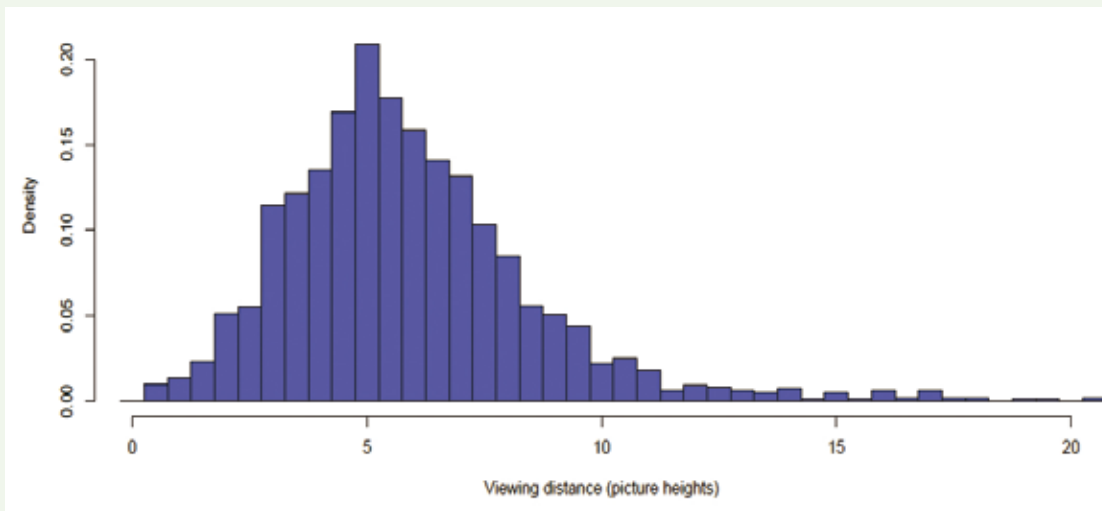


# UHDTV 방송표준의 화질 관련 주요 파라미터들 3부

신수근 티브이로직(주) 마케팅팀 부장

2015년 2월호에서는 UHDTV의 주요 파라미터 중에서 가장 기본이 되는 해상도에 관한 이슈에 대해 다뤄 보았다. 해상도는 단순히 그 수치 자체가 중요한 것이 아니라 화면의 크기와 시청거리를 함께 고려해야 한다. 시청거리가 고정되어 있을 경우 화면이 커질수록 해상도 역시 이에 비례해서 증가해야 하고, 해상도가 고정되어 있을 경우 멀리서 볼수록 화질이 좋아진다. 이것을 뒤집어서 말하면 화면의 크기와 시청거리가 고정되어 있을 경우 일정 수준 이상의 해상도는 체감적인 화질 차이를 주지 못한다는 뜻이 된다. 한국에서는 30~50평 정도의 아파트에 거주할 경우 보통 40~55" 정도의 화면크기를 가진 TV를 약 3~4m 정도의 거리에서 시청하게 된다. 이 정도의 시청환경이라면 일반적으로는 SD와 HD를 구분하지 못하는 경우도 많고, HD와 UHD를 구분하지 못하는 경우도 많다.

지난해 영국에서는 화면크기, 시청거리, 해상도에 대한 보다 실증적인 조사가 이루어졌다. 지난 1989년과 2004년에도 유사한 조사가 이루어진 바 있었지만 조사대상자가 각각 33명과 102명에 불과했다. 2014년 8월부터 2개월간 BBC 웹사이트를 통해 이루어진 이번 설문조사에서는 2000명이 넘는 시청자들이 참여했고 최종적으로는 TV를 보유하고 있는 2185명의 응답에 대한 분석이 이루어졌다고 한다. 이 조사에 따르면 평균적인 TV 시청거리는 2.63m였고, 화면의 높이에 대한 상대적인 거리는 약 5.5H였다고 한다. UHDTV의 높아진 해상도의 혜택을 누리기 위해서는 약 3H 이내의 거리에서 시청해야 하는데, 이 조건을 충족하는 시청자들은 전체의 10.2%밖에 되지 못하지만, 향후 더 큰 화면크기를 가진 TV로 업그레이드하겠다는 응답자를 고려할 경우 약 22.9% 정도의 시청자들이 3840×2160의 초고해상도가 주는 향상된 화질을 체감할 수 있을 것으로 기대된다.

