

방송용 모니터 소개 - 5

: HDR 모니터의 조건

글.
신수근 (췌비덴트 (구 티브이로직) 이사

연재목록

- 1부: 디스플레이 트렌드 (CRT, PDP, LCD (다양한 BLU), OLED)
- 2부: 모니터의 종류와 차이 (컴퓨터용, 그래픽용, 방송용, 의료용)
- 3부: 모니터의 색감과 조정기능 (색감의 정의, 밝기/명암/색상/색농도+백라이트, 감마 등)
- 4부: UHD 방송용 모니터의 조건 (해상도, 프레임율, 색상수, 감마코딩, 색재현범위 등)
- 5부: HDR 방송용 모니터의 조건 (HDR 트렌드, HDR 표준, HDR 디스플레이의 요구 조건)

들어가며 - HDR은 왜 필요한가?

이제 HD 시대를 넘어 UHD로 가고 있다는 것은 소비자들도 대부분 인식하고 있다. 하지만, 지난 호(4부)에서 언급하였듯이 UHD는 단순히 해상도가 기존 HD보다 4배 더 높아진 것이라는 인식만 강하고 WCG(Wide Color Gamut, 광색역), HFR(High Frame Rate, 고프레임율), High Bit Depth(고계조), 그리고 HDR(High Dynamic Range, 고동적범위 = 고명암대비) 등에 대해서는 아직 모르는 분들도 많다. 한 마디로 말해서 해상도뿐 아니라 WCG, HFR, HDR 등이 모두 합쳐져야 UHD의 화질이 완성된다고 할 수 있겠다. 그런데 앞서 설명 드린 바와 같이 UHD 방송표준인 ITU-R BT.2020(2012년)에는 HDR과 관련된 내용은 빠져 있었다. 수년간 준비하던 HDR 표준(ITU-R BT.2100)이 2016년 7월에야 공표되었기 때문이다. 이번 호에서는 HDR에 대한 간략한 개념을 살펴본 후 방송용/영화용 HDR 모니터는 어떤 조건을 갖춰야 하는지에 대해 논의해 보도록 하겠다.

일단 HDR이 왜 필요한지, 특히 최근에 왜 방송가의 이슈가 HDR에 집중되고 있는지 이해할 필요가 있다. 간단하게 얘기하자면 인간의 눈은 해상도나 컬러에 비해 빛의 밝기나 명암에 더 민감하다. 따라서 현실에서 볼 수 있는 밝기와 어두움, 그리고 이들 간의 (명암)대비와 세부적인 계조를 최대한 현실과 흡사하게 재현할 수 있다면 훨씬 더 높은 사실감과 현장감을 느낄 수 있기 때문이다. 특히 해상도를 올렸을 때에 비해, 혹은 광색역을 적용했을 때에 비해 HDR을 적용하는 것이 더 강한 시각적 차이를 가져다줄 수 있다는 점에 주목할 필요가 있다.

다음의 그림은 사진과 CCTV에서 적용되고 있는 HDR의 원리를 간략하게 보여 주고 있다. 센서의 한계로 인해 너무 밝거나 너무 어두운 영역이 존재할 수밖에 없는데 이를 극복하기 위해 노출이 조금씩 다르게 설정된 여러 장의 프레임을 합성하여 더 많은 계조를 재현하는 방식이다. 이렇게 하면 손쉽게 HDR을 구현할 수는 있는데 두 가지 문제점이 있다. 첫 번째는 프레임 합성방식이기 때문에 Frame Rate가 줄어든다. 60p로 촬영할 경우 3장씩 합성하자면 Frame Rate가 20p로 줄어들기 때문에 정적인 장면에서

는 괜찮겠지만 움직임이 있는 장면에 적용하기는 부족하다. 두 번째 문제점은 3개의 프레임 사이에 발생하는 모션이 있는 경우 3개의 프레임에 캡처된 영상이 조금씩 시간차가 생겨 번지는 현상이 나타난다는 점이다. 한 마디로 말해서 프레임 합성 방식의 HDR은 정적인 장면을 촬영할 때에는 괜찮지만 지속적으로 모션이 있는 영상에서는 곤란하다.

