

UHDTV 방송표준의 화질 관련 주요 파라미터들 2부

신수근 티브이로직(주) 마케팅팀 부장

2015년 1월호에서는 UHDTV 방송표준에서 화질과 관련된 주요 파라미터들에 대해 대략적인 내용을 소개해 드렸다. 이를 간략하게 정리해서 기존의 SD 및 HD 표준의 파라미터들과 비교해 보자면 [표 1]과 같다. Resolution, Frame Rate, Color Depth, Color Space & Sampling, Component Coding, Color Gamut(RGB Primary), OETF(Gamma) 등의 파라미터들이 어떻게 변하고 있는 지를 한 눈에 보실 수 있을 것이다.

	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 Sampling	YCC 4:2:2	YCC 4:2:2	RGB 4:4:4 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 Ref. White OETF	SMPTE-C, EBU D65 1.099×L0.45-0.099 4.500×L (0≤L<0.018)	Rec.709, (EBU) D65 1.099×L0.45-0.099 4.500×L (0≤L<0.018)	Rec.709 D65 1.099×L0.45-0.099 4.500×L (0≤L<0.018)	Rec.2020 D65 1.099×L0.45-0.099 4.500×L (0≤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] Parameter Comparison - ITU

그런데, [표 1]에서 보면 SDTV의 파라미터들을 규정한 ITU-R BT.601, HDTV의 파라미터들을 규정한 ITU-R BT.709, 그리고 UHDTV의 파라미터들을 규정한 ITU-R BT.2020 사이에 'LSDI'를 규정한 ITU-R BT.1769라는 문서가 하나 더 있었음을 알 수 있다. 현재 우리가 논하고 있는 UHDTV와 기존 HDTV의 '현실적 타협선'이라는 인상을 주고 있는데, 해상도는 4K와 8K로 대폭 높아졌지만 Frame Rate와 Color Depth, Sampling 등은 약간만 높아졌고, Color Gamut은 HDTV의 파라미터를 그대로 사용하고 있다. 사실 현재 출시되고 있는 UHDTV 제품들이 딱 이 정도 수준이라는 점을 감안하면 상당히 현실성 있는 파라미터라 할 수도 있겠으나 기존의 HDTV와 극적인 차별

성을 어필(appeal)하기에 다소 부족함이 느껴지기도 한다. 이 BT.1769가 UHDTV의 표준이 되지 못하고 한 차원 더 높은 수준의 기술을 요구하는 파라미터들이 UHDTV에 채용된 것도 아마도 이런 이유였을 것이다.

[표 2]는 SMPTE와 ITU의 표준 문서들이 어떻게 다른 지를 보여 주고 있다. ITU-R BT.1769가 바로 SMPTE ST.2036을 기반으로 하고 있음을 보여 준다.

	SMPTE	ITU	
Standards	ST 2036	Rec.1769	Rec.2020
Resolution	3840×2160 7680×4320	3840×2160 7680×4320	3840×2160 7680×4320
Frame Rate	24p, 25p, 30p, 50p, 60p	24p, 25p, 30p, 50p, 60p	24p, 25p, 30p, 50p, 60p, 120p
Color Depth	10bit, 12bit	10bit, 12bit	10bit, 12bit
Color Space Sampling	RGB 4:4:4 YCC 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0	RGB 4:4:4 YCC 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0	RGB 4:4:4 YCC 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0
System Colorimetry			
RGB Primary	= Rec. 709	= Rec. 709	Wide Color Gamut
Component Coding	= Rec. 709	= Rec. 709	= Rec. 2020
OETF (gamma)	= Rec. 709	= Rec. 709	= Rec. 709(N.C.L) + C.L
White Reference	= Rec. 709 (D65)	= Rec. 709 (D65)	= Rec. 709 (D65)

[표 2] SMPTE vs ITU

[표 3]은 디지털시네마의 사실상 표준이라 할 수 있는 DCI(Digital Cinema Initiative)에서 정의한 파라미터와 UHDTV의 파라미터가 어떻게 다른 지를 비교해 주고 있다.

