

UHD 영상 포맷과 화질 및 실감 효과

□ 정세윤, 김휘용, 최진수 / ETRI

요약

지상파 UHD 방송이 2017년 2월 수도권을 시작으로 2021년까지 전국으로 확대될 예정이다. 본 고에서는 내년부터 시작될 UHD 방송에 대한 이해를 돕기 위해 UHD 영상 포맷을 UHD 영상 포맷 표준 현황을 통해 설명하고, 영상 포맷의 각 구성 요소에 대한 화질과 실감 효과를 통해 UHD 영상의 실감 효과에 대해서 설명한다. 끝으로, UHD 영상 포맷과 관련된 이슈 현황과 향후 전망에 대해 설명한다.

I. 서론

HD 방송보다 4배 이상 더 선명한 화면 제공을 통해 보다 현장감(sense of “being there”)과 실제감(sense of realness)을 제공하는 지상파 UHD 방송 서비스가 2017년 2월 수도권에서 먼저 시행될 예정

이고, 2017년 12월에는 광역시와 평창올림픽 개최지까지 서비스가 확대되고, 그 외 시·군 지역은 2020년부터 순차적으로 2021년까지 전국으로 확대될 예정이다. 기존 HD 방송은 UHD 방송 도입 10년 후인 2027년에 종료할 계획이 발표되었다[1].

계획대로 본 방송이 시작되기 위해서는 UHD 방송에 대한 표준 제정이 필요하다. 이를 위해 차세대 방송포럼에서 UHD 방송 표준화를 진행하고 있고, UHD 산업의 경쟁력 제고와 활성화를 위해 미국 ATSC 3.0 표준을 기반으로 제정 작업을 진행하고 있다. ATSC에서는 ATSC 3.0 표준을 2017년까지 승인을 완료할 예정인데, 기술적 사항들은 2016년 내에 완료될 예정이다. 참고로 지난 12월말에 ATSC에서는 ATSC 3.0 잠정 표준(CS: Candidate Standard)을 승인하였고, 인터넷 상에 공개하였다[2].

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1280, 클라우드 기반 대용량 실감미디어 제작 기술 개발]

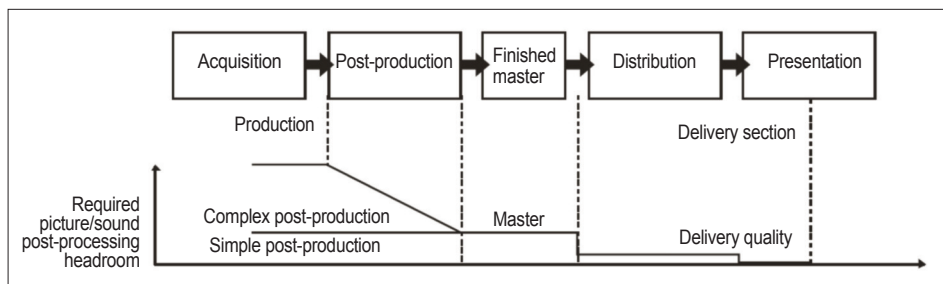
본 고에서는 내년부터 시작될 UHD 방송에 대한 이해를 돕기 위해, UHD 방송 표준의 기본이 되는 영상 포맷에 대해 설명한다. 이를 위해 먼저 UHD 영상 포맷이 어떻게 구성되어 있는지를 관련 UHD 영상 포맷 표준들을 통해 설명하고, 다음으로 대표적인 UHD 영상 포맷 표준인 ITU-R BT.2020 [3]이 현재와 같이 결정된 이유를 각 구성 요소에 대한 화질과 실감 효과를 통해 설명한다. 특히 영상의 실감 효과는 시청 거리와 디스플레이의 스크린 크기와 연관이 된다. 이러한 설명 등을 통해 UHD 방송 서비스를 시청할 때 체감할 수 있는 실감 효과를 예상할 수 있을 것이며, 적절한 크기의 TV를 구입하는데 활용할 수 있을 것이다. 끝으로, 결론에서는 영상 포맷과 관련된 이슈 현황과 향후 전망에 대해 논한다.

II. UHD 영상 포맷 표준 현황

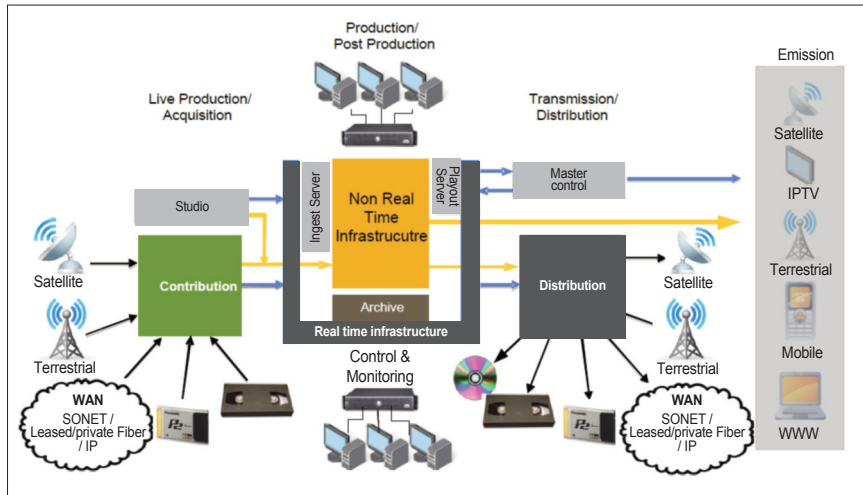
1. UHD TV 신호 처리 사슬과 에코시스템

새로운 영상 서비스에 대한 표준은 영상 포맷 표준의 제정으로부터 시작된다. 이는 서비스 가치 사슬(value chain) 또는 생태계(ecosystem) 측면에서

각 단계마다 영상 포맷이 필요한데, 일반적으로 앞쪽 단계로부터 뒤쪽 단계로 갈수록 각 단계에서 사용하는 영상 포맷의 화질이 줄어들게 된다. 이러한 서비스 가치 사슬의 특성을 고려하여, 앞쪽 단계의 영상 포맷을 베이스밴드(baseband) 영상 포맷이라고 한다. 본 절에서는 UHD TV 가치 사슬을 신호 처리 측면에서 UHD TV 신호 처리 사슬로 정의할 때, 각 단계에서 적용 가능한 영상 표준에 대해서 설명한다. 이해를 돕기 위해 먼저 UHD TV 신호 처리 사슬에 대해 설명한다. <그림 1>은 ITU의 UHD TV 현황에 대한 보고서인 BT.2246 [4]에서 표현하고 있는 UHD 서비스를 위한 참조 사슬(reference chain)과 각 단계에서 요구되는 최소 화질과 음질의 변화를 보여주고 있다. <그림 1>의 UHD 서비스 신호 처리 사슬은 통상 카메라를 통해 영상을 획득하는 획득(acquisition) 단계에서 시작하여, 다음으로 생방송의 경우에는 획득된 영상을 스위칭 또는 자막과 같은 간단한 효과를 추가하는 단순 후처리 제작(simple post-production) 또는 드라마와 같이 컬러 보정, 장면 전환 효과, 다양한 특수 효과, CG 효과 등을 생성하여 프로그램의 완성도를 높이는 복잡한 후처리 제작(complex post-production) 단계를 거친다. <그림 1>과 같이 후 처리가 많아질수록 화질저하가 많아지게 된다. 제작이 끝나서 방



<그림 1> UHD 서비스를 위한 프로그램 참조 사슬과 각 단계에서 요구되는 최소 화질/음질 [4]



〈그림 2〉 UHDTV 생태계 참고도 [5]

송 프로그램 배포 전 단계를 마스터링이 완료된 (Finished master) 단계라고 한다. ITU에서는 마스터링이 완료된 단계의 영상 포맷을 UHD 서비스의 베이스밴드(baseband) 영상 포맷으로 정의하고 있다[4].

Web 2.0 출현부터 ‘가치 사슬’이라는 고전적인 용어 대신에 ‘생태계(ecosystem)’라는 단어를 사용하고 있다. 두 용어의 가장 큰 차이는 생태계에서는 각 단계의 ‘참여와 공유’를 중요시 한다는 것이다. 〈그림 2〉는 SMPTE에서 제안한 UHDTV 생태계(ecosystem) 참고도(reference diagram)이

다[5].

〈그림 1〉과 유사하게 획득, 제작, 배포단계로 구성되어 있고, 마지막 단계를 ITU에서는 표현(presentation)이라고 한 반면 SMPTE에서는 송신(emission)이라고 정하고 있다.

본 고에서는 〈그림 1〉의 프로그램 참조 사슬을 기준으로 설명한다. UHD 프로그램 참조 사슬에서의 각 단계에 적용 가능한 UHD 영상 포맷 표준 현황을 〈표 1〉로 요약하였다.