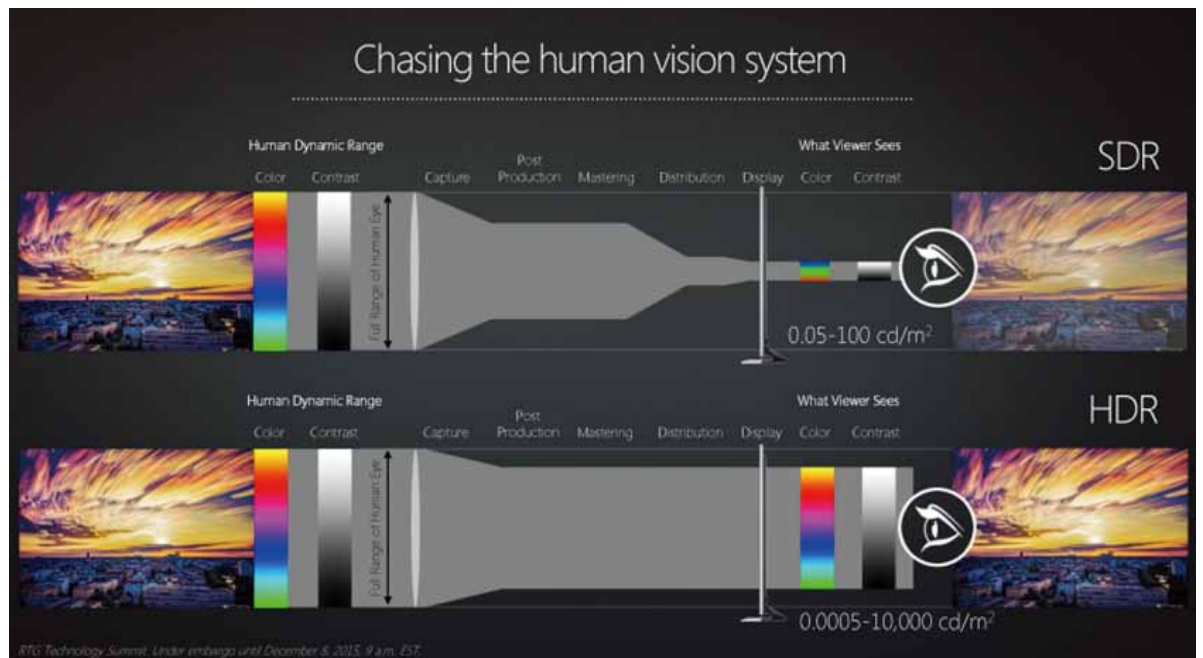
HDR Photo (Frame Composition)



WDR CCTV (Frame Composition)



아래의 그림은 돌비에서 HDR의 개념을 설명할 때 사용한 것으로 현실에 존재하는 매우 넓은 범위의 밝기 중에서 인간의 눈으로 인식할 수 있는 영역을 100이라고 할 때 카메라 센서가 획득할 수 있는 영역은 대략 50% 정도에 불과했다. 이후 색보정과 전송 과정에서 좀 더 줄어들지만, 결정적으로 디스플레이 자체가 가진 한계로 인해 최종적으로는 약 10~20% 정도로 줄어든다는 것이다. 돌비가 추구했던 것은 훨씬 더 넓은 밝기 범위를 획득하고, 프로세싱하고, 전송하고, 시청하자는 것이다. 즉, 카메라에서부터 색보정과 전송을 거쳐 디스플레이까지 전체 프로세스에서 HDR을 구현할 수 있는 방안을 제안한 것이다. 현재는 일단 카메라의 센서 기술이 많이 발전하여 14~15 Stop 정도의 Dynamic Range의 촬영이 가능한 카메라들이 등장하고 있고, 돌비 등에서 제안한 HDR 프로세스를 통해 Dynamic Range의 손실을 최소화하여 전송할 수 있게 되었다. 가장 큰 문제는 디스플레이 기술이라 하겠다.



HDR의 개념 설명 이미지 / 출처 : Dolby

어쨌든 HDR은 다른 화질 요소에 비해 훨씬 강력한 화질적 차별화를 구현할 수 있는 기술이기 때문에 우리가 추구하는 극상의 UHD 화질로 가는 전 단계로서 HD 해상도에서도 구현하는 것이 가성비 측면에서는 유리하다는 의견들도 많다.

아래의 EBU 리포트 TR-037에서는 UHD뿐 아니라 HD급 해상도에서도 HDR과 HFR(1단계:60p)을 적용할 것을 권장하고 있다. 이렇게 하면 현재의 3G-SDI 기반의 인프라와 장비에서도 약간의 추가적인 투자만으로도 HDR과 HFR (60p)을 적용할 수 있게 된다. 즉 최소의 비용으로 최대의 (화질 향상) 효과를 거둘 수 있는 것이 HDR인 것이다.