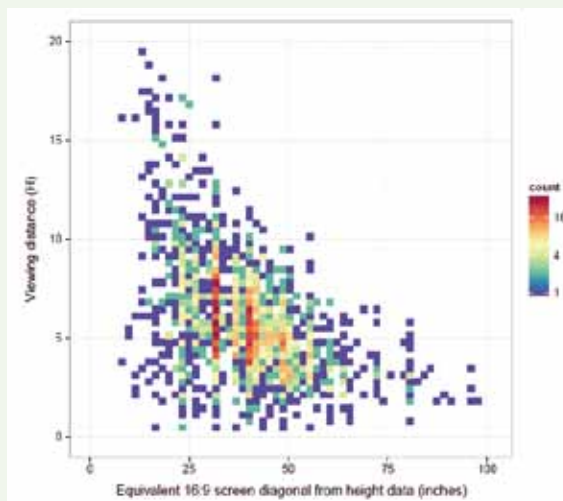


[그림 1] Distribution of relative viewing distances after application of jitter / 출처 : BBC

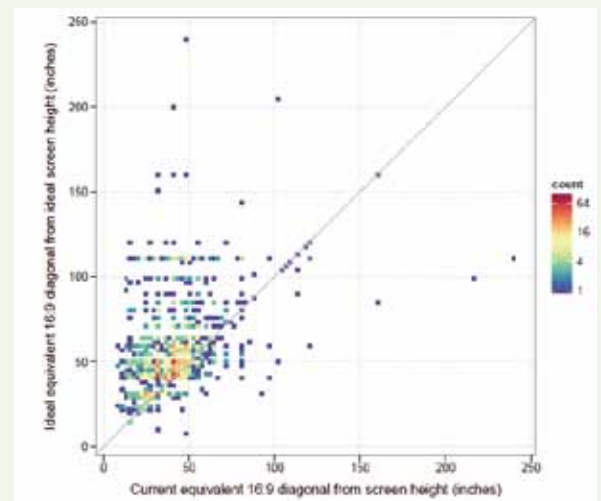
[그림 1]의 그래프는 화면크기에 대비한 시청거리에 대한 통계분석 결과이다. 가로축은 시청거리가 화면높이(Picture Height)의 몇 배인가를 뜻하는 것으로 16:9의 화면비율을 가진 55인치 TV의 경우 화면의 높이는 27"가 된다. 따라서 3H의 거리에서 본다는 것은 약 70cm에서 본다는 것으로 어찌 보면 지나치게 가까이에서 시청하는 것이라 할 수 있다.

[그림 2]는 그래프는 화면의 높이와 상대적인 시청거리 간의 관계를 좀 더 자세히 살펴볼 수 있도록 해 준다. 우선 가장 많은 분포를 보이는 화면 높이는 25~50인치 사이인데 시청거리는 상당히 다양했다. 하지만, 50인치 이상의 대형 TV를 가졌다 하더라도 시청거리가 늘지 않고 있다는 것은 TV가 배치된 거실이나 방의 크기에 따라 시청거리가 제한되고 있다는 것을 알 수 있다. 결국 일반적인 시청자들은 시청 환경에 따라서 최적의 화질이 구현되도록 TV를 구입하는 것이 아니라, 각자의 상황에(형편에) 맞는 TV를 구입한 후 가정의 시청환경(거실이나 방의 크기)에 맞춰 시청하고 있음을 알 수 있다.

[그림 3]의 그래프는 현재의 화면크기와 (응답자 각자가 생각하는) 이상적인 화면크기 간의 관계를 분석한 것이다. 대부분의 영국 응답자들은 향후 더 큰 화면크기를 갖기를 희망하고 있는데, 시청환경이 고정적일 경우 더 큰 화면크기의 TV를 갖는다는 것은 상대적인 시청거리가 줄어드는 것이므로 UHD TV의 초고해상도가 주는 혜택을 보다 많이 체감할 수 있게 된다는 뜻이다. 국내에서도 HDTV의 초기에는 40~42인치 LCD TV가 주류를 이루었고 이후 46~47인치로 상향된 바 있는데, UHD TV 제품들은 애초에 55인치부터 출시되었고 65인치로까지 확산되고 있어 UHD TV로 가면서 자연스럽게 (화면높이에 따른 상대적인) 시청거리는 줄어드는 경향을 보이고 있다.



[그림 2] Joint distribution of screen sizes and relative viewing distances  
/ 출처 : BBC

