

# 인지 화질 측정 기술 동향

□ 천만리, 이종석 / 연세대학교

## 요약

멀티미디어 시스템에 있어서 제공하는 영상 콘텐츠의 화질은 우선적으로 보장되어야 할 요소이다. 화질에 최적화된 시스템을 설계하고 평가하기 위해서는 화질의 측정 기술이 필수적인데, 기존의 신호 기반 화질 평가가 갖는 한계 때문에 최근에는 시청자가 실제로 인지하는 화질을 평가하는 기술의 중요성이 높아지고 있다. 특히 UHD 시대에는 단순 화질뿐만 아니라 실감 성 등의 인지적 요소도 주목을 받고 있기 때문이다. 본 글에서는 인지 화질 측정에 관련된 기술 동향을 살펴보고, UHD의 인지 화질 측정 관련 최신 연구를 살펴본다.

## I. 서 론

최근 몇 년 사이, 새롭게 제정된 영상 표준 포맷

인 UHD(Ultra High Definition)라는 용어를 쉽게 들어 볼 수 있게 되었다. 다양한 종류의 UHDTV와 모니터가 출시되고 있고, 점점 더 많은 양의 콘텐츠가 UHD 해상도로 제작되어 방송 및 온라인을 통해 접할 수 있게 되었다. 이는 이미 대중화된 HD 포맷을 넘어 그보다 훨씬 더 향상된 화질에 대한 욕구에서 시작되었다고 볼 수 있다. UHDTV의 표준을 다루고 있는 ITU-R BT.2020 문서에서는 UHD의 궁극적인 목표를 ‘이전보다 더 향상된 시각적 경험 제공’이라고 밝히고 있다[1].

실제로 UHD 콘텐츠가 더 좋은 화질과 실감성에 기반하여 이전보다 향상된 시각적 경험을 제공하는지에 대해 확인하기 위해서는 제공되는 영상에 대한 화질 평가가 필요하다. 전통적인 화질 평가 방법은 대상이 되는 영상신호가 원본 대비 픽셀값이 얼마나

\* 이 논문은 2013년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 연구결과임(2013R1A1A1007822).

차이가 나는지를 측정하는 방식이었는데, 이 방법은 시청자가 인지하는 화질을 제대로 반영할 수 없어서 최근에는 인지 화질 평가의 필요성이 커지고 있다. <그림 1>은 신호 기반 화질 측정 기법인 최대신호대 잡음비(PSNR:Peak Signal-to-Noise Ratio)를 기준으로 같은 화질을 가진 두 이미지를 보여준다. 같은 양의 잡음이 존재하더라도 잡음의 종류나 발생 위치 등에 따라 시청자가 인지하는 화질은 차이가 존재할 수 있다는 것을 보여주는 예다. 이와 같이 측정된 값은 같지만 실제로 사람이 인지하는 화질이 같지 않을 수도 있기 때문에, 신호 기반 화질 측정뿐 아니라 인지 화질의 측정이 필요하다.

UHD는 기존의 포맷인 HD보다 4배 이상의 공간적 해상도를 가지고 있어 기본적으로 더 많은 양의 데이터가 필요하다. 비디오의 특성상 정보의 손실이 수반되는 압축 과정을 거치지만, 코덱의 선택, 그리고 압축의 정도나 압축 과정에 사용되는 변수 등에 따라 화질의 차이가 많이 발생한다. 화질 측정 결과의 효율적 반영은 데이터를 절약하면서 화질을 높이는 효과를 얻을 수 있는 가능성을 제공하기 때문에, 인지 화질 평가의 중요성은 날로 커지고 있

다. 비단 압축뿐만 아니라 콘텐츠의 개선 혹은 비디오 전송 등의 시스템을 구성함에 있어서도 인지 화질 평가의 역할이 커지고 있다.

본 글에서는 인지 화질 측정과 관련된 기술 동향을 살펴보고, 더불어 UHD에 관련된 인지 화질 평가에 대한 연구들에 대해 살펴본다. 또한 향후 인지 화질 측정 방법의 개선 방향에 대해서 고찰하고자 한다.

## II. QoE와 화질 평가

### 1. QoE(Quality of Experience)

콘텐츠의 화질(Quality)은 멀티미디어 서비스를 제공함에 있어 가장 기초적이면서도 중요한 요소이다. 따라서 화질의 측정은 멀티미디어 시스템을 설계하고 최적화하는데 있어 핵심적인 부분으로 사용되고 있다. 특히 비디오 콘텐츠의 경우에는 압축이 불가피하기 때문에 콘텐츠 압축을 위한 파라미터 조절을 위한 정보를 제공하기도 한다. 또한 콘텐츠 화질 개선, 노이즈 감소, 화질 복원 등에도 이용되



<그림 1> 같은 값의 PSNR( $\approx 35\text{dB}$ )을 가진 두 이미지

고, 콘텐츠 전송 시스템 설계 등에도 응용될 수 있기 때문에 화질 측정의 중요성은 더욱 커지고 있다.