	Digital Cinema	UHD-0 (?) QuadHD (?)	UHD-1	UHD-2
Standards	DCI	ST 2036 Rec.1769	Rec.2020	
Resolution	2048×1080 4096×2160	3840×2160 7680×4320	3840×2160	7680×4320
Frame Rate (Flash Rate)	24p, 48p(2K only)	24p, 25p, 30p, 50p, 60p	24p, 25p, 30p, 50p, 60p, 120p	
Color Depth	12bit	10bit, 12bit	10bit, 12bit	
Color Space Sampling	X'Y'Z 4:4:4 *	RGB 4:4:4 YCC 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0	RGB 4:4:4 YCC 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0	
System Colorimetry				
RGB Primary	DCI-P3 (wide)	Rec.709	Rec.2020 (ultra wide)	
Component Coding	DCI	Rec.709	Rec.2020	
OETF (gamma)	2.6	Rec.709	Rec.709 + C.L	
White Reference	D63	D65	D65	

[표 3] DCI vs UHD

※ 24p, 30p, 60p includes 1/1.001

기본적으로 UHDTV는 16:9의 화면비율을 추구하기 때문에 3840×2160과 7680×4320의 해상도를 규정하고 있지만, DCI의 경우 17:9의 2K(2048×1080)과 4K(4096×2160)의 해상도를 규정하고 있다. UHD가 50p와 60p를 넘어 120p와 같은 HFR(High Frame Rate)를 추구하는 것은 스포츠 중계와 같은 모션이 많은 장면을 깨끗한 모션으로 처리하고자 하기 때문이다. 하지만 시네마쪽에서는 근 100년의 시간동안 사용해서 익숙한 24p를 선호한다. 낮은 Frame Rate로 인해 Motion Judder 문제가 발생하는 그런 화질이 꼭 좋아서가 아니라 오랜 시간동안 익숙하게 보아 온 소위 화질에 대해 'Film Look'이라며 향수를 느끼는 (영화)매니아들이 꽤 되기 때문이라고 한다. 어쨌거나 2K는 24p와 48p의 2가지 Frame Rate가 있는데 비해 4K의 경우 24p 하나뿐이다.

또 다른 주요한 차이점들은 Color Space로 XYZ를 사용한다는 것, 12bit의 높은 Color Depth를 가진다는 것, 약 6300K 정도의 색온도를 갖는다는 것, Color Gamut이 UHDTV보다는 좁지만 HDTV보다는 넓은 것, 극장은 Dark Condition이기 때문에 OETF(Gamma)는 2.6으로 좀 높다는 것 등이다.

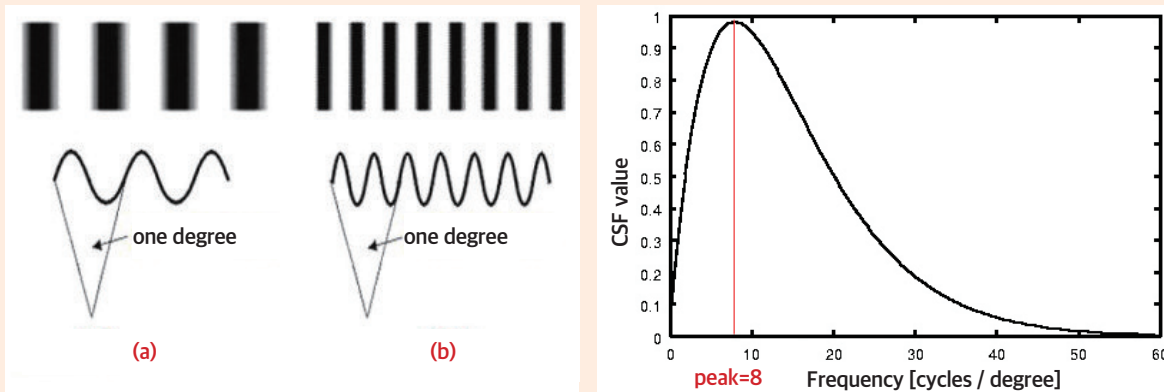
HD vs UHD의 원초적인 차이 : 해상도 (Resolution)

