3D 영상의 제작 왜곡이 시청 피로도에 미치는 영향 분석

장 형 준^{a)}, 김 용 구^{a)†}

An Analysis of Visual Fatigue Caused From Distortions in 3D Video Production

Hyung-Jun Jang^{a)} and Yong-Goo Kim^{a)†}

요 약

양안식 입체 영상 미디어의 제작 워크플로우 개선을 위해, 본 논문에서는, 제작 및 후-제작 단계에서 발생할 수 있는 다양한 제작 왜곡들이 시청 피로도에 미치는 영향을 주관적 시청 실험을 통해 분석하였다. 주관적 시청 실험의 객관적 지표 생성을 위해 제작 왜곡의 요인들을 분류하여 7가지의 대표적 시청 피로도 유발 요인을 선정하고, 선정된 각 요인 별 시청 실험을 위해 카메라와 피사체의 움직임 정도를 조합하여 4가지 실험 동영상을 제작하였다. 제작된 실험 영상들은 각기 7단계의 제작 왜곡을 부가하여 5초 단위의 시청 실험 콘텐츠 196개를 생성하였으며, 생성된 콘텐츠와 ITU-R BT.1438 권고에 따라 총 101명의 실험 참가자를 모집하여 주관적 시청 실험을 실시하였다. 실시된 시청 실험의 분석 결과는 제작 현장에서 발생할 수 있는 다양한 왜곡에 대한 상대적인 중요도 및 각 오차에 대한 허용 한계 범위 등에 대한 기본 정보를 제공한다.

Abstract

In order to improve the workflow of 3D video production, this paper analyzes the visual fatigue caused from distortions in 3D video production stage through a set of subjective visual assessment tests. To establish a set of objective indicators for subjective visual tests, various distortions in production stage are investigated to be categorized into 7 representative visual-fatigue-producing factors, and to conduct visual assessment tests for each selected category, 4 test video clips are produced by combining the extent of camera movement as well as the object(s) movement in the scene. Each produced test video is distorted to reflect each of the selected 7 visual-fatigue-producing factors, and we set 7 levels of distortion for each factor, resulting in 196 5-second-long video clips for testing. Based on these test materials and the recommendation of ITU-R BT.1438, subjective visual assessment tests are conducted by 101 applicants. The test results provide a relative importance and the tolerance limit of each visual-fatigue-producing factor, which corresponds to various distortions in 3D video production field.

Keyword: stereoscopic video, visual fatigue, visual comfort, subjective visual assessment, distortion in production field

1. 서 론

3D 영상 처리 및 디스플레이 기술의 비약적인 최근 발전은 스테레오스코픽 3D 영상 산업에 일대 변혁을 예고하고 있다. 영화 아바타로부터 촉발된 스테레오스코픽 3D에 대

a) 한독미디어대학원대학교 뉴미디어학부

Newmedia Dept. at KGIT (Korean German Institute of Technology)

† 교신저자 : 김용구 (ygkim@kgit.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 “대학IT연구센터 육성 지원사업”의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1101-0006)

· 접수일(2011년8월2일), 수정일(2012년1월2일), 게재확정일(2012년1월3일)

한 전 세계적인 관심과 투자는 세계 각국의 주요 영상 산업에 지대한 영향을 미치고 있으며, 특히 차세대 실감 방송의 하나로 스테레오스코픽 3D 방송의 가능성에 이목을 집중하게 하였다. 국내의 경우에도, 2010년 6월 프레임-호환 기반의 3D 실험 방송이 위성방송 사업자인 스카이라이프를 통해 실시되었고, 동 년 10월에는 방송통신위원회 주재로 서비스-호환 구조의 세계 최초 고품질 3D 실험방송이 송출되기에 이르렀다. 이러한 스테레오스코픽 3D 기술의 방송 실현은 방송 그 자체를 비롯한 다양한 3D 응용 분야 산업에 매우 긍정적인 변화를 가져오게 하리란 전망을 가능하게 하였지만, 시장에서의 가시적 성공이 실현되기 위해서는 아직 많은 개선점이 남아있는 것으로 알려져 있다^[13]. 양질의 콘텐츠 보급 및 이를 통한 시청 피로도의 개선은 3D 산업이 성공하기 위한 이러한 개선점 중 하나로 매우 중요한 과제라 할 수 있는데, 이는 20세기 중반 이후 영화 산업에 등장했던 3D 영상이 투사 장치의 조합함으로 인해 관람자에게 두통과 눈의 불편감을 유발하였고, 이로 인해 대중의 관심에서 멀어졌던 역사를 통해 그 중요성을 제고할 수 있기 때문이다. 따라서 장시간 시청이 전제되는 방송의 경우, 시청자가 생리적 불편함 없이 편안하게 시청할 수 있는 고품질의 콘텐츠와 디스플레이가 전제되어야 하고, 고품질 콘텐츠 제작을 위한 전반적인 인프라 구축과 체계적인 워크플로 정착이 매우 중요한 스테레오스코픽 3D 방송의 성공 요인이라 하겠다.

