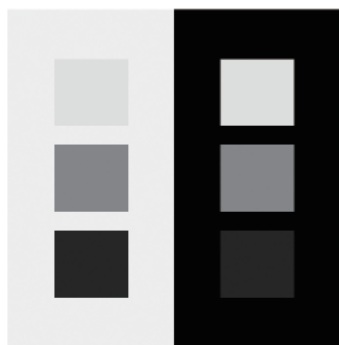


그림 7. 딤 서라운드 이펙트(C. Poynton, Digital Video and HDTV, p82)

HSL 방식의 두 번째는 **채도(Saturation)**다. 채도는 탁한가 혹은 강렬한가 등으로 해석된다. 색보정 툴에서 종종 틴트(Tint)와 웨이드(Shade) 용어가 나오는 것을 보았을 것이다. 이들이 바로 채도를 나타내는 용어다. 강렬한 대비, 혹은 맛맛한 느낌을 줘 불리치 바이패스(Bleach Bypass)와 같이 독특한 룩을 만들 때 주로 사용된다.

마지막으로 **명도(Luminance 혹은 Brightness)** 부분에 대해 알아보자. 명도는 색체계에서 가장 중요한 부분이다. 인간의 눈은 색감보다 밝기에 더 민감하게 반응하기 때문이다. 색상, 채도의 경우와 마찬가지로 명도 또한 주변 환경에 영향을 받는다. 대표적인 현상 중 딤 서라운드 이펙트(Dim Surround Effect)가 있다.

색의 수치화 작업, CIE 표준 색체계

앞서 설명했듯이, 표준 색체계는 각각의 색을 수치화해 놓은 하나의 약속이다. 표준 색체계는 삼자극 이론에 바탕을 두고 있다. 삼자극 이론이란 안구에는 세 가지 자극체(Red, Green, Blue)가 있어 빛을 파장별로 따라 지각하고 이를 다시 조합하여 색으로 이해한다는 가설이다. 오늘날 색을 재현하기 위해 RGB 방식이 사용되는 것도 바로 이 가설 때문이다.

세 가지 자극체가 있다는 가설을 바탕으로 실제 실험을 통해 자연에 존재하는 연속 스펙트럼 상의 단색에 대한 자극체의 반응을 수치화하는데 성공했고 이를 바탕으로 색체계의 기반이 되는 CIE RGB 색대응 함수를 완성했다. 하지만 A 영역의 문제로 인하여 1960년대 색체계에 대한 일대변환을 겪게 된다. 컬러TV 등장을 알리는 반대색설(Opponent Theory)에 기반한 CIE LUV 색체계의 완성! 비디오 색공간에 대해서는 뒤에서 다시 설명한다.

이 함수를 바탕으로 몇 가지 오류를 수정해 1931년에 인류 최초의 색체계인 CIE 1931 XYZ 색체계를 만들었다. CIE 1931 XYZ 색체계는 매우 중요한 색체계이지만 실제 색을 측정하고 비교하기에는 적당하지 않다. 공간에 구현했기 때문에 실용 가능한 평면화 작업이 이뤄졌다. XYZ 요소 중 밝기 부분을 고정시켜 색상과 채도로만 구성된 평면 색체계를 만들었다. 이것이 바로 색의 지도인 CIE xy 색도도이다.

