

일반논문-10-15-4-10

4K-UHD 비디오 시청환경 특성분석을 위한 주관적 화질평가 분석

박인경^{a)}, 하광성^{a)}, 김문철^{a)†}, 조숙희^{b)}, 최진수^{b)}

Analysis on Subjective Image Quality Assessments for 4K-UHD Video Viewing Environments

Inkyung Park^{a)}, Kwangsung Ha^{a)}, Munchurl Kim^{a)†}, Sukhee Cho^{b)}, and Jin Soo Choi^{b)}

요약

본 논문에서는 초고해상도(UHD: Ultra High Definition) 영상의 방송 서비스를 위한 UHD 영상의 주관적 화질 평가를 수행하고 이에 따른 화질평가 결과를 분석하였다. TV, 인터넷, 개인 미디어 기기들의 보급으로 인해 영상 콘텐츠의 소비가 늘어나고 있으며 이와 더불어 고화질 영상에 대한 수요 또한 증가하고 있다. 현재 HD급(1920x1080) 영상이 DTV, DVD, 디지털 캠코더, 감시 비디오 및 기타 멀티미디어 기기 등을 통하여 다양한 형태로 소비되고 있으며, 최근에는 이러한 HD 해상도를 넘어 4K-UHD(3840x2160) 해상도의 디지털 시네마 콘텐츠가 활발히 제작되고 있고, 멀티미디어 시장에서도 이를 지원하는 카메라, 빔 프로젝터, 디스플레이 등의 기기가 출시되기 시작하였으며, 곧 방송·통신 환경에서도 4K-UHD 비디오 서비스가 출현할 것으로 예상된다. 이에 본 논문에서는 UHD TV 서비스 도입 시에 UHD 비디오의 시청환경 및 신호규격을 결정하는데 도움을 주기 위해 4K-UHD 영상에 대해 공간 해상도, 컬러포맷, 프레임률, 압축률을 포함한 4 가지 항목에 대한 주관적 화질 평가 실험을 수행하였다. 평가 결과, HD 해상도 대비 UHD 해상도의 영상에 대해 더 높은 주관적 화질 평가 결과를 보였으며, 컬러포맷이 YUV444인 4K-UHD 영상이 YUV422, YUV420인 4K-UHD 영상들 보다 화질이 더 높은 주관적 평가를 받았고, YUV422와 YUV420 4K-UHD 영상 간의 화질 비교에서는 주관적 평가 차이는 미미한 것으로 나타났다. 프레임률에 있어서는 60fps의 4K-UHD 영상이 30fps의 4K-UHD 영상보다 움직임이 많은 영상일수록 더 높은 주관적 화질 평가 결과를 보였으며, HD 영상에 대한 비트심도 비교에서는 10bit인 영상과 8bit인 영상 간의 주관적 화질 평가차이는 매우 작은 것으로 나타났다. 마지막으로 복·부호화된 4K-UHD 영상의 PSNR이 높을수록 높은 주관적 화질평가를 받았으며 시청거리가 멀어질수록 부호화에 의한 화질 열화를 인지하는 능력이 떨어지면서 PSNR이 낮은 영상도 화질이 양호한 것으로 평가되는 경향이 있었다.

Abstract

In this paper, we perform subjective visual quality assessments on UHD video for UHD TV services and analyze the assessment results. Demands for video services have been increased with availabilities of DTV, Internet and personal media equipments. With this trend, the demands for high definition video have also been increasing. Currently, 2K-HD (1920x1080) video have been widely consumed over DTV, DVD, digital camcoders, security cameras and other multimedia terminals in various types, and recently digital cinema contents of 4K-UHD(3840x2160) have been popularly produced and the cameras, beam projects, display panels that support for 4K-UHD video start to come out into multimedia markets. Also it is expected that 4K-UHD service will appear soon in broadcasting and telecommunications environments. Therefore, in this paper, subjective assessments of visual quality on resolutions, color formats, frame rates and compression rates have been carried to provide basis information for standardization of signal specification of UHD video and viewing environments for future UHD TV. As the analysis on the assessments, UHD video exhibits better subjective visual quality than HD by the evaluators. Also, the 4K-UHD test sequences in YUV444 shows better subjective visual quality than the 4K-UHD test sequences in YUV422 and YUV420, but there is little perceptual difference on 4K-UHD test sequences between YUV422 and YUV420 formats. For the comparison between different frame rates, 4K-UHD test sequences of 60fps gives better subjective visual quality than those of 30fps. For bit-depth comparison, HD test sequences in 10-bit depth were little differentiated from those in 8-bit depth in subject visual quality assessment. Lastly, the larger the PSNR values of the reconstructed 4K-UHD test sequences are, the higher the subjective visual quality is. Against the viewing distances, the differences among encoded 4K-UHD test sequences were less distinguished in longer distances from the display.

Key words: UHD, Quality, Subjective assessment, TV, Viewing Environment

I. 서 론

TV 방송 시청과 더불어 인터넷, 개인 미디어 기기들을 통한 영상 콘텐츠의 소비가 지속적으로 증가하고 있고, 특히 영상 기기 및 영상 데이터의 저장/전송 기술의 발전으로 인해 고화질 영상의 획득 및 저장이 용이해 지면서 소비 또한 크게 늘어나고 있다. 이에 따라 실감을 전달하는 초고 해상도 영상 서비스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1~9]. 이 연구 결과들에 따르면 사람이 영상의 현장감과 실재감을 느끼게 하기 위해서는 영상의 각 분해능(angular resolution)이 최소 40~50 cpd¹⁾이어야 하며 시청 시야각이 80~100 arc-degree 정도를 만족해야 한다. 이를 종합하면 영상의 공간 가로 해상도가 약 8K(8000 pixel) 정도 되는 초고해상도 영상이 필요하다는 것을 알 수 있다. 현재 일반 소비자가 경험하는 최대 영상 공간 해상도는 HD급(2K)으로서 디지털 TV나 가정용 디지털 캠코더, 감시용 비디오, PC 등을 통해 접하고 있다. 그러나 가까운 미래에는 HD급 해상도를 넘어 공간 해상도가 3820x2160인 4K급 초고해상도(4K-UHD)의 디지털 시네마 콘텐츠 제작이 크게 증가할 것으로 예상되며, 이를 재생할 UHD 빔 프로젝터와 모니터들의 가격도 크게 낮아질 것으로 예상된다. 이러한 초고해상도 콘텐츠의 보급과 수요는 이제 일부 시네마 산업에 국한 되는 것이 아니라 방송 및 통신 환경에서도 새로운 서비스 형태로 출현할 것으로 기대된다. 관련 분야의 전문가들에 따르면 4K-UHD 콘텐츠가 보편적으로 확산되는 것이 향후 5년 안에 이루어지고 가정용 TV에도 적용될 것으로 보고 있다^[10].

본 논문에서는 이러한 추세에 대비해 UHDTV 방송 서비

스 도입 시에 UHD 비디오의 시청환경 및 신호규격을 결정하기 위해 4K-UHD 영상에 대한 주관적 화질 평가 실험을 수행하고 이를 분석하였다. 평가한 항목으로는 영상의 공간 해상도, 컬러공간, 프레임률, 압축률을 포함한 4가지이다. 여기서 공간 해상도에 따른 화질 비교평가는 HD 해상도(1920x1080)와 4K-UHD 해상도의 영상 화질을 비교하는 것이고, 프레임률에 따른 화질평가는 30fps의 4K-UHD 영상과 60fps의 4K-UHD 영상 간의 화질을 비교하는 평가이다. 컬러 포맷에 따른 화질평가는 YUV444, YUV422, YUV420 포맷의 4K-UHD 영상에 대한 주관적 화질 비교평가이며, 비트심도(bit depth)에 따른 화질평가는 10-bit를 지원하는 4K 모니터를 확보하지 못하여 비트심도가 10bit와 8bit인 HD 영상 간의 화질을 비교하였다. 압축률에 따른 화질평가에서는 H.264/AVC를 이용해 각 QP22, 27, 32로 압축률을 달리한 4K-UHD 영상들 간의 화질을 시청거리에서 따른 주관적 비교평가로써 수행 하였다.

본 연구의 주관적 화질 평가는 관련된 ITU-R 권고문서들 [1~6]이 규정하는 형식에 따라 수행되었다. 본 논문의 II장에서는 주관적 화질평가를 수행한 방법과 평가실험 환경, 평가자, 테스트 영상에 대해 설명하고, III장에서는 각 평가 항목의 세션마다 구체적인 실행방법과 그 평가 결과를 분석했다. 끝으로 IV장에서는 결과를 요약하고 이 결과가 갖는 의미를 기술하였다.

II. 주관적 화질 평가

1. 주관적 화질 평가 방법

비디오의 화질을 측정하는 방법은 크게 주관적 평가방법과 객관적 평가방법 두 가지로 분류된다. 이 중에서 주관적 평가방법은 사람의 인지적 특성을 크게 반영하기 때문에 객관적 평가방법에 비해 보다 신뢰받는 평가방법이다.

본 연구에서는 ITU-R BT.710 에서 권고하고 있는 주관적 화질 평가방법을 따른다^[4]. 이 권고 규격 문서가 주관적

a) 한국과학기술원(KAIST)

Korea Advanced Institute of Science and Technology

b) 한국전자통신연구원(ETRI)

Electronics and Telecommunications Research Institute

‡ 교신저자 : 김문철(mkim@ee.kaist.ac.kr)

* 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI001932, 차세대 DTV 핵심기술 개발]

·접수일(2010년4월23일), 수정일(2010년6월21일), 게재확정일(2010년6월25일)

1) cpd: cycles per degree - 사람의 눈이 하나의 대상을 다른 대상으로부터 얼마나 상세히 구별할 수 있는지 나타내는 척도이며, 각 분해능(angular resolution)으로 측정된다.