스테레오스코픽 3D 입체 영상의 품질을 판단하고 시청 안락함을 제공하기 위해, 시청 피로도 유발 요소들을 분류하고 평가한 다양한 연구들이 존재한다. Woods 등은 양안식 비디오 시스템에서 키스톤 왜곡에 의해 유발되는 수직 시차의 범위를 논의하였고^[1], IJsselsteijn 등은 카메라 파라미터와 디스플레이 지속시간이 스테레오 영상의 품질과 시청 불편에 미치는 영향에 대한 주관적 평가를 수행하여, 폭주식 카메라의 사용은 가능한 피해야 한다고 주장하였다^[2]. 또한, Yamanoue 등은 영상을 9개 영역으로 분할하여 주성분 분석 (Principal Component Analysis)을 수행함으로써 시차 분포의 영향을 고려한 시청 피로도를 예측하였고^[3], Kooi 등은 공간 왜곡, 광도 비대칭 및 시차 왜곡에 기반한 다양한 요인들이 시청 불편에 미치는 정도를 측정함으

로써 각 요인 별 왜곡이 시청 불편을 초래하는 개별 임계치를 제시하였다^[4]. 이러한 양안 시차의 정도와 시각 피로도 사이의 관계는 Speranza 등에 의해 더욱 확장되어 양안시차의 시간적 변화 및 영상 내 물체의 깊이 변화와 시각 피로도 사이의 관계에 대한 연구로 이어졌고^[5], Lambooij 등은 스테레오 영상 시청 불편을 유발하는 기존 요소들이 과도하지 않은 경우에도 여전히 시청 불편이 발생하는 경우들을 발견하고, 깊이의 빠른 변화, 시/공간적 불일치 및 자연스럽지 못한 정도의 상 흐림 등을 시청 불편을 초래하는 새로운 요소로 제안하였다^[6]. 이상의 연구들이 모두 스테레오스코픽 3D 영상의 시청 불편을 유발하는 다양한 요인을 밝히고, 그 정도 및 임계치 등을 제시한 것이라면, Hoffman 등은 [7]에서 일반적인 스테레오스코픽 3D 디스플레이가 요구하는 시청자의 원근조절과 영상의 상 흐림 효과가 양안 정보의 합성과 이를 통한 공간인지에 미치는 영향을 연구하였다. 그들은 3단계 원근 조절이 가능한 새로운 디스플레이를 제작하여 정확한 초점 신호가 양안 정보 합성의 능력을 고양시키고, 깊이감 왜곡이나 시각 피로도를 크게 감소시킨다는 사실을 밝혔다. 이 후 Kim 등과^[8] Choi 등은^[9], 최근 다시점 및 스테레오스코픽 3D 비디오의 새로운 형식으로 주목받고 있는, 깊이 정보 기반 스테레오스코픽 비디오에서 깊이 정보를 이용한 수평/수직 시차 량 및 깊이 정보의 시/공간 변화에 기반한 시청 피로도 예측 기법을 제안하였고, 이들 연구는 개인의 입체시 특성 차이를 반영한 깊이 영상의 움직임 기반 3D 시청피로도 예측 방식으로 연계되었다^[10].

