

UHDTV 방송표준의 화질 관련 주요 파라미터들 4부

신수근 티브이로직(주) 마케팅팀 부장

지난 1부(2015년 1월호)에서는 UHDTV 방송표준의 주요 파라미터들을 대략적으로 소개했었고, 2부(2월호)에서는 이 UHDTV의 가장 기본이 되는 해상도에 대해, 그리고 3부(3월호)에서는 우리가 느끼는 색감에 결정적인 역할을 하는 색역(Color Gamut)에 대해 살펴보았다. 이번 4부에서는 기존의 HDTV 파라미터들과는 확연히 차이나는 부분들, 즉 Frame Rate와 Color Depth, Signal Format, Color Space 및 Sampling 등에 대해서 간략하게 정리하면서 연재를 마치고자 한다.

High Frame Rate

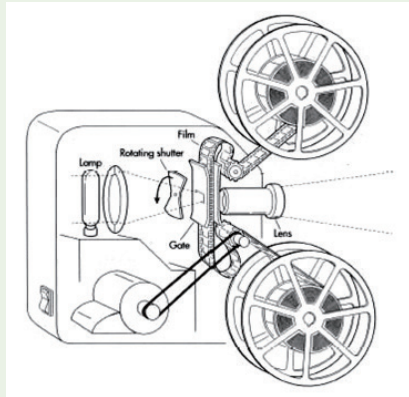
우선, 2부에서 보여 드렸던 SD vs HD vs UHD 간의 주요 파라미터 비교표를 다시 한 번 볼 필요가 있다. 아래의 표에서 보면 해상도 다음으로 눈에 띄는 변화가 바로 Frame Rate라 할 수 있다. 기존의 SD나 HD는 25p(50i)와 30p(60i)의 Frame Rate(갈호 속은 Field Rate 혹은 Flash Rate)를 사용해 왔는데 UHDTV로 오면서 최대 120p까지 Frame Rate가 높아졌다. Frame Rate의 경우 수치적으로는 기존의 30p에 비해 4배 높아진 것이며, Flash Rate 개념으로는 2배 높아진 수치라 하겠다.

	ITU-R BT.601 (SD)	ITU-R BT.709 (HD)	ITU-R BT.1769 (LSDI)	ITU-R BT.2020 (UHD-1, 2)
First Version	1982	1993		
Latest Version	2011 (BT.601-7)	2002 (BT.709-5)	2008 (BT.1769-0)	2012 (BT.2020-0)
Resolution (Widescreen)	720×483 (858×525) 720×576 (864×625)	1920×1080 (1125/60/2:1) (1250/50/2:1)	3840×2160 7680×4320	3840×2160 7680×4320
Frame Rate (Field Rate)	29.97p (59.94i) 25p (50i)	30p (60Hz) 25p (50Hz)	24p, 25p, 30p, 50p, 60p	24p, 25p, 30p, 50p, 60p, 120p
Color Depth	8bit, 10bit	8bit, 10bit	10bit, 12bit	
Color Space			RGB 4:4:4	
Sampling	YCC 4:2:2	YCC 4:2:2	YCC 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0	
Component Coding	$Y' = 0.299 \times R' + 0.587 \times G' + 0.114 \times B'$ $P'B = 0.5 \times (B' - Y') / (1 - 0.114)$ $P'R = 0.5 \times (R' - Y') / (1 - 0.299)$	$Y' = 0.2126 \times R' + 0.7152 \times G' + 0.0722 \times B'$ $P'B = 0.5 \times (B' - Y') / (1 - 0.0722)$ $P'R = 0.5 \times (R' - Y') / (1 - 0.2160)$	$Y' = 0.2126 \times R' + 0.7152 \times G' + 0.0722 \times B'$ $P'B = 0.5 \times (B' - Y') / (1 - 0.0722)$ $P'R = 0.5 \times (R' - Y') / (1 - 0.2160)$	$Y' = 0.2627 \times R' + 0.6780 \times G' + 0.0593 \times B'$ $P'B = 0.5 \times (B' - Y') / (1 - 0.0593)$ $P'R = 0.5 \times (R' - Y') / (1 - 0.2627)$
Color Gamut	SMPTE-C, EBU	Rec.709, (EBU)	Rec.709	Rec.2020 +C.L
Ref. White	D65	D65	D65	D65
OETF	$1.099 \times L_{0.45} - 0.099$ $4.500 \times L \ (0 \leq L < 0.018)$	$1.099 \times L_{0.45} - 0.099$ $4.500 \times L \ (0 \leq L < 0.018)$	$1.099 \times L_{0.45} - 0.099$ $4.500 \times L \ (0 \leq L < 0.018)$	$1.099 \times L_{0.45} - 0.099$ $4.500 \times L \ (0 \leq L < 0.018)$ (N.C.L + C.L)