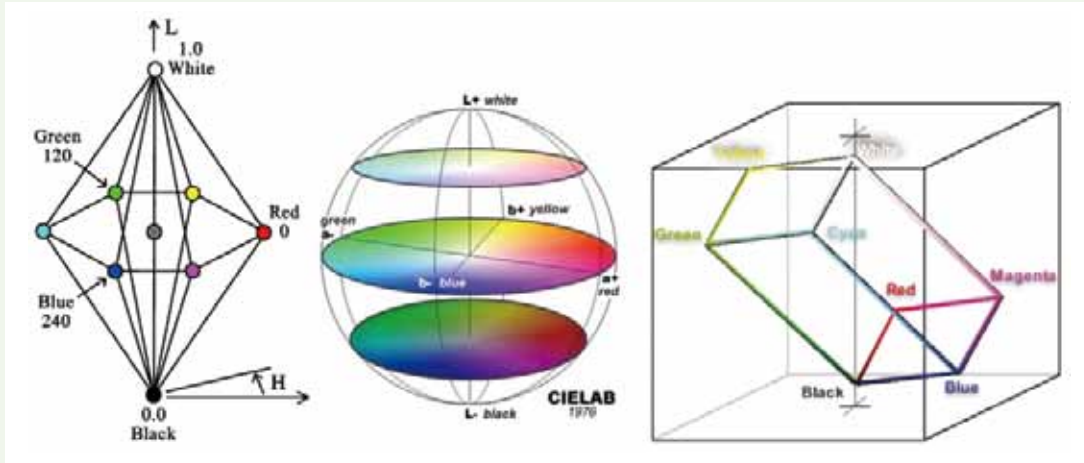


[그림 3] Distribution of ideal screen size according to current screen size

위에서 간략히 살펴본 BBC의 조사결과는 소비자들보다 더 큰 화면크기를 가진 TV로 업그레이드를 한다 하더라도 UHD TV의 초고해상도를 체감할 수 있는 사람은 최대 20% 정도에 불과하다는 것을 의미한다. 막대한 예산을 투입해야 하는 방송 인프라 구축의 결과가 미치는 혜택이 이 정도라면 그 투자여부에 대해 신중을 기할 수밖에 없게 된다.

하지만 UHD TV는 단순히 'HD보다 몇 배 더 높은 해상도'만을 의미하지는 않는다. 화소수만 많다고 좋은 카메라가 아니고 색감 등 다른 요소들이 골고루 좋아야 만족도가 높은 것과 마찬가지다. 지금부터는 UHD TV에 있어서 매우 중요한 파라미터 중 하나인 색역에 대해 논의해 보도록 하겠다.

우선 본론으로 들어가기 전에 색공간(Color Space)과 색역(Color Gamut)의 개념 차이에 대해 이해할 필요가 있다. 색공간이란 단순히 말해서 색의 속성을 표현하기 위해 사용하는 기하학적 공간이다. 가장 기본이 되는 RGB 색공간, 인간의 색 인지 속성을 반영한 HSL, RGB에 대해 실제로 인간이 인지하는 정도를 수치화한 XYZ 색공간, XYZ를 단순화시킨 xy나 uv 혹은 u'v'의 2차원 색공간, 색채공학적으로 발전시킨 CIELAB나 CIECAM02 등의 3차원 색공간, 인쇄물이 색특성을 표현하기 위해 사용하는 CMY나 CMYK 색공간, 그리고 전자공학적으로 사용하기 위해 개발한 YUV나 YCC(YpBpR 혹은 YCbCr) 색공간 등 다양한 색공간이 사용되고 있다.

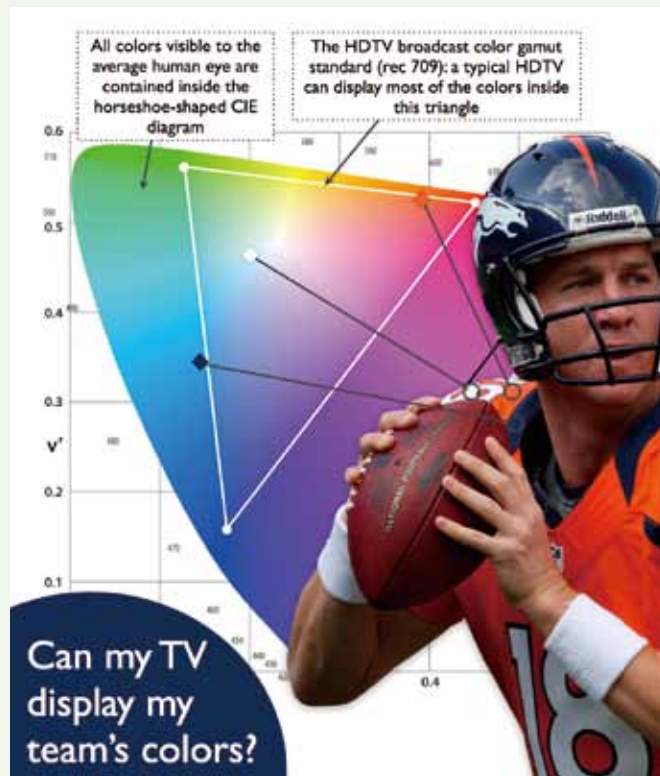


[그림 4] 다양한 색공간 (좌로부터 HSL, CIELAB, RGB vs YCC)