획득 단계는 주로 카메라 출력 포맷이며, 일반적으로 각 카메라 회사의 고유 포맷이 주로 사용되므

〈표 1〉 프로그램 참조 사슬에서의 단계 별 UHD 영상 포맷 표준 현황

작업 단계	표준화 기구	표준명	비고
획득(Acquisition)	-	-	주로 회사별 자체 포맷을 사용, Baseband Image Format 보다 높은 화질 제공
제작(Production, Post Production, Finished master)	ITU-R	BT.2020	마스터링 완료 후 영상 포맷을 Baseband Image Format 이라고 함
	SMPTE	ST.2036-1	
배포(Distribution)	ATSC	A/341	Candidate Standard (2015.12월)
재현(Presentation)	HDMI	HDMI 2.0	

로 표준이 없다. 그러나 각 카메라의 고유 포맷은 이후 단계에서 사용되는 베이스밴드 포맷으로 손쉽게 변환이 가능하도록 설계되어 있으며, 변환 도구도 제공된다.

제작 단계의 포맷은 ITU-R과 SMPTE에서 정의하고 있으며, 거의 동일하게 정의되어 있다. 배포 단계의 포맷은 단말에 직접 전달되는 영상에 대한 포맷으로 각 서비스 별로 정의된다. 현재 참고할 수 있는 수준의 표준은 ATSC의 비디오 표준이 있다. 재현 단계의 포맷은 주로 디스플레이 장치에서 입력되는 영상 포맷이며 가장 널리 사용되는 포맷으로 HDMI 2.0이 있다. 본 고에서는 제작과 배포 단계에서 사용되는 포맷에 대해서만 설명한다. 먼저 제작 단계의 영상 포맷 표준인 ITU-R BT.2020과 SMPTE ST.2036-1 [5] 대해 설명하고 다음으로 배포 단계의 영상 포맷인

ATSC A/341 비디오 표준에 대해 설명한다.

2. 제작 단계의 UHD 영상 포맷 표준

제작 단계의 영상 포맷 표준은 ITU-R BT.2020과 ST 2036-1이 있다. 두 영상 포맷은 거의 동일하다. 차이는 ST 2036-1에서는 컬러계를 기존 HDTV에서 사용하던 컬러계(BT.709)를 선택적으로 추가 사용 가능하다는 것이다. 그리고 BT.2020과 ST.2036-1에서는 4K 화면해상도(3840x2160) 뿐만 아니라 8K 화면해상도(7680x4320)도 포함하고 있다. SMPTE에서는 4K 화면해상도를 UHDTV1이라고 하고, 8K 화면해상도를 UHDTV2라고 표현하고 있다.

참고로 UHDTV1은 UHD-1, UHDTV2는 UHD-2로 간략하게 표현하기도 한다.

〈표 2〉 BT.2020 영상 포맷 [3]

Parameter	Value		
영상의 공간적 특성(picture spatial characteristics)			
화면비(picture aspect ratio)	16:9		
화소수(가로 x 세로)	7680x4320		3840x2160
샘플링격자(sampling lattice)	직교(orthogonal)		
화소 가로세로 비(pixel aspect ratio)	1:1(square pixels)		
화소 구성순서(pixel addressing)	행(row)의 순서는 위에서 아래로 각 행의 화소는 왼쪽에서 오른쪽으로		
영상의 시간적 특성(picture spatial characteristics)			
화면 재생율(Hz)(Frame frequency)	120, 120/1.001, 100, 60, 60/1.001, 50, 30, 30/1.001, 25, 24, 24/1.001		
주사 모드(scan mode)	순차 주사(Progressive)		
시스템 컬러 계측(system colorimetry)			
주 컬러 및 참조 백색 (Primary colours and reference white)	컬러 좌표(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
신호 포맷(signal format) 및 디지털 표현(digital representation)			
Signal format	3종(R'G'B', Constant luminance Y'C'B'C'R, Non-Constant luminance Y'C'B'C'R)		
컬러 샘플링	3종(4:4:4, 4:2:2, 4:2:0)		
비트 심도	10 or 12 bit per component		

두 포맷이 거의 동일하므로, BT.2020의 영상 포맷을 중심으로 설명한다. BT.2020에서 정의한 영상 포맷을 <표 2>로 요약하였다. 화면비는 HDTV와 동일하게 16:9이며, 화면 해상도는 4K와 8K UHD를 모두 포함하고 있다. 화면재생율은 최대 120Hz까지 포함되어 있으며, 종래에 동기를 위해 사용하던 정수가 아닌 프레임율(정수/1001)도 허용하고 있다. 컬러는 HDTV에서 사용되던 BT.709 컬러계보다 넓은 범위의 색을 표현할 수 있도록 정의되어 있으며 이를 BT.2020 컬러계 또는 WCG(Wide Color Gamut)라고 한다. 제작 단계에서는 배포단계보다 높은 비트 심도와 컬러 샘플링을 사용하는데, 이를 위해 10bit, 12bit와 4:2:0, 4:2:2, 4:4:4를 사용할 수 있도록 정의되어 있다.

3. 배포 단계의 UHD 영상 포맷 표준

배포 단계의 영상 포맷 표준으로 ATSC 3.0의 비디오 신호 표준인 A/341에 대해서 설명한다.

A/341에서는 영상 포맷 대신 비디오 포맷이라는 용어를 사용하고 있다. 그리고, UHDTV 뿐만 아니라 기존 SDTV, HDTV의 비디오 포맷도 포함하고 있으나 본 고에서는 UHDTV의 비디오 포맷에 대해서만 설명한다. UHDTV 영상은 프로그레시브(progressive) 비디오만 사용 가능하다. ATSC에서 프로그레시브 비디오의 크기에 대해서 <표 3>과 같이 정의하고 있다.

제작 단계보다 비트 심도(최대 10bit)와 컬러 샘플링(4:2:0만 사용)이 낮게 설정되어 있다. 비디오 압축 표준으로는 HEVC를 채택하고 있고, 2계층(two layer) 구조의 스케일러블 부호화를 사용할 수가 있다. 스케일러빌리티는 공간(Spatial), HDR(High Dynamic Range), 3D의 3가지 스케일러빌리티를 사용할 수 있다. 공간 스케일러빌리티는 기본 계층(base layer)보다 1.5배, 2배, 3배 큰 화면(가로, 세로 각각)을 향상 계층(enhance layer)을 통해 제공할 수 있다. HDR 스케일러빌리티는 기본 계층으로 SDR 서비스를 제공하고 향상 계층

<표 3> ATSC 3.0 A/341 Progressive Video Format [2]

Parameter	Value	비고
Spatial resolution	2160라인 이하 각 라인은 3840 픽셀 이하 가로 세로 모두 8의 배수이어야 함	최대 화면 크기 3840x2160 (HD의 경우 1920x1088을 사용 : 입력이 1080라인인 경우 아래 8라인을 블랙으로 추가)
Picture rate	24/1.001, 24, 30/1.001, 30, 60/1.001, 60, 120/1.001, 120, 25, 50, 100	BT.2020, ST.2036-1과 동일
scan	Progressive only	
Pixel aspect ratio	1:1 (square pixels)	
Compression standard	HEVC Main 10 profile or HEVC Scalable Main 10 profile Level 5.2, Main Tier	
Color space container	BT.709 or BT.2020	
Color subsampling	4:2:0	
Bit depth	8bit or 10bit	

으로 HDR 서비스를 제공하는데 사용될 것으로 예상되며, 구체적인 사항은 현재 정의되어 있지 않지만 ATSC에서는 HDR 관련 사항이 완료된 후에 반영할 예정이라고 명시하고 있다. 3D 스케일러블리티는 HD 이상의 서비스에서만 적용 가능하며, 기준 시점(reference view)은 기본 계층으로 추가 시점(additional view)은 향상 계층으로 전달하도록 정의하고 있다.

III. UHD 영상의 화질 및 실감 효과

본 장에서는 UHD 영상 포맷의 각 요소(파라미터)가 어떻게 결정이 되었으며 어떠한 실감 효과 또는 화질 효과를 가지는지를 설명한다.

1. UHD 영상의 화면 크기 결정에 고려된 사항들

UHD와 HD의 가장 큰 차이는 공간 해상도의 차이에서 발생한다. II 장의 UHD 영상 포맷에 정의된 공간 해상도 파라미터 이외의 화면 재생율, 비트 심도, WCG와 같은 파라미터들은 HD 영상 포맷에서도 사용이 가능하며, 일 예로 ATSC 3.0 A/341에도 반영되어 있다.

UHD 영상의 공간 해상도는 HD 영상의 공간 해상도 결정에서 고려되었던 사항들을 기반으로 결정되었다. 따라서, HD 영상의 공간 해상도 결정에서 고려되었던 화면비, 시청거리, 시야각에 대해서 설명하며, UHD 영상의 공간 해상도가 제공하는 실감 효과 실험들도 소개한다.

