

EOTF 기반의 UHD 포스트프로덕션 이해

글.
박원주 (주)컬러티브 대표
스쿨오브컬러 원장

디스플레이는 흑백텔레비전의 1세대부터 시작하여, 컬러텔레비전으로 다시 HDTV, 3DTV, UHDTV 그리고 하이다이내믹레인지 텔레비전으로 진화하고 있다. '기록된 대상을 어떻게 실제처럼 보이게 할 것인가의 기술', 즉 실감영상기술로 발전하고 있는 것이다. 뿐만 아니라 대화형 쌍방향 통신기술을 디스플레이 장치에 적용하여 시청자와 직접적인 상호작용이 가능하도록 한다. 현실을 가상화하여 시청자를 또 다른 가상공간에 존재시키기도 하고, 현실을 증강시켜 시청자에게 적극적인 상호작용을 유도하기도 한다. 그러나 급변하는 디스플레이 형태와 구조에도 불구하고, 언제나 변하지 않는 것은 '기록된 대상을 재현한다!'는 기본 틀이다.

이번 연재에서는 EOTF 개념 설명을 시작으로 급변하는 이미지 재현 기술의 동향을 되짚어보고, 차후 연재를 통하여 EOTF 개념이 어떻게 포스트프로덕션 워크플로에 사용될 수 있는지 알아보고자 한다.

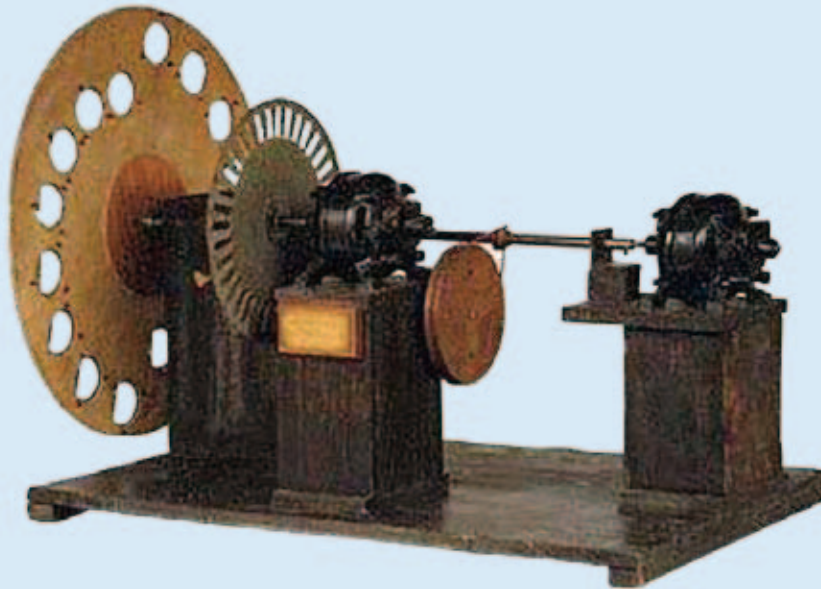


그림 1. 1926 Baird "Falkirk" Transmitter / 참고자료 : TVHistory.TV

재현 기술로서의 EOTF

EOTF(전광변환함수)란 Electro-Optical Transfer Function 용어의 약자이다. 쉽게 얘기해서, 어떻게 디지털 코드가 빛으로 변하는가를 정의하는 기술이다. 프로덕션에서 연출감독과 촬영감독은 현장 모니터를 통하여, 그리고 포스트프로덕션의 아티스트는 작업 모니터를 통하여 이미지에 대한 창의적인 판단과 결정을 한다. 즉, 디스플레이의 일관성 있는 재생산을 전제로 하였을 때 이미지에 대한 상호교류 및 소통이 가능해진다.