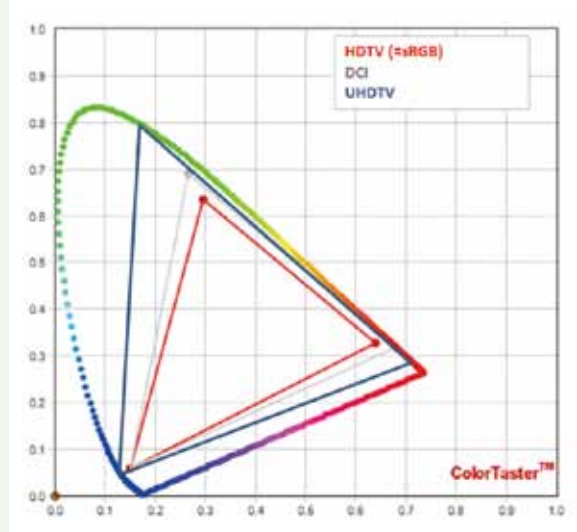
반면 색역(Color Gamut)은 디스플레이나 프린터, 카메라(센서) 등의 기기가 표현할 수 있는 색의 범위를 뜻한다. 그리고 이 색재현 범위는 일반적으로 CIE xy와 같은 특정 색공간에서 상대적인 수치로 표시해 왔다. 예를 들어, A라는 모니터가 표현할 수 있는 색재현 범위를 표시할 때 우리는 일반적으로 CIE의 xy 색도도(2차원 색공간)를 이용한다. 이 모니터의 Red, Green, Blue 3원색을 측정한 뒤 그 3개의 색좌표를 이어 만들어지는 삼각형의 넓이를 색재현 범위라 하였고, 이를 original NTSC(1953)의 삼각형 넓이로 나눈 값을 '색재현율'이라는 용어로 사용해 왔다. [그림 5]는 UHDTV와 HDTV, 그리고 DCI(디지털시네마)의 색역 표준을 비교해 주고 있다. 색이 칠해져 있는 전체 영역은 인간의 눈으로 볼 수 있는 모든 색을 뜻하고, 삼각형들은 각각의 방송시스템 혹은 표준이 정의하고 있는 색재현 범위를 나타낸다. 당연히 삼각형의 넓이가 넓을수록 더 많은 색을 표현할 수 있다는 뜻이 되며, 특히 강렬한 원색 계열의 색상들에 대한 표현력이 확대된다.

UHDTV의 RGB와 White의 색좌표는 각각 색역(Color Gamut)과 색온도(Color Temperature)를 뜻한다. 또한, 이 White와 RGB의 색좌표로부터 Luma(Y) coefficient가 계산되고, 또 여기에 따라서 RGB ↔ YCC 등의 변환 매트릭스가 유도되기 때문에 이들 3원색과 백색의 색좌표가 가지는 의미는 매우 크다고 하겠다. 물론, 가장 중요하고 체감적인 차이는 우리가 체험하게 될 색감 그 자체이다. [그림 6]은 UHD, HD, DCI의 색역을 CIE xy라는 2차원 색공간에서 비교해 주고 있다. 이를 CIE xy 색도도(Diagram)라고 하는데 색의 밝기를 포함하지 않은 2차원 공간이기 때문에 실제 눈에 보이는 것과 차이가 있을 수 있고, 또한, 시각적인 색 차이가 수치적인 색 차이와 일치하지 않는 등의 문제가 있어 이후 지속적으로 개선되어 왔다. 어쨌거나 과거 HD에 비해 UHD는 훨씬 더 넓은 색역을 재현할 수 있게 되었고, 이는 체감적인 화질 차이에 크게 기여하게 될 것이다.

이러한 UHDTV의 새로운 색역이 ITU 표준으로 확정되기까지 여러 차례의 제안과 회의가 있었는데 아무래도



[그림 5] CIE u'v' 색공간에 표시된 Rec.709(HDTV) 색역 / 출처 : Dot-color.com



[그림 6] 다양한 색역 - HD vs DCI vs UHD / 출처 : AV Magazine

TV 수상기의 성능이 중요한 변수이기 때문에 세계 가전시장을 주도하고 있는 한국과 일본이 표준을 위한 제안에 가장 적극적이었던 것으로 보인다. 우선, 한국은 OLED의 색특성을 기반으로 [표 1]과 같은 색좌표를 제안하였다. 삼성은 소형 OLED 패널 시장을 장악하고 있고, LG는 대형 TV용 OLED 패널을 주도하고 있기 때문에 현실적으로 적용 가능한 OLED 패널의 특성과 향후 기술 트렌드를 기반으로 제안했을 것이다.