1) 화면비가 16:9로 정해진 이유

HDTV의 화면비(aspect ratio)는 SMPTE의 회원 중에 한 사람이었던 K. Powers에 의해 제안된 화면비이다[7]. 제안 이유는 1980년대 가장 많이 사용되던 영상 포맷의 화면비인 1,331 (SDTV), 1,66:1



〈그림 3〉 16:9 화면비를 사용할 경우 1980년대 대표적인 영상 포맷과의 매핑 방법 [7]

(유럽 “flat” ratio), 1.85:1 (미국 “flat” ratio), 2.20:1 (70mm 필름), 2.39:1 (시네마 스코프)을 상호 변환을 위해, 이들 화면비의 기하평균인 1.78:1 (16:9)를 제안하였다. <그림 3>과 같이 16:9를 사용할 경우 2가지 변환 방식이 가능하다. 먼저 16:9 영상이 아닌 다른 화면비를 16:9 화면비로 변환할 때 <그림 3>의 가장 외각에 있는 1.78 사각형과 다른 화면비의 사각형의 중심을 일치시키고, 다른 화면비의 사각형이 1.78 사각형의 외각에 완전히 포함되도록 스케일링을 하는 것이다. 이렇게 하면 영상의 스케일은 변하더라도 내용적인 측면에서의 변화는 없게 된다. 역으로 16:9 화면비의 영상을 다른 화면비로 변경할 때는 <그림 3>에서 가장 안쪽의 1.78사각형과 다른 화면비의 사각의 중심을 일치시키고, 다른 사각형이 1.78:1 사각형이 포함되도록 하는 스케일링 방식을 사용하는 것이다. 이러한 이유로 16:9 화면비가 HDTV의 화면비로 결정되었으며, UHDTV에서도 계속 사용하게 된 것이다.

2) 시청 거리와 시야각

시야각(Viewing Angle)은 화면의 세로 크기(H)에 대한 상대적인 시청거리에 의해서 결정된다. 역으로 시청거리를 시야각과 스크린 크기로부터 계산할 수 있다. HDTV의 경우 3H(H는 디스플레이 화

면의 세로 크기)의 시청거리에서 30도 시야각에 최적화되어 설계가 되었다.

ITU-R 영상 표준에는 <표 4>와 같이 여러 개의 시청거리가 정의되어 있다.

최적 시청거리(OVD: Optimal Viewing Distance)는 영상 시스템 디스플레이의 한 개 화소(pixel)가 망막(retina)에서 1/60도(1 arc-minute)에 해당하는 영역에 매핑되는 시청거리로 BT.1845에서 정의하고 있다[8]. 이는 인간의 공간 주파수에 대한 식별 한계에 해당하는 각 해상도(angular resolution)를 60cycle/degree로 가정하기 때문이다. 각 해상도에 대해서는 부록에서 자세히 설명한다. OVD에서 시청할 때의 시야각을 최적 수평시야각(OHVA: Optimal Horizontal Viewing Angle)이라고 한다. BT.1845에서는 OVD와 OHVA를 계산하는 공식을 수식 (1)과 수식 (2)와 같이 제공하고 있다.

$$d = \frac{1}{v \cdot \tan\left(\frac{1}{60} \text{ degree}\right)} \quad (1)$$

$$\theta = 2 \cdot \arctan\left(\frac{a}{2bd}\right) \quad (2)$$

여기서, d는 OVD를 θ 는 OHVA를 의미하며, v는 화면의 세로 화소수, a와 b는 화면비(a:b)를 의미한다. 따라서, 디스플레이의 화면 크기에 따른 최적시

<표 4> ITU-R 표준에서의 시청거리의 종류

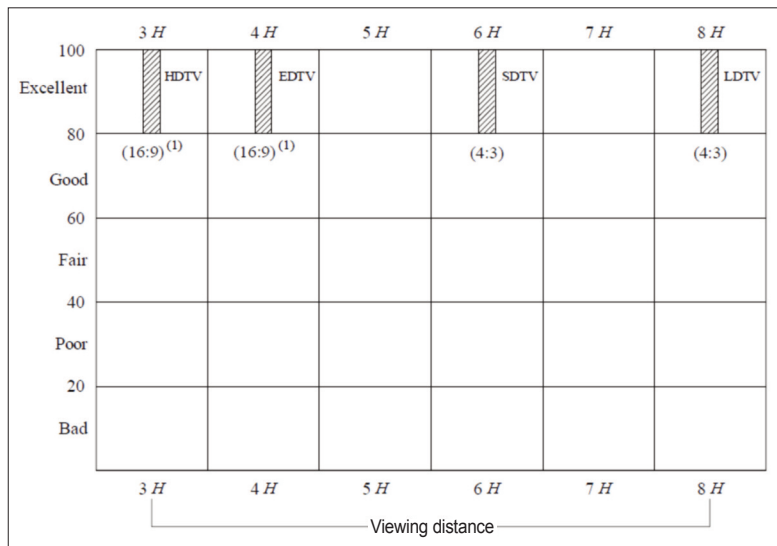
종류	의미	표준	HD, UHD-1, UHD-2 시청거리(시야각)
최적 시청거리 (OVD: Optimal Viewing Distance)	한 픽셀이 1/60도 대응되는 시청거리	BT.1845	3.2H(31o), 1.6H(58o), 0.8H(96o)
설계 시청거리 (DVD: Design Viewing Distance)	영상 시스템이 규격에서 정의한 화질 요구 조건을 만족하도록 설계되었는지를 평가하는 시청거리	BT.1127	3H(30o), 1.5H(60o), 0.75H(120o)
선호 시청거리 (PVD: Preferred Viewing Distance)	시청 피로까지 고려할 때 선호되는 시청거리	BT.1127	HD 측정결과만 있음 (BT.1127 Annex 1)

청거리는 d 와 H 의 곱($d \times H$)이 된다.

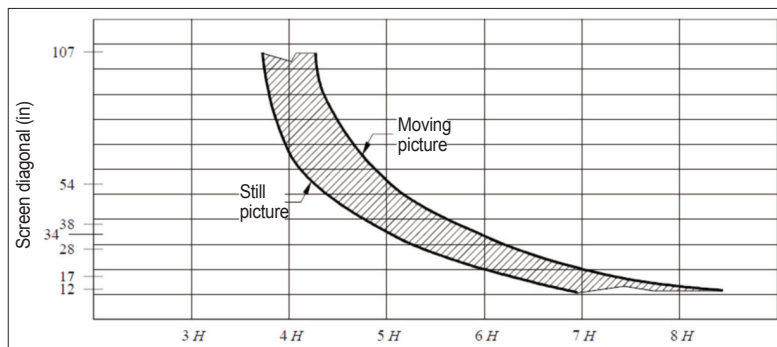
설계 시청거리 (DVD: Design Viewing Distance)는 영상 시스템을 설계할 때 또는 설계를 만족하는지를 확인하기 위한 화질평가를 수행할 때 사용하는 시청거리이며, BT.1127에서는 DVD에서 ITU-R BT.500의 DSCQS(Double Stimulus Continuous Quality Scale) 화질 평가 방법으로 화질을 평가할 때 항상 아주 우수(excellent)한 결과를 보여주는 것을 TV 방송 시스템의 화질 조건으로 정의하

고 있다[9]. <그림 4>는 HDTV, EDTV, SDTV, LDTV의 화질 조건을 보여주고 있다. DSCQS 화질 평가 방법은 레퍼런스(일반적으로 원본) 영상 대비 상대적인(relative) 화질을 측정하는 방법이므로, TV 방송의 절대적인 화질이 아주 우수(excellent, MOS 4.0이상에 해당)해야 한다는 것으로 오해하지 않도록 주의가 필요하다.

OVD는 영상 시스템이 제공할 수 있는 최고 화질을 볼 수 있는 시청거리이다. 그러나 반드시 이 시



<그림 4> 방송 시스템별 DVD와 화질 조건 [9]



<그림 5> PVD 측정 실험 결과 예 [9]

청거리에서 시청을 하라는 것은 아니다. 장시간 시청을 할 경우 시각 피로도가 발생한다. 이러한 피로도를 고려할 때 편하게 시청할 수 있는 선호 시청거리(PVD: Preferred Viewing Distance)를 측정한 실험 결과가 <그림 5>와 같이 BT.1127 [9]에 소개되어 있다. 시각 피로도는 영상의 내용(content)과 시청 조건(화면 밝기, 주위 조명) 등에 따라 변화하기 때문에 정확하게 측정하는 것은 어렵다. <그림 5>에서와 같이 PVD는 OVD보다는 먼 거리이고, 영상이 복잡해질수록 먼 거리를 선호하는 것을 알 수 있다. <그림 5>는 HD영상에 대한 PVD 결과이며, 아직 UHD 영상 표준에서는 UHD 영상의 PVD에 대한 실험 결과는 포함하고 있지 않다.