Image format	Resolution	Frame Rate* (fps)	Higher Dynamic Range	Bit-Depth	Colorimetry
1080p Advanced 1	1920×1080	24, 25, 50, 60	ITU-R BT.[HDR-TV] (PQ10, HLG10)	10, 12	ITU-R BT.2020
1080p Advanced 2	1920×1080	[24, 25, 50, 60] 100, 120	ITU-R BT.[HDR-TV] (PQ10, HLG10)	10, 12	
UHD-1 Phase 2	3840×2160	24, 25, 50, 60	ITU-R BT.2020 ITU-R BT.[HDR-TV] (PQ10, HLG10)	10, 12	
UHD-1 Phase 2	3840×2160	[24, 25, 50, 60] 100, 120	ITU-R BT.2020 ITU-R BT.[HDR-TV] (PQ10, HLG10)	10, 12	

출처 : EBU Technical Report - TR 037 (Video System Requirements for UHD TV and an Advanced 1080p TV Format)

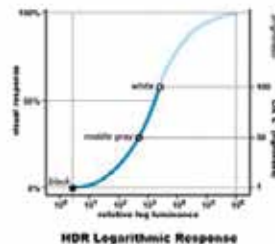
* This includes the fractional frame rate variants.

방송용 HDR은 무엇인가?

HDR Capture



HDR Processing

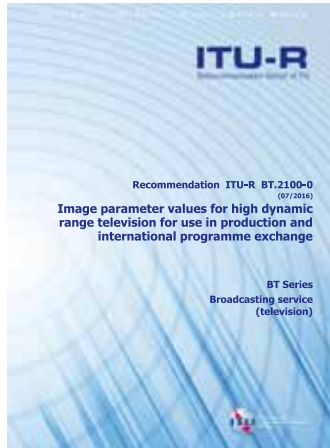


HDR Reproduction



HDR은 돌비(Dolby)가 선도적인 기술개발과 마케팅을 통해 현실화한 기술이다. 돌비는 현실에 존재하는 빛의 밝기를 0.0005 ~ 10,000nit 사이의 휘도 범위로 압축하였고, 각각의 계조별 휘도를 PQ(Perceptual Quantizer)라는 개념으로 공식화하였다. 단순히 말하자면 10,000nit까지의 매우 높은 휘도 범위를 TV에서도 볼 수 있도록 하자는 것이다. 물론 최대 휘도를 10,000nit로 설정한데 대해서는 다양한 의견이 있다. 실제 우리가 현실 세계에서 볼 수 있는 빛의 밝기는 10,000nit를 넘어간다 하더라도 과연 TV나 모니터로 10,000nit를 볼 필요가 있는지, 혹은 이렇게 볼 때 시각적인 문제점은 없는지에 대한 반론도 많다. 실제로 HDR을 구현하는 기술은 좀 복잡하지만 아주 간단히 말하자면 그림과 같이 3개의 부분으로 나뉜다고 하겠다.

즉 Dynamic Range가 넓은 카메라(센서)와 디스플레이가 필수적인 하드웨어적 요소이고, HDR 커브를 적용해서 색보정을 하고, 마스터링하고, 전송하는 등의 과정은 소프트웨어적 요소가 핵심이라 하겠다.



HDR 방송표준 - ITU-R BT.2100

HDR 표준에 대해서는 아주 간단히 설명해 드리도록 하겠다. 2016년 7월에 공표된 BT.2100의 핵심 내용은 이미 전년도에 SMPTE 2084에 표준화된 PQ와 ARIB STD-B67에 표준화된 BBC-NHK의 HLG(Hybrid Log-Gamma)를 국제 표준으로 선정한 것이다. HDR 표준은 UHD 표준과는 별개로 진행된 만큼 해상도에 HD(1920×1080)를 포함했다. 그리고 유럽 방송관계자들의 의견이 반영되어 UHD 표준에 빠졌던 100p도 추가되었다. 또한, HDR에서의 색 틀어짐 현상을 개선하기 위해 YCbCr 색공간에 추가하여 ICtCp라는 새로운 색공간도 표준화하였다. 보다 자세한 내용은 ITU-R BT.2100 및 BT.2390, 그리고 EBU 리포트 TR-037 등을 참고해 주시기 바란다. 모두 인터넷에서 자유롭게 내려 받을 수 있다.