EOTF 기술 측면에서 카메라와 디스플레이에서의 감마 흐름도는 다음 그림과 같다. 오리지널 씬(Original Scene)은 카메라에서 빛을 디지털 코드로 만드는 OETF(광전변환함수, Opto-Electronic Transfer Function)에 의해 변환되고, 이렇게 전환된 디지털 코드는 다시 디스플레이의 EOTF 즉, 디지털 코드를 빛으로 변환하는 함수에 의해서 최종적으로 이미지(Reproduced Scene)를 재생산하게 된다. 이때, 카메라와 디스플레이 환경 사이에서 발생하는 계조 상의 인지적인 차이를 OOTF(광광변환함수, Opto-Optical Transfer Function) 감마를 사용하여 상쇄시키게 된다. OOTF 감마를 활용하는 대표적인 기술이 바로 HDR(High Dynamic Range) 환경에서의 PQ Gamma 기술과 HLG 시스템 감마이다. 이에 대해서는 HDR 재현을 위한 EOTF 설명 때 다시 다루기로 하자.

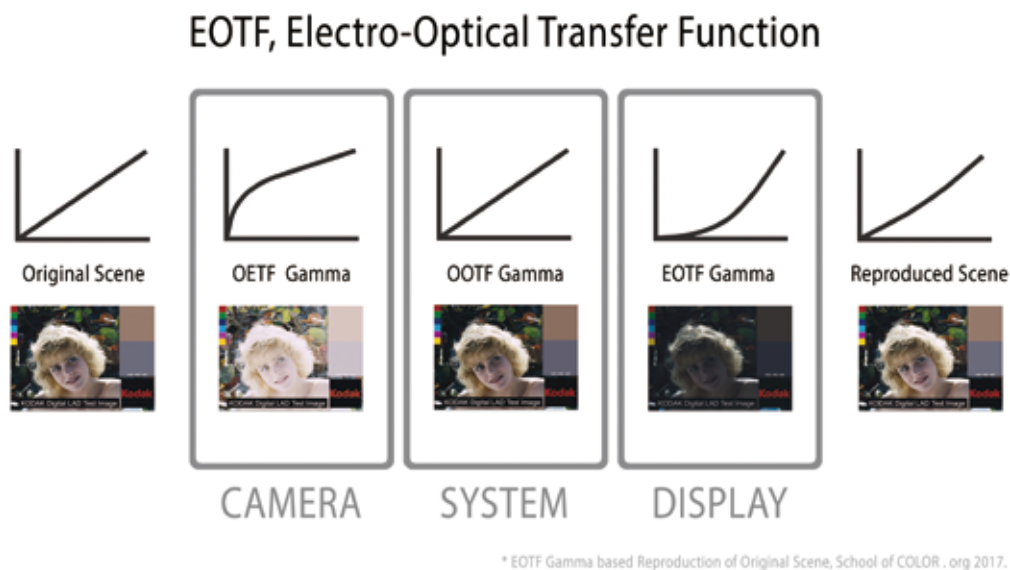


그림 2. EOTF 기반 이미지 재현 / 참고자료 : 스쿨오브컬러

디스플레이 감마와 카메라 감마의 관계에 대해서 종종 혼돈이 발생한다. 즉, OETF 기술은 EOTF 기술을 상쇄하기 위한 목적으로 생성되었다는 오해인데, 실제로 BT.1886 표준에서는 EOTF 상쇄 목적의 '역감마'로 표시된다. 이러한 혼돈은 디스플레이의 CRT 기술관점 유무에 따라 해소될 수 있을 것이다. 예를 들면, CRT 기반 디스플레이에서는 EOTF와 OETF 두 감마의 상쇄 관계가 단순 우연의 일치라고 설명된다. 이는 몇 가지만 생각해봐도 판단될 수 있다. 예를 들면, 이미지 재현을 위하여 사용되었던 CRT 환경의 방식은 Display-referred 혹은 Scene-referred 방식이 아닌, Censor-referred 방식이었다. 즉, 기록하고자 하는 대상을 디스플레이 환경과는 독자적으로 판단하여 캡처하는 방식이다. EOTF 기술과 OETF 기술의 연관성이 상대적으로 결여되어 있기 때문에 색역사상(Gamut Mapping)이라는 기술을 통하여 그 차이를 보상하게 된다. 시청각 환경 설정을 최종감마 원리로 설명하는 것도 같은 맥락일 것이다. 마찬가지로, 순수하게 이미지 캡처 측면에서 비선형 인코딩을 통해 계조 형성의 효율성을 증가시키는 것도 CRT 환경에서의 Censor-referred 방식으로 이해될 수 있을 것이다.