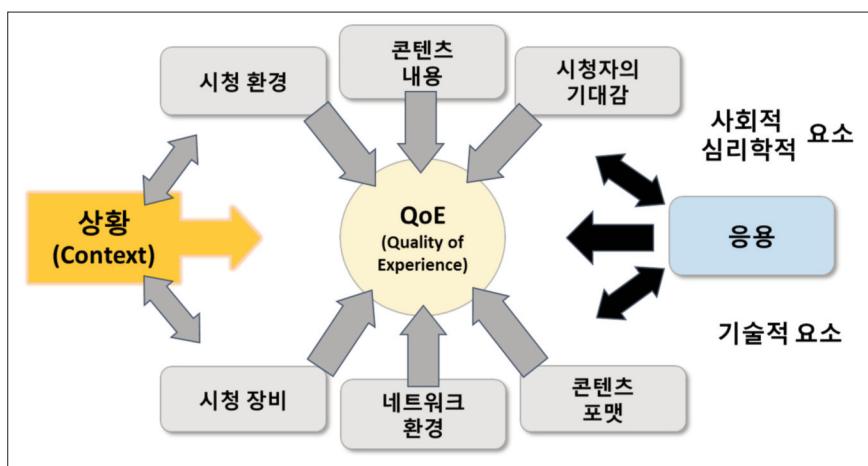
QoE(Quality of Experience)는 화질 측정 분야에서 가장 주목받고 있는 개념이다. <그림 2>에 나와 있듯이 QoE는 시청자가 받아들이는 인지 화질을 측정하는 요소로써, 콘텐츠와 관련된 기술적 요소와 더불어 시청자와 관련된 요소들, 시청하는 상황(Context) 등을 복합적으로 고려하는 개념이다. 기존에는 QoS(Quality of Service) 등의 용어가 화질을 표현하는데 사용되었는데, 이는 대부분 시청자보다는 시스템 관점에서 정의되는 개념이다. 그러나 최근에는 QoS보다는 QoE를 반영하기 위해 인지 화질의 개념을 더 활용하려는 노력이 계속되고 있다.

QoE의 복합적인 개념에 반해, 현재 이뤄지고 있는 QoE의 측정은 다소 제한적이며, 시청자의 콘텐츠에 대한 인지 화질이 우선적으로 중요시 되고 있다. 이미지나 비디오의 생성 및 압축 과정에서 노이즈, 블러잡음(Blockiness), 번짐현상(Blurring), 물결현상(Ringing) 등이 생긴다[2]. 그리고 콘텐츠 전송 과정에서는 패킷 손실(Packet Loss), 멈춤현상

(Freezing) 등도 발생한다. 이러한 현상들이 QoE, 특히 인지 화질 측정의 주된 대상이 되고 있다. 더 복잡한 측정 요소인 피로도, 몰입도, 미적 정서 등도 QoE의 측정 대상이 될 수 있다. 그러나 QoE의 복잡한 메커니즘을 고려하면 모든 영역을 동시에 측정하는 것은 어렵기 때문에, 현재는 통제된 환경에서 인지 화질 위주로 측정한다. 따라서 현재까지는 QoE라는 용어를 인지 화질에 국한시키기도 한다.

## 2. 주관적 화질 평가

영상의 인지 화질 평가 방법은 크게 주관적 화질 평가와 객관적 화질 평가로 구분된다. 주관적 화질 평가는 QoE를 반영하는 가장 핵심적인 평가 방법으로, 정확도와 신뢰도가 높은 방법이다. 실제 시청자를 대상으로 실험을 진행하여 시청자가 느끼고 받아들이는 화질을 측정한다. 그렇기 때문에 화질 평가의 궁극적 목표인 사용자의 만족도를 정확하게 측정할 수 있다. 실험자와 실험 영상, 환경의 설정에 따라 평가의 신뢰도가 달라질 수 있고, 결과의



<그림 2> QoE의 개념도

재연성 또한 중요하기 때문에 정확하게 통제된 실험의 설계 및 실행이 중요하다. 그러나 여러 명의 시청자를 대상으로 하는 실험으로 진행되기 때문에, 소요되는 시간과 비용이 많이 발생한다. 또한 멀티미디어 시스템의 설계 단계에서는 사용이 가능하지만, 실시간 시스템에서 적용하기는 어렵다는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고, 주관적 화질 평가는 객관적 화질 평가 방법을 개발하고 이를 검증하는데 있어 핵심적인 정보를 제공하기 때문에 그 중요성은 여전히 크다.