앞에 설명한 바와 같이 DVD는 OVD보다 조금 가깝게 정의되어 있다. 즉 DVD에서의 각해상도가 OVD의 각 해상도보다 높다. 따라서, 한 화소가 1/60도에 대응되게 설계된 시스템(OVD를 사용)은 DVD에서 MOS 4.0 조건(DVD를 사용)을 항상 만족한다는 것을 의미한다.

UHD 화면 크기는 HDTV 화면 크기를 기반으로

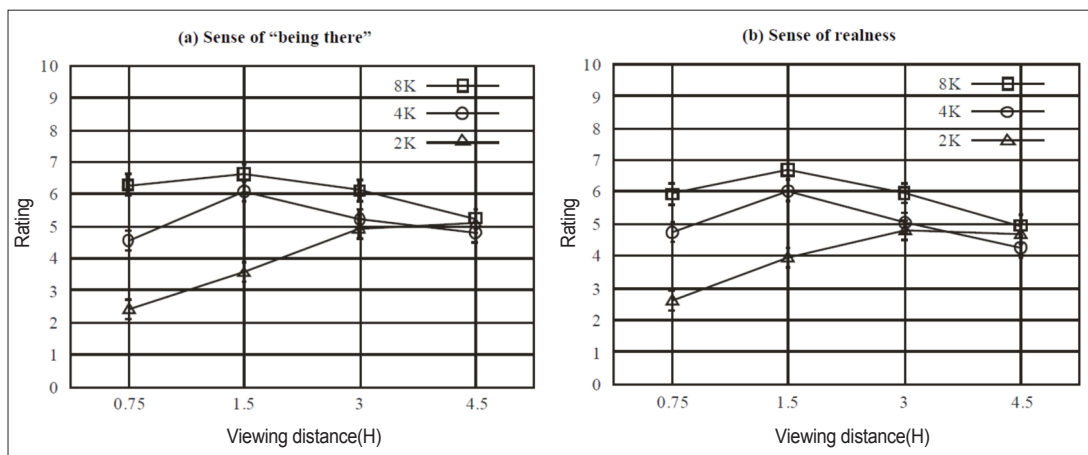
다음과 같이 설계되었다.

HDTV는 3H 시청거리에서 시야각 30도 범위에 대해 사실감을 제공하도록 설계가 되었다. 따라서, HDTV 화면의 가로 크기를 2배로 하면서 시청 거리를 유지하면 시야각은 2배인 60도가 된다. 즉 1.5H 시청거리에서 시야각 60도가 된다. 화면비는 16:9를 유지해야 하므로 세로 크기도 2배로 하여 화면 크기가 3840x2160으로 결정되었다. .

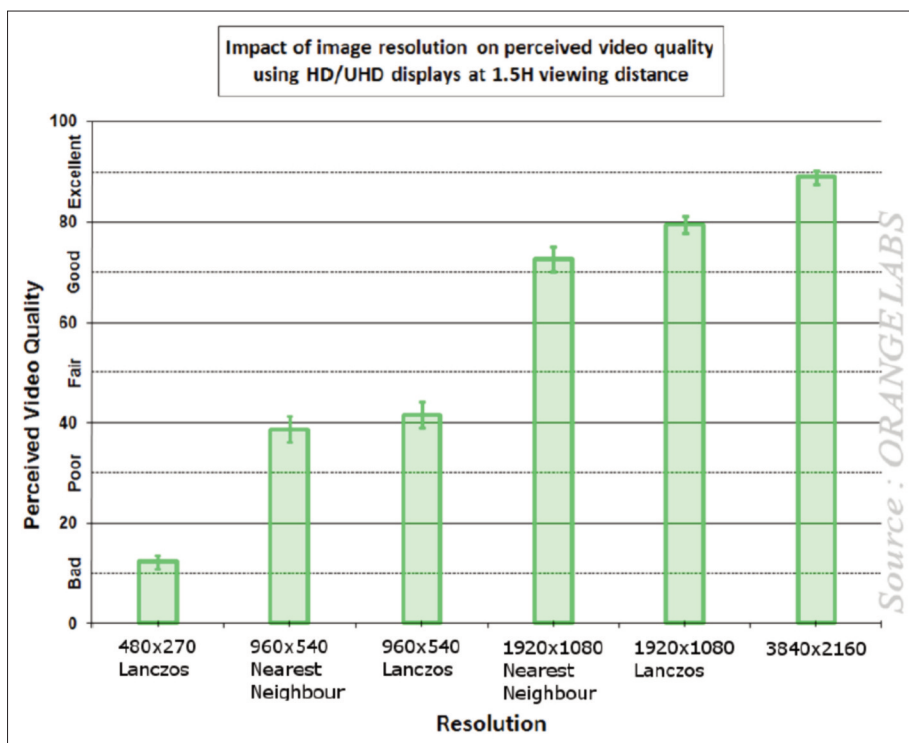
UHDTV의 화면 크기가 HDTV의 화면 크기의 시야각과 시청거리를 기반으로 설계되었으므로, HDTV 시스템의 화질 요구조건인 MOS 4.0을 UHDTV에서도 만족하는 것으로 유추 해석할 수 있다. 또한, OVD와 DVD의 차이가 크지 않으므로 UHDTV의 한 화소가 1/60도에 대응하는 것으로 유추 해석할 수 있다[4].

3) 시청거리에 따른 실감 효과

BT.2246 [4]에는 8K, 4K, 2K 영상에 대한 시청거리에 따른 실감 효과를 측정한 실험 결과를 <그림 6>과 같이 소개하고 있다. <그림 6>에서 시



<그림 6> 화면 크기와 시청거리에 따른 실감효과 [4]



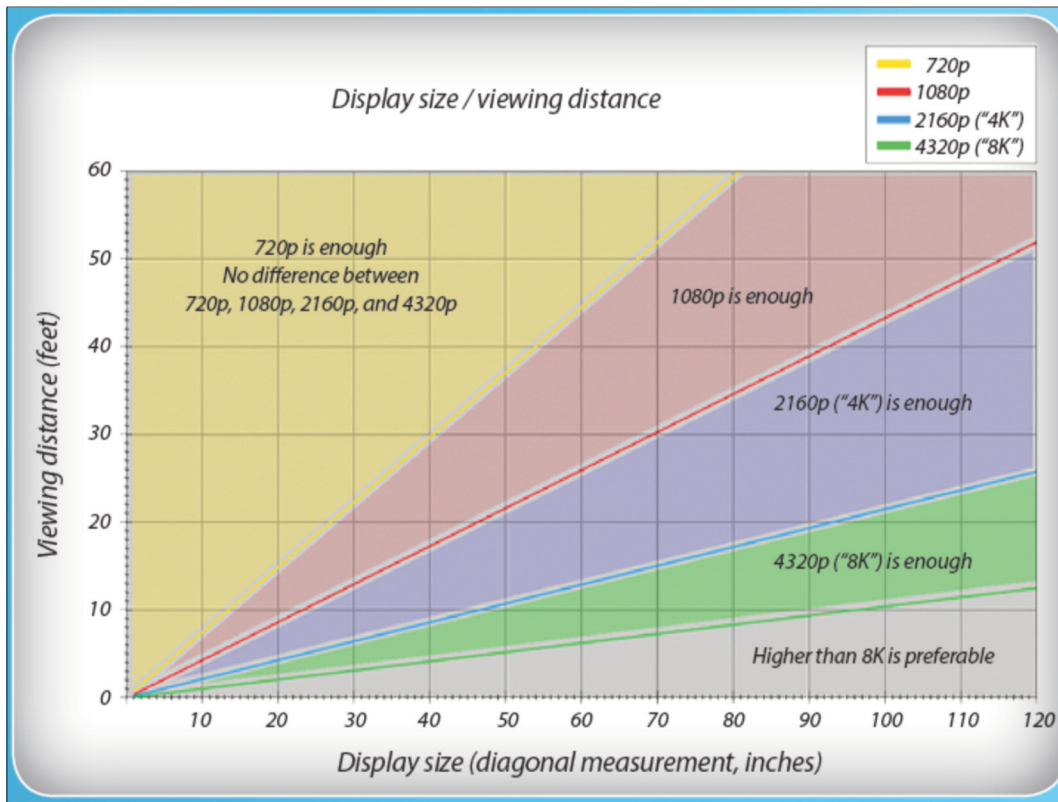
〈그림 7〉 1.5H에서의 다양한 화면 크기에 대한 화질 측정 결과 [4]

청거리가 멀어질 수로 2K(HD) 영상에 비해 4K와 8K 영상의 현장감(sense of “being there”)과 실제 감(sense of realism) 향상 폭이 모두 감소하는 것을 알 수 있다. 4K의 경우 DVD (1.5H)에서 실감효과가 가장 높은 것을 보여주고 있다. 그리고 시청 거리가 멀어질수록 HD 영상과 4K, 8K 영상의 실감 효과 차이가 줄어드는 것을 알 수가 있다.