스테레오스코픽 3D 비디오의 휴먼팩터에 대한 이상과 같은 다양한 연구 결과들은 고품질 3D 콘텐츠 보급에 매우 유용한 자원이라 할 수 있지만, 스테레오스코픽 3D 콘텐츠의 제작 시 발생하는 제작 왜곡에 의한 시청 피로도 유발 정도에 대한 직접적인 연구는 찾아볼 수 없다. 참고문헌 [4]의 경우, 다양한 시청 피로도 요소에 대한 개별 극치를 조사하였지만, 이는 시청 시스템의 하드웨어에서 나타날 수 있는 광학 오류, 광도 비대칭, 스테레오 차이 등에 대한 요소를 포함하고 있어 콘텐츠 제작에 직접 활용하는 데에는 한계가 있다. 또한, 이와 같은 기존의 연구들을 3D 콘텐츠 제작에 직접적으로 활용하기 위해서는 제작 시스템의 사용에

서 발생할 수 있는 다양한 제작 오류들을 각 시청 피로도 유발 요소, 혹은 여러 시청 피로도 유발 요소들에 연계하여 그 효과를 예측하고 실제 효과를 검증하는 과정이 필요하다. 하지만, 이러한 연계가 명확하지 않은 제작 왜곡 요소들이 존재할 뿐 아니라, 이러한 연계를 통한 스테레오스코픽 3D 비디오의 기존 휴먼팩터 연구 결과들의 재검증을 위해서는 실로 방대한 노력이 필요하다 하겠다.

이에 본 논문에서는 제작 및 후-제작 단계에서 발생할 수 있는 다양한 제작 왜곡들이 스테레오스코픽 3D 비디오의 시청 피로도에 미치는 영향을 주관적 시청 실험을 통해 직접적으로 분석하였다. 이를 위해, 본 연구에서는, 입체 영상의 제작 장비 활용에서 발생할 수 있는 왜곡 요인들을 분류하여 7가지 대표적 시청 피로도 유발 요인을 선정하고, 각 요인 별로 시청 피로도 (왜곡 정도)가 심해지도록 7단계를 설정하였다. 또한, 콘텐츠의 특성에 따른 시각 피로도의 특성을 알아보기 위해, 카메라의 움직임 없이 화면 내 피사체의 움직임이 빠른 경우와 느린 경우, 그리고 피사체의 움직임이 빠른 경우에 있어 카메라의 움직임이 느린 경우와 빠른 경우의 4가지 실험 영상을 선정하였다. 즉, 4가지 실험 영상에 대해 각기 7가지 시청 피로도 유발 요인을 각 7 단계로 구분하여 주관적 시청 실험을 수행하였고, 총 101명의 실험 응답자의 설문 조사 내용을 토대로 시청 피로도의 상대적 강도 및 특성을 분석하였다.

이러한 실험 결과는 스테레오스코픽 3D 입체 영상의 제작에 있어, 현장 상황에 따른 제작 왜곡의 무결성 확보에 있어 그 우선순위 또는 상대적 중요도를 고려한 최소한의 제작 가이드라인으로 활용될 수 있으며, 양질의 입체 영상을 제작하기 위해 표준화된 제작 가이드라인을 구축함에 있어 중요한 지표로 활용될 수 있다.

II. 스테레오스코픽 3D 콘텐츠 제작 왜곡

스테레오스코픽 3D 콘텐츠를 제작하기 위해서는 2대 이상의 카메라와 리그 시스템 (Rig System) 이 필요하다. 현재의 방식으로는 일반적인 2D 카메라와 리그를 결합한 형태의 3D 제작 시스템이 일반화 되어있다. 이러한 리그 시

스템에서는 개별 장비들의 결합과 기계적인 메커니즘 특성으로 인해 다양한 왜곡이 발생하며 이러한 왜곡의 정확한 교정 (Alignment)이 입체 영상의 완성도와 시각적 피로도 경감에 결정적인 영향을 미치고 있다. 입체 영상을 제작하는 과정에서 왜곡이 발생할 수 있는 경우를 분류하면 두 대의 카메라의 동기화 문제, 두 대 카메라를 통한 촬영의 기하학적인 문제, 두 대의 카메라 세팅에서 발생하는 카메라 특성 문제, 두개의 렌즈 광축이 서로 달라서 발생하는 문제, 촬영의 문법적인 문제 등으로 분류 할 수 있다. 본 연구에서는 실제 3D 영상의 제작 과정에서 장비의 특성과 오류교정 (Mismatch Alignment)에서 발생하는 왜곡의 종류를 분류하고, 이러한 분류의 특징을 7개의 과정으로 압축하여 정리했다.