주관적 화질 평가 방법은 국제전기통신연합 (ITU:International Telecommunication Union) 산하 섹터를 통해 표준화되었다. ITU-R에서는 BT.500 권고 문서를 통해 영상 콘텐츠의 주관적 화질 평가 방법을 표준화하였다[3]. ITU-T에서도 역시 P.910 추천문서를 통해 멀티미디어 시스템에서 비디오에 대한 주관적 화질 평가 방법에 대해 표준화하였고[4], 이에 대해서는 ITU-R에서도 BT.1788을 통해 표준화하였다[5]. 각 섹터 별로 각각의 표준화를 진행했으나, 이는 평가하는 목적과 환경에 따라 세분화된 것이다.

표준화된 주관적 화질 평가 방법들은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 하나는 콘텐츠의 절대적인 화질(Quality)을 평가하는 것이고 또 하나는 콘텐츠의 상대적인 화질 손상(Impairment)을 평가하는 것이다. 즉, 전자는 영상의 화질을 절대적인 기준에서 평가하는 것이고, 후자는 원본 대비 얼마나 손실되었는지를 평가하는 것이다. 그리고 한 쌍의 영상을 보고 선호도를 비교하는 짹 비교(Comparison) 방식도 있다. 이 구분법 외에 실험자가 평가를 내리는 스케일이 연속적인 점수인지 카테고리에 따른 비연속적 점수인지로 구분하는 방법도 있다.

〈표 1〉은 이 구분법들에 따라 표준화된 평가 방법이 표기되어 있다. SS(Single Stimulus)와 ACR (Absolute Category Rating)은 절대적 평가를 내리는 방법으로, 특히 SS 방법은 연속 점수와 카테고리 점수 두 방식 모두 사용 가능하다. DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale), DSIS(Double Stimulus Impairment Scale), DCR(Degradation Category Rating)은 상대적 평가를 하는 방법이다. SC(Stimulus Comparison) 방법은 PC(Pair Comparison) 방법처럼 단순히 짹 비교하는 방식도 가능하지만, 짹 비교 후 그 화질 차이의 정도를 카테고리 점수로 평가하는 방식도 가능하다.

〈표 1〉 대표적인 주관적 화질평가 방법

	절대적 평가		상대적 평가		짜 비교
	연속 점수	카테고리 점수	연속 점수	카테고리 점수	
ITU-R BT.500	SS	SS	DSCQS	SC	SC
ITU-T P.910		ACR		DSIS	PC

\* SS : Single Stimulus

\* SC : Stimulus Comparison

\* DSCQS : Double Stimulus Continuous Quality Scale

\* DSIS : Double Stimulus Impairment Scale

\* ACR : Absolute Category Rating

\* DCR : Degradation Category Rating

\* PC : Pair Comparison

여기서는 최근 UHD의 인지 화질 연구에 자주 사용된 대표적인 주관적 화질 평가 방법인 SS방법과 DSIS방법에 대해서 간략히 소개한다.

### 1) SS(Single Stimulus)

SS 방법은 시청자에게 무작위 순서로 콘텐츠(이 미지 혹은 비디오)를 보여주고 각각 평가하게 한다. 일정 길이의 실험 영상을 하나씩 본 이후 일정 시간

동안 실험 영상의 화질(Quality)이 얼마나 좋은지에 대해 평가하게 한다. 평가하는 화질은 <표 2>에 나와 있는 다섯 개의 화질 등급으로 평가하게 된다. 혹은 다섯 개의 평가 척도에 대응되게 연속 점수 척도를 배치하여 연속 점수로 평가하게 하는 방법도 가능하다. 실험자가 보게 되는 실험 영상들 중 원본 영상도 포함되는 경우도 있는데, 이 때 원본 영상 여부에 대한 정보는 제공되지 않는다. ACR방법 역시 SS방법에 속한다고 볼 수 있다. <그림 3>은 SS 또는 ACR 평가 과정을 나타낸 것이다.

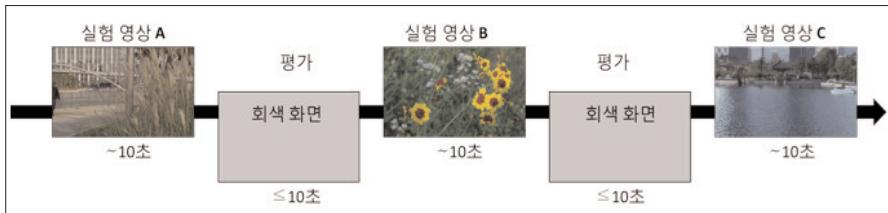
&lt;표 2&gt; 카테고리 점수체계에서의 화질과 손실 평가 척도[3]

Quality		Impairment	
5	Excellent	5	Imperceptible
4	Good	4	Perceptible, but not annoying
3	Fair	3	Slightly annoying
2	Poor	2	Annoying
1	Bad	1	Very annoying