BT.2046에서는 1.5H에서 〈그림 7〉과 같은 다양한 화면 크기 영상에 대한 화질을 측정한 결과도 소개하고 있다. 이 실험에서는 4K 디스플레이를 사용하였으며, 디스플레이의 스케일링 효과가 실험에 포함되지 않도록, 다양한 해상도 실험 영상을 먼저 4K 실험 영상으로부터 Lanczos 또는 Nearest Neighbour 방법으로 다운 샘플링 한 후, Lanczos

방법으로 모두 4K 해상도로 업 샘플링 한 후 실험한 결과이다. 2K(1920x1080 Lanczos)와 4K의 화질 차이가 크지 (MOS 0.5 이내) 않음을 볼 수 있다. 이와 같이 2K로부터 4K로의 화면 크기 변경만으로는 화질 이득이 크지 않으므로, HFR(High Frame Rate), HDR(High Dynamic Range), WCG 등이 UHD 영상 포맷에 반영되게 되었다.

그리고 실제 시청 거리는 디스플레이의 스크린 크기에 의해서 결정된다. 일반 가정에서 TV 시청거리는 7feet(2.1m)로 흑백, 컬러, HDTV로 TV 시스템의 변화에도 불구하고 변하지 않고 있다. 7feet에서 4K의 최적 화질을 제공하기 위해서는 1.5H가 7feet보다 커야 하므로 약 112인치(2.5m x 1.4m)이상의 디스플레이가 필요하다. 그러나 OVD, DVD는 UHD의



〈그림 8〉 디스플레이 크기와 시청거리에 따른 적정화면 해상도 [10]

화질을 최적으로 볼 수 있는 시청 거리를 의미하지 반드시 그 거리에서 시청 또는 그 시청 거리에 적합한 디스플레이의 스크린 크기를 구입하라는 것은 아니다. SMPTE에서는 시청거리와 화면 크기별 유효 공간 해상도의 관계를 〈그림 8〉과 같이 공개하고 있다[10]. 4K의 경우 10feet(3m) 거리에서 시청할 때 25인치 이상의 디스플레이를 이용하여 시청할 경우 2K와 화질 차이를 인식할 수 있다는 것을 보여준다. 향후 UHD TV를 구입할 때는 먼저 구입 후 시청할 거리가 얼마인지를 확인하고, 이 거리를 기준으로 최소한으로는 〈그림 8〉의 4K 해상도가 유효한 스크린 최소 크기 이상으로 구입이 필요하며, 최적 시청거리(ODV)에 대응하는 스크린 최소 크기와 유사한 크기

의 TV를 구입하면 좋을 것으로 생각된다.

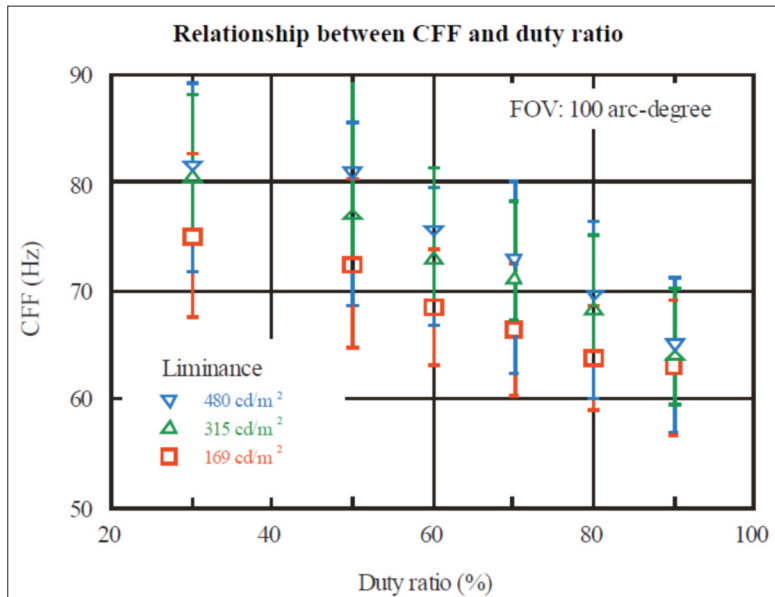
2. UHD 영상의 시간 해상도결정에 고려된 사항들

디스플레이의 크기가 커지면 2가지 문제가 발생할 가능성이 높게 된다. 첫 번째는 평면디스플레이의 특성으로 인해 발생하는 형광등과 같이 화면이 계속 깜박거리는 것처럼 느껴지는 플리커링 왜곡(flickering artifact)의 발생이다.

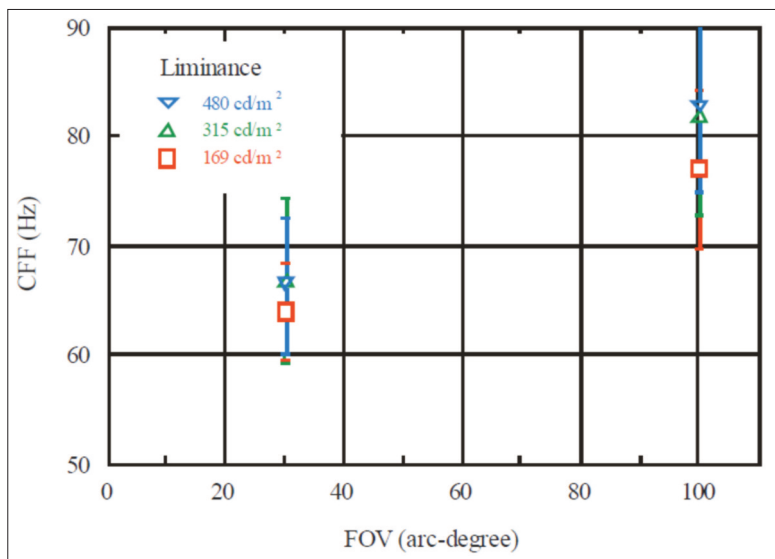
평면 디스플레이는 픽셀 소자특성상 신호가 표시되는 시간(on time)과 다음 신호를 표시하기 위해 신호를 표시하지 않는(off time)시간이 필요하다.

전체 시간 중에 신호가 표시되는 시간의 비를 듀티비율(Duty Ratio)라고 한다. BT,2246 [4]에서는 <그림 9>와 같이 임계 플리커링 주파수(CFF:

Critical Flickering Frequency)와 듀티비율과의 관계를 측정한 실험 결과를 소개하고 있다. CFF는 플리커링 왜곡이 보이지 않기 시작하는 주파수를 의



<그림 9> CFF와 Duty ration 관계 [4]



<그림 10> CFF와 FOV의 관계 [4]

미한다.

듀티비율이 적을수록, 밝기가 높을수록 더 높은 CFF가 필요한 것을 알 수 있다. BT.2046 [4]에서는 화면해상도와 CFF의 관계에 대한 실험 결과도 <그림 10>과 같이 소개하고 있다. <그림 10>에서는 2K (FOV 30도)와 8K (FOV 10도)에 대한 실험 결과만 포함되어 있다. 4K는 중간 결과를 가질 것으로 유추 해석할 수 있다. 이 실험 결과로부터 화면 해상도가 커질수록 더 높은 CFF가 필요한 것을 알 수 있다.

디스플레이의 화면크기가 커지면 움직임이 부자연스럽게 느껴지는 저터 왜곡(judder artifact)이 발생하기 쉽게 된다. 예를 들어 설명하면 1초에 디스플레이 가로 길이만큼 이동하는 영상이 있다고 할 경우, 이는 2K의 경우 시야상에서 30도 이동에 해당하고 4K에서는 60도 이동에 해당하며 이는 2배 빠르게 느껴지는 것이다. 따라서 카메라 렌즈상에 표현되는 영상을 2K로 촬영할 때와 4K로 촬영할 때 상대 속도가 달라지게 되므로, 4K 영상에서 저터 왜곡이 발생할 가능성이 높아지게 된다. 화면 재생율을 UHD 영상 포맷 표준에서 정의한 120fps로 높이더라도 매우 빠른 움직임은 장면에서는 여전히 저터 왜곡이 발생한다. 일 예로 별새의 날개 움직임을 선명하게 촬영하기 위해서는 1000fps 이상이 필요하다.

영화는 큰 크기의 스크린과 24fps를 사용하므로 저터 왜곡 문제가 발생할 가능성이 매우 높다. 그래서 영화 제작에서는 이 저터 현상을 줄이기 위해 촬영 단계에서 카메라의 셔터 앵글(평판 디스플레이의 듀티비율과 유사한 개념, on time을 셔터 open 타임으로 대응)을 조정하여 모션블러(motion blur)가 발생하도록 촬영하는 기법을 사용해 오고 있다. 셔터 앵글과 모션블러의 관계는 [11]을 참고하기 바란다. 영화에서도 HFR을 도입하려고 하고 있다.