※ LSDI : Large Screen Digital Imagery ※ 24p, 30p, 60p includes 1/1.001 ※ Component coding for 1250/50/2:1 system → Rec.601

【표 1】 SD, HD, UHD의 주요 파라미터 비교

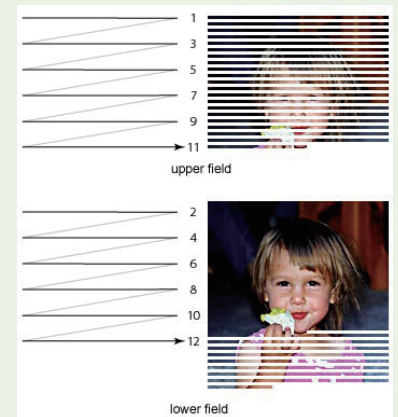
Frame Rate는 말 그대로 1초에 몇 개의 장면(혹은 사진이나 이미지)이 지나가는 지를 뜻하는 것이다. 과거에는 필름(Film)을 사용했지만 지금은 물리적인 필름이 아닌 이미지를 전자적으로 녹화, 저장된 File을 사용하는데 기본적인 개념은 동일하고 단지 압축을 어떻게, 얼마나 했는지에 따라 매우 다양한 형태의 파일 포맷이 존재한다.



[그림 2] 필름 영사기의 Dual Blade Shutter / 출처 : Charles Poynton

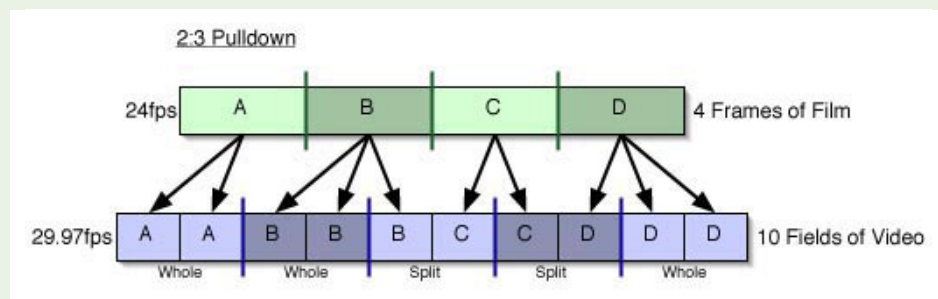
극장에서 상영하는 영화의 경우 1초에 24개의 프레임이 지나가는데 이미지 개념에서는 대략 초당 25~30개의 장면이 지나가면 볼 만한 활동영화(motion picture)가 된다고 판단했지만, 빛의 개념에서는 이는 너무 낮은 Rate였다. 즉, 1초에 필름의 프레임이 24장이 지나가게 되면 영사기의 램프도 1초에 24번 가려지기 때문에 영화를 보는 사람들은 1초에 24번 빛이 깜박이는 스크린을 보게 되는데, 이는 눈에 매우 큰 피로감을 준다. 실험결과 인간의 눈은 초당 50~60회 이상으로 빛이 깜박일 경우 계속 켜져 있는 빛(Constant Light)으로 인식하는 것으로 밝혀졌다. 이에 따라 극장용 영사기에는 Dual Blade Shutter와 같은 기계적인 장치가 램프 앞에 추가되어 1개의 프레임이 지나갈 때 1회전함으로써 빛이 1 프레임당 2번씩 깜박이게 했다. 결과적으로 프레임은 1초에 24개가 지나가지만 빛은 48번 깜박이도록 함으로써 깜박임(Flicker)으로 인한 눈의 피로와 영상의 부자연스러움을 해결한 것이다. 이렇게 빛이 깜박이는 횟수를 Flash Rate라고 한다.