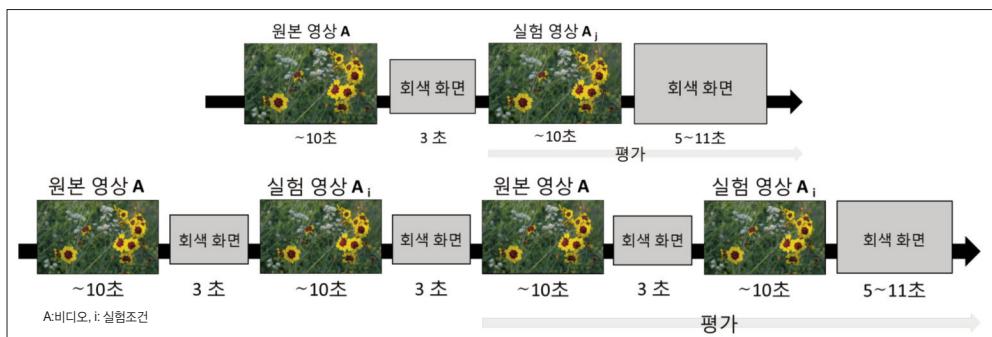
## 2) DSIS(Double Stimulus Impairment Scale)

DSIS 방법은 배열된 한 쌍의 콘텐츠를 순서대로 보여주고 평가하게 한다. 이 한 쌍의 콘텐츠 중 하나는 손실이 전혀 없는 원본으로써 평가의 기준이 되고, 다른 하나는 평가하고자 하는 대상 콘텐츠가 된다. DSIS의 경우 실험 영상의 손실 정도가 원본 대비 어느 정도인지 <표 2>의 오른쪽에 표기되어 있는 다섯 등급의 손실 척도로 평가하게 된다. 영상의 평가는 원본 영상을 본 후에 실험 영상을 보면서 평가하는 방법과, 원본 영상과 실험 영상을 본 이후에 다시 한번 한 쌍의 영상을 보면서 평가하는 방법이 있다. <그림 4>는 DSIS 방법을 사용할 때 가능한 두 가지 평가 과정을 나타내고 있다.

주관적 화질 평가는 실험을 통해 얻어진 평가 점수를 분석한다. 각 실험자의 점수를 수집한 후, 실험자들의 개별 점수들을 분석하여 비정상적인 특징을 갖는 실험자인 아웃라이어(Outlier)를 검출한다.



&lt;그림 3&gt; SS(혹은 ACR)의 평가 과정[4]



&lt;그림 4&gt; DSIS의 평가 과정[3]

이들의 점수를 제외한 실험자들의 점수를 기반으로 각 영상별로 실험자들의 점수를 평균을 내서 MOS(Mean Opinion Score)를 구하고, 이 점수와 연관된 신뢰구간(Confidence Interval)을 구하여 분석한다. 다수의 일반 실험 참가자들이 평가한 결과이기 때문에 데이터를 처리할 때는 종종 통계적 분석을 동반하게 된다. 이러한 통계적 분석 역시 객관적 화질 평가와의 차이점 중 하나라고 볼 수 있다.

### 3. 객관적 화질 평가

객관적 화질 평가는 주관적 화질 평가 결과를 예측하는 기법으로, 주관적 화질 평가 결과를 기반으로 만들어진다. 이 기법들은 각 모델에 따라 화질을 측정하는 방법이 다르지만, 궁극적으로는 주관적 화질 평가 결과를 예측하는 것이 목표라는 점은 같다. 주관적 화질 평가 메커니즘을 모델링하고 점수를 예측하는 것이 목표기 때문에, 주관적 화질 평가보다는 정확도가 부족하다. 그러나 주관적 화질 평가에 비해 적은 비용과 시간으로 측정이 가능하고, 실제 시스템에 실시간 적용이 가능하다는 장점이 있다. 이런 점을 고려했을 때 인지 기반 화질 평가 방법의 방향성은 예측 정확도가 높은 객관적 화질 평가 기법을 개발하는데 있다고 볼 수 있다.

전통적으로 사용되어 온 객관적 화질 평가 방법으로는 평균제곱오차(MSE:Mean-Squared Error)와 PSNR이 있다. 이 기법들은 단순히 신호 기반으로써, 원본과 평가 영상 사이의 화소값 차이를 기반으로 계산하여 평가한다. 현재도 많은 시스템에서 이 기법을 사용하고 있지만, 사람이 인지하는 화질을 반영하지 못하는 측면이 많기 때문에 다른 객관적 화질 평가 기법들이 계속해서 연구되고 개발되고 있다. 객관적 화질 평가 기법은 개발이 활발히

이루어지고 있지만, 대부분 이미지 기반 평가 기법이 많다. 그러나 최근에는 비디오에 특화된 화질 평가 기법도 조금씩 늘어나고 있는 추세다.