NAB 2017에 소개된 방송용 HDR 모니터

OLED 기반의 HDR 모니터

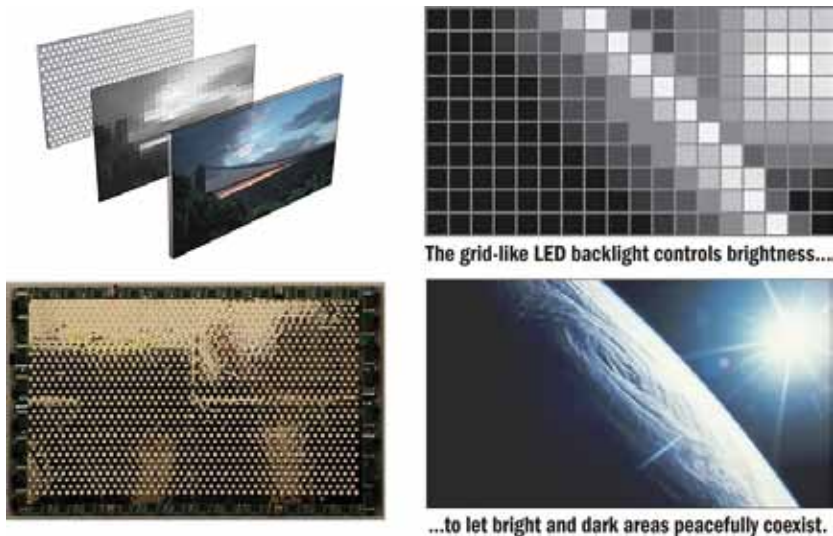
OLED는 차세대 디스플레이로 불리어 왔다. 아직까지도 낮은 수율과 높은 원가 때문에 보급에 한계가 있었지만 점차 프리미엄 TV 시장에서의 점유율을 증가시키고 있다. LG 디스플레이의 WRGB 방식의 OLED 패널이 대형 TV 시장에서의 원가 경쟁력을 향상시키고 있지만, 10~30인치 급의 중간 사이즈에서는 Sony가 유일하게 16.5"(HD), 24.5"(HD), 30"(4K) 패널을 공급해 왔는데 가격이 매우 비싸 방송용 모니터 시장 이외에는 접근하지 못하는 상황이다. 그리고 이마저도 사업성 악화로 철수설이 돌아왔다.



어쨌든 OLED는 LCD가 가진 단점들을 극복하고 자발광 디스플레이로서의 장점을 갖추고 있어 화질적인 측면에서 매우 선호되고 있다. 특히 높은 명암비와 색재현율, 빠른 응답속도, 넓은 시야각 등에서 LCD에 비해 우수하고 천연의 HDR 디스플레이로서의 특성이 우수하다. 단지, 700 ~ 1,000nit로 제한된 휘도로 인해 HDR 작업에 있어서 한계점이 있다는 것, 그리고 약 30% 정도의 code(소니 HD 기준)가 번인(Burn-In)을 막기 위해 활용해야 하기 때문에 10비트 패널임에도 불구하고 온전한 10비트는 아니라 계조 표현에서 약간의 손실이 있다는 점 등이 단점으로 꼽힌다.

LCD + Local Dimming Backlight 방식의 HDR 모니터

LCD는 스스로 빛을 낼 수 없고 액정의 성질을 이용하여 빛의 투과율을 조절하는 방식으로 색을 만들어낸다. 따라서 LCD의 뒤쪽에 빛을 내는 광원, 즉 백라이트(Backlight)라는 것을 필요로 한다. 이 백라이트는 항상 켜져 있게 되며 간단히 말해서 액정이 모두 닫히면 흑색이 되고, 액정이 모두 열리면 백색이 되는 구조라고 하겠다. 액정의 한 화소(pixel) 안에는 R, G, B 3개의 하위 화소(Sub-Pixel)가 있다. R, G, B 하위 화소에 인가하는 전압을 달리하면 액정이 뒤틀리는 각도가 달라져 빛의 투과율을 조절할 수 있다. 8비트로 R, G, B를 각각 제어할 경우 $256 \times 256 \times 256 = 16,777,216$ 개의 컬러를 조합할 수 있게 된다. 이렇게 LCD는 항상 켜져 있는 백라이트 빛의 투과율만 조절할 수 있기 때문에 최대 백색의 밝기는 백라이트의 휘도가 얼마나 높은 지에 달려있고, 흑색을 표현할 때에는 액정의 구조가 백라이트의 빛을 얼마나 잘 막을 수 있는지에 달려있다.



