

UHDTV 방송표준의 화질 관련 주요 파라미터들 1부

Rec.2020의 주요 파라미터 프리뷰

신수근 티브이로직(주) 마케팅팀 부장

한국은 세계에서 3번째로 Digital HDTV 방송시스템으로 완전히 전환한 국가가 되었다. 10여 년의 준비기간을 거치며 디지털 HD 시대를 위한 많은 준비를 한 덕분에, 그리고 세계를 선도하는 디지털 TV 제조국인 덕분에 의외로 큰 탈 없이 2012년 아날로그 TV를 완전히 종료하고 디지털 HD 방송으로의 성공적인 전환을 했다.

하지만, HD 방송이 본격적으로 시작된 지 2년밖에 되지 않은 시점에서 이미 시중에서 볼 수 있는 50인치 이상 대형 TV의 절반이 UHDTV라고 홍보되고 있다. 아직 UHD 방송도 하고 있지 않고, UHD 콘텐츠도 별로 없고, UHD 콘텐츠를 재생할 수 있는 소비자용 플레이어도 거의 없는 상태인데도 불구하고 소비자들은 미래를 대비해서 HD급이 아닌 UHD급 TV를 구매하고 있는 것이다. 어떻게 보면 비정상적인 듯한 이 같은 현상은 TV 제조사들의 마케팅과 영업력에 기인하는 바가 크긴 하지만, 과거 HD 방송을 하지 않던 시절에도 인터넷이나 Blu-ray와 같은 매체를 기반으로 HD 콘텐츠와 그 시청이 확산되어 왔던 것을 기억하면 그다지 낮은 풍경도 아니다.

그런데 이렇게 방송가와 가전시장에서 핫이슈가 되고 있는 UHD에 대해 우리는 좀 더 세밀하게 살펴볼 필요가 있다. 과연 UHDTV는 정말 우리에게 4배 더 선명한 영상을 보여 주는 것일까? 시중에 판매되고 있는 UHDTV는 정말 UHD 영상을 보여 주고 있는 것일까? 우리가 UHD를 통해 궁극적으로 추구하고자 했던 화질은 과연 무엇이었을까? 우리는 이미 UHD와 관련된 모든 기술적인 문제들을 해결하고 UHD 방송의 시작, 그 출발선에 서 있는 걸까? 이러한 의문들에 답하고자 UHDTV의 표준을 중심으로 관련 이슈들을 논의해 보고자 한다.

Recommendation ITU-R BT.2020

UHDTV의 화질관련 주요 파라미터들이 규정된 문서는 ITU-R BT.2020인데 흔히 줄여서 BT.2020 혹은 Rec.2020이라 부른다. 이 문서의 부제목은 “Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange”라고 되어 있다. 말 그대로 번역하면 “초고해상도 텔레비전 시스템의 제작과 국제적 프로그램 교환을 위한 파라미터 값”이라고 할 수 있다. 이 문서는 7페이지 분량으로 매우 간략하게 화질관련 파라미터들을 정의하고 있을 뿐 자세한 설명은 생략돼 있다. 왜 이러한 값들이 정해지게 되었는지, 혹은 각각의 파라미터값들이 어떤 의미를 가지는지, 또는 기존의 HD 표준인 ITU-R BT.709(흔히 Rec.709라 부름)와는 어떤 차이가 있는지 등에 대한 설명은 Report ITU-R BT.2246-20이라는 보고서(The present state of ultra high definition



[그림 1] Recommendation ITU-R BT.2020



[그림 2] Report ITU-R BT.2246

television, 2012년 11월)에 자세히 적혀 있다. 이 BT.2246이라는 보고서는 76페이지 분량이며 잘 알려져 있지 않기 때문에 읽어본 사람이 많지 않은 것 같다. 필자는 이 보고서를 기반으로 SMPTE와 ITU의 관련 표준 문서, 그리고 DVB 및 EBU, SMPTE 등의 리포트를 참고하여 UHDTV의 표준 파라미터들에 관한 해설을 하고자 한다. UHDTV가 지향하고 있는 이상과 현실을 이해하는 데 도움이 되길 바란다.

Parameter	Values	
Picture aspect ratio	16 : 9	
Pixel count Horizontal × vertical	7,680 × 4,320	3,840 × 2,160
Sampling lattice	Orthogonal	
Pixel aspect ratio	1 : 1 (square pixels)	
Pixel addressing	Pixel ordering in each row is from left to right, and rows are ordered from top to bottom.	