객관적 화질 평가 기법은 접근 방법에 따라 몇 가지로 구분할 수 있다. 대표적으로 자연 시각 특성(Natural Visual Characteristic) 기반 화질 측정 기법, 인간의 시각 시스템(Human Visual System) 기반 기법 등이 있다[6]. 자연 시각 특성 기반 화질 측정 기법은 사람 눈에 인지될 수 있는 시각적 요소들을 기반으로 개발되는 기법이다. 이미지나 비디오의 처리 과정에서 발생하는 번짐현상, 블록잡음 등과 콘텐츠의 전체 구조 등을 분석해 윤곽선 등을 검출하여 화질 평가에 반영한다. 대표적인 기법으로는 SSIM(Structural SIMilarity index)[7], VQM(Video Quality Metric)[8] 등이 있다. 인간의 시각 시스템 기반 화질 측정 기법은 사람의 시각 체계의 특징을 반영하여 개발하는 기법이다. 시각적 마스킹(Masking), 분해(Decomposition), 콘트라스트 민감도(Contrast Sensitivity) 등을 통해 시각 신호를 처리하는 사람의 특징까지도 반영한다. 대표적인 기법으로는 MOVIE(MOtion-based Video Integrity Evaluation)[9], VIF(Visual Information Fidelity)[10] 등이 있다.

이상에서 언급한 기법들은 다양한 화질 저하 요인에 대해 적용할 수 있는 범용적 화질 평가 기법이다. 이 외에도 특정 화질 저하 요소에 특화된 기법들도 존재한다. 예를 들어, 번짐현상에 대한 평가 기법[11], 패킷 손실에 대한 평가 기법[12,13] 등이 존재한다.

객관적 화질 평가 기법은 원본 영상의 적용 여부에 따라 분류할 수도 있다. 즉, 전기준법(FR:Full-Reference), 반기준법(RR:Reduced-Reference), 무기준법(NR:No-Reference) 세 종류로 나눌 수

〈표 3〉 대표적인 이미지 및 비디오 객관적 화질 평가 기법

인지 기반 이미지 화질 평가 기법	전기준법	- SSIM (Structural SIMilarity index) [7] - MS-SSIM (Multi-Scale SSIM) [14] - VIF (Visual Information Fidelity) [10] - FSIM (Feature SIMilarity) [15] - MAD (Most Apparent Distortion) [16]
	반기준법	- RRED (Reduced Reference Entropic Differencing) [17]
	무기준법	- BRISQUE (Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator) [18] - BLIINDS (Blind Image Integrity Notator using DCT Statistics) [19]
인지 기반 비디오 화질 평가 기법	전기준법	- ST-MAD (Spatio-Temporal MAD) [20] - MOVIE (Motion-based Video Integrity Evaluation) [9]
	반기준법	- VQM (Video Quality Metric) [8]
	무기준법	- Video BLIINDS [21]

있다. 전기준법은 원본과 대상을 직접 비교하여 화질을 측정할 수 있을 때 사용할 수 있는데, 원본 영상이 존재하지 않을 때 사용하기 어려워 실시간 시스템에의 사용이 제한적이지만 상대적으로 높은 정확도를 가진다. 반기준법은 영상의 일부 특징만 추출하여 화질을 측정하는데 사용하는 방법이다. 전기준법에 비해 정확도는 조금 떨어질 수 있지만, 원본 영상 전체가 아닌 일부 특징만 필요로 하기 때문에 활용도 측면에서는 더 유용하다. 무기준법은 원본과의 비교 없이 해당 영상 자체의 화질만을 측정한다. 정확도는 셋 중 가장 떨어지지만, 원본의 정보가 필요 없기 때문에 실시간 시스템에서 활용하기 유용하다.

현재 많이 사용되는 객관적 화질 평가 기법을 〈표 3〉에 나타내었다. 크게 이미지 기반 객관적 기법과 비디오 기반 객관적 기법으로 나눌 수 있는데, 현재까지는 이미지 기반 객관적 기법이 비디오 기반 기법보다 더 많이 존재한다. 이미지 기법을 비디오에 적용할 때는 비디오의 각 프레임마다 이미지 기법을 적용하고, 그 전체 값들의 평균을 객

관적 화질 평가 결과를 사용하는 것이 일반적이다. 표에 언급된 기법 중 VQM은 미국 국립 표준 협회(ANSI: American National Standards Institute)에서 표준으로 제정된 바 있으며, 이는 국제전기통신연합의 표준화를 위한 임시 문서에도 포함되어 있다.

### III. UHD의 QoE

#### 1. UHD의 특징

UHD가 현재의 표준 포맷인 HD에 비해 바뀐 부분은 크게 세가지로 볼 수 있다. 가장 우선적으로 HD보다 4배로 증가한 공간적 해상도(8K UHD는 16배로 증가)가 대표적인 특징이다. 그리고 최대 120Hz까지 확장된 시간적 해상도와 확장된 컬러 공간도 주 변화 요소다.