1. 카메라 간 동기 문제

스테레오 이미지의 시청 피로도 유발에 있어 가장 중요한 문제라고도 볼 수 있으며 좌, 우 두 영상의 동기 문제는 저장 과정이나 후반 편집 과정에서 가장 중요한 포인트라 할 수 있다. 인간의 입체 인지 과정에서, 양안으로의 입력되는 영상의 시차가 일정 한계를 벗어나면 각 입력 영상을 서로 다른 그림으로 인식하여 입체 형성에 어려움을 주고, 이에 따라 시청 피로에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다^[1-4]. 실제로 직교 리그형 카메라 시스템에서는 기준이 되는 좌-카메라 영상과 반-거울 (Half Mirror)을 통해 반사되어 들어온 우-카메라 영상은 그 상대 위치가 수평 또는 수직각으로 90도 반전되기 때문에, 제작 현장에서 별도의 장비 없이는 손쉽게 카메라-간 동기를 확인하기 어려우며, 카메라가 사용하는 영상 센서 (Image Sensor) 의 종류에 따라 동기 특성이 다소 틀리게 나타날 수도 있다.

2. 두 대의 카메라를 이용한 촬영의 기하학적 문제

2.1 좌/우 영상 간 수직 라인 매칭 문제

3D 제작용 카메라를 직교방식이나 수평축 방식의 리그에 올려놓고 피사체를 촬영할 때, 좌우 영상의 수평이 틀리

게 되면 두 눈에 입력되어 망막에 맺히는 상의 위치가 다르게 되어 입체를 인지하는데 문제가 된다. HDTV (High Definition TV)의 경우, 예를 들어, 수직 해상도 1080 라인 중 몇 라인 이상 차이가 발생하면 입체영상 인지에 방해가 되고, 시청 피로도가 유발되는지에 대한 허용 오차 범위에 대해 알아볼 필요가 있다.

2.2 좌우 카메라간의 회전 정렬문제

3D 제작용 카메라를 리그에 장착할 때, 삼각대와의 수평 문제나 카메라에 장착된 플레이트-패널의 문제로 인해 좌우 카메라 중 어느 한쪽 또는 2대의 카메라가 모두 중심축으로부터 틀어진 회전 정렬 오류가 발생한 영상이 촬영되는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제 때문에 화면의 중심으로부터 좌우 대칭으로 영상이 어긋나는 기하적인 오차를 회전 정렬 문제라 한다.

3. 카메라의 종류 및 파라미터 조정으로 발생하는 문제

화이트/블랙 밸런스, 감마 특성, 디테일, Knee, 화이트 클립 등에 관련된 영상 특성이 좌우 영상 간에 차이가 생기는 문제이다. 이는 기본적으로 2대의 카메라를 사용함으로써 발생하는데, 같은 회사의 동일한 모델 카메라 일지라도 카메라가 가지는 고유의 센서 특징 (CCD 또는 CMOS의 특성)과 전자적인 메커니즘의 차이로 인해 똑같은 이미지를 획득하기란 매우 어렵다. 아래의 문제들은 영상을 표현하는데 있어, 카메라(본체)에서 설정 또는 조정해 주어야 할 파라미터 부분이다.

- 1) 화이트 밸런스 문제는 주어진 조명에서 RGB 색상의 정렬이 두 카메라에서 어느 정도 일치하여야 하는가를 의미한다. 화이트 밸런스가 서로 맞지 않으면 같은 그림이라도 색감이 틀리게 표현 된다. 넓은 범위에서 두 카메라의 색온도 설정 문제나 ND (Neutral Density) 필터, CC (Color Conversion) 필터의 설정 문제 등을 포함하며, 색온도와 CC 필터 관계의 일치 또한 카메라의 색상 일치에서 중요한 부분이다.
- 2) 블랙 밸런스 문제는 두 카메라 사이의 블랙 색상 표현

일치 도를 따지는 것이다. 실제로 카메라 초기 세팅에 있어 중요한 설정 요소이며, 블랙 밸런스 항목이 틀리게 되면 검은색이나 진한 갈색 등의 색상이 변하여 실제와 다르게 표현된다.