[표 1] Picture Spatial Characteristics / 출처 : ITU-R BT.2020

Table 1 : Picture spatial characteristics

[표 1]은 공간적 특성을 규정하고 있다. 우선, Picture aspect ratio, Pixel count(Horizontal×Vertical), Sampling lattice, Pixel aspect ratio, Pixel addressing 등의 5가지를 정의하고 있다. 먼저, Pixel aspect ratio를 보면 한 화소(pixel)의 가로세로 비율이 1:1의 비율을 가진 정사각형이라고 정의하고 있다. 일반적인 디스플레이에서 1개의 화소는 보통 3개의 하위화소(Sub-pixel)를 가진다. 빛의 경우 Red, Green, Blue의 3원색이 가산혼합(Additive mixture)되어 다양한 색을 표현하게 되는데, 이들 3원색의 하위화소(sub-pixel)들이 합쳐져 하나의 정사각형의 화소(pixel)를 이루고 있다는 뜻이다. 따라서 R/G/B 각각의 하위화소는 가로:세로 비율이 1:3인 직사각형이다. 이렇게 한 화소가 정사각형이기 때문에 1920×1080, 3840×2160, 7680×4320과 같은 해상도는 모두 16:9의 화면비율을 갖게 되는 것이다. 즉, 개별 화소의 모양이 정사각형이기 때문에 가로:세로의 비율은 각각의 화소 숫자에 의해 결정되는 것이다. 이러한 이미지 화소 구조는 PDP, LCD, OLED와 같은 평판 디스플레이(FPD)의 물리적인 화소 구조와도 일치하기 때문에 화질상의 이점이 있다. Pixel addressing은 좌에서 우로, 그리고 위에서 아래로 이미지를 스캔한다는 뜻으로 기존의 SDTV나 HDTV와 동일하다.

Parameter	Values
Frame frequency (Hz)	120, 60, 60/1.001, 50, 30, 30/1.001, 25, 24, 24/1.001
Scan mode	Progressive

[표 2] Picture Temporal Characteristics / 출처 : ITU-R BT.2020

Table 2 : Picture temporal characteristics

[표 2]에서는 Frame Frequency를 정의하고 있는데 기존의 SDTV와 HDTV의 Frame Frequency는 영화의 24Hz보다 약간 높은 25Hz(PAL)와 30Hz(NTSC)였다. 이렇게 낮은 Frame Rate는 화면의 깜박임(Flicker)을 유발하기 때문에 영화는 48Hz로 Flash Rate를 높이고,

TV방송의 경우 Interlace를 이용해 50Hz와 60Hz 즉, 50i, 60i/59.94i를 사용해 왔던 것이다. 이 Interlace 시스템은 Flicker뿐 아니라 Motion Judder 문제의 해결에도 기여했다. UHDTV에서는 일단 기존에 사용하던 Interlace 시스템이 사라지고, 다양한 Frame Rate가 Progressive 방식으로만 정의되어 있다. 이제 기술의 발전에 힘입어 더 이상 Interlace가 필요하지 않을 뿐 아니라 Interlace 적용에 따른 각종 호환성 및 화질 이슈가 사라지게 된 것이다. 특히, 이미 익숙해진 50fps나 60fps를 뛰어넘어 120fps와 같은 높은 프레임율(HFR, High Frame Rate)까지 정의하고 있어 다가올 UHDTV의 화질에 대한 기대감을 더욱 높여 주고 있다. 단지, 25p, 50p와 적절히 호환될 수 있는 100p를 제외함으로써 논란을 제공했는데, 유럽 쪽 방송국이나 방송장비 업체들에서는 이와 관련된 우려와 불만을 표시하고 있어 향후 개정될 UHDTV 표준에는 100fps가 추가될 여지가 있다.

Table 3 : System colorimetry

[표 3]에서는 색감에 결정적인 영향을 미치는 두 가지 요소가 정의되어 있다. 첫 번째는 3원색의 색좌표를 CIE xy 색도도상에서 정의한 것이고, 두 번째는 이들 3원색의 합성 비율을 뜻하는 Reference White, 즉 백색의 색온도를 정의한 것이다. 먼저, Reference White부터 설명

Parameter	Values		
Opto-electronic transfer characteristics before non-linear pre-correction	Assumed linear ⁽¹⁾		
	Chromaticity coordinates (CIE, 1931)	x	y
	Red primary (R)	0.708	0.292
	Green primary (G)	0.170	0.797
	Blue primary (B)	0.131	0.046
	Reference white (D65)	0.3127	0.3290

(1) Picture information can be linearly indicated by the tristimulus values of RGB in the range of 0-1.