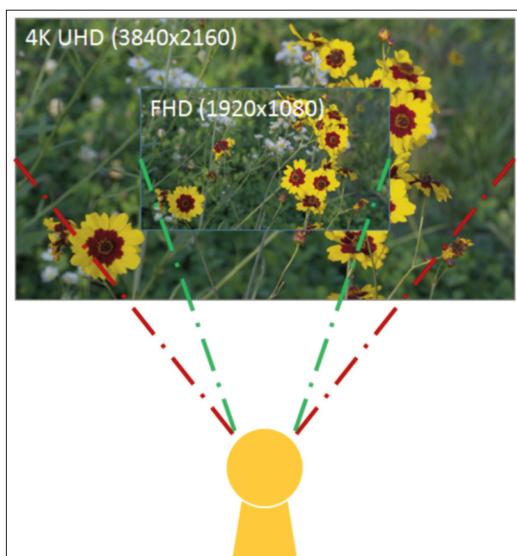
세가지 요소 중 가장 크게 고려된 부분은 공간적 해상도다[22]. 〈표 4〉에서 볼 수 있듯이, 적당한 화

&lt;표 4&gt; HD와 UHD의 권장 시청거리와 시야각[23]

	HD (1920×1080)	4K UHD (3840×2160)	8K UHD (7680×4320)
시청거리	3.1 H	1.5 H	0.75 H
시야각	32°	58°	96°

\* H : 화면의 높이

면 크기와 권장 시청거리, 그리고 이에 따른 시야각 확보를 통해 한눈에 정보를 볼 수 있는 시각적 영역인 FOV(Field of View)를 더 넓게 확보하여 향상된 시각적 경험을 제공하는 것이 UHD의 궁극적인 목표기 때문이다[23]. <그림 5>의 예시를 통해 HD를 시청할 때와 UHD를 시청할 때 FOV가 얼마나 달라지는지 확인 할 수 있다. 이런 점을 고려한다면 UHD의 시청 환경도 UHD의 화질을 잘 경험할 수 있는 조건 중에 하나라고 할 수 있다.



&lt;그림 5&gt; UHD와 HD의 시청 조건에 따른 FOV 차이의 예시

UHD는 기존의 HD보다 표현할 수 있는 정보의 양이 많기 때문에 기존보다 더 큰 저장 및 전송 용

량이 필요하다. 앞에서도 언급했듯이 비디오는 필수적으로 압축의 과정을 거치게 되는데, 새로운 표준인 HEVC(High Efficiency Video Coding)는 UHD를 겨냥하여 개발되었기 때문에 현재 가장 활발히 사용되고 있는 표준 코덱인 AVC(Advanced Video Coding)보다 더 높은 효율을 얻을 수 있다. 이 뿐만 아니라 구글의 오픈소스 기반 코덱인 VP9 역시 UHD를 겨냥해 만들어졌다. 최근의 연구들을 통해 HEVC와 VP9은 AVC에 비해 약 2배 정도의 효율을 가지고 있는 것으로 나타났다[24,25]. 이러한 압축 코덱의 성능을 검증할 때 역시 인지 화질 평가 기법 결과를 활용한다.

## 2. UHD의 인지 화질

UHD의 인지 화질에 대한 연구는 그리 많이 이루어지지 않았지만, 최근 들어 연구의 양이 늘어나고 있다. UHD의 등장으로 인해 UHD의 인지 화질이 정말 HD보다 좋은지, UHD의 화질을 제대로 경험하기 위해서는 어떤 조건이 필요한지 등에 대한 연구들이 주를 이루고 있다.

UHD의 인지 화질과 관련하여, 시청 거리 등의 시청 환경이 UHD와 HD에 대한 인지 화질에 미치는 영향에 대해서 최근의 연구에서 밝혀진 바 있다 [26]. UHD를 시청할 때는 권장 시청거리인 1.5H에서 시청했을 때 인지 화질 평가 점수가 가장 높게 나타났고, 이 거리보다 먼 곳에서 시청했을 때는 점수가 낮게 나왔다. 또한 이 권장 시청거리 1.5H를 지켜야 UHD의 화질이 HD보다 좋다는 결과가 나왔다. 1.5H 이상의 시청거리에서 UHD를 시청하면 시청자가 인지하는 화질은 HD와 크게 차이가 나지 않는다는 결과를 보였다. 즉, UHD를 제대로 느끼고 즐기기 위해서는 권장시청 거리를 지키는 것도

중요한 요소라는 것을 알 수 있다.