2012년 개봉된 영화 Hobbit에서는 보다 좋은 화질을 관객들에게 제공하기 위해 4K 해상도와 48fps를 사용하여 제작하였으나, 오히려 관객들인 화질이 영화같지 않고 게임 같다는 불평이 많았다. 이는 48fps를 통해 각 장면의 모션블러가 크게 줄어들어 영화같은 부드러운 느낌이 줄었기 때문이다. 영화에서 모션블러는 저터 왜곡을 줄이는 것 뿐만 아니라, 관객의 스토리 몰입도를 높이기 위해 중요하지 않은 배경 또는 물체에 일부러 모션블러가 발생하도록 제작에서 활용되고 있으며 또한 관객들에게 영화 느낌을 주는 중요 요인 중에 하나이다.

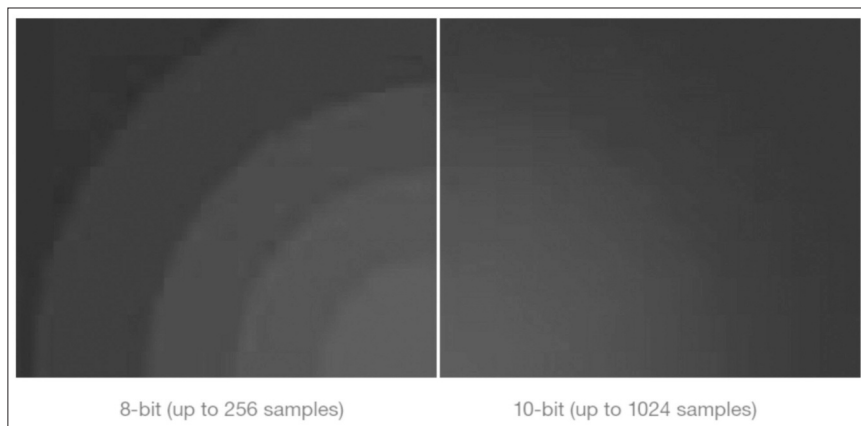
이처럼 CFF와 저터 왜곡을 줄이기 위해 높은 프레임 율이 필요하다. HDTV의 경우 디스플레이가 커질수록 발생하는 CFF문제를 해결하기 위해서 화면율을 높이는 FRUC(Frame Rate Upconversion) 기술이 사용되고 있으므로, UHDTV의 CFF 문제해결에도 FRUC 기술로 해결이 가능할 것으로 생각된다. 디스플레이의 FRUC가 저터 문제를 줄이는데 기여를 할 수 있으나, 근본적인 해결 방법이 될 수는 없다. 화면율을 높여 촬영을 하면 빠르게 움직이는 장면에서 보다 선명한(모션블러가 적은) 영상을 얻을 수 있는데 비해 FRUC는 모션블러가 있는 영상으로부터 중간 영상을 생성하므로 움직임이 부드러워지게 할 수는 있으나 모션블러를 줄일 수는 없다. 따라서 화면율을 높이는 것이 UHDTV에서 필요하다. 에릭슨에서 2015년에 발간한 UHDTV 백서(White Paper) [12]에서는 스포츠 장르에서는 60fps이상의 HFR(High Frame Rate)이 필요하나, 드라마 또는 영화와 같이 모션블러를 의도적으로 사용하는 장르에서는 HFR은 필요하지 않으므로, UHDTV 서비스에서 화면 재생율은 하나로 통일되지 않고 다양한 화면 재생율이 사용될 것으로 전망하고 있다.

3. UHD 영상 포맷의 기타 파라미터 결정에 고려된 사항들

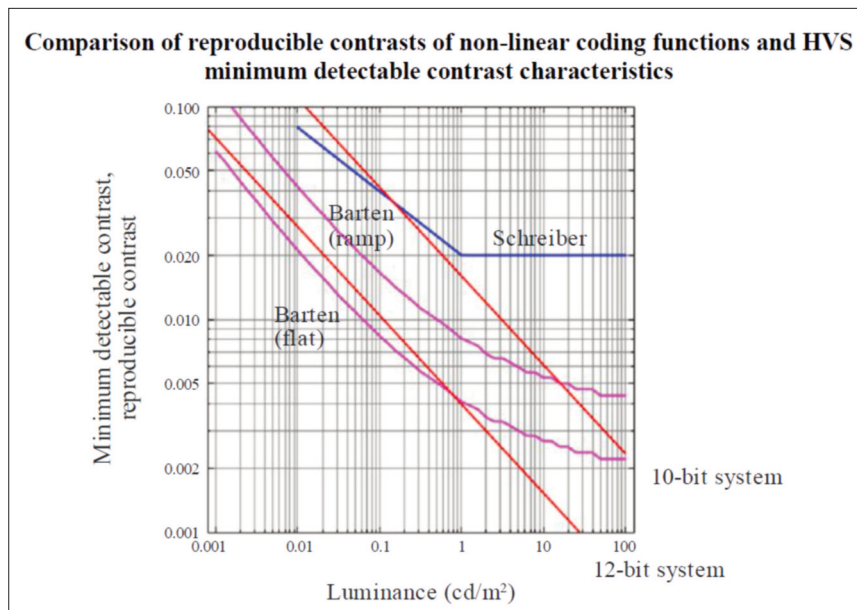
1) 비트 심도

2013년 5월에 DVB에서는 UHD Fact finding 워크숍을 개최하였다. 세미나의 주된 내용은 공간해상

도 개선만으로는 UHDTV가 HDTV보다 제공하는 화질 및 실감 개선 효과가 적기 때문에 즉, UHDTV가 성공하기에는 충분하지 않으므로 다른 사항도 고려가 필요하다는 것이었다. BT.2020에서는 UHDTV 영상의 비트 심도를 10bit 이상으로 정하고 있다. 이는 1990년 초부터 영화 제작에서는 <그림 11>과 같이



<그림 11> 영상의 비트 심도와 밴딩 효과 [12]



<그림 12> 비트 심도와 HVS 최소 감지 콘트라스트 [4]

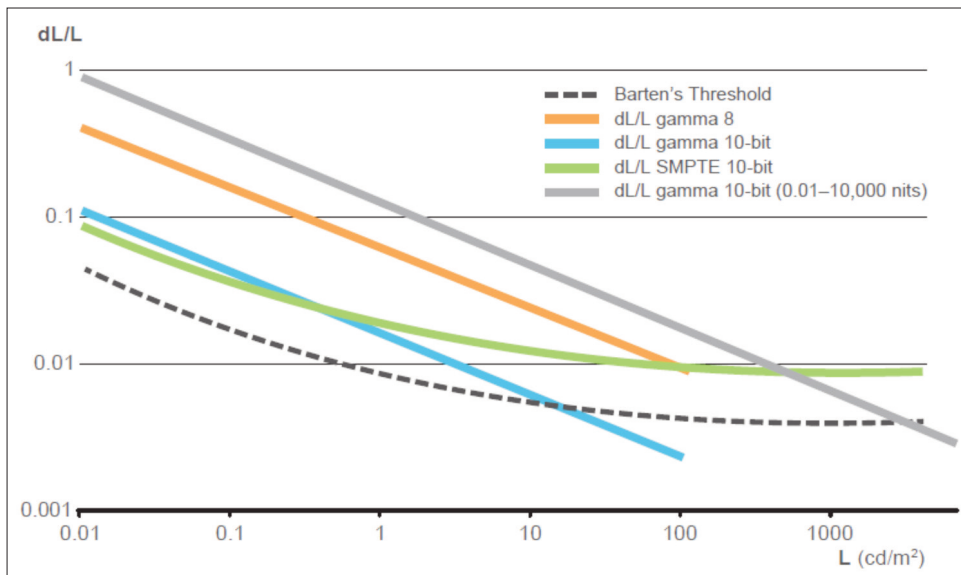
밴딩(banding or contouring) 효과를 피하기 위해 10bit 이상을 사용하고 있었기 때문이다.

〈그림 12〉는 배경의 밝기에 따른 최소 감지 콘트라스트 관계를 보여준다. 이 실험은 Weber의 법칙에 대한 실험 결과로 해석할 수 있다. 눈에 자극 신호가 감지되기 위한 최소 자극 신호와 배경신호의 차이, 즉 최소 감지 콘트라스트를 측정한 결과이다. 3가지 최소 감지 콘트라스트 측정 값을 보여주고 있으며, Schreiber이 측정한 실험 결과와 Bartern이 측정한 2개의 값(threshold)을 보여주고 있다. Schreiber의 측정 값은 Weber의 법칙에서 가정한 콘트라스트 상수 조건이 모든 밝기에서 성립하는 것이 아니고 어느 정도 밝기 이상에서만 성립한다는 것을 보여주고 있다. Schreiber의 측정값을 기준으로 볼 경우 10bit 비트 심도를 사용하면 대부분의 밝기에서 밴딩 효과가 발생하지 않고, 12bit의 비트 심도를 사용할 경

우 밴딩 효과가 거의 발생하지 않는다고 해석할 수 있다.