(2) The colorimetric values of the picture information can be determined based on the reference RGB primaries and the reference white.

[표 3] System Colorimetry / 출처 : ITU-R BT.2020

하자면 이전의 SDTV나 HDTV와 동일한 D65를 채택하였다. 이는 기존의 TV 시스템과 일관된 색감을 유지하기 위한 것으로 해석된다. UHD로 가면서 매우 넓은 색역이 정해졌다는 것은 다들 알고 있지만 얼마나 넓은 것인지에 대해서는 아래의 수치만 봐서는 그다지 체감하지 못할 수 있다. 수십 년 동안 흔히 사용해 온 방식으로 표현하자면 original NTSC(1953) 대비 약 134%의 색재현율을 가진다고 하겠다. 현재 사용하고 있는 HDTV 시스템(ITU-R BT.709)의 색재현 범위가 NTSC 대비 약 72% 정도인 것을 감안하면 매우 큰 폭의 확장이라 할 수 있다. 이는 현재 사용되고 있는 Digital Cinema의 색재현 범위(DCI-P3)를 훨씬 넘어서는 것인데, 문제는 이렇게 넓은 색재현 범위를 재현할 수 있는 직시형 디스플레이가 아직 없다는 것이다. 이는 UHDTV 시스템 표준이 제정되는 과정에서 3원색의 경우 Laser Display를 기반으로 한 일본 측 제안에 가깝게 표준이 정해지면서 발생한 문제이다. 이 넓은 색재현 범위의 혜택이나 현실적인 문제점에 대해서는 2부에서 보다 자세히 설명하도록 하겠다.

Table 4 : Signal format

[표 4]에서는 Signal Format, Non-linear Transfer Function, Derivation of Y, Cb, Cr이다. 우리에게 익숙한 용어로 바꾸자면 색공간(Color Space)과 인코딩 감마(Encoding Gamma), 그리고 Y(Luma) 및 Cb, Cr 컴포넌트의 유도라 하겠다. 이 ITU-R BT.2020에서 정의한 UHDTV 시스템에 있어서 흥미로운 것 중 하나는 Encoding Gamma를 1개 더 추가하여 2개로 제한하고 있다는 것이다. 카메라 시스템에 의해 캡처

Parameter	Values	
Signal format	$R'G'B'^2$	
	Constant luminance $Y'_c C'_{RC} C'_{RC}{}^3$	Non-constant luminance $Y' C'_B C'_R{}^4$
Non-linear transfer function	$E' = \begin{cases} 4.5E, & 0 \leq E \leq \beta \\ \alpha E^{0.45} - (\alpha - 1), & \beta \leq E \leq 1 \end{cases}$ where E is voltage normalized by the reference white level and proportional to the implicit light intensity that would be detected with a reference camera colour channel R, G, B; E' is the resulting non-linear signal. $\alpha = 1.099$ and $\beta = 0.018$ for 10-bit system / $\alpha = 1.0993$ and $\beta = 0.0181$ for 12-bit system	
Derivation of Y'_c and Y'	$Y'_c = (0.2627R + 0.6780G + 0.0593B)'$	$Y' = 0.2627R' + 0.6780G' + 0.0593B'$
Derivation of colour difference signals	$C'_{RC} = \begin{cases} \frac{B' - Y'_c}{1.9404}, & -0.9702 \leq B' - Y'_c \leq 0 \\ \frac{B' - Y'_c}{1.5816}, & 0 \leq B' - Y'_c \leq 0.7908 \end{cases}$	$C'_B = \frac{B' - Y'}{1.8814}$
	$C'_{RC} = \begin{cases} \frac{R' - Y'_c}{1.7184}, & -0.8592 \leq R' - Y'_c \leq 0 \\ \frac{R' - Y'_c}{0.9936}, & 0 \leq R' - Y'_c \leq 0.4968 \end{cases}$	$C'_R = \frac{R' - Y'}{1.4746}$

[표 4] Signal Format / 출처 : ITU-R BT.2020

된 영상은 그동안 대략 2.2 ~ 2.5의 역수(1/2.2 ~ 1/2.5)를 자승값으로 하여 비선형으로 인코딩된 후 색공간 변환(RGB-to-YCC)로 변환되어 왔다. 본 문서에서는 이를 Non-constant luminance라고 부르고 있다. 그런데, UHDTV 시스템에서는 Y와 Cb, Cr 컴포넌트로 먼저 색공간 변환을 한 후에 인코딩 감마를 적용하는 방식, 즉 Constant Luminance가 추가된 것이다. 이 둘의 차이점에 대해서는 2부에서 보다 자세히 설명할 예정인데, 일단은 “Camera 단에서부터 2가지 Encoding Gamma를 적용할 수 있다”는 뜻으로 이해해 주시기 바란다.