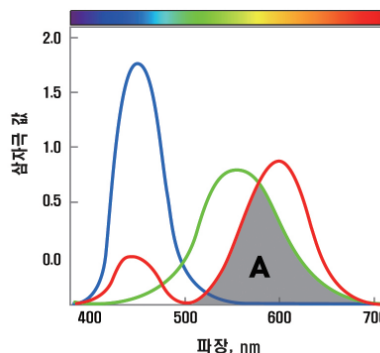


그림 8. CIE RGB 색대응 함수



그림 9. CIE 1931 XYZ 색체계

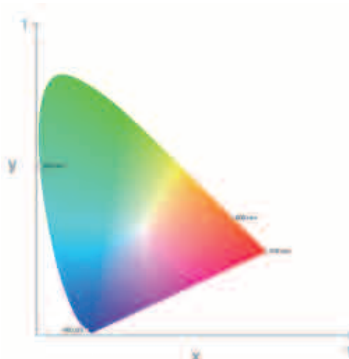


그림 10. CIE xy 색도도

색의 지도를 보는 방법은 간단하다. 색의 지도에는 색상과 채도를 표시해야 한다. 우선 중심은 흰색(White) 영역이다. 앞서 밝기 부분을 흰색으로 고정시켰기 때문이다. 중심점으로부터의 거리에 따라 채도가 표시된다. 즉 중심점으로부터 거리가 멀면 채도가 강해지고 짧으면 약해진다. 색상은 바로 테두리 부분이다. 말굽모양의 둘레가 색상을 표시하는 영역이다. 이 지도만 있으면 세상의 '순수한' 색을 모두 표시할 수 있다. CIE 1931 XYZ 색체계 이후 표준 색체계는 더욱 보완되어 몇 가지 다른 유형의 색체계로 발전했다. CIE 1960 UCS, CIELUV, CIELAB 등이 그것이다. 이렇게 만들어진 색공간에 실제 영상의 컬러들이 다음 그림과 같이 기록된다.



그림 11. YCbCr 색공간에 삽입된 지구의 일몰 이미지 - www.nasa.org

특정 부분을 다시 확대해보면 원형 그림과 같아진다. 여기서 작은 입자 모양으로 색이 분포된 것이 보이고, 작은 입자를 더욱 확대하면 색들이 일정한 간격을 두고 배열되어 있는 것을 볼 수 있다.

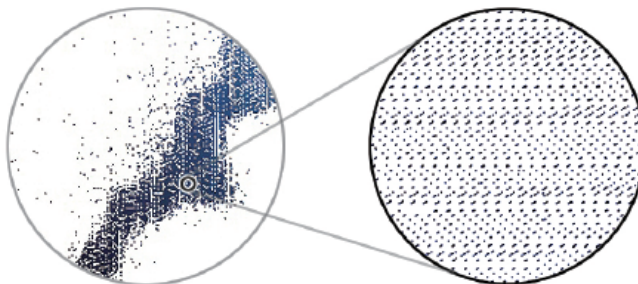


그림 12. 색공간 입자들의 확대된 모습

배열된 각각의 색정보는 '0'과 '1'의 데이터값으로부터 생성된다. 이런 데이터는 오직 숫자만으로 저장되어 있기 때문에 디지털에서 반복해서 복사하여도 화질의 열화가 없는 장점을 가지게 되는 것이다. 그렇다면 구체적으로 디지털 색공간이 어떤 원리와 구조로 색을 재현하는지 그 특성을 살펴보자.

색공간의 제 1 특성 : 개머트

그림은 입체 큐브 모양의 RGB 색공간 구조를 보여준다. 재현 가능한 색은 색공간 안쪽에 위치하여 (120, 102, 65)와 같은 하나의 색체 좌표값으로 표시된다. 여기서 재현 가능한 색의 영역을 의미하는 개머트(Gamut)라는 중요한 개념이 등장한다. 색공간 “안”에 위치하는 색체만이 실제 재현할 수 있는 색의 영역이고 이것의 범위를 규정해 놓은 것이 바로 개머트인 것이다. 이 개머트를 색의 지도인 2차원 평면 색도 색체계 안에 넣으면 그림과 같아진다.

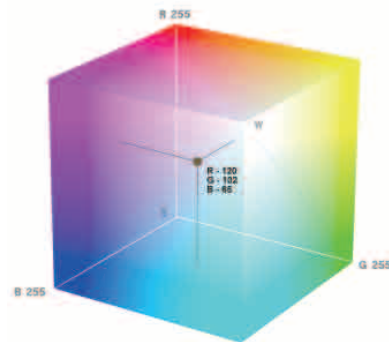


그림 13. RGB 색공간의 큐브 모양

표준 CIE xy 색도도에 비선형 R'G'B' 색공간인 sRGB와 Adobe RGB 색공간의 개머트를 표시한 것이다. Adobe RGB의 개머트가 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 일반적으로 개머트가 큰 색공간을 사용하면 색보정에도 좋을 것이라는 생각이 들기 쉽다. 하지만 항상 좋은 것은 아니다. 왜냐하면 실제 아웃풋(output)되는 영상의 최종 목적에 따라 달라지기 때문이다.