Gamma Encoding Tonal Efficiency



그림 3. 감마 인코딩 계조 효율성

반면 BT.1886 표준은 기본적으로 Display-referred EOTF 기술, 또는 Display-referred EOTF 기능을 전제로 한 Scene-referred OETF 기술이다. 따라서 이미지 캡처 기술로써 디스플레이의 역감마(EOTF⁻¹)를 사용한다고 해도 BT.1886 표준에서는 틀린 표현이 아니다.

CRT 기반 디스플레이 기술, 그리고 BT.1886

사실 현재 사용되는 EOTF 기술은 CRT 기술에 기반한 것으로서 1930년대 초기 디스플레이 방식과 유사하다. 잘 알려진 것과 같이, HDTV 표준도 100nit 밝기의 낮은 콘트라스트를 기준으로 한 레퍼런스 CRT 기반 기술이다. 반면, 오늘날 디스플레이는 CRT 기술과 많은 차이가 있다. 평판 디스플레이의 화면 해상도와 재생률 측면을 제외하더라도, 기본적으로 더 밝고 더 높은 콘트라스트를 구현한다. 게다가 미래의 디스플레이가 HDR 기술을 보편적으로 제공하게 될 것이라는 견해를 반박할 전문가는 많지 않을 것이다. 실감 영상에 대한 시청자의 요구는 더욱 증대될 것이기 때문이다.

CRT 물리학에 근거한 낮은 밝기와 낮은 계조에 대하여 2011년 변화된 디스플레이 기술을 수용하고자 새로운 EOTF 기술이 2011년에 표준으로 정립되었다. 더 이상 레퍼런스 CRT 디스플레이가 생산되지 않는다는 현실도 반영된 것이다. 평판 디스플레이(Flat Panel Display)를 위한 EOTF 표준인 ITU-R Rec. BT.1886 표준이 그것이다. 평판 디스플레이는 기존 CRT 디스플레이와 다르게 상대적으로 높은 밝기와 계조 등 여러 가지 기술 측면에서 차이를 갖고 있다. 기존의 CRT 기술에서 제공하던 인간의 시지각 특성을 새로운 디스플레이 환경에서도 일관성 있게 반영시켜야 한다. 아래 [그림 4]에서 보듯이 각각의 EOTF 기술은 서로 다른 이미지를 구현한다.



그림 4. EOTF Gamma 비교 / 참고 자료 : 스콜오브컬러)

동일하게 기록된 대상이 디스플레이 테크놀로지에 따라 미학적 그리고 기술적 차이를 만들고 있다. 디스플레이 장치는 기본적으로 이미지를 재현(Representation)하는 장치다. 재현이란 ‘다시 현존케하다’라는 의미로써, 오리지널 씬(Original Scene)을 일관성 측면에서 동일하게 보여줘야 하는 것이다. 프로덕션과 포스트프로덕션, 그리고 시청 관점에서 보면 그 의미는 더욱 중요해질 것이다. CRT 기술에는 EOTF 항목이 결정되어 있지 않았다. 레퍼런스 CRT 기술을 바탕으로 하는 HDTV 표준도 마찬가지다. 밝기와 콘트라스트의 조절 환경에서 이미지의 일관성을 유지하기란 불가능했기 때문일 것이고, 또 Censor-referred 기술인 OETF 감마가 지배적이었기 때문일 것이다. 하지만, 평판 디스플레이 기술은 CRT 디스플레이와 완전히 다른 특성을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 CRT 디스플레이에서 사용하던 동일한 EOTF 기술이 사용되고 있다. “시지각” 인지 측면에서 CRT 디스플레이와의 일관성을 유지하기 위해 즉, 변화된 디스플레이 환경에서 일관적인 시청 환경을 제공하기 위해, 평판 디스플레이의 EOTF 설정이 새롭게 정의되어야 할 것이다. 이것이 바로 BT.1886 표준이 제안된 이유이다.