반면에 일본에서는 Laser Display를 기반으로 한 3원색 좌표를 제안했다. 일본은 데스크톱 모니터 및 TV용 LCD 패널에서 거의 철수하거나 기반시설이 없다. 대형 OLED는 소니와 파나소닉이 협력을 하다 중단되어 각자 다른 파트너와의 협력을 서두르고 있지만 한국에 비해

Four candidates of RGB primaries for UHDTV systems

| Primary                  | Korean Proposal<br>(Attachment 1 in<br>WD-PDNR ITU-R<br>BT.[Image-UHDTV],<br>[Input, 19]) | Japanese Proposal<br>(Attachment 2 in<br>WD-PDNR ITU-R<br>BT.[Image-UHDTV],<br>[Input, 19]) | Modification 1                    | Modification 2                      |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Red                      | 0.7006, 0.2993<br>(625 nm)                                                                | 0.7140, 0.2859<br>(635 nm)                                                                  | 0.7079, 0.2920 (630 nm)           |                                     |
| Green                    | 0.1625, 0.8012<br>(531 nm)                                                                | 0.1702, 0.7965<br>(532 nm)                                                                  | 531 nm<br>from Korean<br>proposal | 532 nm<br>from Japanese<br>proposal |
| Blue                     | 0.1314, 0.0459 (467 nm)                                                                   |                                                                                             |                                   |                                     |
| Reference<br>White (D65) | 0.3127, 0.3290                                                                            |                                                                                             |                                   |                                     |
| Gamut<br>Coverage        | 96%                                                                                       | 95%                                                                                         | 95%                               | 95%                                 |
| Gamut<br>Efficiency      | 91%                                                                                       | 90%                                                                                         | 90%                               | 90%                                 |

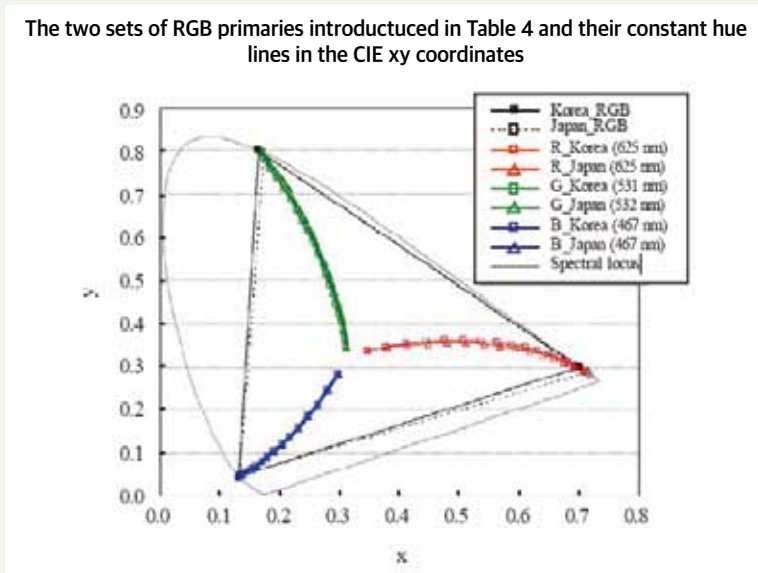
[표 1] UHDTV를 위해 제안된 4종의 RGBW 색좌표 / 출처 : ITU-R BT.2246

뒤쳐져 있는 상황이다. 이에 따라 일본 업체들 입장에서는 한국과 차별화되는 기술적 대안을 Laser Display에서 찾으려 한 것 같다. Laser는 OLED보다 더욱 넓은 색재현 범위가 가능한데 일단 제조원가가 높고 얇게 만드는데 한계가 있었다. 2007년 CES에 Sony가 최초로 벽걸이가 가능한 TV의 형태로 Prototype을 선보이기는 했으나 이는 Projection 방식이었다. 수년 전부터 Laser Projector들이 소개되고 있지만 TV를 위한 평판디스플레이(Flat Panel Display)는 2014년 말에 미쓰비시에서 출시한 Hybrid 방식의 Laser TV가 최초였다. 이 제품은 완전한 Laser 디스플레이는 아니고 'Red Laser + G & B LED'로 구성되었다. 평판화가 어려운 Laser의 특성을 감안하여 레이저 광원을 Edge형으로 테두리가 배치한 후 도광판을 이용해 전 화면에 골고루 반사시키는 방법을 채용해서 원가와 평판화의 두 마리 토끼를 잡은 것이다.