오히려 효과적인 색재현을 위한 결정적인 요인은 개머트의 크기가 아니라 영역을 제한하는 3개의 Red, Green, Blue 꼭짓점의 위치다. 영역을 결정하는 세 개의 꼭짓점에 따라서 장치에 최적화(의존적인)된 색을 재현할 수 있기 때문이다. 그림의 회색 영역은 서로 다른 색공간의 개머트 차이를 표시한 영역으로 아웃 오브 개머트(out of gamut)라고 한다. 색공간 변환 시에 색재현의 오류를 발생시키는 영역이다. 그리고 이 오류를 최소화하는 것이 바로 색관리 시스템(Color Management System, CMS)이라고 이해하면 된다.

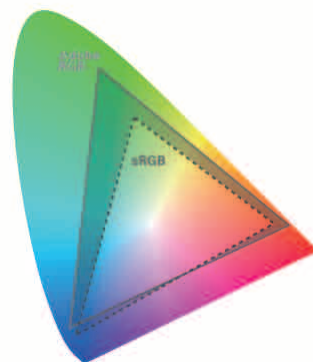


그림 14. Adobe RGB와 sRGB 색공간의 개머트 비교

색공간의 제 2 특성 : 감마

앞서 비선형 특성은 시각적으로 균등한 속성이라고 설명했다. 예를 들어, 18% 반사율을 가진 회색 카드를 우리는 중간(50%) 밝기로 인식한다. 이미 안구는 밝기를 지각할 때 1:1 선형 반응을 특성으로 받아들이지 않는다. 즉, 비선형 자체가 인간에게는 '균등'한 특성이기 때문이다.

그림은 입체 큐브 모양의 색공간 안에서 밝기가 어떻게 표시되는지 보여준다. 8개의 꼭짓점 중 White(W)와 Black(S)을 연결하는 축이 바로 밝기를 나타내는 회색계조의 무채색 영역이다. 색채 좌표값으로 표시될 때 Red, Green, Blue 값이 모두 동일한 비율로 정해질 때 밝기를 나타내는 무채색 영역에 있게 되는 것이다. 예를 들어, 각각의 RGB 값이 0, 0, 0 일 때 Black이고, RGB 값이 255, 255, 255 일 때 White가 되는 것. 결국, 18%의 밝기를 50% 중간 회색으로 인식하는 안구의 특징을 적용시키기 위해서는 무채색의 영역을 조절하게 되는데 이것을 결정하는 것이 바로 **감마(gamma)**이다.

그림은 밝기에 대한 안구의 지각 정도를 비교 실험을 통하여 얻은 결과를 표시한 것이다. 결과에서도 알 수 있듯이, 실제 중간 회색을 뜻하는 50% 밝기가 아닌 18% 밝기에서 중간 회색으로 지각되고 있다. 특히, 곡선 모양을 유심히 살펴보면 밝은 쪽보다는 오히려 어두운 쪽에 대하여 더욱 민감하게 반응하는 것을 볼 수 있다. 참고로, 안구의 유별난 비선형적 특징으로 인해 모니터는 정반대의 비선형 감마를 적용하여 상쇄시키게 되는데 이를 시스템 감마라고 한다. (비선형 특성에 따른 감마 상쇄 원리에 대해서는 「영상 색보정 - 실무테크닉」 제3장 디지털 컬러를 참조)

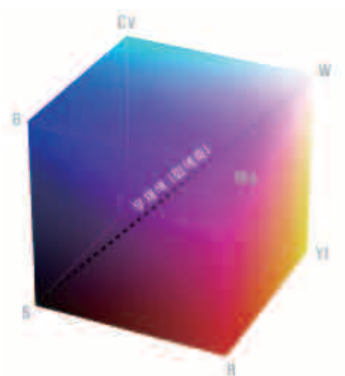


그림 15. RGB 색공간의 밝기 영역인 회색 축

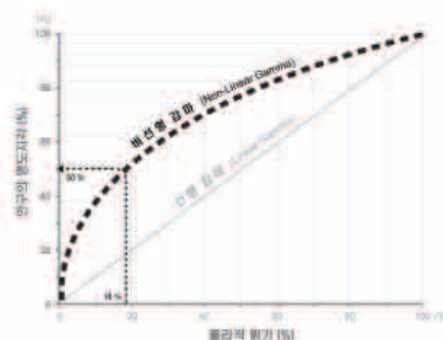


그림 16. 물리적 밝기에 대한 안구의 비선형 특성 (감마 곡선)