우리가 디스플레이의 해상도를 자주 높이려고 노력하는 이유는 보다 더 높은 현실감을 느끼기 위해서이다. 인간의 시각은 수평으로 120도, 수직으로 140도 정도의 범위를 볼 수 있다고 한다. 수평으로 120도의 범위를 볼 수 있는 것은 인간의 눈이 2개인데 이들이 모두 정면을 향해 있기 때문에 수평의 시각은 겹치는 부분이 있기 때문이다. 즉, 인간의 눈을 영상으로 가득 채워줄 경우 인간은 마치 현장에 와 있는 것같이 느끼기 때문에 현장감과 사실감이 증가하게 된다. 인간은 시각, 청각, 촉각, 미각, 후각의 5가지 물리적 감각을 가지고 있지만 약 80%의 정보를 시각, 즉 눈을 통해 받아들이기 때문에 시각만 잘 커버해도 대단히 놀라운 현장감 혹은 사실감을 느낄 수 있게 해 준다.

그렇다면 어떻게 하면 인간의 시각을 가득 채울 수 있을까? 한 가지 방법은 시각이 가득찰 때까지 디스플레이에 가까이 다가가는 것이고, 다른 하나는 시각이 가득찰 때까지 화면의 크기를 키우는 것이다. 전자는 HMD(Head Mount Display)로, 후자는 프로젝터와 같은 디스플레이로 만족시킬 수 있다. 문제는 두 경우 모두 시각을 가득 채우는 데에는 기여하지만 해상도가 함께 충분히 높아지지 않을 경우 현실감이 오히려 낮아질 수 있다는 점이다. 즉, 두 눈 가득히 영상이 채워지더라도 그 영상의 화질이 깨끗하지 못할 경우 오히려 사실감이 낮아질 수 있다. 그렇다면 어느 정도의 해상도가 되어야 인간의 눈은 사실적이라고 느끼게 될까? 이에 대해서는 과학자들이 인간의 눈을 대상으로 실험해 놓은 바가 있다.

아래의 그림들은 Cycles per Degree(CPD) 즉, 1도 시야 안에 몇 개의 선들까지 눈으로 구분할 수 있는가를 실험한 결과를 보여 주고 있다. 즉, 인간의 눈은 1도 시야 안에 8개의 선이 있을 때 가장 명확하게 잘 구분하고 선의 개수가 8개 이상으로 증가하면 구분력이 오히려 낮아진다고 한다. 특히, 60CPD를 넘어가면 선에 대한 구분력은 완전히 사라지고 '회색'으로 인식하게 된다. 이는 곧 우리가 해상도를 60CPD 이상으로 올릴 필요가 없다는 것을 뜻한다. 즉, 정상시력을 가진 사람들의 경우 평균적으로 60CPD가 스캔라인(scan line) 혹은 화소(pixel)가 보이지 않는 분기점이 된다고 할 수 있다.

이러한 실험을 기반으로 하여 스캔라인 혹은 화소가 보이지 않는 수준의 깨끗한 화질이라고 느껴지는 시청거리를 [표 4]와 같이 계산해 볼 수 있다. 표에서 55인치 화면을 기준으로 놓고 보면 SD의 경우 약 4.9m 정도 떨어져야 자연스러운 화질이 되는데 비해, Full HD 해상도일 경우 약 2.2m, 그리고 UHD-1의 경우 약 1.1m 정도로 가까워서 봐도 깨끗하고 자연스러운 영상으로 보이게 된다는 것을 알 수 있다. 즉, 해상도가 높을수록 더 넓은 화각을 보아도 영상이 자연스러운 화질로 보이므로 사실감이나 현장감이 증가하고, 결과적으로 영상(콘