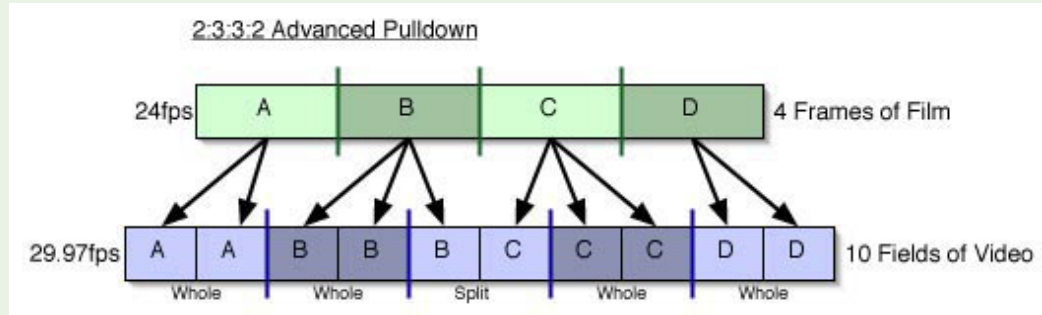
하지만 극장과 달리 가정에서 사용하기 위해 만든 TV는 전자적으로 영상을 처리하는 장치이기 때문에 Dual Blade Shutter와 같은 간단한 기계적인 장치로써 빛을 2배 더 많이 깜박거리게 할 수가 없다. 그렇다고 Frame Rate를 50~60Hz로 늘리는 것은 녹화, 저장, 재생, 송출 등 모든 부분에서 큰 부담이 되었고 특히 기존에 촬영해 놓은 24Hz 영화를 상영할 방법이 없었다. 이를 해결할 수 있는 묘안으로 제시되었던 것이 바로 인터레이스(Interlace) 기술이었다. 이는 하나의 프레임을 두 개의 필드(Field)로 분리해 주는 것으로 비록 수직해상도는 절반으로 줄어들지만 25~30 프레임을 50~60번 깜박이도록 해 줄 수 있는 매우 효율적인 방법이었으며, 부가적으로 움직임(motion)이 많은 장면에서 보다 자연스러운 영상을 만들어 준다는 장점도 있었다.



[그림 3] Progressive vs Interlace

참고로, 영화의 24fps는 TV의 25fps나 30fps 혹은 50i나 60i와는 정수배가 아니기 때문에 영화를 TV용 영상으로 변환할 때에는 2가지 방식으로 Frame이 조정된다. 24fps→50i(25fps) 변환의 경우 한 프레임의 차이이기 때문에 맨 끝의 프레임을 한 장 더 복사해 넣음으로써 비교적 간단하게 해결했다. 24fps→60i(30fps) 변환의 경우에는 조금 더 복잡한 방식인 2-3 pulldown이라는 기법이 사용되었다. 즉, 첫 번째 프레임에서는 2장의 필드를 만들어 내고, 두 번째 프레임에서는 3장의 필드를 만들어 내는 식으로 해서 24:60의 프레임 차이를 극복하였다.

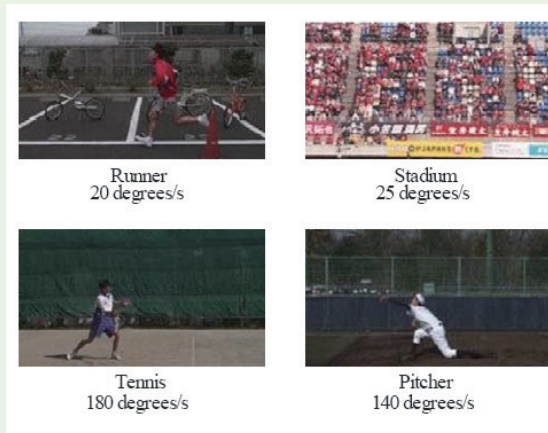




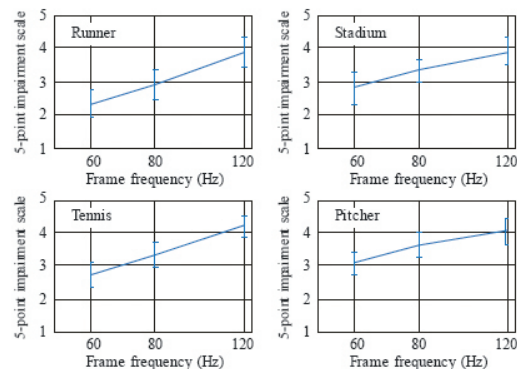
[그림 4] 2-3 pulldown / 출처 : Kenstone.net

이렇게 기존의 아날로그 방송이나 SD, HD 방송시스템에서는 낮은 프레임율(Frame Rate)과 2배 높은 플래시율(Flash Rate)이 혼재되어 사용되었는데 UHD TV로 가면서 이제는 Interlace가 없는 완전한 Progressive의 시대로 접어들게 되었다. 앞서의 표에서 본 바와 같이 UHD TV는 24p, 25p, 30p, 50p, 60p, 120p 등 다양한 프레임율을 지원할 수 있도록 규정하고 있다.