- 3) 감마 특성의 문제는 중간부분의 휘도 특성이 가지는 표현이 두 카메라에서 얼마나 정확히 일치되는가에 대한 문제로, 디스플레이 특성에 따라 영상 표현에 큰 차이를 가져올 수 있다. 영상의 제작 과정에 있어, 과거 CRT 모니터의 감마특성을 고려하여 카메라에서는 CRT 모니터 감마특성에 반대로 설정하여 운영하였으며, 영화의 특성이나 그밖에 모니터의 특성에 맞게 변화를 줄 수 있는 항목이다.
- 4) 디테일은 영상의 윤곽선 부분이 얼마나 날카롭게 표현되는가를 의미하는 것으로, 좌우 영상의 디테일 정도가 심하게 틀리면 마치 초점이 서로 틀린 것 같은 착각을 유발할 수 있다.
- 5) Knee / 화이트 클립 등에 대한 문제는 영상이 어느 시점에서 압축 되는가, 그리고 영상의 표현을 어느 지점에서 클립할 것인가에 대한 설정이 두 카메라 사이에 달라질 수 있는 상황에 대한 문제이다. 거의 대부분 자동으로 설정되기는 하지만 이러한 설정이 맞지 않으면 이미지의 이득 (Gain)에 대한 문제로 나타날 수 있다.
- 6) 직교리그에서는 반-거울을 사용하므로 반사와 굴절을 통해 두 개의 영상을 획득한다. 이 과정에서 반사와 굴절의 특성으로 인해 화질의 저하가 발생할 수 있는데, 일반적으로 굴절보다는 반사에 의한 특성이 더욱 심한 화질 열화를 발생시킬 수 있다고 알려져 있으며^[15], 제작 현장 또는 후반작업에서 보정해야 할 중요한 사항이라 할 수 있다.

4. 카메라 렌즈 파라미터 조정으로 발생하는 문제, 스테레오 카메라의 줌, 초점, 조리개 개방 등의 불일치에 의한 문제

스테레오 영상을 획득함에 있어, 두 대의 카메라에서 렌즈부분에서 조정 가능한 파라미터의 불일치에 따르는 문제

를 의미하며, 줌, 초점, 조리개 개방 등의 불일치를 포함하는 것으로, 스테레오 이미지 표현에서 가장 많은 영향을 미치는 부분이라 할 수 있다.

- 1) 두 대의 카메라에서 줌의 속도와 크기가 불일치하는 경우, 두 이미지 간의 밸런스가 깨져 좌/우 영상이 서로 다른 크기로 획득되고 이에 따라 심각한 피로감을 유발할 수 있다.
- 2) 초점 불일치 문제는 두 대의 카메라에서 획득된 영상의 초점이 서로 얼마나 일치하지 않는가에 대한 것으로, 심각한 피로감 유발의 원인 중 하나로 알려져 있다^[14]. 따라서 두 카메라 간의 초점 일치 정도가 가지는 피로도 유발의 허용 범위에 대한 연구는 매우 중요한 스테레오스코픽 영상 제작의 문제라 할 수 있다.
- 3) 조리개 개방 불일치 문제는, 기본적으로 피사체에 대한 좌/우 영상의 밝기 차이에 대한 것으로, 스테레오 이미지에 대한 노출 (exposure) 밸런스를 어떻게 가지고 가야 하는 가, 얼마만큼의 오차가 허용 되는가 하는 문제이다. 좌, 우 두 개의 영상이 가지는 노출 차이에 대한 포인트를 찾아 가는 문제로 볼 수 있다.

5. 렌즈의 광축 불일치 문제

두 대의 카메라와 렌즈가 가지는 광축의 일치는 입체 영상의 품질을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 최근에는 3D 전용렌즈가 출시됨으로써 광축의 특성과 컨트롤 문제를 다소 해결하고 있지만, 줌 배율의 증가로 인해 발생하는 카드보드 효과의 문제와 이를 해결하기위해 단 렌즈를 사용하는 경우 거리에 따른 렌즈의 탈부착과 얼라인먼트 조정 시간의 증가는 능률적 제작을 위해 시청 피로도와 연계하여 제작 현장에서 결정되어야 할 문제이다.

6. 수렴 (Convergence) 에서 발생하는 문제

인간의 시각 체계는 기본적으로 보고자하는 대상에 초점을 맞추도록 한다. 반면, 극장이나 TV 모니터에서 입체 영상을 시청하는 경우, 물리적인 주시각의 초점 거리는 스크린

또는 TV 디스플레이 면으로 국한되지 않는다. 즉, 극장이나 TV 모니터에서 원하는 입체 피사체에 초점을 맞추면 직사각형의 영상 화면이 좌우로 수렴각 (Convergence Angle) 만큼 왜곡 되므로, 편집에서 발생한 수렴 오류에 의해 화면의 좌, 우 양끝 쪽에서 키스톤 왜곡이 발생할 수 있다.