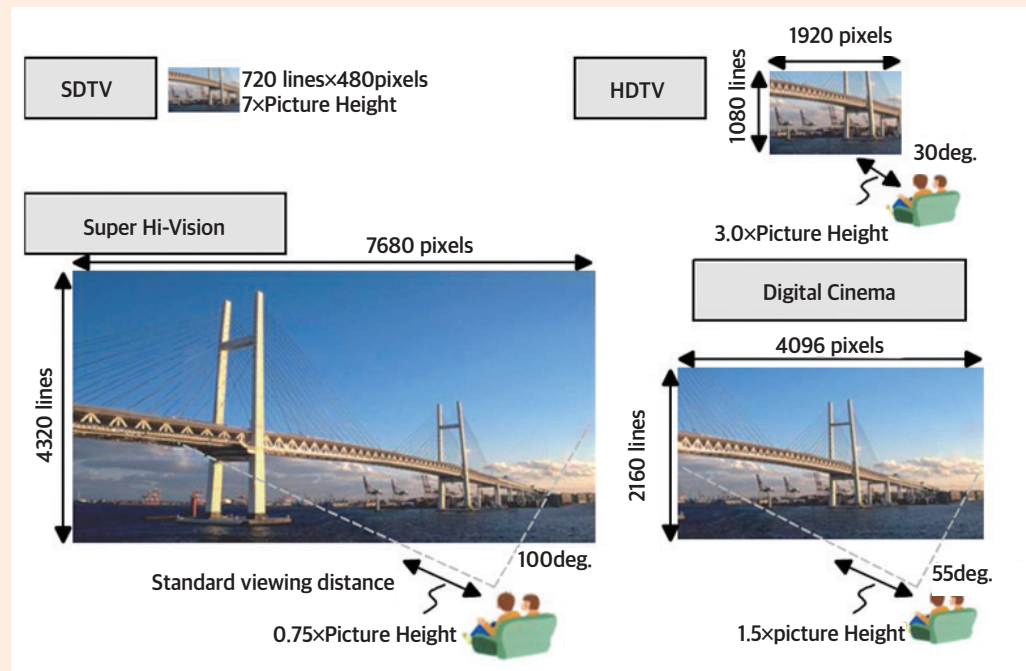
이미지 출처 : Webvision

D.Size	H.Size	V.Size	SD			HD			FHD			UHD-1			UHD-2		
			V.Res	V.D(°)	V.D(m)	V.Res	V.D(°)	V.D(m)	V.Res	V.D(°)	V.D(m)	V.Res	V.D(°)	V.D(m)	V.Res	V.D(°)	V.D(m)
24	20.9	11.8	480	84	2.1	720	56	1.4	1080	37	1.0	2160	19	0.5	4320	9	0.2
27	23.5	13.2	480	95	2.4	720	63	1.6	1080	42	1.1	2160	21	0.5	4320	11	0.3
28	24.4	13.7	480	98	2.5	720	66	1.7	1080	44	1.1	2160	22	0.6	4320	11	0.3
31	27.0	15.2	480	109	2.8	720	73	1.8	1080	48	1.2	2160	24	0.6	4320	12	0.3
32	27.9	15.7	480	112	2.9	720	75	1.9	1080	50	1.3	2160	25	0.6	4320	12	0.3
36	31.4	17.6	480	126	3.2	720	84	2.1	1080	56	1.4	2160	28	0.7	4320	14	0.4
40	34.9	19.6	480	140	3.6	720	94	2.4	1080	62	1.6	2160	31	0.8	4320	16	0.4
42	36.6	20.6	480	147	3.7	720	98	2.5	1080	66	1.7	2160	33	0.8	4320	16	0.4
46	40.1	22.6	480	162	4.1	720	108	2.7	1080	72	1.8	2160	36	0.9	4320	18	0.5
47	41.0	23.0	480	165	4.2	720	110	2.8	1080	73	1.9	2160	37	0.9	4320	18	0.5
50	43.6	24.5	480	176	4.5	720	117	3.0	1080	78	2.0	2160	39	1.0	4320	20	0.5
55	47.9	27.0	480	193	4.9	720	129	3.3	1080	86	2.2	2160	43	1.1	4320	21	0.5
60	52.3	29.4	480	211	5.4	720	140	3.6	1080	94	2.4	2160	47	1.2	4320	23	0.6
65	56.7	31.9	480	228	5.8	720	152	3.9	1080	101	2.6	2160	51	1.3	4320	25	0.6
70	61.0	34.3	480	246	6.2	720	164	4.2	1080	109	2.8	2160	55	1.4	4320	27	0.7
75	65.4	36.8	480	263	6.7	720	176	4.5	1080	117	3.0	2160	59	1.5	4320	29	0.7