특히, 스포츠 중계와 같이 움직임이 많은 영상을 보게 될 경우 50p 및 60p와 같은 높은 프레임율은 보다 깨끗하고 선명한 영상을 제공해 줄 것은 누구나 상상할 수 있을 것이다. 다음의 그림과 그래프는 각기 다른 상황의 모션을 다른 프레임율로 보여줄 때의 화질 만족도를 측정한 결과를 보여 주고 있다. 모두 운동경기를 촬영한 것이라 프레임율이 증가할수록 만족도는 증가했지만, 특히 주 피사체의 움직임이 많고 배경에도 지속적인 변화가 일어나는 '달리기'와 '테니스'에서 보다 큰 차이를 보이고 있다. 현재 대부분의 가정용 TV 및 모니터가 LCD 패널을 채용하고 있기 때문에 이러한 Hold-type 디스플레이가 가지는 최대의 단점인 Motion Blur 현상이다. 더욱 높아진 프레임율은 이러한 LCD TV의 문제를 완화시키는 데에도 도움이 될 것이다.



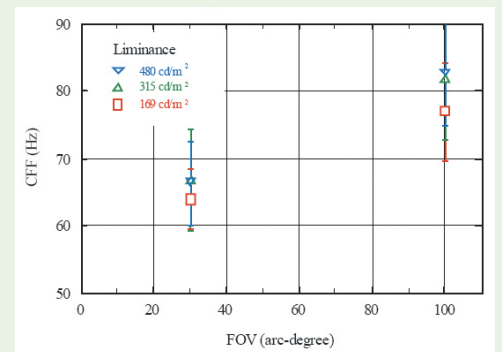
[그림 5] Test materials for stroboscopic effect evaluation / 출처 : ITU-R BT 2246



[그림 6] Result of subjective evaluation of stroboscopic effect, constant aperture time: 1/240s / 출처 : ITU-R BT 2246

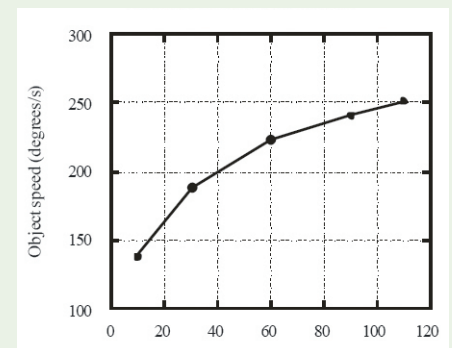
한편, 최근에는 점점 더 큰 TV 화면을 선호하는 시장의 흐름이 뚜렷하며, 특히 UHD로 가면서 대화면이 주는 만족감이 더욱 높아진다. 이에 비해 대형 TV의 가격은 충분히 보급화가 가능한 수준으로 낮아지고 있으며, LED 백라이트의 채용으로 소비전력은 (CCFL 백라이트를 채용했던 더 작은 사이즈의 LCD TV에 비해) 오히려 더 낮아지고 있다. 이렇게 TV의 화면이 커질수록 프레임율도 함께 높아질 필요가 있다는 점을 ITU 리포트를 통해서도 확인할 수 있다. 다음의 그림에서 보여 주는 실험결과는 화각(고정된 시청거리에서는 화면크기에

비례)이 커질수록 Critical Flicker가 증가함을 알 수 있다. 즉, 거실에 있던 40인치 TV를 65인치로 바꿀 경우 같은 화면이라 하더라도 Flicker로 인한 불편함을 더 느낄 수 있다는 것이다. 이러한 문제를 극복할 수 있는 것도 보다 높은 Frame Rate로써 해결 가능하다고 설명하고 있다.