BT.1886 EOTF 테스트 및 분석

실례로, BT.1886 환경에서 디스플레이 백라이트 기술과 싸라운드 필드를 동기화시키면, 일반 LCD 평판 디스플레이 환경에서 드러나는 밝은 블랙 느낌은 사라지고, [그림 5] 우측의 그림과 같이 CRT 환경에서의 Gamma 2.2 상태와 유사한 풍부한 쉐도우 계조가 확보된다. [그림 5] 좌측의 데이터는 기존 Gamma 2.4와 BT.1886 감마를 블랙 계조에서 비교해 놓았다. Gamma 2.4 계조 변화를 나타내는 그래프가 가장 어두운 블랙 부분에서 급격하게 변화는 것을 볼 수 있다. 이러한 감마 특성은 풍부한 블랙 계조 형성에 불리하게 작동한다. 반면, 노란색의 BT.1886 계조는 순수 블랙으로부터 시작하여 완만한 블랙 계조 곡선을 그리고 있다. LCD 평판 디스플레이 환경에서 Gamma 2.2 상태를 적용하였을 때의 밝은 블랙 느낌은 사라지고, 반면에 풍부한 쉐도우 계조를 갖게 된다.



그림 5. BT.1886 블랙레벨 / 참고자료 : 스크오브컬러

반면, 하이라이트 영역은 Gamma 2.2 상태에서 밝고 가벼운 느낌을 준 것과 달리, Gamma 2.4 하이라이트 계조와 유사한 형태로 풍부하고 탄탄한 계조 느낌을 제공한다(아래 [그림 6] BT.1886 하이라이트 비교 자료 참조).



그림 6. BT.1886 하이라이트 비교 / 참고자료 : 스크오브컬러

참고로, 테스트 환경은 Canon DP-V3010 4K Monitor (Firmware 1.3), Local Dimming Technology, K-65, Surround Field 4~5Lux였으며, 인지적 테스트를 위한 세팅은 K-10 Probe, Lightspace CMS Full Pro 툴을 사용하였다.

시청환경에 대한 개념

디스플레이는 일반적으로 최대 밝기와 최소 밝기에 대한 비율을 통하여 명암비를 나타낸다. 그러나 이 같은 특성은 디스플레이의 물리적 특성만을 고려한 것으로써 상대적 콘트라스트를 인지하는 인간의 시각 특성을 반영하기가 힘들다. 앞 테스트에서와 같이, BT.1886 EOTF 특성은 Gamma 2.2 혹은 Gamma 2.4처럼 순수한 출력특성(Power Curve)을 의미하지 않는다. 오히려 풍부한 색도 우와 하이라이트는 각각 CRT 기반의 Gamma 2.2 색도우 특성과 LCD 디스플레이 기반의 Gamma 2.4 하이라이트 특성을 상대적 콘트라스트로 작동시키고, 또 깊고 순수한 블랙은 Gamma 2.4 특성으로부터 가져오는 것과 같은 느낌이다. BT.1886 EOTF 표준에 특별히 시청각 환경에 대한 규정을 정하고 있지 않은 것도 이 같은 상대적 콘트라스트 원리를 바탕으로 하고 있기 때문일 것이다. HDR 디스플레이 환경에서 EOTF 특성을 Display-referred 기술로, 또는 Scene-referred 기술로 사용하는 것도 마치 상대적 콘트라스트 기법과 같은 맥락이다.

시청환경의 변화에 따른 이미지 재현성을 이해하기 위하여 색 현시의 기술적 측면을 확인해볼 필요가 있다. 국제조명위원회에서는 컬러 어피어런스(Color Appearance) 모델의 기술적 측면을 6가지로 정의하여 이에 대한 주위 환경의 변화를 설명하고 있다. 우선, 주변 환경에 의하여 하나의 오브젝트가 얼마나 밝게 보이는데 대한 주관적인 현시를 Brightness로 표시한다. 그리고 하나의 색이 얼마나 밝게 보이는데 대한 주관적 현시를 Lightness로 정의한다. 반면, 색상과 무채색의 정도를 Colorfulness 로 표시하고, 밝기와 관련되어 색감을 표시할 때 Chroma를 사용한다. 마지막으로 색상(Hue)과 채도(Saturation)를 사용한다. 아래 그림은 컬러 어피어런스 모델의 차이를 보여준다.