80	69.7	39.2	480	281	7.1	720	187	4.8	1080	125	3.2	2160	62	1.6	4320	31	0.8
90	78.4	44.1	480	316	8.0	720	211	5.4	1080	140	3.6	2160	70	1.8	4320	35	0.9
100	87.2	49.0	480	351	8.9	720	234	5.9	1080	156	4.0	2160	78	2.0	4320	39	1.0
105	91.5	51.5	480	369	9.4	720	246	6.2	1080	164	4.2	2160	82	2.1	4320	41	1.0
110	95.9	53.9	480	386	9.8	720	258	6.5	1080	172	4.4	2160	86	2.2	4320	43	1.1

[표 4] 해상도와 시청거리와의 관계

텐츠)에 대한 몰입도가 증가한다는 것이다.

다음의 그림은 해상도와 화각의 관계를 보다 이해하기 쉽게 보여 주고 있다. SDTV의 낮은 해상도로는 약 11도 정도밖에 확보할 수 없었던 화각이 HDTV로는 약 33도 정도로 넓힐 수 있었고, 이제 UHDTV의 3840×2160 해상도로는 약 55도, 그리고 7680×4320 해상도로는 100도 정도의 화각을 확보할 수 있게 된 것이다. 즉, UHD-2가 되면 스크라인이나 화소가 보이지 않을 정도의 시청거리에서 보았을 때 인간의 시각을 거의 가득 채울 수 있을 정도의 화각이 되어 현실감과 사실감이 극대화된다는 것이다.



이미지 출처 : NHK

ITU의 실험 - 해상도와 시청거리와의 관계

하지만 현실적인 문제가 남아 있다. 즉, 일반 가정에서 사용하는 TV의 경우 무작정 화면크기를 키울 수도 없고, 아주 가까이 가서 시청할 수도 없다. TV의 시청거리는 주거환경에 따라 다르겠지만 대개의 경우 거실에 설치한 경우가 가장 많으며, 거실의 한 쪽 끝에는 TV가 있고 그 반대편에는 소파가 놓이게 된다. 이에 따라 시청거리도 거실의 크기에 의해 정해지는 경우가 대부분이고, 또한 TV의 크기도 거실에 크기에 따라 구입하는 것이 일반적인 소비자들의 구매 패턴이다.

그렇다면, UHD 해상도는 실제 우리가 (화면크기와 시청거리

가 고정된)가정에서 TV를 볼 때 어느 정도의 화질적 혜택을 가져다줄까? 이미 여러 기관에서 몇 차례 검증한 바 있지만 방송표준을 제정하는 ITU에서도 실험을 한 바 있다. ITU-R BT.2246-2라는 문서(보고서)에 그 결과가 잘 나타나 있는데 실제로는 일본 NHK에서 시행한 것으로 보인다. 일단 실험을 위한 조건을 살펴보면 85인치 8K 디스플레이(일본 Sharp 제작)에 8K, 4K, 2K로 렌더링된 동일한 영상을 각기 다른 시청거리에서 봤을 때의 화질 만족도를 측정한 것이다. 실험에 참여한 인원은 53명의 비전문가이고, 시청거리는 화면 높이의 0.75 ~ 4.5배였는데, 85인치 TV의 수직높이가 약 105cm이므로 실제 시청거리는 약 0.8 ~ 4.5m였음을 알 수 있다.