UHD와 HD의 인지 화질을 비교하는 연구들은 계속 이어져 오고 있는데, 이 연구들을 살펴보면 어떻게 해야 UHD의 실감성 있는 화질을 잘 구현할 수 있는가에 대해서도 알 수 있다. 같은 시청 환경에서 UHD와 HD를 시청하면서 주관적 화질 평가를 수행한 결과, HEVC 코덱으로 압축한 낮은 비트 레이트(Bitrate)의 경우 UHD와 HD의 인지 화질에는 별 차이가 없기도 했고, 오히려 HD의 화질이 더 좋다는 결과가 나오기도 했다[27]. 그러나 비트레이트가 충분히 높은 경우에는 UHD의 인지 화질이 HD보다 좋아졌다. 이를 통해 UHD의 인지 화질 극대화를 위해서는 비트레이트를 충분히 높게 확보해야 한다는 것을 알 수 있다.

위와 같은 결과는 객관적 화질 평가 기법인 VIF 등을 사용해 UHD와 HD의 화질을 평가했을 때도 비슷하게 나왔다[28]. 비트레이트가 낮을 때는 UHD와 HD의 화질 차이가 별로 없거나 HD가 더 좋다는 결과를 보였다. 반면 비트레이트가 높아지면 UHD의 화질이 HD보다 좋아진다는 결과를 보였다. 또한, AVC를 사용하면 비트레이트에 따라 UHD와 HD의 화질 차이가 많이 발생하지만 HEVC를 사용하면 비트레이트가 낮아도 UHD와 HD의 화질이 거의 차이가 나지 않고, 비트레이트가 높으면 UHD에서 더 좋은 화질을 얻을 수 있다는 결과도 보였다. 그리고 HEVC를 사용했을 때 AVC보다 압축 효율과 화질이 더 좋기 때문에, UHD의 화질을 극대화 하려면 HEVC를 사용하는 것이 효율적이라는 것을 다시 한번 확인하였다.

UHD에 대한 객관적 화질 평가 기법에 대한 연구도 현재는 많지 않다. 지금까지 이뤄진 연구는 대부분 기존에 존재하는 기법들을 UHD 콘텐츠에 적용하는 수준이다. 최근에 이뤄진 연구 중 UHD콘텐츠

에 대한 객관적 화질 평가 기법인 PSNR, SSIM, MS-SSIM, VIF, VQM 등의 성능을 주관적 화질 평가 기법과의 상관관계를 측정하여 평가한 연구가 존재한다[29]. VIF가 가장 높은 성능을 보였으나, 이 연구에 적용된 콘텐츠의 개수가 3개 밖에 되지 않았고 결과 역시 콘텐츠의 종류에 따라 상이했다. 실제 시스템에서 안정적으로 적용하기 위해서는 콘텐츠 특성의 다양함에 관계 없이 화질 예측 성능이 일정하게 좋아야 하기 때문에 더 많은 개선이 필요하다. 또한 현재 존재하는 객관적 기법들이 지금까지의 주 포맷이었던 SD와 HD에 초점이 맞춰져 있기 때문에, UHD의 향상된 화질을 예측할 수 있는 방향으로의 개선이 요구된다.

UHD에 대한 인지 화질 연구와 더불어 UHD에 대한 시각적 주의집중(Visual Attention)에 대한 연구도 이뤄진 바 있다[30]. 이 연구는 UHD와 HD의 권장 시청 환경을 고려한 상태에서, 시청자가 각 콘텐츠를 시청할 때 시선 추적 실험을 진행하여 분석하였다. 이 결과, UHD를 시청할 때의 시청자의 시선이 HD를 볼 때보다 더 특정 영역을 집중해서 보는 것으로 나타났다. 이러한 시청 습관에 대한 부분도 향후 UHD의 인지 화질 측정 기법에서 고려해야 할 점으로 포함할 수 있을 것이다.

## IV. 결 론

UHD시대의 인지 화질은 HD시대보다 더욱 중요해졌다. 더 향상되고 만족스러운 시청자들의 기대 수준이 높아지고 있기 때문에, UHD에 대한 인지 화질 연구는 더 활발히 이뤄질 필요가 있다. 특히 주관적 화질 평가뿐만 아니라 UHD에 특화된 객관

적 화질 평가 기법 개발이 요구된다. 이를 이용하면 인지 화질 기반 전송 최적화 등에도 사용할 수 있어서, 높은 전송율이 요구되는 UHDTV에서 보다 만족도 높은 콘텐츠 제공이 가능해질 것이다. 그리고 UHD는 단순 콘텐츠의 화질뿐만 아니라 실감성 제공도 목표로 하기 때문에, 이와 관련한 QoE측정에 관련된 연구 역시도 중요한 과제다. 특히, 모니터의 크기나 시청거리 등과 같은 시청 환경이 중요한 요

소로 작용하는데, 스마트폰과 같은 작은 화면의 기기부터 대형 모니터와 같은 기기까지 다양한 환경에서 UHD를 시청하는 것과 관련한 주관적 및 객관적 화질 평가 연구도 필요할 것이다. 그 외에, 현재 까지는 늘어난 공간적 해상도에 대한 연구들이 많은데, 확장된 시간적 해상도와 색공간 역시 인지 화질에 영향을 미치는 요소기 때문에 이를 고려한 화질 평가 연구도 후속 연구로서 이뤄져야 한다.