어쨌든 한국과 일본의 제안은 White와 Blue 색좌표에는 차이가 없었지만, Red와 Green 색좌표에서 좀 차이가 있었다. 여러 협의(혹은 협상?)를 통해 Red의 경우 625nm와 635nm의 중간인 630nm라는 절충안이 합의되었지만, Green에 대해서는 절충이 이루어지지 않다가 아마 표결에 의해 정리가 일본 측 안으로 확정된 듯하다. 그런데 자세히 보면 Laser 기반의 일본 측 제안이 일반적인 관점에서의 색역은 좀 더 넓은 것으로 계산되지만, 실제 물체색을 그대로 재현할 수 있는 수준을 뜻하는 Gamut Coverage 측면에서는 OLED 기반의 한국 측 제안이 약간 더 유리했었다.

[그림 7, 8]의 두 그래프는 OLED 기반의 한국 측 제안과 Laser Display 기반의 일본 측 제안의 차이점을 색도도상에서 비교해 주고 있다. 그림이 작기 때문에 별 차이가 아닌 것으로 보일 수도 있겠으나 실제로는 충분히 구분 가능한 수준의 색감 차이를 유발한다.

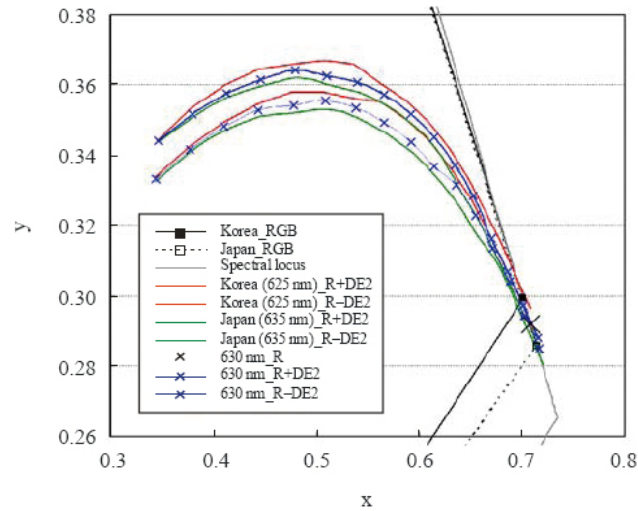
[그림 9]는 UHD TV의 넓은 색역이 주는 혜택을 잘 보여 주고 있다. 우리가 흔히 접하는 꽃이나 동물의 색상, 물감, 페인트 등의 물체색 중에서는 HDTV의 표준 색역을 벗어나기 때문에 제대로 표현할 수 없었다. 하지만, UHD TV의 표준 색역은 충분히 크기 때문에 이렇게 HDTV에서 제대로 보여 주지 못했던 천연색 혹은 원색을 있는 그대로 재현할 수 있게 된다. 앞서 살펴본 바와 같이 화면크기와 시청거리라는 문제 때문에 10~20% 정도의 시청자들만 UHD TV의 화질을 체감할 수 있게 된다. 하지만, 풍부한 색감까지 더해질 경우 체감적인 화질만족도는 30% 더 향상될 것이고, HFR(High Frame Rate)과 HDR까지 더해질 경우 HD 대비 2배 이상 만족도가 향상될 수 있을 것으로 기대되고 있다.



[그림 7] OLED 기반의 한국 측 제안 vs Laser 기반의 일본 측 제안 / 출처 : ITU-R BT.2246



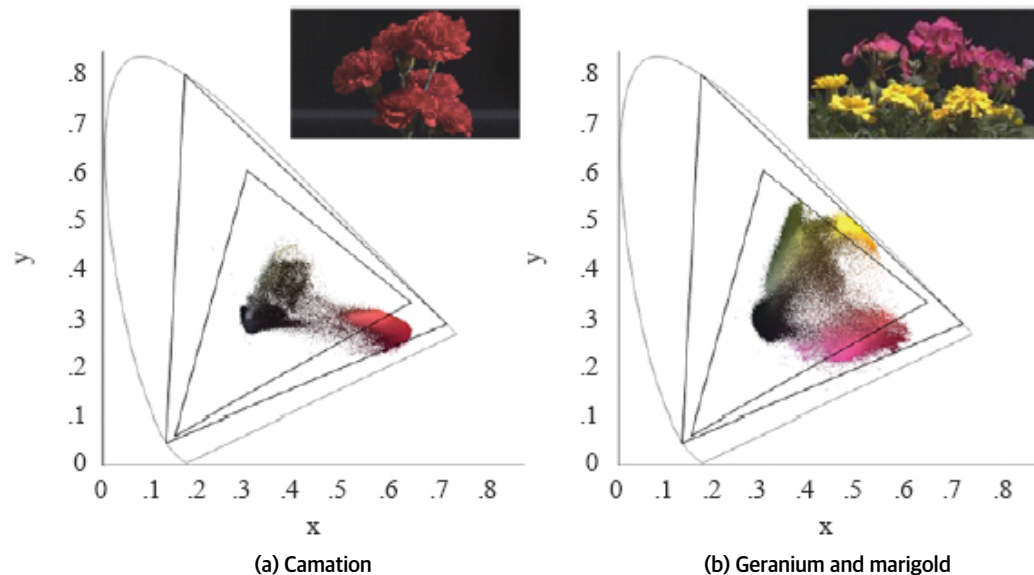
Three unnoticeable areas around three red constant-hue lines of 625,630 and 635 nm in the CIE xy chromaticity diagram