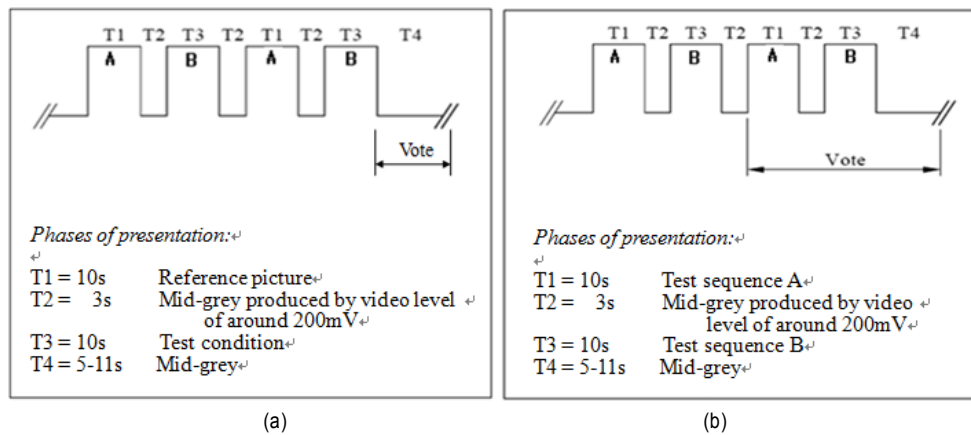


그림 1 주관적 화질평가를 위한 프레젠테이션 구성 [6] (a) DSIS 프레젠테이션 구성 (b) DSCQS 프레젠테이션 구성
Fig.1 Presentation structure of subjective assessment [6] (a) Presentation structure of DSIS (b) Presentation structure of DSCQS

평가방법으로 참고하고 있는 또 다른 표준 권고 규격인 ITU-R BT.500 문서에는 여러 가지 주관적 평가 방법들이 기술되어있다^[6]. 본 연구에서는 이들 중 DSIS(Double-stimulus impairment scale)와 DSCQS(Double-stimulus continuous quality-scale) 두 가지 방법을 채택하여 사용한다. DSIS 방법은 영상이 새로운 시스템이나 전송과정에서 입은 손상(impairment)에 의한 화질 열화를 평가할 때 사용하는 방식으로 본 연구에서 실행한 부-복호화 신호의 주관적 화질평가 방법으로 사용하고, DSCQS 방법은 화질(quality)의 관점에서 새로운 시스템이나 전송 시스템을 평가할 때 사용하는 방법으로 신호 규격을 달리한 원신호에 대한 주관적 화질평가에 사용한다. 그림 1은 이 두 평가 방법의 프레젠테이션(presentation)의 진행을 나타낸다.

여기서 프레젠테이션은 평가자가 해당하는 테스트 항목을 반영하는 영상을 관찰하고 평가를 내리는 일련의 과정이다. 평가자는 여러 테스트 항목을 고려하여 여러 영상에 대해 평가를 해야 하므로 다수의 프레젠테이션을 수행하게 되는데, 한 평가자가 수행하는 모든 프레젠테이션들의 과정을 세션(session)이라고 부른다. DSIS 방법은 평가자에게 기준영상(손상이 없는 영상)을 항상 T1의 구간에서 먼저 제시하고 테스트 영상(손상을 입은 영상)을 T3구간에서 제시하는 반면, DSCQS 방법은 테스트 항목 A를 반영한 영상이 T1구간에 보여지고 테스트 항목 B를 반영한 영상이 T3구

간에 보여지거나 그 반대의 경우도 가능하다. 이는 한 세션에서 프레젠테이션 마다 임의의(random) 순서로 정해진다.

또한 DSIS 방법과 DSCQS 방법은 화질평가 점수를 부여하는 점수체계도 다르다. 표 1은 DSIS 방법의 점수표를, 그림 2는 DSCQS 방법의 점수표를 각각 나타낸다. 영상의 손상에 대해 평가하는 DSIS 방법은 기준영상에 비해 손상이 일어난 영상의 화질을 1~5점으로 사이에서 평가 점수를 부여하는 방식으로, 평가자는 각 프레젠테이션 마다 점수표의 빈 칸에 표시하는 방법으로 1점~5점 사이의 정수값으로 점수를 부여하게 된다. 반면, DSCQS 방법은 기준영상과 테스트 영상 모두에 대해서 그림 2와 같이 vertical-continuous scale을 사용하여 평가한다. 평가자는 각 프레젠테이션의 평가 시간에 각 영상에 대한 점수를 0~100을 나타내는 scale bar의 위치에 표시한다.

표 1. DSIS의 점수표
Table 1. Score chart of DSIS

평가점수		Presentations			
		1	2	3	4
5	차이를 느끼지 못함				
4	차이를 느끼지만 시청하기에 불편하지 않음				
3	시청하기에 약간 불편함				
2	시청하기에 불편함				
1	시청하기에 매우 불편함				

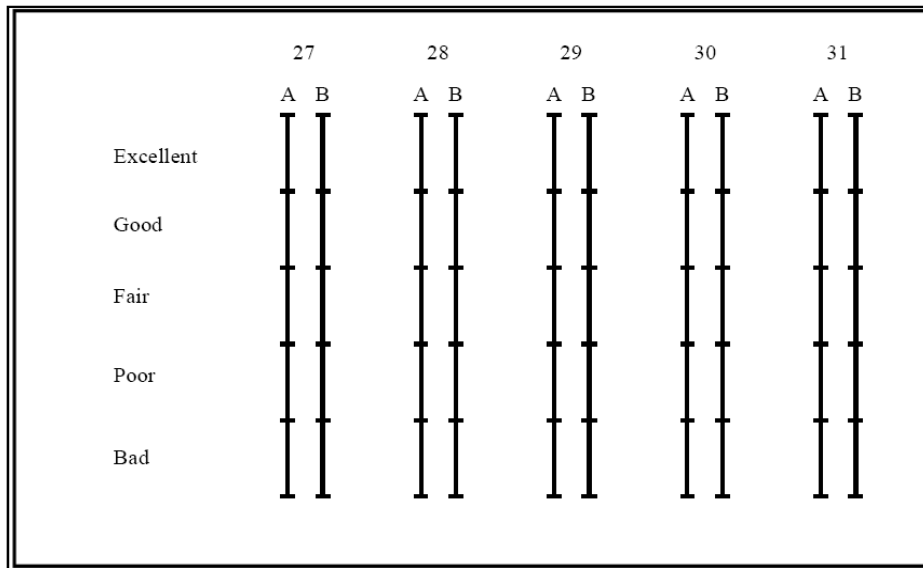


그림 2. DSCQS의 점수표^[6]
 Fig. 2. A score chart of DSCQS^[6]

2. 주관적 화질평가 실험 환경 및 평가단 구성

본 연구에서는 평가가 이루어지는 실험실 환경조건을 ITU-R BT.500 규격에서 권고하는 조건을 충족시키도록 구성하였다. ITU-R BT.500 규격에서는 실험실의 밝기, 시청각도, 시청거리 등의 항목을 상세하게 규정하고 있다. 다만 시청거리의 경우 이 규정을 따를 경우 일반 가정에서의 TV 시청거리와 부합하지 않는 점을 고려해 앞서 시청거리에 대해서 연구했던 [8]을 참고하여 선호도가 가장 높았던 거리인 1.5H (1.05m) 에서 평가를 실행하였다. 평가 실험 중에는 외부와의 출입을 차단하고 4K-UHD 디스플레이용 모니터로 사용한 Astro사의 4K 56 Inch DM-3400^[12]과 조명은 실험 전 30분 동안 예열을 통해 최적화 상태를 이루도록 했다.

ITU-R BT.500에서는 최소 15명 이상의 일반적 시력 가진 비전문가로 평가단을 구성할 것을 권고하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 각 세션 마다 15명의 실험자가 화질 평가자로 참가하여 권고사항을 충족시켰다. 또한 선정된 평가자들은 영상관련 분야에 전문 지식이 없는 일반 학생들과 교직원으로 구성하였다. 평가자들의 평균연령은 약 24세이고 교정시력 0.8~1.2의 비전문가 집단이었다. 본 실험

험에 15명의 평가자 중 13명은 모든 세션의 주관적 화질평가 실험에 참가하였고, 세션 C (프레임틀에 대한 주관적 화질평가)에서만 초기 참여 2명의 평가자들에 의해 주관적 화질 평가가 수행되고, 나머지 모든 세션에 대해서는 교체된 2명의 평가자가 참여하여 주관적 화질 평가를 수행하였다.

3. 테스트 영상 선정 및 분류

본 연구에서 화질평가에 사용된 4K-UHD 영상인 NHK에서 제공한 ‘FourSeasons’는 25 가지 내용의 비디오 클립으로 연결된 하나의 비디오 시퀀스로 구성되어 있다. ‘FourSeasons’는 RG1G2B 형식의 무압축 영상으로 3840x 2160 해상도와 60fps 프레임률로 제작되었다. 본 논문의 주관적 화질 평가 실험을 위해 ‘FourSeasons’영상을 각 비디오 클립으로 분리하고 이 중 평가에 적합한 8개 영상인 Sunflower, Dam, MapleTree, FallPanorama, Cell, Inside-Temple, OutsideTemple, JapaneseFestival을 선별하여 사용하였다. 각 영상의 재생 길이는 10초이다^[6]. 표 2는 주관적 화질평가를 위해 선별된 8개의 비디오 클립의 각 주요 프레임임을 나타낸다.

주관적 화질평가 시 영상의 특성에 따라 평가결과가 크게 달라진다. 본 연구에서는 영상의 특성을 공간적 텍스처의 복잡도와 움직임이 많고 적음에 따라 분류하였다. 영상의 공간적 복잡도를 측정하기 위하여 MPEG-7의 Edge Histogram Descriptor^[11]를 이용하여 화소값의 공간 변화량(SV: SpatialVariance)을 측정하였고, 공간 화소값 변화량 SV는 식 (1)과 같이 정의한다. 식 (1)에서 i 와 j 는 각각 프레임 번호와 에지 타입을, I 와 J 는 영상의 프레임 수와 에지 타입 수를 나타내며, S_{ij} 는 i 번째 프레임에서 j 번째 에지 타입에 대한 edge histogram의 평균값을 나타낸다^[11].

$$SV = \frac{1}{I \times J} \sum_i \sum_j S_{ij} \quad (1)$$


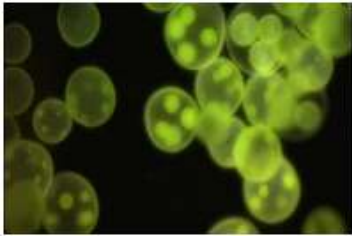

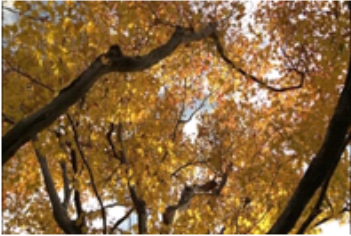




영상 내의 움직임 정도는 H.264/AVC의 모션벡터의 평균크기를 이용하여 시간 변화량(TV: TemporalVariance)을 정의하고 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$TV = \frac{1}{I \cdot N} \sum_i \sum_k \sqrt{(v_{i,k}^x)^2 + (v_{i,k}^y)^2} \quad (2)$$

식 (2)에서 i 는 프레임 번호를, I 는 영상의 전체 프레임 수를 나타내며 i 번째프레임 내에서 k 번째의 4x4 단위블록의 움직임 벡터를 나타낸다. N 은 한 프레임 내에서의 4x4 단위블록의 총 개수를 나타낸다.