[그림 7] Relationship between CFF and FOV / 출처 : ITU-R BT 2246

우측의 그래프는 동적시각정확성(DVA, Dynamic Visual Acuity)과 프레임율 간의 상관관계를 보여 준다. 수직축은 인간의 눈으로 분간하지 못할 정도의 속도를 말하는데, 결국 화면이 커질수록 더욱 빠르게 움직이는 물체를 구분할 수 있게 된다는 뜻이다. 이는 TV 화면이 커질수록 화면에 등장하는 피사체의 움직임을 보다 정확하게 볼 수 있기 때문에 보다 높은 프레임율의 필요성을 뒷받침하는 근거가 될 것이다.



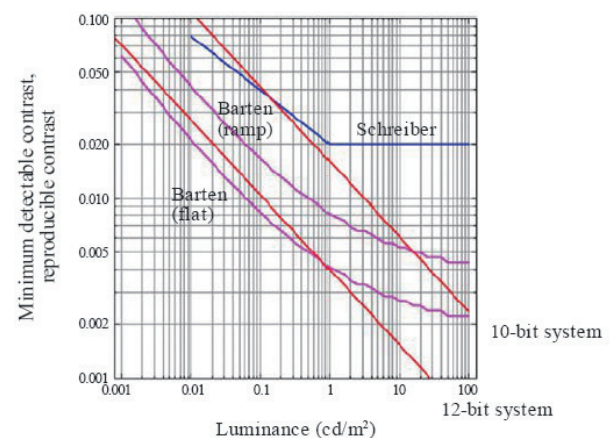
[그림 8] Measurements of DVA / 출처 : ITU-R BT 2246

Color Depth

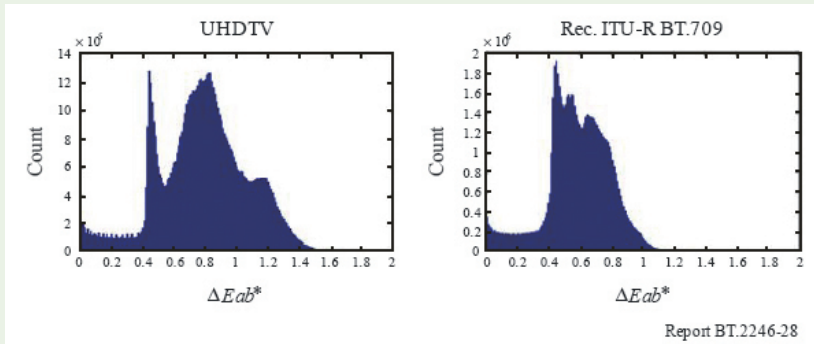
기존의 HDTV는 8~10비트를 사용했는데 비해 UHDTV에서는 10~12비트를 사용하도록 규정되어 있다. 인간의 눈으로 인지할 수 있는 Contrast는 디스플레이의 휘도에 따라 달라진다, 다음의 그래프에서 일상적인 방송영상의 경우 Barten(ramp)의 분홍색 곡선을 따른다고 가정할 수 있는데 이러한 어두운 레벨에서의 계조차이까지도 깨끗하게 구분시켜 주려면 (감마를 고려했을 때) 12비트가 되어야 한다는 것을 알 수 있다. 하지만, 현실적으로는 초기의 UHDTV는 여전히 10비트 시스템을 주로 이용하다가 관련 장비와 부품들이 충분히 업그레이드된 후에야 12비트 시스템이 대중화될 수 있을 것이라 생각된다.

UHDTV의 색역(Color Gamut)은 HDTV에 비해

서 훨씬 더 넓어졌는데 이 또한 더욱 높은 Color Depth가 필요한 한 가지 요인이다. 아래의 그래프는 8비트로 코딩을 했을 때의 컬러 에러를 보여 주고 있는데 HDTV(Rec.709)에 비해 UHDTV(Rec.2020)의 컬러 코딩 에러가 더 많이 나타남을 알 수 있다. 이는 1개의 단위가 커버해야 할 색차이가 더 커지기 때문에 발생하는 것으로 UHDTV로 와서는 10~12 bit로 처리해야 컬러 에러가 감소될 것으로 분석된다.