색공간의 제 3 특성 : 색온도 & 화이트 포인트

색보정 작업 중에는 색 밸런스가 '한쪽으로 쏠려' 있는 컬러캐스트(Color Cast) 문제가 종종 발생한다. 이것은 주로 색온도 변화로 인해 생기는데 이 문제는 색공간 특성으로 쉽게 설명된다. 색온도(color temperature)란 K(kelvin, 켈빈) 단위를 사용하여 광원이 따뜻한 계열인지 혹은 차가운 계열인지를 표현하는 용어이다. 예를 들어 9300 켈빈에서 흰색은 푸른 색조를 띄며 3000 켈빈에서 흰색은 붉은 색조를 띄게 된다. 물론, 색공간 안에도 색온도를 표시하는 영역이 있다. 화이트 포인트(White Point)가 그것이다.

앞서 설명한 무채색 영역의 끝단에 있는 White(W) 지점이라고 이해하면 된다. 결과적으로 켈빈에 따른 광원은 무채색 끝단에 있는 화이트 포인트 지점을 움직이게 함으로써, Red, Green, Blue 비율을 변화시켜 따뜻한 계열이나 차가운 계열로 만드는 원리이다. 이러한 변화를 국제조명위원회에서는 표준화시킨 것이 D65 등과 같은 표준 광원인 것이다.

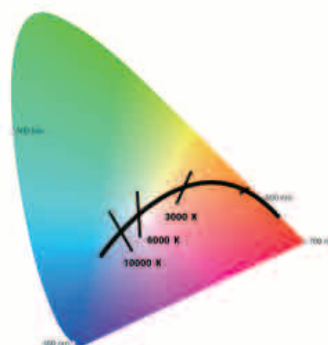


그림 17. CIE 색도도에 표시된 화이트 포인트

비디오 색공간의 이해

비디오 색공간을 이해하기 위해서 카메라의 이미지 센서와 카메라 감마 조정에 대한 설명을 필요로 한다. 감광장치인 이미지 센서(CCD, CMOS)는 렌즈를 통하여 결상된 빛을 디지털 수치로 기록하기 위해 전압으로 변환된다. 전압으로 변환된 빛은 단지 기계적으로 기록된 데이터로써, 실제 이 데이터는 안구의 '비선형' 특성을 반영하지 못하기 때문에 별도의 특성 적용과정을 거치게 된다. 이것이 바로 카메라 감마 조정(Camera Gamma Correction)이다. 감마가 조정된 색 정보들은 카메라 내부에서 비디오 색공간으로 변환될 준비 과정을 모두 마친 상태이다. 그림은 디지털 비디오 YCbCr 색공간을 입체로 표현한 것이다.