테스트 영상들을 SV와 TV에 따라 복잡도와 움직임 정도를 3 가지 (high, middle, low) 타입으로 분류하면 표 3과 같이 총 9가지 종류의 영상으로 분류할 수 있다. 그런데

표 2. 주관적 화질평가에 사용된 테스트 영상
Table 2. Test Sequences used for subjective tests on visual quality

Sunflower	Cell	Dam
		
Maple Tree	Outside Temple	Fall Panorama
		
Japanese Festival	Inside Temple	
		

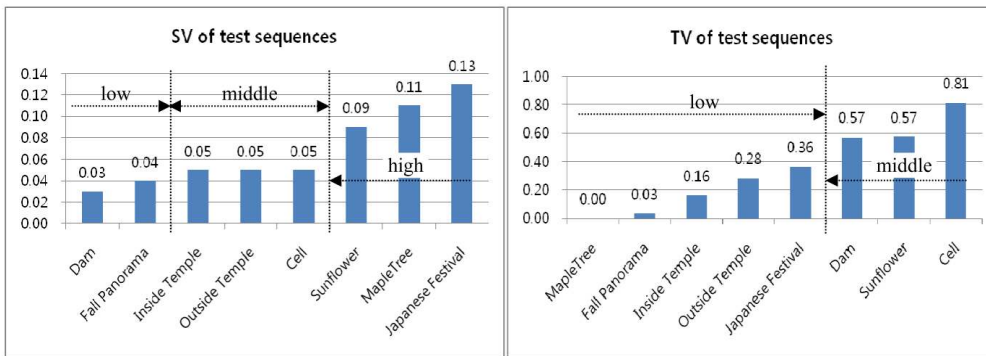


그림 3. 테스트 영상의 SV(좌)와 TV(우)
Fig. 3 SV(left) and TV(right) of test sequences

NHK의 ‘FourSeasons’ 영상에서는 빠른 움직임을 가지는 영상이 거의 존재 하지 않아 표 3에서와 같이 총 6 가지 종류의 영상으로 분류 하였다. 그림 3은 선별된 8개의 테스트 영상에 대한 SV값과 TV값을 나타낸다.

표 3. 영상특성 TV와 SV에 따른 9가지 영상 분류 category
Table 3. 9 sequence category by TV and SV

TV \ SV	high	middle	low
high	N/A	N/A	N/A
middle	Sunflower	Cell	Dam
low	Maple Tree, Japanese Festival	Outside Temple, Inside Temple	Fall Panorama

본 연구에서는 5 가지 항목에 대한 주관적 화질평가를 수행하기 위해 각 세션마다 표 3에 보인 바와 같이 SV 및 TV에 따라 분류한 8개의 영상 중 선별하여 실험에 사용하였다. 가장 먼저 수행된 세션 C와 세션 E는 실험 초기의 컴퓨팅 자원을 고려하여 ‘FourSeasons’ 영상 중 공간적 복잡도와 움직임의 빠르기의 성격을 가장 명확히 나타내는 4 개의 영상인 Sunflower, Dam, MapleTree, FallPanorama를 선별하여 주관적 화질평가에 이용하였다. 뒤이어 수행된 주관적 화질평가 실험인 세션 B와 세션 D에서는 공간적 복잡도가 중간(middle)이고 움직임의 빠르기가 중간(middle)인 Cell 영상과 공간적 복잡도가 중간(middle)이고 움직임의 빠르기가 느린(low) OutsideTemple을 추가하여

실험을 수행하였다. 마지막 실험인 세션 A에서는 영상 내의 객체의 크기가 주관적 화질평가에 영향을 미칠 수 있으므로 객체가 큰 Japanese Festival과 객체가 작은 Inside Temple을 더 추가하여 실험을 수행하였다.

III. UHD 영상의 주관적 화질평가 실험

본 논문에서는 국내 UHD 방송 신호규격 제정을 위한 기본 정보를 제공하기 위해 4K-UHD 화질에 영향을 끼치는 영상의 공간 해상도, 프레임률, 컬러포맷, 압축률에 따른 화질차이를 평가하였다. 추가로 비트 심도차이에 대한 HD 영

표 4. 주관적 화질평가를 위한 세션 구성
Table 4. Session configurations for subjective visual assessments

세션	Test conditions	parameters	평가방법
세션 A	해상도	1920x1080, 3840x2160	DSCQS
세션 B-1	컬러포맷	YUV444, YUV422	DSCQS
세션 B-2	컬러포맷	YUV444, YUV420	DSCQS
세션 B-3	컬러포맷	YUV422, YUV420	DSCQS
세션 C	프레임률	30fps, 60fps	DSCQS
세션 D	비트심도	8bit, 10bit	DSCQS
세션 E-1	압축률	QP 22/27/32	DSIS
세션 E-2	압축률과 시청거리	0.75H*, 1.5H, 2H, 3H, 4H	DSIS

*H는 Screen Height를 나타내며 56인치 4K-UHD 모니터는 0.7m이다.

상의 주관적 화질 평가를 수행 하였다. 아래 표 4와 같이 8개의 세션으로 구성하여 주관적 화질평가를 실시하였으며 각 평가자 마다 세션과 세션 사이에는 최소한 3일의 휴지기간을 두어 바로 앞에 수행된 세션에서의 화질에 대한 인식이 다음 세션에 간섭하는 것을 방지하였다.

1. 세션 A 해상도에 따른 주관적 화질 평가

세션 A는 2K-HD 영상과 4K-UHD 영상에 대한 주관적 화질을 평가 비교 측정하기 위해 56inch 디스플레이에서 2K-HD 해상도(1920x1080)와 4K-UHD 해상도(3840x2160)의 화질 차이 평가를 목표로 하며, 원신호의 해상도에 따른 화질을 평가하는 세션이므로 DSCQS 방법을 이용해 화질을 평가하였다. 이 비교 실험에서는 디스플레이의 물리적인 크기가 주관적 화질평가에 영향을 주는 것을 배제하고 또한 실제 2K-HD영상을 4K 모니터에 디스플레이 할 경우 그래픽카드가 보간하여 디스플레이하는 것이 일반적인 경우임을 고려하여 2K-HD영상을 4K-UHD영상으로 H.264/AVC의 6-tab 필터를 이용하여 보간하여 실험을 수

행하였다. 테스트 영상으로 II장 3절에 언급했던 8개의 영상 모두를 사용하였다.

표 5와 그림 4는 세션 A의 평가결과를 통계표와 그래프로 나타낸다. 각 표와 그림의 그래프는 각 영상에 대해 15명 평가자의 MOS 값과 4K-UHD 영상의 평가점수에서 2K-HD 영상의 평가점수를 뺀 DMOS값을 나타낸다. 전체 4K-UHD 영상의 MOS 값이 81.49점, 2K-HD 영상의 MOS 값이 64.83점으로서, 2K-HD 영상과 4K-UHD 영상간의 DMOS 값이 16.66점으로서 4K-UHD 영상의 화질이 더 높게 평가되었다. 이를 영상의 특성에 따라 분석해 보기 위해 그림 4에서 각각 TV와 SV값에 따라 DMOS의 변화량을 그래프로 나타내었다. TV값이 증가할수록 DMOS값이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이는 영상의 움직임이 적을 때는 평가자가 화면 내용에 대한 집중도가 높아 화질의 차이를 더 잘 분별해 내었던 것에 기인한 것으로 판단된다. SV값은 DMOS의 변화량에 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 다만 영상 안에 담고 있는 객체의 크기가 DMOS값에 영향을 주는 것으로 보인다. SV값이 같은 0.5인 Inside Temple, Outside Temple, 그리고 Cell 영상을 살펴보면 그 영상 안

표 5. 2K-HD 영상과 4K-UHD 영상의 MOS 및 DMOS
Table 5. MOS and DMOS of 2K-HD sequences and 4K-UHD sequences

분류	영상		Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		Cell	
	해상도	영상	4K-UHD	2K-HD	4K-UHD	2K-HD	4K-UHD	2K-HD	4K-UHD	2K-HD	4K-UHD	2K-HD
MOS			84.53	71.2	75.33	64.7	86.67	59.3	82.47	57.5	76.67	71
Score 표준편차			8.927	15.4	15.98	20.4	11.75	22	11.01	13.5	9.94	15
DMOS			13.33		10.67		27.33		24.93		5.67	
Differential score 표준편차			14.10		13.74		19.07		14.19		8.42	
분류	영상		Inside Temple		Outside Temple		Japanese Festival		전체영상			
	해상도	영상	4K-UHD	2K-HD	4K-UHD	2K-HD	4K-UHD	2K-HD	4K-UHD	2K-HD		
MOS			85.33	59	79.4	65.4	81.53	70.5	81.49	64.83		
Score 표준편차			10.08	18.2	10.34	16.7	10.64	14.9	11.58	17.57		
DMOS			26.33		14.00		11.00		16.66			
Differential score 표준편차			15.64		13.12		11.83		15.71			