Local Dimming Backlight 방식

그런데, 불행하게도 LCD는 블랙을 표현하기 위해 액정을 아무리 정교하게 조정해도 백라이트의 빛을 100% 막지는 못한다. 다시 말해서 액정이 모두 닫히는 경우라고 해도 약간의 빛이 새어 나오고 그로 인해서 흑색이 완벽하게 구현되지 않고 좀 뜬다는 것이다. 로컬 디밍 백라이트는 LCD의 뒷면에 수백 혹은 수천 개의 White LED를 배열한 후 입력되는 영상을 분석하여 밝은 곳은 더 밝게 그리고 어두운 곳은 더 어둡게 보이도록 백라이트의 밝기를 위치에 따라 가변해 주는 것이다. 일반적인 LCD는 백라이트가 항상 켜져 있기 때문에 LCD를 아무리 잘 제어해도 빛이 새어 나와 블랙이 떠 보이지만, 로컬 디밍 백라이트는 블랙이 있는 부분의 LED를 아예 꺼 버릴 수 있기 때문에 OLED를 능가하는 매우 깊은 블랙을 표현할 수 있게 된다.

그런데, 로컬 디밍 방식의 LCD도 두 가지가 있다. 하나는 입력되는 영상의 ABL 혹은 APL에 따라 최대 휘도를 가변하는 방식이 있고, 가변하지 않는 고정휘도 방식이 있다. 예를 들어, 다음의 첫 번째 그림(동굴 속의 빛)의 전반적으로는 어두운 가운데 일부분만

밝기 때문에 가변식이든 고정식이든 거의 차이가 없을 것이다. 문제는 눈 위에서 스키 타는 두 번째 그림에서와 같이 “화면이 전반적으로 매우 밝은 경우에 어떻게 처리할 것이냐”이다.



가변식의 경우 이렇게 화면 내에 밝은 영역이 많으면 (OLED와 같이) 전체적인 백라이트 레벨을 낮춰 주게 된다. 최대 50%까지 줄여 주는 것이 TVLogic 방식인데, 캐논(Canon)에서 NAB 2017에 전시한 30인치 프로토타입의 경우 고정휘도 방식이라 위의 두 번째 그림과 같은 경우라도 전반적인 백라이트 레벨을 낮춰 주지 않는다고 한다. 이때의 장점은 보다 현실과 같은 높은 휘도를 보여준다는 것이고, 단점은 현실과 같이 너무 눈부셔서 선글라스나 고글이 필요할 수도 있다는 것이다. 또한, 그간 CRT, PDP, OLED와 같은 자발광 디스플레이들이 모두 가변 휘도 방식이었기 때문에 이러한 고정휘도 방식에 대한 거부감도 좀 있는 것 같다.



캐논에서 NAB 2017에 전시한 30인치 프로토타입



TVLogic 31인치 HDR 모니터



NAB 2017에서 선보인 Eizo CG-3145

Dual Cell LCD 방식의 HDR 모니터

앞서 설명 드린 바와 같이 Local Dimming을 하게 되면 높은 휘도와 깊은 블랙을 표현할 수 있어 매우 높은 명암대비를 구현할 수 있지만, 반면에 제한된 LED의 개수와 크기로 인해 어느 정도의 빛 번짐 현상(Halo Effect)이 발생한다는 문제점이 있다. Dual Cell LCD 방식은 말 그대로 액정 2장을 정교하게 붙인 후 첫 번째 액정은 백라이트 빛의 투과율만 조절하고, 두 번째 액정은(sub-pixel을 이용해) 컬러를 조합해 내도록 하는 방식이다. 백라이트는 고휘도 LED를 사용하기는 하되 Local Dimming이 아닌 Global Dimming 방식이라(로컬 디밍 방식에 비해 상대적으로) 단순하고 저렴하다.

이 방식의 장점이라면 OLED와 같이 각각의 화소 단위로 고휘도 백라이트의 투과율을 조절할 수 있기 때문에 로컬 디밍 방식과 같은 빛 번짐 현상이 없고, OLED 같이 깔끔하게 HDR을 구현할 수 있다는 점이다. 또한, 액정을 두 장 겹침으로써 LCD의 한계인 빛샘 현상을 획기적으로 줄일 수 있어 매우 깊은 블랙을 구현할 수 있다는 점도 장점이다. 백라이트가 Global Dimming 방식이기 때문에 OLED와 같이 ABL(Average Brightness Level)에 따라 Peak 휘도가 가변될 필요도 없다.