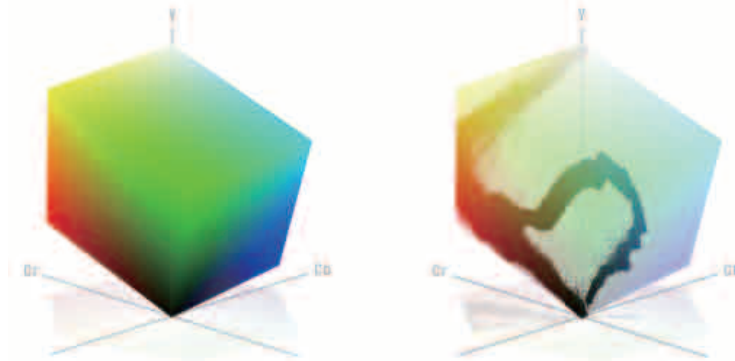


그림 18. YCbCr 비디오 색공간의 입체 모형

두 개의 색축(Cb + Cr)과 한 개의 밝기축(Y)을 사용하여 색을 기록하는 방식이다. 이렇게 RGB 색공간과 다르게 밝기축을 별도로 구분하여 사용하는 이유는 컬러TV가 최초로 등장했을 때 기존의 흑백TV 시청자들을 수용할 수 있게 하기 위한 방편으로 밝기만을 별도의 축으로 뽑아 사용하게 된 것이라 생각하면 이해가 쉽다. 사실 밝기 값을 분리시킨 것은 색보정 작업에서 매우 유용한데, 그 이유는 안구에 가장 민감한 밝기에 영향을 주지 않으면서도 순수한 색상과 채도만을 자유롭게 컨트롤 할 수 있기 때문이다. 색보정 작업에서 필수적으로 사용되는 벡터스코프도 같은 원리로 만들어졌다고 보면 된다. 다음의 벡터스코프 그림은 이 부분을 쉽게 설명해 준다.

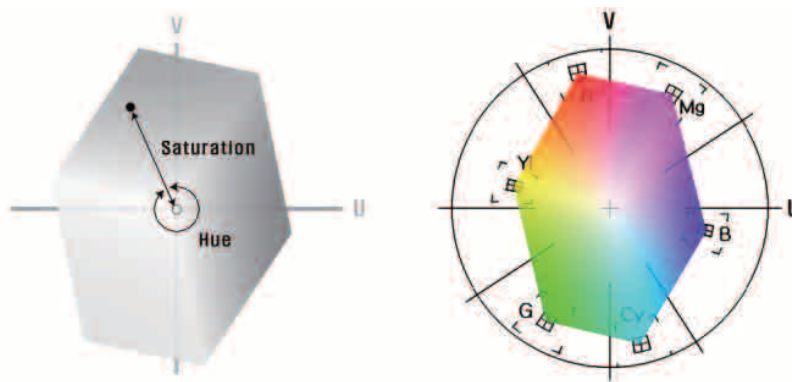


그림 19. 비디오 색공간의 벡터 방식과 벡터스코프에 표시된 색공간

비디오 영상 신호의 이해

앞에서 비디오 색공간은 밝기와 색차(색상과 채도) 정보를 분리되어 있다고 했다. 이렇게 분리된 색체계는 다시 두 가지 컬러 포맷으로 제공된다. 콤포지트(composite) 비디오와 컴포넌트(component) 비디오 방식이 그것이다. 콤포지트와 컴포넌트 방식의 근본적인 차이는 영상 신호의 전송 방법에 따라 달라진다. 만약 하나의 라인에 신호를 모두 포함해서 보내는 것이 콤포지트 방식이고, 밝기 신호와 색차 신호를 구분하여 전송하는 방식이 컴포넌트다. 일반적으로 비디오 색공간이라고 할 때는 YCbCr 색체계의 디지털 컴포넌트 방식이다. 그럼에도 불구하고 콤포지트 비디오 신호 구성을 이해하는 것은 중요한데, 그 이유는 색보정에서 신호 분석에 사용되는

비디오스코프가 신호를 그래프로 보여주는 장치 그 이상이 아니기 때문이다. 지면 관계상 구체적인 비디오 영상신호의 구성에 대해서는 논외로 제외하고자 한다. (영상신호의 구성 원리에 대해서는 「영상 색보정 - 실무테크닉」 제4장 비디오 컬러를 참조)

비디오 신호가 어떻게 구성되어 있는지 밝기와 색차로 구분하여 비교 설명하겠다. 참고로, 아래위 (A와 B)로 구분된 그림은 TV 화면의 '한' 개 주사선으로 변조된 신호를 보여주는 것이다.