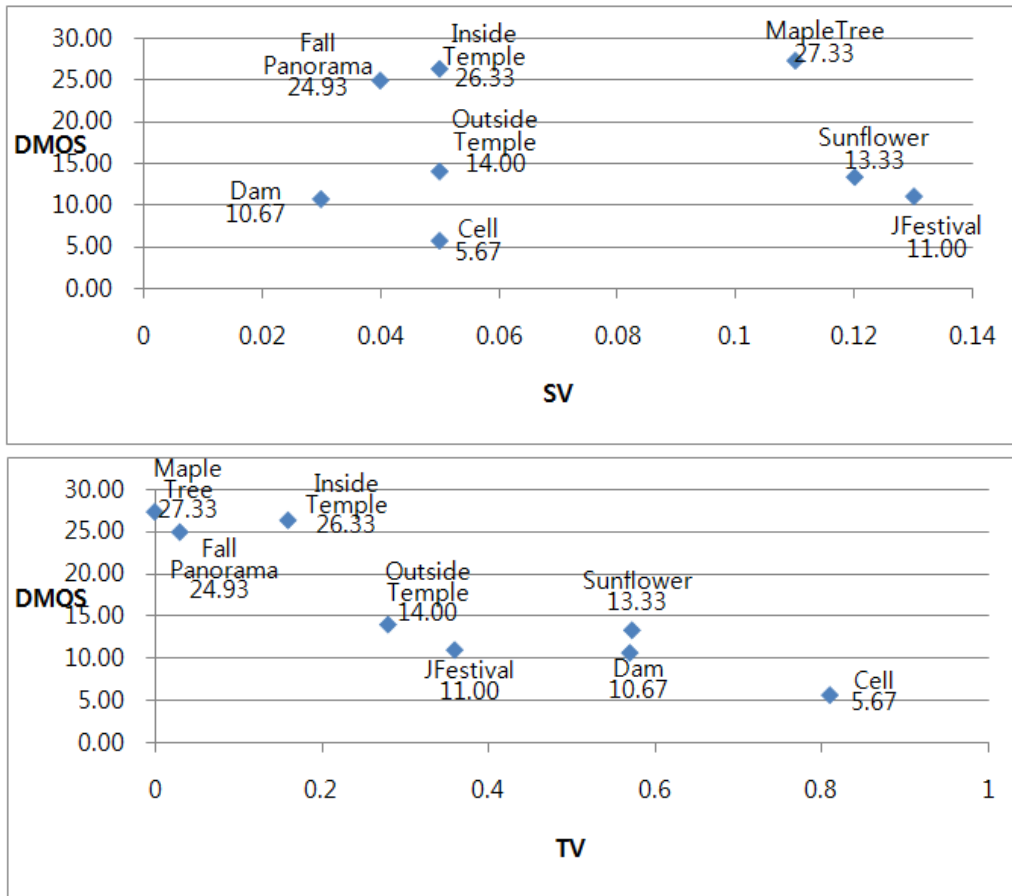


그림 4. 2K-HD SV(상)와 TV(하)에 따른 영상과 4K-UHD 영상 간의 DMOS
 Fig. 4 DMOS between 2K-HD sequences and 4K-UHD sequences with SV(up) and TV(bottom)

에 담고 있는 객체(나뭇잎, 세포, 절 기둥 등)가 작을수록 DMOS값이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 Fall Panorama나 Maple Tree, Inside Temple 등 DMOS값이 높게 나타난 영상들을 보면 TV값이 낮기도 하지만 그 영상 안에 담고 있는 객체(나뭇잎, 창틀, 사람, 눈두렁 길 등)가 작다는 공통점(원거리 샷)이 있다. TV 값에 따른 그래프에서 TV값이 증가할수록 DMOS가 감소하다가 Sunflower 영상에서 그 값이 소폭 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 Sunflower 영상 내의 객체(원거리의 꽃잎, 꽃의 씨앗 등)가 Dam 영상이나 Japanese Festival 영상 내의 객체보다 작기 때문일 것으로 판단된다. 즉, 작은 객체를 가진 영상에서 2K-HD 영상과 4K-UHD 영상 간의 화질차이가 더욱 분명

하게 나타나는데 이는 높은 해상도의 영상이 작은 객체의 세밀한 부분을 보다 더 잘 표현하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

본 실험에서의 2K-HD 영상과 4K-UHD 영상 간의 주관적 화질비교 평가는 4K-UHD 영상이 2K-HD 영상보다 DSCQS 관점에서 17.13점 차이로 화질이 우수한 것으로 나타났다.

2. 세션 B 컬러 포맷에 따른 주관적 화질 평가

세션 B는 4K-UHD 테스트 영상에 대해 YUV444, YUV422, YUV420 3가지 컬러 포맷에 따른 영상의 주관적

화질 차이를 비교 평가하는 세션으로서 DSCQS 방법을 이용해 화질을 평가하였다. 비교 항목이 3개 이므로 YUV444 포맷과 YUV422 포맷 간의 화질 차이를 비교하는 세션을 B-1, YUV444 포맷과 YUV420 포맷간의 화질 차이 비교 세션을 B-2, YUV422 포맷과 YUV420 포맷간의 화질차이 비교 세션을 B-3로 하여 3개의 서브세션으로 구성하여 주관적 화질 비교평가를 수행하였다. YUV444 포맷의 영상으로부터 YUV422 포맷 및 YUV420 포맷의 영상으로의 변환은 SIG2YUV 프로그램에서 제공하는 소스를 사용하여 서브 샘플링 하였다¹³⁾. 사람의 눈이 컬러정보에 민감도가 떨어지는 점을 고려하여 세션 B에서는 특별히 동영상과 더불어 정지영상에 대한 컬러 포맷에 따른 영상의 주관적 화질 차이를 각 서브 세션마다 추가적으로 비교 평가 하였다. 동영상 대비 정지영상에 대한 평가자의 집중도가 더 높

기 때문이다. 정지영상의 경우 각 테스트 동영상의 공간적 대표성을 나타내는 프레임을 선별하여 비교 평가 하였다. 세션 B에 사용된 4K-UHD 테스트 영상으로는 Sunflower, Dam, Maple Tree, Fall Panorama, Cell, Outside Temple, 이상의 6가지 영상이다.

표 6 ~ 표 11과 그림 5 ~ 그림 7의 그래프들은 각각 YUV444 포맷의 4K-UHD 영상에 대한 평가점수에서 YUV422 포맷의 4K-UHD 영상의 평가점수를, YUV444 포맷의 4K-UHD 영상의 평가점수에서 YUV420 포맷의 4K-UHD 영상의 평가점수를, YUV422 포맷의 4K-UHD 영상의 평가점수에서 YUV420 포맷의 4K-UHD 영상의 평가점수를 뺀 DMOS 값과 각 테스트 영상의 MOS 값을 나타낸다. 세션 B-1과 세션 B-2의 결과를 보면 동영상의 DMOS 값은 세션 B-1과 세션 B-2 각각이 10.11과 16.61로

표 6. 동영상의 YUV444와 YUV422에 따른 MOS 및 DMOS
Table 6. MOS and DMOS of YUV444 sequences and YUV422 sequences

영상 분류	Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		Cell		Outside Temple		전체영상	
	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422
YUV formats	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422
MOS	84.13	68.80	70.00	63.33	84.33	66.33	78.40	72.07	74.33	70.67	79.87	69.20	78.51	68.40
Score표준편차	12.36	15.75	19.73	18.68	10.15	16.09	13.46	12.69	15.45	19.54	11.35	14.84	14.64	16.22
DMOS	15.33		6.67		18.00		6.33		3.67		10.67		10.11	
Differential Score표준편차	14.07		10.47		14.24		13.16		15.64		10.50		13.78	

표 7. 정지영상의 YUV444와 YUV422에 따른 MOS 및 DMOS
Table 7. MOS and DMOS of YUV444 still images and YUV422 still images

영상 분류	Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		Cell		Outside Temple		전체영상	
	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422
YUV format	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422	444	422
MOS	85.00	56.67	71.20	56.20	85.87	67.53	82.87	65.87	76.67	60.67	85.53	65.87	80.98	62.13
Score표준편차	13.76	13.45	19.90	17.75	12.27	13.30	13.00	16.60	13.45	12.80	11.98	16.12	14.95	15.39
DMOS	28.33		15.00		18.33		17.00		16.00		19.67		19.06	
Differential Score표준편차	9.57		14.27		13.84		14.61		13.52		13.43		13.68	

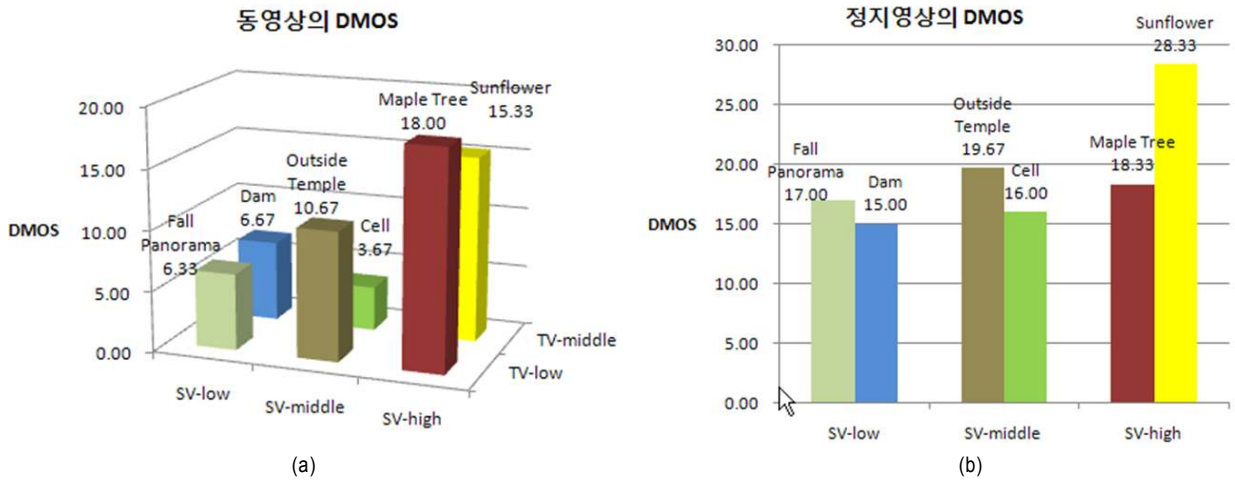


그림 5. SV와 TV에 따른 YUV444와 YUV422 영상 간의 DMOS (a) 동영상의 DMOS (b) 정지영상의 DMOS

Fig. 5. DMOS between YUV444 sequences and YUV422 sequences with SV and TV (a) DMOS of sequences (b) DMOS of still image