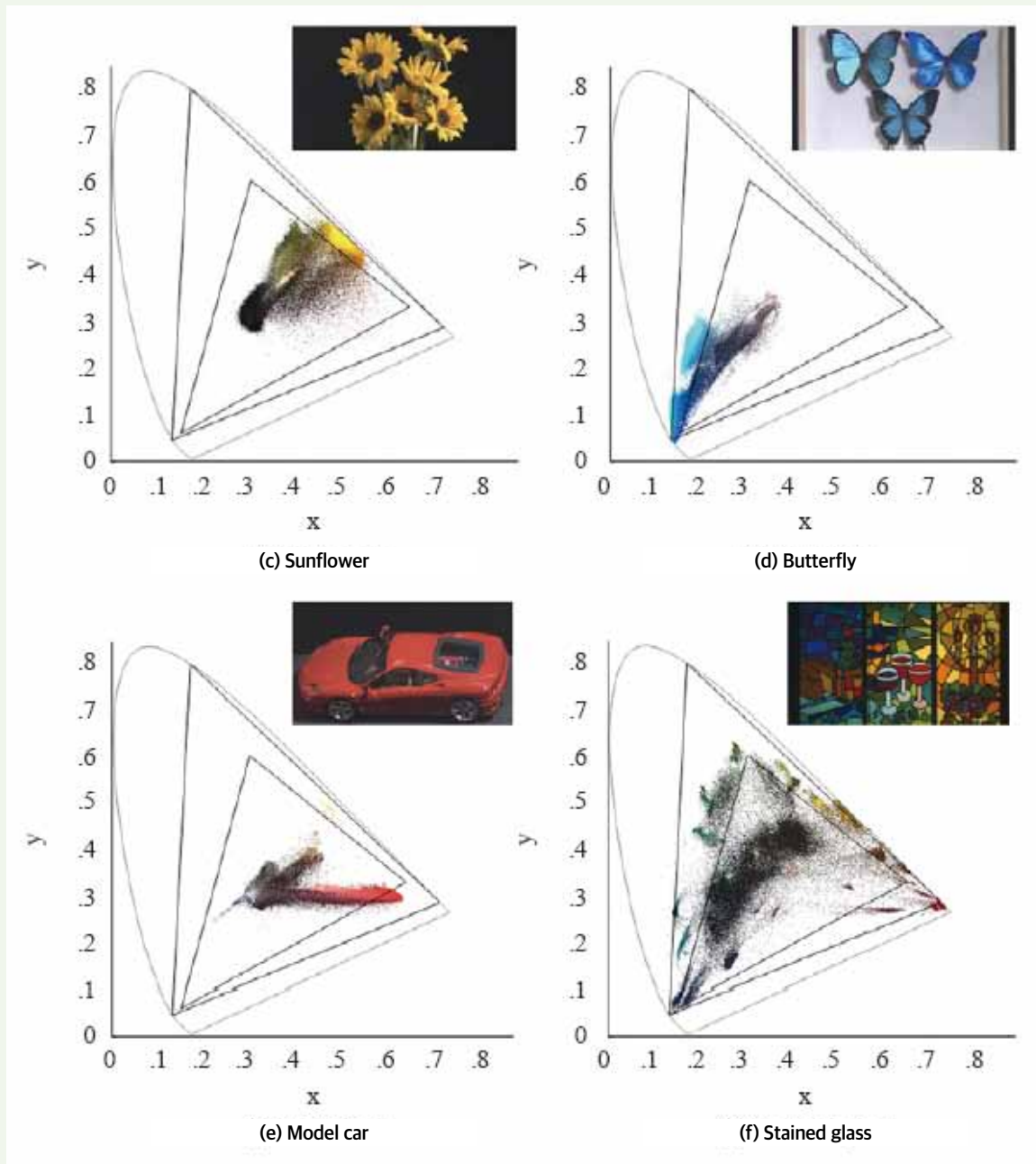


[그림 8] 참조 : OLED 기반의 한국 측 제안 vs Laser 기반의 일본 측 제안 / 출처 : ITU-R BT.2246

현재 UHDTV의 스펙에서 색역 부분을 만족하는 (상용화된) 디스플레이 제품은 없다. OLED의 경우 DCI 수준까지는 가능한데 그 이상은 아직 도달하지 못하고 있다. Laser Display의 경우 Rec.2020에 매우 근접하는 색역을 달성할 수는 있는데 원가가 비싸 당분간은 Red Laser와 White LED를 결합한 Hybrid-Laser 방식에 머물 것으로 보인다. Quantum Dot Display의 경우 현재 다양한 형태의 시제품이나 응용제품들이 나오고 있는데, [그림 11]에서와 같이 가능 넓은 색역을 구현하는 제품의 경우 Rec.2020의 약 91%를 cover할 수 있다고 한다. 단순 색재현 범위 개념으로는 Rec.2020 대비 약 95%의 색재현율을 가진다.