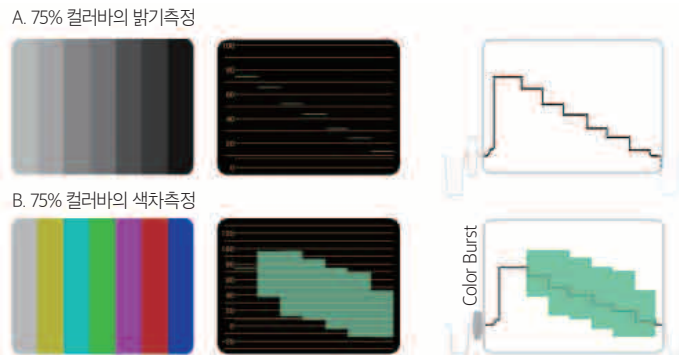


그림 20. 밝기와 색차 구분을 위한 비디오 신호와 웨이브폼 모니터의 비교

A 그림은 밝기를 나타내는 비디오 신호(Main)이고, B 그림은 동일한 주사선에서 색차 정보를 담은 비디오 신호(Sub)다. A 그림의 맨 좌측은 색차 정보를 포함하지 않은 밝기만을 가진 흑백 영상이다. 이것의 비디오 신호는 A 우측 그림이다.

TV 화면에서 밝은 부분은 신호상에서 위에 위치하며 어두운 부분은 아래에 위치하는 것을 볼 수 있다. 이러한 비디오 신호를 웨이브폼(Waveform) 모니터를 이용하면 A 가운데 그림처럼 보인다. 반면, B 그림처럼 색차(색상과 채도)를 포함한 영상을 비디오 신호에 표시하면 B 그림의 우측 신호와 같이 위상과 진폭으로 그 값을 표시하게 된다.

여기서 위상이란 컬러 버스트(color burst)를 기준으로 한 해당 신호상에서의 '각도' 개념이며, 진폭이란 해당 신호의 아래위 '폭'을 의미한다. 색상과 채도를 가진 영상의 비디오 신호는 A 우측 그림에서 폭을 포함하게 되는 형식이 되어 B 우측 그림과 같이 된다. 물론, 이것을 웨이브폼 모니터에서 보게 되면 B 가운데 그림처럼 보이게 된다.

디지털타이징 = 샘플링 + 양자화

사실 4K · 8K 해상도를 가진 실감영상을 방송하기 위해서는 고용량의 영상 데이터를 압축하기 전에 먼저 YCbCr 신호를 디지털로 전환시키는 디지털타이징(디지털화) 과정이 필요하다. 디지털타이징(Digitizing) 과정이라고 해서 특별한 것은 아니고 단지 색정보를 가지고 있는 신호를 시간에 따라 추출(샘플링)하고 그것을 표준화된 단위레벨로 변환(양자화)하는 것이다. 422 포맷이니 444 포맷이니 할 때의 수치는 추출(샘플링)되는

비율을 나타내는 것이고, 8비트 영상이니 10비트 영상이니 할 때의 비트 수는 양자화의 단위레벨이다. 물론, 영상은 어떤 압축방법(Codec)을 사용하는가에 따라 화질과 압축률이 달라진다.

실감영상 색보정을 위한 CIE 표준 컬러 및 비디오 색공간의 기본 개념과 이해에 대한 설명은 모두 끝났다. 사실 색체계를 간단하게 설명하기에는 난해한 부분이 없지 않다. 그럼에도 불구하고 역시 UHD 실감영상을 위해서 컬러에 대한 기본적인 개념 이해를 피해갈 수는 없다. 앞의 연재에서 개략적으로 설명된, UHD 영상의 더 넓어진 색역과 색심도는 모두 컬러의 재현 능력이 확대된 것과 다름이 아니기 때문이다.

이제는 색체계의 기초이론을 바탕으로 한 실감영상의 표현으로써 로그리즘(Logarithm) 색보정(Digital Intermediate) 작업이 남아있다.

색보정의 세계로 입문한 당신을 환영한다!

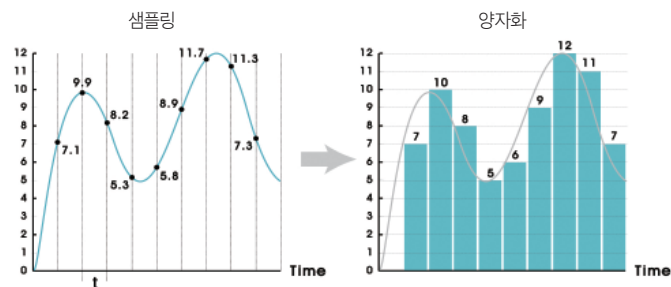


그림 21. 디지털타이징 원리