표 8. 동영상의 YUV444와 YUV420에 따른 MOS 및 DMOS

Table 8. MOS and DMOS of YUV444 sequences and YUV420 sequences

분류 \ 영상	Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		Cell		Out Temple		전체영상	
	444	420	444	420	444	420	444	420	444	420	444	420	444	420
MOS	85.60	65.60	73.40	58.73	85.47	60.47	78.67	67.67	74.67	65.67	84.33	64.33	80.36	63.74
Score 표준편차	10.81	16.38	15.46	20.83	11.48	13.82	13.16	15.45	14.57	15.68	10.15	12.37	13.39	15.84
DMOS	20.00		14.67		25.00		11.00		9.00		20.00		16.61	
Differential Score 표준편차	11.80		11.41		10.35		9.67		12.28		9.45		11.97	

표 9. 정지영상의 YUV444와 YUV420에 따른 MOS 및 DMOS

Table 9. MOS and DMOS of YUV444 still images and YUV420 still images

분류 \ 영상	Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		Cell		Out Temple		전체영상	
	444	420	444	420	444	420	444	420	444	420	444	420	444	420
MOS	84.93	60.27	65.67	49.67	84.13	62.13	79.00	67.67	81.33	64.00	83.53	64.53	79.77	61.38
Score 표준편차	9.64	11.85	20.34	19.86	11.58	14.23	15.83	19.07	13.29	13.39	13.92	12.72	15.58	16.12
DMOS	24.67		16.00		22.00		11.33		17.33		19.00		18.39	
Differential Score 표준편차	8.55		9.86		10.66		11.72		14.25		9.67		11.49	

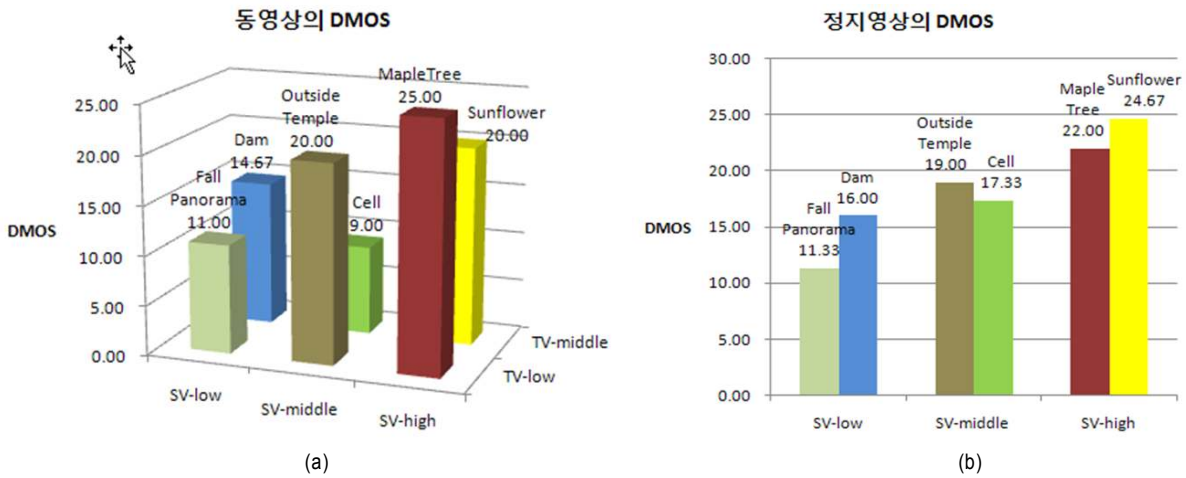


그림 6. SV와 TV에 따른 YUV444와 YUV420 영상 간의 DMOS (a) 동영상의 DMOS (b) 정지영상의 DMOS
 Fig. 6. DMOS between sequences of YUV444 and YUV420 with SV and TV (a) DMOS of sequences (b) DMOS of still image

표 10. 동영상의 YUV422와 YUV420에 따른 MOS 및 DMOS
 Table 10. MOS and DMOS of YUV422 sequences and YUV420 sequences

분류	영상	Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		Cell		Outside Temple		전체영상	
		422	420	422	420	422	420	422	420	422	420	422	420	422	420
MOS		76.33	76.67	68.67	65.33	83.00	80.33	75.53	82.20	70.67	73.33	77.53	80.53	75.29	76.40
Score 표준편차		13.16	14.35	16.53	16.31	11.46	13.56	13.86	11.26	22.59	19.97	14.75	15.54	16.05	16.04
DMOS		-0.33		3.33		2.67		-6.67		-2.67		-3.00		-1.11	
Differential Score 표준편차		11.80		11.41		10.35		9.67		12.28		9.45		12.51	

표 11. 정지영상의 YUV422와 YUV420에 따른 MOS 및 DMOS
 Table 11. MOS and DMOS of YUV422 still images and YUV420 still images

분류	영상	Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		Cell		Outside Temple		전체영상	
		422	420	422	420	422	420	422	420	422	420	422	420	422	420
MOS		73.00	76.67	67.33	67.67	77.53	78.53	73.33	74.33	69.13	75.13	80.80	80.13	73.52	75.41
Score 표준편차		14.12	10.29	16.99	19.17	11.43	9.93	14.96	13.48	14.90	14.55	10.09	12.97	14.31	13.94
DMOS		-3.67		-0.33		-1.00		-1.00		-6.00		0.67		-1.89	
Differential Score 표준편차		11.72		11.09		9.30		9.30		14.04		12.08		11.28	

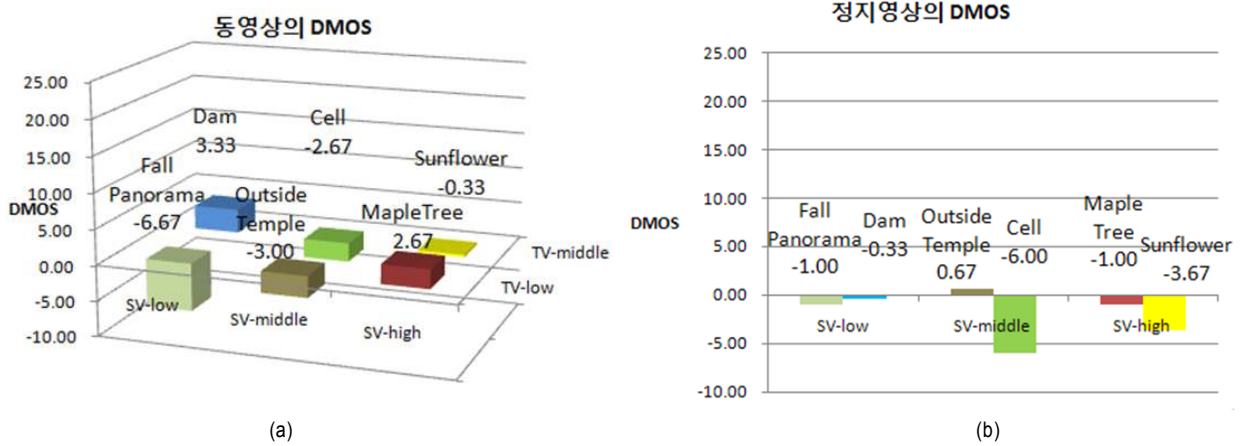


그림 7. SV와 TV에 따른 YUV422와 YUV420 영상 간의 DMOS (a) 동영상의 DMOS (b) 정지영상의 DMOS
 Fig. 7. DMOS between YUV422 sequences and YUV420 sequences with SV and TV (a) DMOS of sequences (b) DMOS of still image

서 정지영상의 DMOS 값인 19.06과 18.39 보다 낮은 결과를 나타낸 것을 볼 수 있다. 즉, 동영상 보다 정지영상의 DMOS 값이 더 높게 나타난 것이다. 또한 동영상 내에서도 TV가 낮은 영상들, 즉 움직임이 적은 영상들의 DMOS 값이 움직임이 많은 영상들 보다 더 높게 나타난 것을 알 수 있다. TV값이 가장 높아 움직임이 많은 Cell 영상이 동영상 일 때 그 DMOS 값이 매우 낮았던 것에 비해 정지영상인 경우 DMOS 값이 크게 증가한 것이나, 움직임이 많은 Sunflower 영상의 DMOS값이 동영상인 경우에는 움직임이 적은 Maple Tree 영상보다 DMOS가 낮지만 정지영상인 경우에는 그 값이 역전되는 현상에서도 확인 할 수 있다. 이는 영상의 움직임이 적을 때에 평가자들의 컬러에 대한 집중도가 높아 두 영상간의 차이를 더 잘 구분하는 것으로 판단된다. 이것으로 유추해 볼 때 TV가 낮은 영상이 TV가 높은 영상보다 즉, 움직임이 적은 영상이 움직임이 많은 영상보다 평가자들로 하여금 컬러의 차이를 더 크게 느끼게 한 것으로 분석된다. 정지영상의 DMOS 값은 YUV444 포맷 영상과 YUV422 포맷 영상과의 차이보다 YUV444 포맷 영상과 YUV420 포맷 영상과의 차이가 소폭 감소하지만 큰 차이가 아니며 동영상의 경우 오히려 값이 6정도 증가하는 것을 볼 수 있다.

한편 세션 B-3의 결과를 보면 세션 B-1과 세션 B-2의 DMOS 값에 비해 그 절대값이 아주 작다. 동영상과 정지영

상의 평가 결과 각각이 모두 평균이 0에 가까운 수치인데도 DMOS 값의 표준 편차가 12.51과 11.28로서 다소 크게 나타난 것을 보면 평가자들 중 같은 비교 실험에서 정반대의 평가를 내리는 경우가 많다는 것을 의미한다. YUV422 포맷 영상과 YUV420 포맷 영상 간의 화질 차이 비교 실험에서는 평가자들이 서로 다르게 구분할 수 없을 정도로 차이를 느끼지 못하였다. 결론적으로 YUV444 포맷 영상과 YUV422 포맷 영상의 화질차이와 YUV444 포맷 영상과 YUV420 포맷 영상 간의 화질 차이는 동영상에서 보다 정지영상에서 더 크게 나타나고, 정지영상의 경우 DMOS 값이 18이상으로 높게 나타난 것으로 볼 때 YUV444 포맷 영상의 화질이 YUV422나 YUV420 포맷 영상의 화질 보다 더 좋다고 판단하였으며 YUV422와 YUV420 포맷 영상 간의 화질차이는 미미하다는 결론을 내릴 수 있다.