2) HDR (High Dynamic Range)

인간의 시각은 10^{-6} 에서 10^6 nits 범위의 밝기 범위를 인식할 수 있는데 비해, HDTV 표준에서는 제정 당시 CRT 디스플레이도 지원을 하였기 때문에 CRT와 동일하게 0.1에서 100nit의 밝기 범위를 표현하도록 정해졌다[13]. 이를 SDR(Standard Dynamic Range)이라고 한다. SDR의 경우 밝은 부분과 어두운 부분이 있으면 이를 동시에 표현할 수 없다. 따라서, HDTV에서는 밝은 부분과 어두운 부분이 동시에 있는 장면에서는 실감 효과가 크게 줄어들게 된다. UHDTV에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 100,000:1의 명암비를 지원하는 HDR을 사용할 예정이다[13]. ATSC A/341에서는 10bit의 비트 심도를 사용하기로 결정되었는데, 이를 그대



〈그림 13〉 밝기 범위와 콘트라스트 민감도 [12]

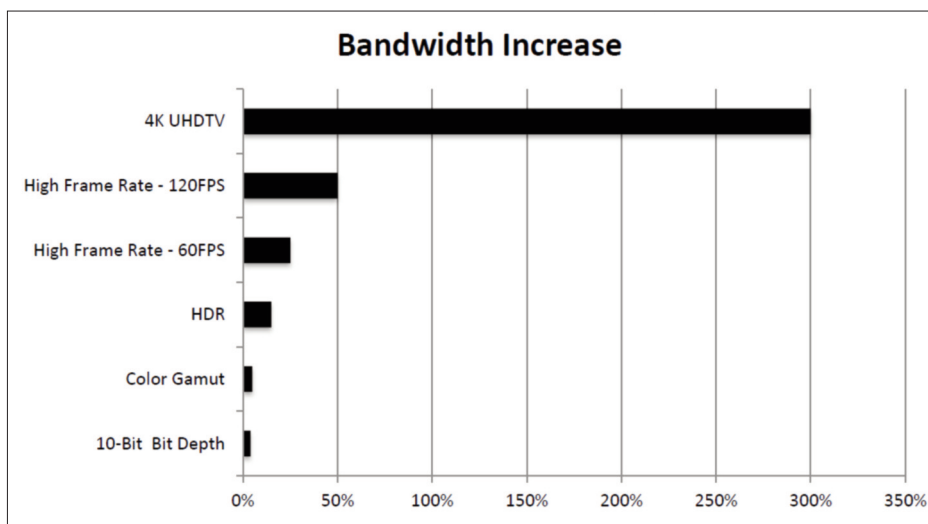
로 HDR에 사용할 경우에는 <그림 13>과 같이 बैं딩 문제가 다시 발생하게 된다.

<그림 13>에서 맨위에 있는 그래프는 10bit 비트 심도와 기존 HDTV의 감마를 사용하면서 DR을 0.01에서 10,000nit로 증가할 경우에 콘트라스트 민감도를 보여주고 있다. <그림 13>에서 점선은 Barten의 측정값을 사용하고 있다. 따라서, HDR을 지원하기 위해서는 DR을 증가시키면서 बैं딩 문제를 피하는 것이 필요하며, 이를 위한 변환함수가 필요하다. 자세한 사항은 본 고와 함께 게재되는 [13]을 참고하기 바란다.

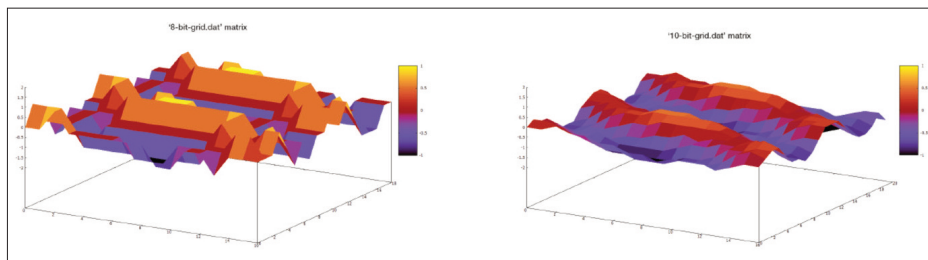
4. UHD 영상 포맷의 파라미터 별 필요 증가 비트율

ATSC 3.0 의장인 Rich Chernock은 2015년 ITU 심포지엄에서 UHDTV 영상 포맷의 파라미터 별로 HDTV 대비 필요한 비트 증가율을 <그림 14>와 같이 발표하였다[14].

<그림 14>에서 10bit 비트 심도 증가에 필요한 비트율이 크지 않음을 알 수 있다. 단순히 산술적으로 비트심도가 8bit에서 10bit로 변경될 경우 25%의 데이터 증가가 발생한다. 그러나, 비디오 압축 측면



<그림 14> UHDTV 영상 포맷 파라미터별 필요 증가 비트율 [14]



<그림 15> 10bit와 8bit의 예측 에러 비교 [12]

에서는 10bit 비트 심도를 사용할 경우 <그림 15>와 같이 참조 에러를 더 잘 표현할 수 있으므로, 보다 좋은 화질의 참조 영상을 화면간 예측에서 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 이유로 10bit 비트 심도로 인한 압축 영상에서의 비트율 증가가 높지 않은 것이다[12].

IV. 결론

본 고에서는 UHD 방송에 대한 이해를 돕기 위해 UHDTV 영상 포맷을 UHD 영상 포맷 표준 현황을 통해 설명하였고 영상 포맷의 각 파라미터들이 어떻게 결정되었고 화질 또는 실감 효과 측면에서의 어느 정도의 영향을 갖는지에 대해서 설명하였다. 특히, UHDTV 영상 포맷의 공간 해상도 결정에서 HDTV 영상 포맷 결정 과정에서 고려되었던 최적

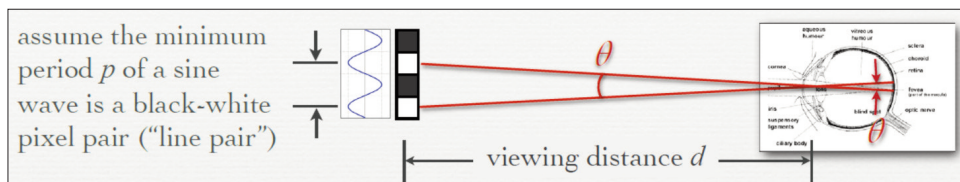
시청거리, 설계시청거리, 각해상도 등에 대한 가정(assumption)이 동일하게 적용되었음을 설명하였다. 그리고 UHDTV 영상 포맷 표준화 과정에서 공간 해상도 증가만으로는 UHDTV 서비스와 HDTV 서비스를 차별화하는데 충분하지 않다고 공감되어서, 화면 재생율, 비트 심도, HDR, WCG와 같은 다른 파라미터들에 대한 개선도 있음을 설명하였다. 그리고 각 파라미터가 가지는 실감과 화질 효과 설명을 위해 영상 포맷 표준에 부록과 표준화 기구의 보고서에 포함된 실험 결과들에 대해 소개하였다. 그러나 소개한 실험 결과는 일부 파라미터에 대한 결과만 있고 또한 많은 제한 조건하에서 수행된 실험 결과였다. UHDTV 영상 포맷이 거의 확정이 되었으므로, UHDTV 영상 포맷에 대한 보다 정확한 실감 및 화질 효과에 대한 평가 실험이 필요하다고 생각한다.

부록

A. 각 해상도(Angular Resolution)와 공간 주파수 민감도(spatial frequency sensitivity)

각 해상도의 단위로는 CPD(cycle per degree)가 사용된다.

<그림 A-1>은 사인파(Sinewave)의 한 사이클을 흑, 백 2개의 픽셀 쌍(길이 2p에 해당)으로 표현된다고 가정할 때, 이 한 사이클이 눈의 망막에서 차지하는 각도를 측정하는 모델이다. 이 값의 역수, 즉 망막의 1도에 몇 개의 사이클이 존재하는지를 CPD라고 한다. 이는 다음과 같은



<그림 A-1> CPD(Cycle Per Degree) 계산을 위한 모델 [15]

수식에 의해 계산할 수 있다.

$$\theta = 2 \arctan(p/2/d) \quad (A-1)$$

$$CPD = 1/\theta \quad (A-2)$$

여기서 p 는 디스플레이의 화소와 화소사이의 피치 거리를 의미하며, 근사적으로 스크린의 세로 길이(H)와 세로픽셀수(v)의 비인 $p = H/v$ 로 계산된다.