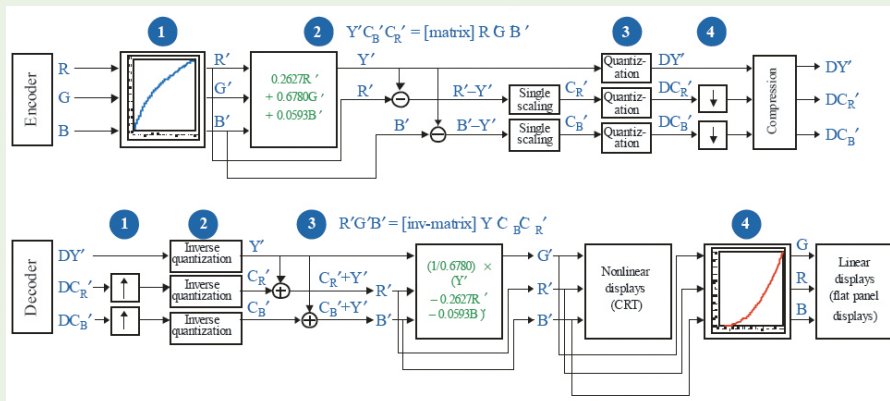
[그림 9] Comparison of reproducible contrasts of non-linear coding functions and HVS minimum detectable contrast characteristics / 출처 : ITU-R BT 2246



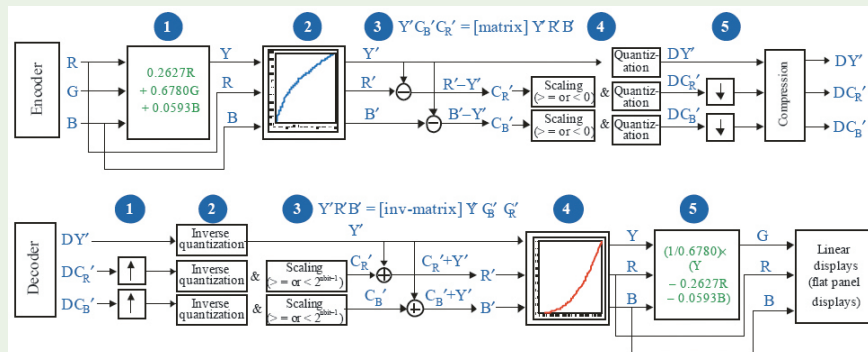
[그림 10] Histogram of colour errors in 8-bit coding / 출처 : ITU-R BT 2246

Constant Luminance Encoding

UHDTV에 새롭게 도입된 것 중 하나가 바로 Constant Luminance라는 개념이다. 원래 Luminance는 빛의 밝기를 절대적인 단위로써 표시하는 용어이기 때문에 이렇게 밝기가 0 ~ 1 사이로 상대적으로 압축된 공간에 사용되기에 적절한 용어라고는 할 수 없지만, 전자 공학 분야에서는 상당히 오랫동안 사용해 온 용어이므로 참고하시기 바란다. 이 Constant Luminance Encoding(CL)이 기존의 Non-Constant Luminance Encoding(NCL)과 다른 것은 간단하게 말해서 감마와 색공간 변환을 적용하는 순서가 달라졌다는 점이다. 즉, NCL에서는 RGB 채널별로 OETF(카메라 감마)를 먼저 적용한 후에 RGB-to-YCC 색공간 변환(Color Space Conversion)을 했는데, CL에서는 RGB에서 Y를 먼저 추출한 후 Y와 R, B에 OETF를 적용하고, 그 다음에 YCC로 색공간 변환을 한다. 즉, 선형 RGB에서 Y를 추출한 후에 OETF 줌으로써 기존 방식에 비해 원래의 Y 성분을 좀 더 잘 보전하고 있다고 할 수 있다. 기존의 NCL에서 Y'(Luma)를 카메라 감마가 적용된 R'G'B'로부터 계산해 내는 것과 차별화하기 위해 Y를 Luminance라고 표현한 것이라 생각하시면 되겠다.