3. 세션 C 프레임률에 따른 주관적 화질 평가

세션 C는 영상의 화질을 결정짓는 중요한 요소 중 하나인 프레임률에 따른 주관적 화질차이를 비교하는 세션이다. 프레임률이 높을 수록 영상의 주관적 화질평가가 높게 나타나는 것이 일반적이다. 좀 더 공정한 비교 실험을 위해 30fps의 영상은 각 홀수 프레임 복사를 통한 보간을 이용하여 60fps로 디스플레이하여 비교실험을 수행한다. 프레임

복사를 하지 않고 프레임간 예측을 통한 보간 방법을 이용하여 프레임률을 증가시키는 방법도 있으나 알고리즘에 따라 주관적 화질평가에 영향을 줄 수 있으므로 본 실험에서는 단순 프레임 복사를 적용한다. 따라서, 본 세션 C에서는 프레임 복사를 통한 보간법을 이용해 30fps 프레임률을 60fps 프레임률로 증가시킨 영상과 60fps 원본영상 간의 화질 차이를 비교한 세션으로 DSCQS 방법을 이용해 화질을 평가하였다. 60fps로 제작된 원영상에서 홀수 프레임만을 추출하여 30fps인 영상으로 만든 후, 프레임 복사를 통해 보간하여 60fps 영상과 프레임률을 같도록 만들었다. 이 영상은 형식상 60fps이지만 내용은 30fps인 영상이 된다. 한편 현재 컴퓨팅 자원으로는 4K-UHD 영상을 60fps 속도로 재생하는 것이 현실적으로 어려워 60fps 대신 최대 가능한 56fps로 수행하였다. 결론적으로 30fps-60fps 대신 28fps-

56fps 영상의 비교로 대체 실험을 수행 하였다. 본 세션 C에서 사용된 4K-UHD 테스트 영상으로는 Sunflower, Dam, Maple Tree, Fall Panorama 이상의 4가지 영상이다.

표 12와 그림 8은 56fps 4K-UHD 영상의 평가점수에서 28fps 4K-UHD 영상의 평가점수를 뺀 DMOS값과 각 영상의 MOS 값을 나타낸다. 전체 평균은 16.40로서 56fps 4K-UHD 영상이 28fps 4K-UHD 영상보다 화질이 좋은 것으로 평가되었다. 특히 영상을 SV값과 TV값으로 분류하여 나타낸 그림 8의 그래프를 보면 TV가 상대적으로 높은 Dam과 Sunflower 영상이 높은 DMOS 값을 나타내고 있다. 그런데 Maple Tree 영상은 TV값이 낮아도 불구하고 높은 DMOS 값을 나타내는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 Maple Tree 영상은 전체적으로 움직임이 거의 없어 낮은 TV를 갖는 영상으로 분류되었지만 영상 내의 특성인 간간

표 12. 30fps 영상과 60fps 영상의 MOS 및 DMOS
Table 12. MOS and DMOS of 30fps sequences and 60fps sequences

분류	영상		Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		전체영상	
	56fps	28fps	56fps	28fps	56fps	28fps	56fps	28fps	56fps	28fps	56fps	28fps
프레임률												
MOS	82.6	57.6	75.2	55.07	77.3	58.07	76.13	74.93	77.8	61.4		
Score표준편차	11.7	20.55	14.83	20.25	18.3	20.9	19.19	18.17	16.12	21.04		
DMOS	25		20.13		19.27		1.2		16.4			
Differential Score표준편차	19.55		16.4		23.09		9.1		19.56			

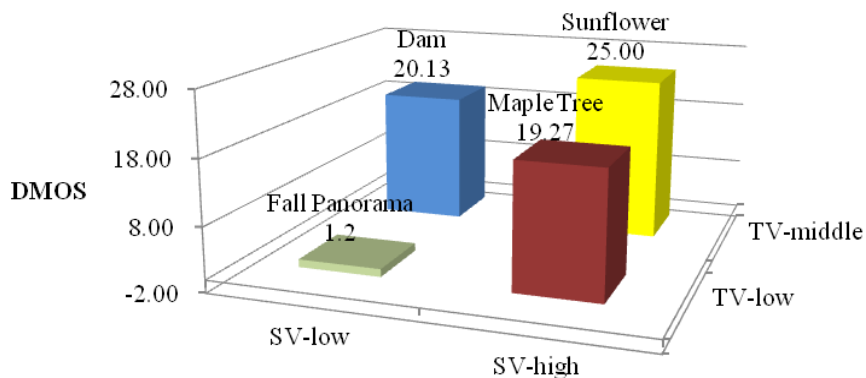


그림 8. SV(상)와 TV(하)에 따른 28fps 영상과 56fps 영상 간의 DMOS
Fig. 8. DMOS between 28fps sequences and 56fps sequences with SV and TV

히 떨어지는 단풍잎이 빠른 속도로 회전하면서 움직이기 때문이다. 평가자들이 이 움직임에 집중했을 가능성이 높다. Maple Tree의 DMOS의 표준편차가 23.09로서 가장 큰 점도 이러한 현상에 기인한 것으로 추정된다. 떨어지는 단풍잎을 주목한 평가자와 그렇지 않은 평가자가 있기 때문이다. 이렇게 움직임이 많은 영상이 움직임이 적은 영상보다 DMOS 값이 높게 평가된 이유는 움직임이 적은 영상에서는 28fps 영상을 56fps 영상으로 보간하기 위해 복사한 프레임이 원본의 56fps 영상의 프레임과 거의 흡사하여 두 영상 간의 차이가 거의 없고 움직임이 많은 영상은 그 차이가 더 크기 때문인 것으로 추정된다. 결론적으로 56fps의 영상이 28fps의 영상보다 더 높은 평가를 받았으며 움직임이 빠른 영상일 수록 그 점수차, 즉 평가자가 느끼는 화질 차이가 더 컸다.

4. 세션 D 비트심도에 따른 주관적 화질 평가

세션 D는 비트심도(bit depth)가 10 bit인 영상과 8 bit인 영상 간의 화질차이를 평가하는 세션으로 DSCQS 방법으로 화질을 평가하였다. 보유하고 있는 4K Astro DM-3400 모니터의 출력이 10 bit의 비트심도를 지원하지 못하는 관계로 10-bit 2K-HD 영상의 디스플레이를 지원하는 HP DreamColor LP2480zx 모니터를 사용하여 8 bit와 10 bit인 2K-HD 영상간의 주관적 화질 비교평가를 수행 하였다. 비트심도가 10 bit 인 영상의 하위 2 bit를 0로 패딩한 영상을

비트심도 8 bit인 영상으로 간주하고 비교평가 하였다. 즉 10bit의 R, G, B 각 채널은 8 bit의 R, G, B 채널보다 최대 표현 가능한 색의 수가 64배 증가함에 따라 더 섬세한 컬러 표현이 가능해 진다. 본 세션 D에서는 세션 B에서와 마찬가지로 평가자들의 컬러에 대한 집중도를 높이기 위해 정지영상에 대한 비트심도에 따른 화질 비교평가를 추가적으로 수행하였고 사용된 4K-UHD 테스트 영상으로는 Sunflower, Dam, Maple Tree, Fall Panorama, Cell, Outside Temple, 이상의 6가지 영상이다.

표 13, 14와 그림 9는 비트심도가 10 bit인 2K-HD 영상과 8 bit인 2K-HD 영상에 대한 화질평가 결과인 MOS와 DMOS를 통계적으로 나타낸다. 동영상의 경우 비트심도가 10 bit인 영상들의 MOS 값이 77.61로 나타났으며, 8 bit 2K-HD 영상들의 MOS는 76.77로서 두 영상간의 차이를 나타내는 DMOS는 0.84점으로 평가되었다. 전체 동영상의 DMOS가 0.84점으로 매우 적은 점수로 평가된 반면 영상들의 DMOS 표준편차는 11.60점으로 높은 점수를 보이고 있다. 이는 평가자들이 같은 영상을 보고 정 반대의 평가를 내려 DMOS 점수가 음수로 평가된 경우가 많았음을 의미하고 비트심도가 10 bit인 2K-HD 영상과 8 bit인 2K-HD 영상 간의 화질차이가 미미하여 평가자들에게 혼돈을 준 것으로 해석될 수 있다. 동영상에 비해 평가자들의 집중도가 높은 정지영상의 경우에도 DMOS의 평균이 1.49에 지나지 않으며, 표준편차는 10.64로서 비트심도가 10 bit인 2K-HD 영상과 8 bit인 2K-HD 영상 간의 화질차이가 미미

표 13. 8bit 심도 동영상과 10bit 심도 동영상의 MOS 및 DMOS
Table 13. MOS and DMOS of 8bit-depth- sequences and 10bit-depth- sequences

분류 \ 영상	Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		Cell		Outside Temple		전체영상	
	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit
MOS	71.93	74.53	74.53	75.73	84.07	81.33	76.80	73.67	76.67	78.00	81.67	77.33	77.61	76.77
Score표준편차	16.44	11.75	17.25	15.91	15.85	12.31	13.04	13.25	11.94	12.07	14.23	14.74	15.06	13.29
DMOS	-2.60		-1.20		2.73		3.13		-1.33		4.33		0.84	
Differential Score 표준편차	12.19		13.89		13.56		9.03		9.85		10.33		11.60	

표 14. 8bit 심도 정지영상과 10bit 심도 정지영상의 MOS 및 DMOS
Table 14. MOS and DMOS of 8bit-depth-still-images and 10bit-depth-still-images