HDR Monitor with ABL



ColorEdge PROMINENCE CG3145



HDR Monitor with Local Dimming



ColorEdge PROMINENCE CG3145

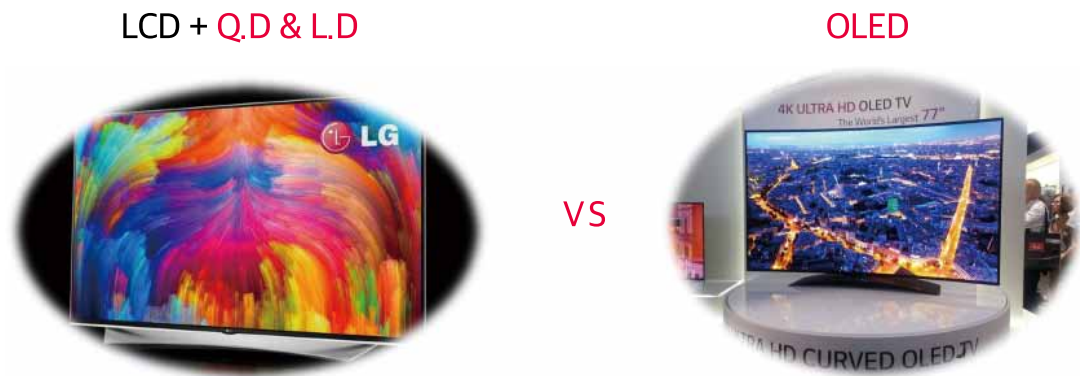
Eizo CG-3145의 장점을 설명하는 그림

하지만, 액정을 두 장 겹치는 방식이다 보니 투과율은 절반으로 떨어질 수밖에 없어 최대 휘도가 OLED 수준인 1,000nit로 높지 않다는 점, 그리고 LCD의 고질적인 단점 중 하나인 Motion Blur가 오히려 더 악화될 수도 있다는 점이 단점이라 하겠다. 한마디로 말

해서 이 방식은 Video Monitor보다는 Graphic Monitor에 좀 더 어울리는 방식이라 하겠다. 그런데 이러한 단점보다는 휘도 자체가 충분히 높지 않다는 점이 더 눈에 띄었다. NAB 2017에서 전시된 프로토타입 제품을 봤을 때의 느낌은 이 HDR 모니터가 1,000nit 인지 400~500nit 정도의 일반 휘도의 모니터인지 구분하기 어려워 보였다.

결론 : 진정한 HDR 모니터는?

지금까지 살펴본 바와 같이 진정한 UHD, 그리고 진정한 HDR을 구현할 수 있는 디스플레이 기술이 아직까지는 존재하지 않는다. 극복해야 할 가장 큰 장애물은 Rec.2020에서 정의한 광색역, 즉 너무 넓은 색역을 재현할 수 있는 기술의 개발이다. Laser 기반으로 제안된 Rec.2020 표준은 현재의 LCD나 OLED로는 구현이 불가능하고 Laser 백라이트는 아직 해결해야 할 기술적인 문제들도 많고 특히 원가를 낮추는 것이 관건이다. 궁극적으로는 수년 후에 등장할 진정한 QLED(삼성이 현재 홍보하고 있는 현재의 QLED가 아닌 진정한 QLED)를 기대하게 된다.



HDR을 제대로 구현할 수 있기까지도 아직 더 시간이 필요한 것 같다. 위에서 살펴본 바와 같이 OLED와 Dual Cell 방식의 LCD는 휘도가 충분히 높지 못하다는 단점이 있고, Local Dimming 방식의 LCD는 빛 번짐 현상으로 인한 불편함이 있기 때문이다. 역시 진정한 QLED가 상용화되어야 이와 같은 문제점들이 모두 해소될 수 있을 것으로 기대된다. 진정한 QLED의 시대가 오기 전까지는 소비자용 HDR TV는 OLED 방식(프리미엄 제품)과 LCD 방식(보급형)으로 나뉘어 시장이 양분될 것으로 보인다. 여기서 말하는 OLED는 HDR이 가능한 고휘도 OLED를 뜻하며, LCD 방식 역시 QD(Quantum Dot)과 LD(Local Dimming)으로 업그레이드된 LCD를 뜻한다. 📺