### 참고 문헌

- [1] Recommendation ITU-R BT.2020, "Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange", 2012
- [2] H. R. Wu and K. R. Rao, "Digital Video Image Quality and Perceptual Coding", CRC Press, 2005
- [3] Recommendation ITU-R BT.500-13, "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures", 2012
- [4] Recommendation ITU-T P.910, "Subjective video quality assessment methods for multimedia applications", 2008
- [5] Recommendation ITU-R BT.1788, "Methodology for the subjective assessment of video quality in multimedia applications", 2007
- [6] S. Chikkerur et al., "Objective video quality assessment methods: A classification, review, and performance comparison", IEEE Transactions on Broadcasting, 2011
- [7] Z. Wang et al., "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity", IEEE Transactions on Image Processing, 2004
- [8] M. Pinson and S. Wolf, "A new standardized method for objectively measuring video quality", IEEE Transactions on Broadcasting, 2004
- [9] K. Seshadrinathan and A.C. Bovik, "Motion tuned spatio-temporal quality assessment of natural videos", IEEE Transactions on Image Processing, 2010
- [10] H. R. Sheikh and A. C. Bovik, "Image information and visual quality", IEEE Transactions on Image Processing, 2006
- [11] P. Marziliano et al., "A no-reference perceptual blur metric", IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2002
- [12] F. Yang et al., "No-reference quality assessment for networked video via primary analysis of bit stream", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video, 2010
- [13] F. Yang et al., "Content-adaptive packet-layer model for quality assessment of networked video services", IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2012
- [14] Z. Wang et al., "Multiscale structural similarity for image quality assessment", International Conference on Signals, Systems and Computers, 2003
- [15] Z. Lin et al., "FSIM: a feature similarity index for image quality assessment", IEEE Transactions on Image Processing, 2011
- [16] E. C. Larson and D. M. Chandler, "Most apparent distortion: full-reference image quality assessment and the role of strategy", Journal of Electronic Imaging, 2010
- [17] R. Soundararajan and A. C. Bovik, "RRED indices: Reduced reference entropic differencing for image quality assessment", IEEE Transactions on Image Processing, 2012

- [18] A. Mittal et al., "No-reference image quality assessment in the spatial domain", IEEE Transactions on Image Processing, 2012
- [19] M. A. Saad et al., "A DCT statistics-based blind image quality index", IEEE Signal Processing Letters, 2010
- [20] P. V. Vu et al., "A spatiotemporal most-apparent-distortion model for video quality assessment", IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2011
- [21] M. Saad and A. C. Bovik, "Blind prediction of natural video quality", IEEE Transactions on Image Processing, 2013
- [22] M. Sugawara et al., "Ultra-high-definition television (Rec. ITU-R BT. 2020): A generational leap in the evolution of television [standards in a nutshell]", IEEE Signal Processing Magazine, 2014
- [23] Report ITU-R BT.2246, "The present state of ultra-high definition television", 2015
- [24] N. Ramzan et al., "Quality of experience evaluation of H.265/MPEG-HEVC and VP9 comparison efficiency", Microelectronics (ICM), 2014
- [25] M. Rerabek and T. Ebrahimi, "Comparison of compression efficiency between HEVC/H.265 and VP9 based on subjective assessments", SPIE Optical Engineering+ Applications, 2014
- [26] A. Lachat et al., "How perception of ultra-high definition is modified by viewing distance and screen size", IS&T/SPIE Electronic Imaging, 2015
- [27] K. Berger et al., "Subjective quality assessment comparing UHD and HD resolution in HEVC transmission chains", International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2015
- [28] M. Cheon and J.-S. Lee, "Objective quality comparison of 4K UHD and up-scaled 4K UHD videos", IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), 2014
- [29] P. Hanhart et al., "Benchmarking of quality metrics on ultra-high definition video sequences", International Conference on Digital Signal Processing (DSP), 2013
- [30] H. Nemoto et al., "Impact of ultra-high definition on visual attention", ACM International Conference on Multimedia, 2014

## 필자 소개



### 천만리

- 2012년 : 연세대학교 전기전자공학과 학사
- 2012년 ~ 현재 : 연세대학교 글로벌융합공학부 통합과정
- 주관심분야 : 멀티미디어 신호처리, 멀티미디어 시스템, 기계학습



### 이종석

- 2006년 : KAIST 전자전산학과 박사
- 2008년 ~ 2011년 : EPFL 연구원
- 2011년 ~ 현재 : 연세대학교 글로벌융합공학부 조교수
- 주관심분야 : 멀티미디어 신호처리, 기계학습