분류	영상		Sunflower		Dam		Maple Tree		Fall Panorama		Cell		Outside Temple		전체영상	
	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit	10bit	8bit
MOS	71.00	73.07	69.47	70.67	83.00	80.20	78.00	73.40	79.67	77.33	80.33	77.87	76.91	75.42		
Score 표준편차	16.69	18.16	18.03	16.57	10.32	9.56	14.12	12.06	12.46	12.23	9.90	14.21	14.41	14.09		
DMOS			-2.07		-1.20		2.80		4.60		2.33		2.47		1.49	
Differential Score 표준편차			13.68		8.38		11.33		9.94		9.80		10.20		10.64	

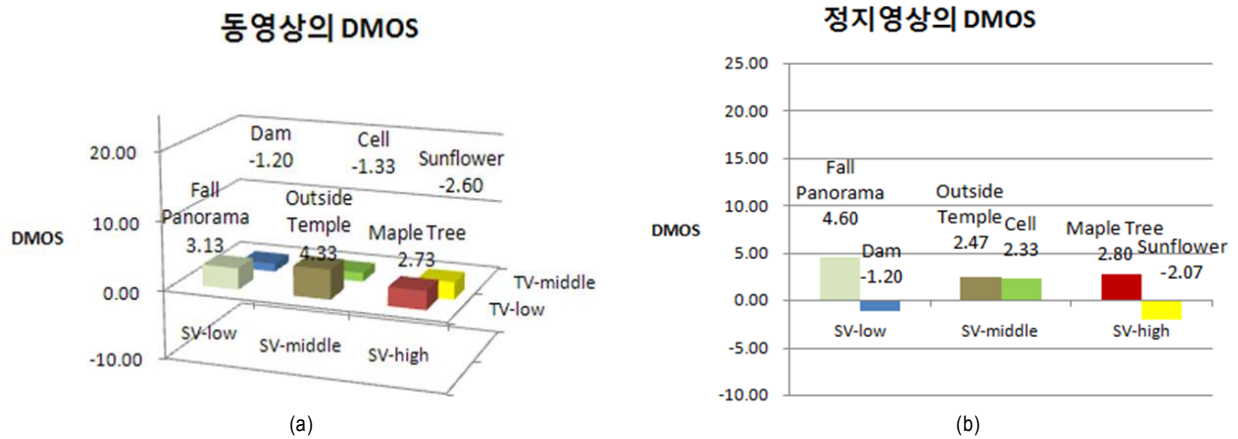


그림 9. SV와 TV에 따른 8bit 심도 영상과 10bit 심도 영상 간의 DMOS (b) 동영상의 DMOS (b) 정지영상의 DMOS
Fig. 9. DMOS between 8bit-depth-images and 10bit-depth-images with SV and TV (b) DMOS of sequences (b) DMOS of still image

하여 평가자들이 상반된 평가를 내린 것으로 판단된다.

이미 진술한 바와 같이 세션 D는 보유한 4K-UHD 모니터가 10bit 출력을 지원하지 못함에 따라 2K-HD 모니터를 사용하여 2K-HD 영상에 대한 8 bit와 10 bit 간의 주관적 화질 비교 평가를 실시하였다. 그러나, 향후 10 bit 이상 비트심도와 56인치 이상의 4K-UHD 지원 디스플레이 모니터에서의 주관적 평가 실험이 가능해 진다면 평가자들이 10 bit 영상과 8 bit 영상 간의 화질차이를 구별할 가능성이 있을 것으로도 예상된다.

5. 세션 E 부호화율에 따른 주관적 화질 평가

세션 E는 원신호와 부-복호화된 4K-UHD 영상간의 화질

차이를 평가하는 세션이다. 부호화 하고 복호화하는 과정에서 압축률에 따른 주관적 화질 비교평가를 실시하는 세션 E-1과 이를 또한 시청거리에 따른 화질평가를 실시하는 세션 E-2로 구성하여 주관적 화질 비교 평가를 실시하였다.

우선, 세션 E-1은 영상의 압축률에 따른 원영상과 부호화된 후 복호화된 영상 간의 화질 차이를 비교하는 세션이므로 DSIS 방법을 이용해 화질을 평가하였다. 부호기로는 H.264/AVC JM 16.0 참조 소프트웨어를 사용하였고 High 4:2:2 프로파일, search range=16, reference frame number=1, B frame은 사용하지 않는 조건에서 각각 QP22, 27, 32의 압축률로 4K-UHD 영상을 부호화하여 압축 비트스트림을 얻었다. 테스트 영상으로 Sunflower, Dam, Maple Tree, Fall Panorama 이상의 4개의 영상을 사용했다.

세션 E-2에서는 시청거리에 따른 부호화된 후 복호화된 영상의 화질 차이를 비교하는 세션으로 역시 DSIS 방법을 이용해 화질을 평가하였다. 모니터 스크린으로부터 0.75H, 1.5H, 2H, 3H, 4H의 거리에서 원영상과 부호화된 영상의 화질차이를 비교하였고, 영상을 부호화 하는 조건은 세션 E-1과 동일하며 이 세션에서는 Dam, Maple Tree 두 영상을 QP 27과 QP32으로 부호화하여 원본 영상과 비교하였다.

표 15와 그림 10은 4K-UHD 원영상과 부호화된 후 복호화된 4K-UHD 영상 간의 비교화질 척도인 MOS 값을 나타

낸다. 그리고 표 16과 그림 11은 시청거리에 따른 4K-UHD 원영상과 부호화된 후 복호화된 4K-UHD 영상의 비교화질 척도인 MOS 값을 나타낸다. 그림 10을 보면 Sunflower 영상을 제외한 모든 영상이 PSNR이 증가할수록 MOS값 또한 증가하고 있다. 이것은 PSNR 값이 증가 할수록 부호화된 영상이 원영상과 차이가 적어져 높은 화질을 유지하는 것을 의미한다. 또한 PSNR 값이 38dB 이상이 되면 모든 영상의 MOS값이 4점 이상을 나타내어 원본과 큰 차이를 느끼지 못하는 것으로 나타났다. 4개의 영상 중 유독 Sunflower 영

표 15. 복부호화 영상의 MOS
Table 15. MOS of compressed sequences

영상 분류	Sunflower QP22	Sunflower QP27	Sunflower QP32	Dam QP22	Dam QP27	Dam QP32
PSNR(dB)	40.70	36.13	32.57	40.55	34.75	30.84
Bitrate(Mbit/s)	492.74	222.28	80.07	630.74	227.57	11.22
MOS	4.80	4.87	4.73	4.47	4.07	2.27
Score 표준편차	0.56	0.35	0.46	0.83	0.59	0.80
영상 분류	Maple Tree QP22	Maple Tree QP27	Maple Tree QP32	Fall Panorama QP22	Fall Panorama QP27	Fall Panorama QP32
PSNR(dB)	40.40	35.74	31.80	40.37	35.28	30.27
Bitrate(Mbit/s)	414.41	159.09	59.28	521.72	238.69	61.52
MOS	4.53	3.80	2.80	4.80	4.33	3.67
Score 표준편차	0.52	0.56	1.08	0.41	0.62	0.90

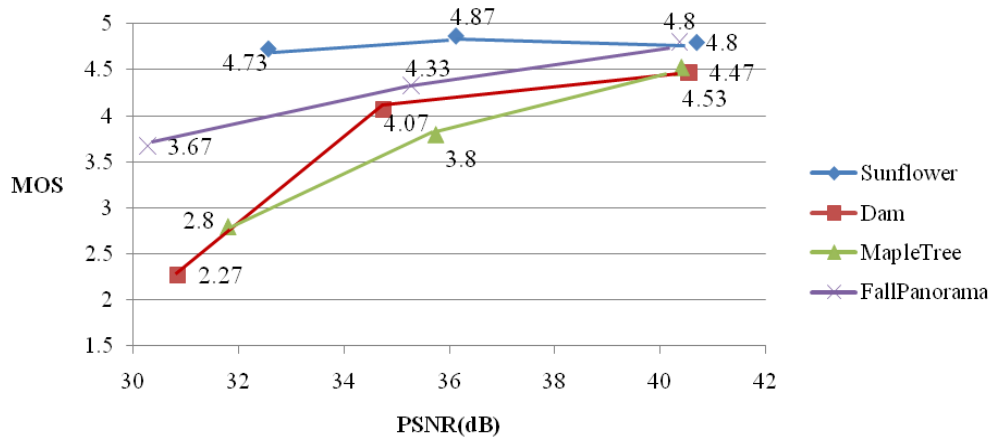


그림 10. 복부호화 영상의 PSNR에 따른 MOS
Fig. 10. MOS of compressed sequences with PSNR

표 16. 복부호화 영상의 PSNR과 시청거리에 따른 MOS
Table 16. MOS of compressed sequences with PSNR and viewing distance

영상	Maple Tree PSNR 35.74 dB(QP27)					Maple Tree PSNR 31.80 dB(QP30)				
	0.75H	1.5H	2H	3H	4H	0.75H	1.5H	2H	3H	4H
MOS	3.667	4.2	4.33	4.93	5	2.33	2.73	3.2	4	4.7
Score 표준편차	0.617	0.41	0.49	0.26	0	1.05	0.88	0.68	1	0.5
영상	Dam PSNR 34.75 dB(QP27)					Dam PSNR 30.84 dB(QP30)				
	0.75H	1.5H	2H	3H	4H	0.75H	1.5H	2H	3H	4H
MOS	3.93	4.2	4.33	4.5	4.7	1.73	2.13	2.5	3.1	3.9
Score 표준편차	0.59	0.68	0.6	0.5	0.5	0.59	0.52	0.7	0.6	0.6