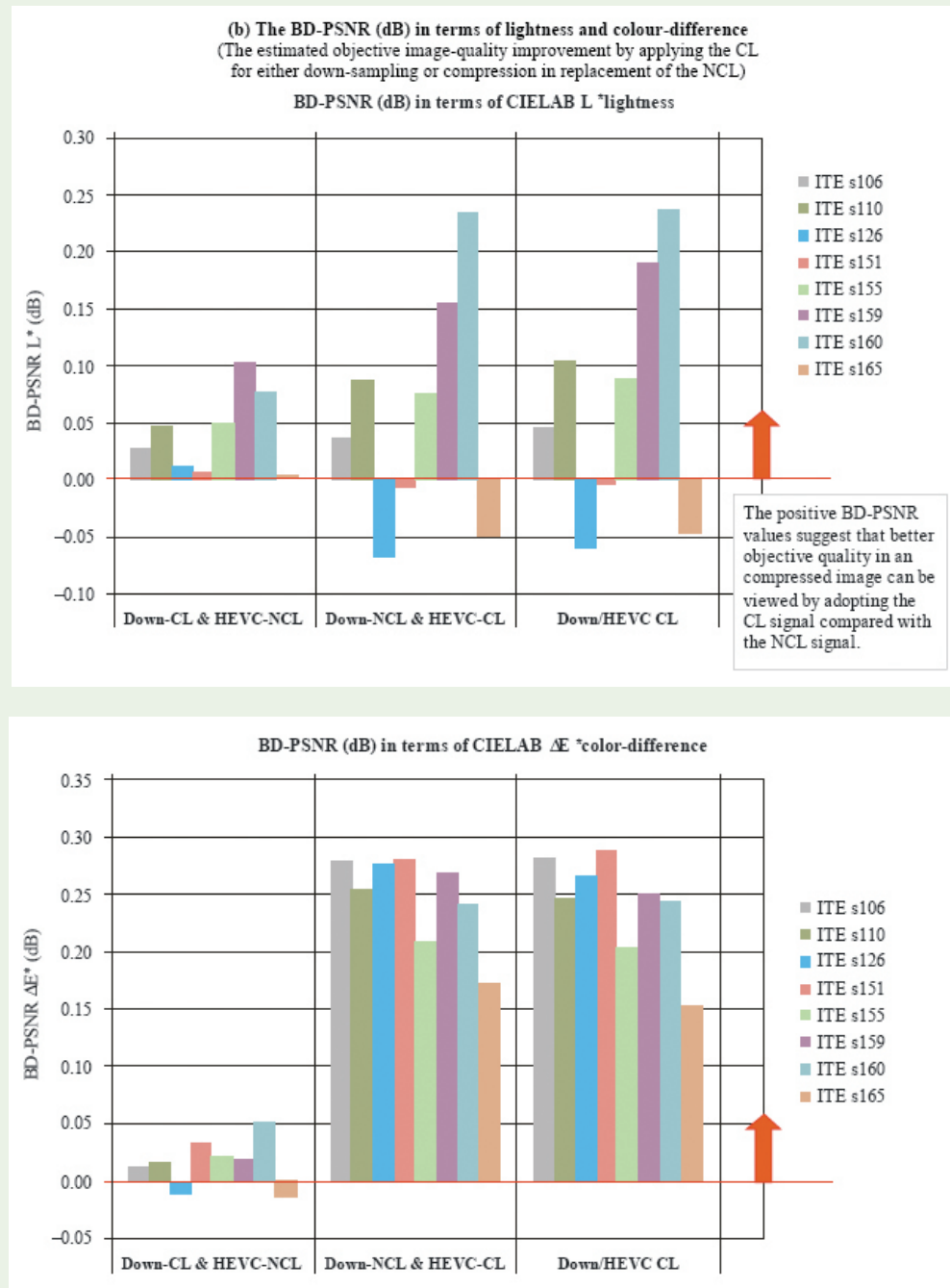


[그림 11] The CL colour encoding method / 출처 : ITU-R BT 2246



[그림 12] The CL colour encoding method / 출처 : ITU-R BT 2246

다음의 도표는 각각의 이미지에 있어서 NCL 방식에 비해 CL 방식이 보다 더 높은 화질만족도를 줄 수 있음을 수치로서 제시하고 있다. 카메라로 촬영한 영상을 아무런 조작 없이 곧바로 모니터나 TV로 내보낼 경우라면 기존과 별 차이가 없겠지만, 실제 방송에서는 많은 보정과 압축, 조정 등의 과정이 이루어지기 때문에 CL 방식의 도입은 압축률이나 Color Depth의 효율적 활용 차원에서 도움이 될 것이라 생각된다. 이 새로운 Constant Luminance Encoding은 한국(정확하게는 삼성)에서 제안한 것으로 이러한 장점에도 불구하고 아직 카메라 등 관련 장비에 보급되지는 않고 있다. 아마도 보급을 위해서는 기존의 NCL에 대비한 명확한 화질 차이를 체험할 수 있는 실질적인 데모 기회를 제공해야 할 듯하다. 📺



[그림 13] NCL 방식과 CL 방식 비교 / 출처 : ITU-R BT 2246