Derivation of Y'의 경우 Luma component 즉, 3원색을 어떤 비율로 혼합하여 백색을 포함한 무채색(Neutral Color)을 만들어 낼 것인가를 정의한 것이다. Encoding Gamma가 2가지가 되었으므로 이 Y' 역시 2가지 방식으로 계산이 될 수 있는데, R'/G'/B' 컴포넌트의 경우 새로 정의된(넓어진) 색역에 맞춰 다시 계산된 것이다. SDTV, HDTV, UHDTV의 Luma(Y')가 어떤 차이를 가지는지에 대해서도 2부에서 자세히 설명할 것이다.

Table 5 : Digital representation

[표 5]에서는 먼저 색공간(Coded Signal)을 규정하고 있는데 크게 보서는 RGB와 YCbCr로 구분되지만 앞서 [표 4]에서 설명 드린 Constant vs Non-constant Luminance의 영향으로 색차신호인 YCC가 Y', C_B, C_R과 Y_c, C_{BC}, C_{RC}의 두 종류로 나뉘었다. 그리고 Sampling Lattice의 경우 YCC 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0의 3가지를 정의하고 있는데, UHDTV의 경우 해상도가 워낙 높고 Color Depth도 10~12bit를 채용하고 있기 때문에 4:2:0과 같은 낮은 샘플링도 표준에서 미리 정의하고 있다. 양자화(Quantization)관련된 부분은 특별한 것이 없어서 설명을 생략하도록 한다.

Parameter	Values		
Coded signal	$R', G', B' \text{ or } Y', C'_R, C'_B \text{ or } Y', C'_{BC}, C'_{RC}$		
Sampling lattice - $R', G', B', Y', Y'C$	Orthogonal, line and picture repetitive co-sited		
Sampling lattice - $C'_B, C'_R \text{ or } C'_{BC}, C'_{RC}$	Orthogonal, line and picture repetitive co-sited with each other. The first (top-left) sample is co-sited with the first Y' samples.		
	4 : 4 : 4 system	4 : 2 : 2 system	4 : 2 : 0 system
	Each has the same number of horizontal samples as the Y' (Y' _c) component.	Horizontally subsampled by a factor of two with respect to the Y' (Y' _c) component.	Horizontally and vertically subsampled by a factor of two with respect to the Y' (Y' _c) component.
Coding format	10 or 12 bits per component		
Quantization of $R', G', B', Y', Y'_c, C'_B, C'_R, C'_{BC}, C'_{RC}$	$DR' = INT [(219 \times R' + 16) \times 2^{n-8}]$	$DY' (DY'_c) = INT [(219 \times Y' (Y'_c) + 16) \times 2^{n-8}]$	
	$DG' = INT [(219 \times G' + 16) \times 2^{n-8}]$	$DC'_B (DC'_{BC}) = INT [(224 \times C'_B (C'_{BC}) + 128) \times 2^{n-8}]$	
	$DB' = INT [(219 \times B' + 16) \times 2^{n-8}]$	$DC'_R (DC'_{RC}) = INT [(224 \times C'_R (C'_{RC}) + 128) \times 2^{n-8}]$	

Parameter	Values	
Quantization levels	10-bit coding	12-bit coding
- Black level $DR', DG', DB', DY', DY'_C$	64	256
- Achromatic $DC'_B, DC'_{BC}, DC'_R, DC'_{RC}$	512	2,048
- Nominal Peak $DR', DG', DB', DY', DY'_C$ $DC'_B, DC'_{BC}, DC'_R, DC'_{RC}$	940	3,760
	64 and 960	256 and 3,840
Quantization level assignment	10-bit coding	12-bit coding
- Video data	4 through 1,019	16 through 4,079
- Timing reference	0-3 and 1,020-1,023	0-15 and 4,080-4,095

[표 5] Digital Representation / 출처 : ITU-R BT.2020

본 글에서는 UHDTV 방송의 주요 화질 파라미터를 정의하고 있는 표준문서 ITU-R BT.2020의 스펙을 대략적으로 살펴보았는데, 2부에서는 각각의 파라미터값이 가지는 의미와 효과, 그리고 현실적인 문제점 등에 대해 보다 상세히 논의해 보도록 하겠다. 📺