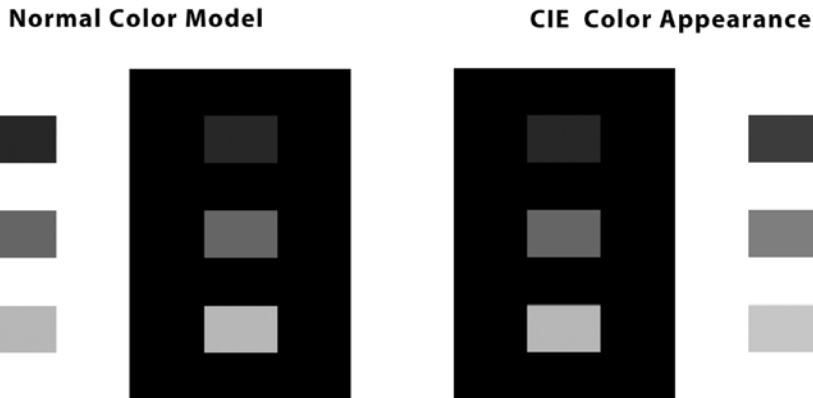


그림 7. 컬러 어피어런스 적용 사례

좌측의 일반적인 컬러 모델은 물리적으로 동일한 밝기가 주위 환경에 의해서 어떻게 달라 보이는데를 나타낸다. 반면에, 우측의 국제조명위원회 색 현시는 물리적으로 다른 밝기가 주위 환경에 의해서 어떻게 동일한 밝기로 보이는데를 나타낸다.

시청 환경(Viewing Condition)의 원리는 다음 그림과 같다. 안쪽 작은 원은 스티물러스 즉, 삼자극체이다. CIE XYZ 색체계에서 시야각 2도 관찰자가 측정하는 값이다. 반면, 바깥쪽 큰 원은 상대적인 휘도가 측정되는 시야각 10도 영역인 백그라운드이다. 마지막으로 큰 원의 바깥쪽은 디스플레이 장치가 놓이는 영역인 써라운드 필드(Surround Field)다. 인지적 차원에서 시각에 영향을 주

는 영역은 스티뮬러스, 백그라운드 그리고 써라운드 필드 모두가 포함된다. (CIE XYZ 색체계에 대한 자세한 내용은 「영상 색보정」, 박원주 저, 성안당 출판사를 참조.)



그림 8. 시청각 환경 원리

각각의 EOTF 감마값이 서로 다른 시청각 환경을 전제로 이뤄지는 것은 이 때문이다. 국제조명위원회는 색 현시 모델을 바탕으로 세 가지의 써라운드 효과(Surround Effect)를 정의하고 있다: Average, Dim 그리고 Dark이다. Gamma 2.2 기술이 적절히 어두운 딴 라이트를 시청각 환경으로 설정하고, Gamma 2.4 시청각 환경으로써 상당히 어두운 다크 룸을 설정하는 것은 이와 같은 이유 때문이다.

- Gamma 2.2 : Dim Light

- Gamma 2.4 : Dark Room

EOTF 개념을 통하여 짧게나마 디스플레이 기술 특성과 그에 따른 BT.1886 표준 특성을 살펴보았다. 지금 이 순간에도 디스플레이 영상 기술은 급속하게 발전하고 있다. Dolby Vision 사가 개발한 PQ Gamma 특성의 HDR 표준 - SMPTE ST 2084, HD 및 UHD 방송의 HDR 표준 - ITU-R Rec.2100, BBC와 NHK 방송사가 공동으로 개발한 HLG, Hybrid Log-Gamma 등이 그 표준이다. 하지만 아무리 복잡한 디스플레이 영상 기술이라도 그 중심에는 언제나 인간이 있다. 그것이 차세대 실감영상이 되었건, 혹은 가상현실과 증강현실을 위한 영상이 되었건 예외 없이 인간의 시각적 특성에 기초한다. 오늘날 디지털 영상 기술, 특히 디스플레이 기술은 오히려 인간 중심의 기술로 발전하고 있다고 표현하는 것이 옳을 것 같다. ㉮

※ 인쇄 특성상 이미지가 제대로 표현되지 못할 수 있습니다. - 방송과기술 편집부