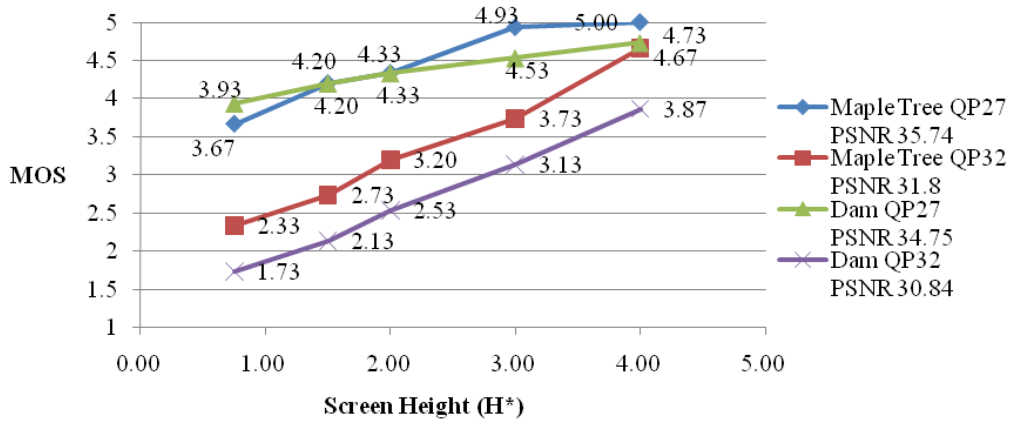


그림 11. 복부호화 영상의 PSNR과 시청거리에 따른 MOS
Fig. 11. MOS of compressed sequences with PSNR and viewing distance

상은 PSNR 값이 감소하는 것과 상관없이 높은 MOS 값을 유지하고 있는데 이는 영상의 질감(texture)이 균일(homogeneous)한 영역과 관련이 있다. 높은 압축률로 영상을 부호화하게 되면 영상의 질감이 균일한 영역에서 blocking artifact로 인한 열화가 발생하고 이것이 쉽게 평가자들의 눈에 띄어 화질 차이를 쉽게 느끼게 하는 것으로 판단된다. Sunflower 영상을 제외하고 Dam, Maple Tree, Fall Panorama 영상 순으로 균일한 영역이 많거나 균일한 영역이 전면에 배치되어 있어 눈에 잘 띄는 영상들이다.

세션 E-2에서는 거리에 따른 5 군데 시청 위치에서 각각 화질 평가를 하는데 많은 프레젠테이션이 소요되기 때문에 Maple Tree와 Dam 두 영상만을 이용하여 화질평가를 실시

하였다. 참고로 시청거리는 스크린 높이를 나타내는 H의 0.75, 1.5, 2, 3, 4배의 거리를 기준으로 하였고 4K-UHD 모니터의 높이는 약 0.7m이다. 표 16과 그림 11을 보면 거리가 증가함에 따라 MOS값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 시청거리가 증가함에 따라 blocking artifact로 인해 열화가 발생한 부분이 평가자들의 눈에 잘 띄지 않게 되기 때문으로 판단된다. 특히 PSNR 값이 34dB 이상인 4K-UHD 영상들은 3H 부근에서 MOS 값이 4.5보다 크게 되며 이 지점부터 거의 원영상과의 차이를 느끼지 못한다고 볼 수 있다. 그리고 이 3H(2.1m)라는 거리는 33평형 아파트의 거실에서 TV시청 거리와 비슷한 점을 고려할 때 의미 있는 수치라고 여겨진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 최근 수요와 관심이 급증하고 있는 초고 해상도 영상 서비스의 시청환경 및 신호 규격 제정에 기초 자료가 되는 4K-UHD 영상에 대한 주관적 화질평가를 실시하였다. ITU-R BT.500의 권고에 따라 DSCQS 방법과 DSIS 방법을 통해 4K-UHD 영상의 해상도, 프레임률, 컬러 포맷, 압축률에 따른 화질의 차이를 평가했다. 추가로 2K-HD 영상에 대한 비트심도에 따른 주관적 화질 비교 평가를 실시하였다.

영상에 대한 주관적 화질 평가는 그 영상의 특성에 따라 변할 수 있으므로 영상의 특성을 SV(공간적 복잡도), TV(영상의 움직임 정도)를 통해 분류하여 화질평가를 실행하였다. 2K-HD 영상과 4K-UHD 영상간의 주관적 화질 비교 평가는, 4K-UHD 영상의 화질이 2K-HD 영상의 화질에 비해 DSCQS 방법기준으로 DMOS 값이 16.66점의 우월함을 나타냈다. 프레임 율에 따른 화질평가에서는 움직임이 빠른 영상들은 높은 프레임률의 영상과 낮은 프레임률의 영상간의 DMOS 값이 20점 이상 큰 차이를 보였으며, 움직임이 느린 영상에 대해서는 높은 프레임률의 영상과 낮은 프레임률의 영상간의 화질차이는 DMOS 값이 1.2점으로 작은 차이를 보였다. 컬러포맷에 따른 정지영상의 주관적 화질 비교 평가에서는 YUV444와 YUV422, YUV444와 YUV420 포맷간의 화질차이는 DMOS 값이 18점 이상으로 컸지만 YUV422와 YUV420 포맷간의 화질차이는 DMOS 값이 -1.89점으로 그 차이가 미미했다. 동영상의 화질평가에서도 YUV444와 YUV422, YUV444와 YUV420 포맷간의 화질차이는 DMOS 값이 10.11점과 16.61점으로 컸지만 YUV422와 YUV420간의 화질차이는 DMOS 값이 -1.11점으로 그 차이가 미미했다. 비트심도 10bit의 영상과 8bit의 영상 간의 화질차이는 DMOS 값이 동영상에서 0.84, 정지 영상에서 1.49로서 차이가 매우 작아 화질 차이를 느끼지 못하는 것으로 평가되었다. 압축률에 따른 화질평가에서는 압축률이 증가하면서 PSNR 값의 감소로 인해 blocking artifact로 인한 화질차이를 크게 느끼는 것으로 나타났다. 시청거리 1.5H 즉 1.05m에서 화질을 측정했을 때 PSNR 값이 38dB 이상이 될 때 모든 영상의 MOS 값이 4점 이상이 되

어 원본과의 화질 차이가 미미한 것으로 평가되었으며 PSNR 값이 34dB 이상인 영상들은 3H(2.1m) 부근에서 MOS 값이 4.5점 이상이 되어 이 지점부터 거의 원영상과의 차이를 거의 느끼지 못했다.

본 논문의 저자들은 본 논문을 쓰고 있는 현 시점에서 4K-UHD 비디오의 주관적 화질 평가 수행 및 분석에 대한 논문으로는 국외 및 국내에서 본 논문이 처음인 것으로 판단된다. 따라서, 향후 4K-UHD 비디오 서비스가 예상되는 지상파 및 위성 그리고 케이블 방송 규격화를 위한 표준과 IPTV 및 국제표준화에 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 본 실험을 통해, 4K-UHD 비디오는 기존의 2K-HD 비디오에 비해 확연한 화질 차이를 보이는 콘텐츠로서 새로운 서비스에 대한 가능성을 처음으로 확인하였다는 점에서 의미가 크다 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-R BT.1201 "Extremely high resolution imagery"
- [2] ITU-R BT.709-5 "Parameter Values for the HDTV standards"
- [3] ITU-R BT.1361 "Colorimetry parameter and related characteristics"
- [4] ITU-R BT.710 "Subjective Assessment Methods for image quality in HDTV"
- [5] ITU-R BT.1210 "Test materials to be used in subjective assessment"
- [6] ITU-R BT.500 "Methodology for the subjective assessment of the quality of TV pictures"
- [7] Masayuki Sugawara, Kenichiro Masaoka, Masaki Emoto, Yasutaka Matsuo, and Yuji Nojiri, "Research on Human Factors in Ultrahigh-Definition Television(UHDTV) to Determine Its Specifications", SMPTE journal, Apr., 2008
- [8] Kenichiro Masaoka, Masaki Emoto, Masayuki Sugawara, Fumio Okano, "Presence and preferable viewing conditions when using an ultrahigh-definition large-screen display", SPIE-IS&T, 2005.
- [9] Masaki Emoto *, Kenichiro Masaoka, Masayuki Sugawara, Yuji Nojiri "The viewing angle dependency in the presence of wide field image viewing and its relationship to the evaluation indices" ELSEVIER, 2006.
- [10] 이주식, "실감방송 기술정책 추진방향", TTA 저널, 127호, pp. 42~47, 2010년 1월.
- [11] Chee Sun Won, Dong Kwon Park, and Soo-Jun Park, "Efficient Use of MPEG-7 Edge Histogram Descriptor", ETRI Journal, Volume 24, Number 1, February, 2002.
- [12] http://www.astro-systems.com/DM-3400/dm_3400_page1.html.
- [13] sgi2yuv program available at: <http://www.ldv.ei.tum.de/Members/to-bias/videtools/sgi2yuv.zip>.

저 자 소 개



박 인 경

- 2008년 2월 : 한동대학교 전자전자공학부 학사
- 2008년 6월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : UHDTV, 화질평가, 비디오코딩



하 광 성

- 2009년 2월 : 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부 학사
- 2009년 7월 : 삼성소프트웨어멤버십 수료
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : UHDTV/3DTV 화질평가, 비디오코딩, 패턴인식



김 문 철

- 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1992년 12월 : University of Florida, Electrical and Computer Engineering, 석사
- 1996년 8월 : University of Florida, Electrical and Computer Engineering, 박사
- 1997년 1월 ~ 2001년 2월 : 한국전자통신연구원, 선임연구원
- 2001년 2월 ~ 2005년 8월 : 한국정보통신대학교 공학부 조교수
- 2005년 9월 ~ 2009년 2월 : 한국정보통신대학교 공학부 부교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 부교수
- 주관심분야 : 비디오코딩, 패턴인식, 비주얼 정보처리, UHDTV, IPTV, UXTV, 멀티미디어 시스템



조 숙 희

- 1993년 2월 부경대학교 전자계산학과 이학사
- 1996년 2월 부경대학교 전자계산학과 이학석사
- 1999년 9월 요코하마국립대학교 전자정보공학과 공학박사
- 2004년 11월 ~ 2005년 10월 캐나다 CRC 객원연구원
- 2008년 7월 ~ 2009년 12월 차세대방송표준포럼 3DTV분과위원회 UHDTV WG 의장
- 1999년 11월 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
- 주관심분야 : 실감미디어 부호화, 실감방송시스템



최 진 수

- 1990년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 1996년 2월 경북대학교 전자공학과 공학박사
- 1996년 5월 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원, 실감미디어연구팀장
- 주관심분야 : 영상통신, UHDTV방송, 3DTV방송, 데이터방송