또한 <그림 A-1>의 모델에서와 같이 망막에서 각도와 스크린의 각도는 대응관계에 있다. 이를 이용하면 망막의 1도에 해당하는 픽셀의 개수를 근사적으로 수식 (A-3)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{Pixels per degree} = 180/\pi * d * r \quad (A-3)$$

여기서, $\arctan(x) \approx x$ 의 근사(approximation)관계를 적용하였으며, r 은 p 의 역수이다.

이와 같이 CPD와 PPD는 수식 (A-2)와 수식 (A-3)과 같이 정확하게 같은 값은 아니지만, CPD에 PPD의 정의에 사용된 근사 가정을 적용하면 PPD(Pixel Per Degree)

를 CPD의 근사값으로 사용할 수 있다.

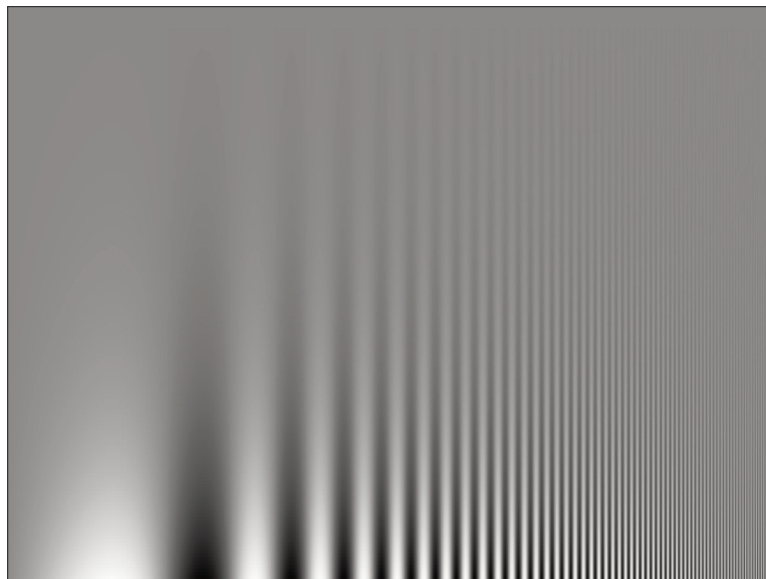
영상 표준에서는 이러한 가정을 전제로, 60CPD는 60PPD에 해당, 즉 1pixel per 1arc-minute에 해당한다고 설명하고 있다.

다음으로 왜 한 화소가 1/60도에 대응하는 것을 기준으로 OVD가 결정되었는지를 설명한다.

인간의 공간 주파수 민감도(spatial frequency sensitivity)를 측정하기 위해 <그림 A-2>와 같은 Campbell-Robson Chart가 사용된다. 그림에서 좌에서 우측으로 공간 주파수가 증가되고, 위에서 아래로 밝기가 증가한다. 인간의 공간 주파수 민감도는 밝기에 따라 변화한다. 이를 Weber는 수식 (A-4)와 같이 콘트라스트로 정의하였다.

$$\text{Weber contrast} = (I - I_b) / I_b \quad (A-4)$$

여기서 I_b 는 배경의 밝기를 의미하고, I 는 자극의 밝기를 의미한다. Weber는 자극을 인식하기 위해서는 수식 (A-4)가 일정 크기 이상이어야 하고 이 값을 상수라는 Weber의 법칙을 제안하였다.



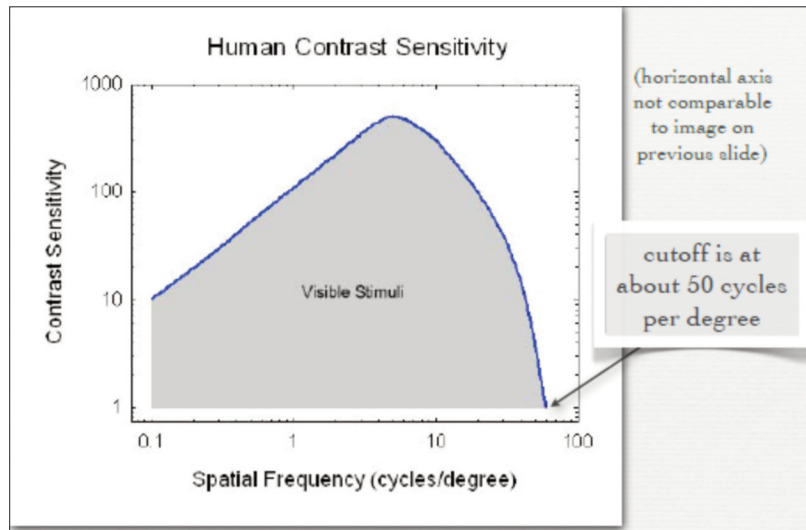
<그림 A-2> Campbell-Robson Chart [15]

수식 (A-4)부터 배경의 밝기가 어두운 경우에 더 민감함을 알 수 있다.

〈그림 A-2〉를 이용하여 인간의 공간 주파수 민감도에 해당하는 콘트라스트 민감도(contrast sensitivity)를 측정한 결과는 〈그림 A-3〉과 같다.

〈그림 A-3〉에서와 같이 인간은 최대 50cycles/degree

까지 구별할 수 있으며, 그 이상은 구별할 수 없다는 것을 의미한다. 인간의 콘트라스트 민감도 역시 영상의 내용과 시청 조건에 영향을 받으므로, 〈그림A-3〉의 최대값보다 조금 더 높은 60cycles/degree를 표준에서는 인간의 콘트라스트 민감도의 한계라고 가정하고 적용하고 있다.



〈그림 A-3〉 공간 주파수에 대한 인간의 콘트라스트 민감도 [15]

참고 문헌

- [1] 방통위·미래부, "지상파 UHD 방송 도입을 위한 정책방안", 12.29. 2015 (온라인: https://www.kdi.re.kr/infor/ep_view.jsp?num=149986)
- [2] ATSC Candidate Standard "ATSC Candidate Standard: Video (A/341)," Dec. 2015. (온라인: <http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/12/S34-168r3-Video.pdf>)
- [3] ITU-R Recommendation BT.2020-2, "Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange," Oct. 2015.
- [4] ITU-R Report BT.2246-5, "The present state of ultra-high definition television", Jul. 2015.
- [5] SMPTE Report, "UHDTV Ecosystem Study Group Report," Mar. 2014. (온라인: <https://www.smpete.org/standards/reports>)

- [6] SMPTE Standard, ST.2036-1, "Ultra High Definition Television - Image Parameter Values for Program Production," 2013.
- [7] 온라인: <https://en.wikipedia.org/wiki/16:9>
- [8] ITU-R Recommendation BT.1845-1, "Guidelines on metrics to be used when tailoring television programmes to broadcasting application at various image quality levels, display sizes and aspect ratios," 2010.
- [9] ITU-R Recommendation BT.1127, "Relative quality requirements of television broadcast system," 1994.
- [10] SMPTE, "UHDTV Ecosystem reference diagram," 2014.
- [11] 온라인: <http://www.red.com/learn/red-101/shutter-angle-tutorial-motion-blur>
- [12] Ericsson. UHDTV White Paper, Nov. 2015.
- [13] 강정원 외, "HDR 신호를 위한 광전/전광변환 기술 및 표준화 동향", 한국방송미디어공학회지, 2016년 1월.
- [14] Rich Chernock, "Next Generation DTV: ATSC 3.0," ITU Symposium 2015.
- [15] Marc Levoy, Sampling and Pixels, 2014 (온라인: <https://graphics.stanford.edu/courses/cs178/lectures/sampling-22apr14.pdf>)

필자 소개



정 세 윤

- 1995년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
- 1997년 2월 : 인하대학교 전자공학과 석사
- 2014년 8월 : KAIST 전기및전자공학과 박사
- 1996년 12월 ~ 현재 : ETRI 영상미디어연구실 책임연구원
- 주관심분야 : 실감방송, 비디오 코딩



김 휘 용

- 1994년 8월 : KAIST 전기및전자공학과 학사
- 1998년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 석사
- 2004년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 박사
- 2003년 8월 ~ 2005년 10월 : ㈜애드팩테크놀러지 기술연구소 멀티미디어팀장
- 2005년 11월 ~ 현재 : ETRI 영상미디어연구실장
- 2006년 9월 ~ 2010년 8월 : 과학기술연합대학원대학교(UST) 이동통신 및디지털방송공학과 겸임교수
- 주관심분야 : 실감방송, 영상압축, 컴퓨터 비전



최 진 수

- 1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학박사
- 1996년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 실감방송미디어연구부장
- 2004년 10월 ~ 2006년 3월 : TTA 데이터방송프로젝트그룹(PG312) 의장
- 주관심분야 : 실감방송, 영상통신