Colour distribution of object on the x-y chromaticity coordinates  
(Inner triangle : HDTV primaries, Outer triangle : UHDTV primaries)



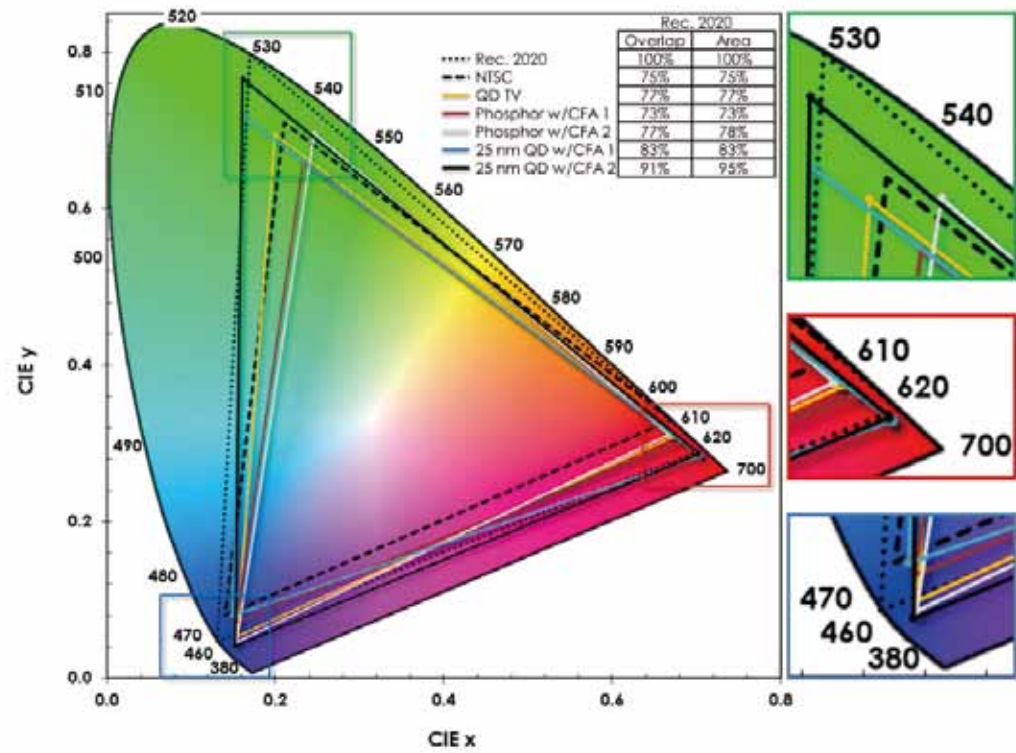


[그림 9] 실제 물체색에 대한 Gamut Coverage 비교 / 출처 : ITU-R BT.2246

참고로, 그림을 자세히 보시면 Quantum Dot으로 NTSC의 색역을 100% 완벽하게 커버하는 것을 볼 수 있다. 1953년 미국 FCC가 제정한 NTSC 색역은 기술의 한계로 인해 결국 80년대에 폐기되고 말았는데, 이후 다시 30년 정도가 지난 오늘날에 와서야 커버할 수 있게 되었으니 표준이라기보다는 장기적 목표점으로서의 역할을 했다고 할 수 있다.



[그림 10] 미쓰비시의 Hybrid-Laser TV / 출처 : newlaunches.com



[그림 11] 양자점(Quantum Dot) Display의 Gamut Coverage 비교 / 출처 : QDVision

또 한 가지 기억할 것은 Quantum Dot이나 Hybrid-Laser Display도 기본적으로는 LCD라는 것이다. 흔히 LED TV라 불리는 제품도 백라이트만 LED일 뿐 나머지는 LCD이듯이, Laser도 백라이트를 LED 대신 Laser를 사용하는 개념이고, Quantum Dot은 광학시트에 인쇄하는 등의 방식을 사용하기 때문에 역시 근본적으로는 LCD라 할 수 있다. 각 화소별로 자체 발광하는 OLED와는 다르다는 것이다. 따라서 LCD가 갖는 근본적인 문제점인 Motion Blur 문제는 다른 기술로써 보완되어야 한다. 