이미지 출처 : digitaltrends.com

Display	LCD, 85-inch diagonal, 7,680 × 4,320 pixels
Image resolution	8K(7,680 × 4,320), 4K(3,840 × 2,160), 2K(1,920 × 1,080) 4K and 2K images were produced from 8K by low-pass filtering and down/up-sampling.
Viewing distance (H)	0.75, 1.5, 3.0, 4.5 (H: screen height)
Viewers	53 non-experts
Assessment method	0-10 continuous quality scale

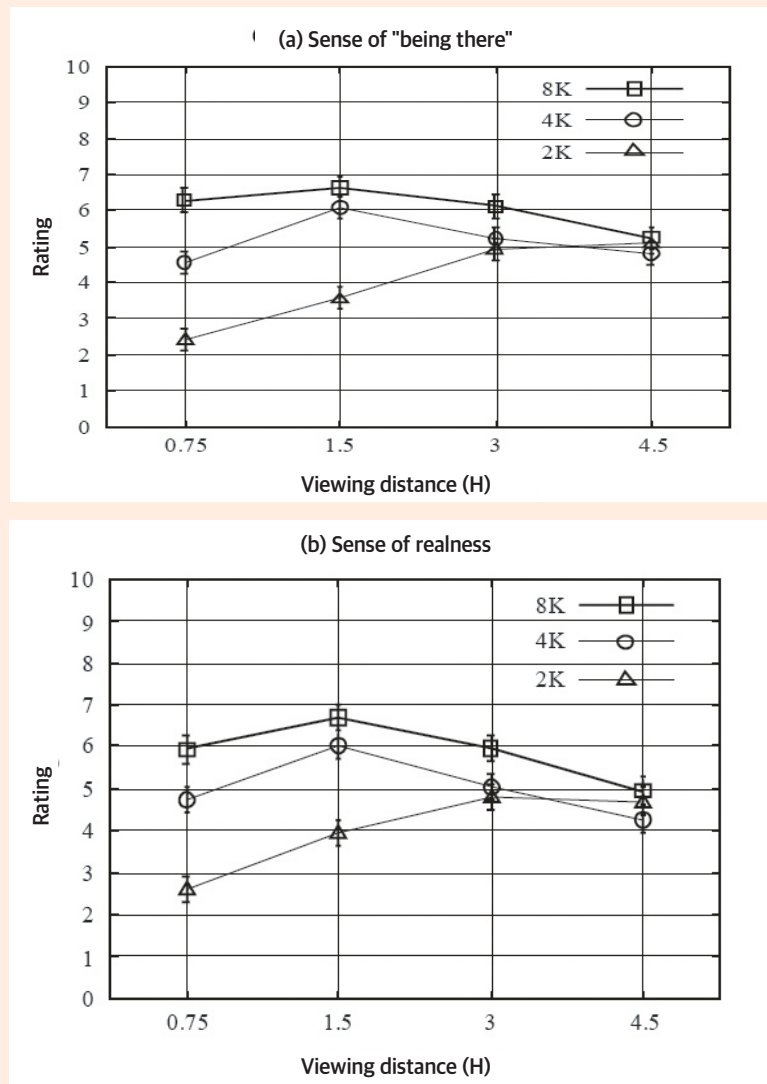
[표 5] ITU-R BT.2246-2 Test conditions

우선, 현장감 (Sense of 'being there')의 경우 1m 이내에서 봤을 때에는 8K, 4K, 2K간의 화질 차이가 명확했다. 하지만, 시청거리가 늘어남에 따라 해상도가 주는 차이는 점점 사라지고 있다. 특히, 85인치 TV를 부담 없이 볼 수 있는 거실크기를 고려하면 약 4~5m 정도의 시청거리(TV와 소파간의 거리)가 일반적이라 볼 수 있는데 실험에 의하면 4.5m 거리에서는 2K, 4K, 8K간의 차이를 거의 느끼기 어렵다는 것을 알 수 있다.



Test image displayed on 85-inch LCD

한편, 사실감(Sense of 'realness')의 경우에도 시청거리와 (콘텐츠의)해상도 간의 상관관계는 현장감에 대한 평가와 별로 다르지 않았다. 즉, 일반적인 가정에서는 85인치 정도의 대형 TV를 구매하더라도 4K나 8K로 높아진 해상도가 별다른 화질적 혜택을 주지 못할 것임을 알 수 있다. 물론, 이것은 어디까지든 일반인을 대상으로 실험한 평균적인 결과이므로 시력이 좋거나 화질에 민감한 사람, 혹은 영상이나 디스플레이 관련 업계에 종사하는 전문가들은 그 차이를 좀 더 쉽게 느낄 수는 있다. 하지만, 일반인들은 디스플레이와 콘텐츠의 해상도가 몇 배로 증가했다고 하더라도 그 차이를 구분하거나 이로 인해 화질에 대한 만족도가 상승할 것이라고 기대하기는 어렵다는 것이다. UHD 방송 인프라를 구축하는데 필요한 막대한 투자비용을 감안한다면 이러한 해상도 실험결과는 모두에게 상당히 실망스러운 결과일 것이다.



ITU-R BT.2246-2 Test 결과

UHDTV는 단순히 해상도에 대한 얘기가 아니다!

그러나 앞에서 정리해 드린 바와 같이 우리가 추구하고 있는 UHDTV 방송은 단순히 해상도라는 한 가지 파라미터에 의존하고 있는 것이 아니다. 필자가 이렇게 해상도에 대해 장황하게 설명하는 이유가 바로 여기에 있다. 아직은 UHDTV 방송의 초기 단계이기 때문에 (기술적 과제가 남아 있어서) TV 제조사나 콘텐츠 서비스 회사들이 '해상도'라는 쉬운 파라미터만을 중점적으로 마케팅하고 있다. 이 덕분에 일반 소비자들은 단순히 "기존 HDTV에 비해 4배 더 높은 해상도"라서 UHDTV가 좋은 것으로 인식하고 있는 경우가 많다.

앞서 살펴 본 바와 같이 SDTV에서 HDTV로 전환할 때에는 거의 해상도 하나만 바뀌었다고 해도 과언이 아니라고 할 정도로 나머지 파라미터들에는 그다지 극적인 변화가 없었다. 하지만 UHDTV는 해상도뿐 아니라 더 넓은 색역, 더 높은 Frame율, 더 매끄러운 계조 등 화질을 향상시키기 위한 다양한 추가적인 파라미터들을 정의하고 있다. 또한, 이 UHDTV 표준에는 포함되지 않았지만 최근에는 현실에서와 같은 더 높은 휘도와 명암대비를 구현하기 위해 HDR(High Dynamic Range)의 구현에 대해서도 많은 논의와 기술개발이 진행되고 있다.

아직 기술적인 과제들이 남아 있기는 하지만 2~3년 안에 대부분 해결될 수 있기 때문에 2020년경에는 선진국에서 UHDTV가 완전히 자리 잡을 수 있을 것으로 전망된다. 다음 호에서는 UHDTV 표준의 가장 어려운 과제중 하나로 꼽히고 있는 색역(Color Gamut)에 대한 배경과 현실, 기술적 과제 등에 대해 논의해 보도록 하겠다. 📺