7. 입체 촬영의 문법적인 문제

- 1) 스테레오 영상의 윈도우 오류 (Stereoscopic Window Violation)^[12]
특히 음-시차 (Negative Parallax) 효과를 가지는 물체가 화면 테두리에 잡히면 입체 효과가 무너져 시각적 피로도가 증대된다. 이는 디스플레이의 초점거리와 튀어나와 보이는 입체 효과의 수렴거리의 차이로 인해 시각적 혼란을 느껴 입체를 느낄 때 피로감을 유발하기 때문이다.
- 2) 빠른 줌-IN/OUT, 패닝 (Panning), 틸팅 (Tilting) 등 빠른 장면의 전환은 인간 시각체계의 빠른 수렴 전환을 요구하여, 미처 입체 현상을 느끼기도 전에 빠르게 장면 전환이 이루어지면서 입체 효과의 반감과 함께 피로도도 증대 된다. 기존 2D 영상 이미지 처리기법과는 차별화된 영상 문법이 요구 된다.
- 3) 동일 물체의 경우, 장면 전환 등으로 인한 크기와 거리가 변환 될 때 깊이 값에 대한 기준과 연계가 동반 되어야 한다. 여러 대의 3D 카메라 또는 한 대의 3D 카메라로 촬영한 영상의 편집 과정에서, 급격하게 변하는 깊이 값의 전환은 피해야 한다. 예를 들어 장면 전환에서 전체적으로 들어가 보이는 입체 풀-샷 에서 갑자기 튀어나와 보이는 입체 값으로의 변환은 인간 시각의 수렴 거리가 영상이 요구하는 초점 거리를 맞춰가기 힘들게 한다.
- 4) 화면에 수렴 초점이 맞은 면에서부터 시야각을 좌우로 움직이면 앞쪽의 화면이 좌우로 심하게 움직인다. 즉, 수렴 초점을 기준으로 거리가 멀리 떨어질수록 시야각의 움직임에 따라 화면의 Keying 효과가 증대 된다.

이상에서 살펴본 입체 영상의 제작과정에서 발생 할 수

있는 왜곡의 종류와 패턴을 분류하여 다음의 7가지 경우로 압축 할 수 있는데, 본 연구에서는 이러한 7개 항목에 대한 시청 피로도 특성과 시청 피로도 허용 기준을 제시하였다. 이를 위해 설정한 7가지 실험항목은 다음과 같다.

- 1) 동기 오차: 좌안 영상과 우안 영상의 동기가 일치되지 않는 정도를 가변하며, 입체 값 인식과 시청 피로도의 정도 및 특성에 대해 알아본다.
- 2) 수직 라인 지연: 3D 디스플레이 화면의 수직 해상도를 대상으로 인위적 라인 지연을 단계적으로 가변하며, 입체 영상에 대한 인지특성 및 시각적 피로감을 측정한다.
- 3) 회전 정렬오차: 기준 카메라에 비해 다른 카메라의 회전방향에 대한 기울기의 오차를 가변 할 때 입체 값의 인식 변화와 시청 피로도의 정도를 측정한다.
- 4) 두 영상의 밝기 차이: 좌, 우 영상의 노출에 의한 밝기 차이를 단계화하여 단계 별 입체 인식의 정도 변화 및 시청 피로도를 측정한다.
- 5) 두 영상의 색상 차이: 기준 영상에 비해 부가 영상의 색상 포화도(Saturation) 변화를 단계화 하여, 그 차이가 입체영상의 인식에 주는 영향과 시각적 피로감의 유발 정도를 측정한다.
- 6) 줌 크기 (Zoom Size) 불일치: 줌 사이즈(Zoom Size)에 대한 문제는 관찰자의 기준에 따라 측정하기 어려운 항목으로, 본 연구에서는 렌즈의 줌 수치를 달리하여 좌안 영상과 우안 영상의 크기를 단계적으로 달리하고, 이에 따른 입체 인지의 한계와 시청 피로도를 측정한다.
- 7) 초점 불일치: 초점 (Focus)에 대한 문제는 다분히 주관

적이고 관찰자의 기준에 따라 측정하기 어려운 항목이지만 입체감 형성에 중요한 요소이기도 하다. 본 연구에서는 좌안 영상을 기준으로 우안 영상의 포커스를 단계별로 다르게 하여 단계에 따른 입체 인지 변화와 시청 피로도를 측정한다.

III. 시청피로도 측정 실험 설계

1. 실험의 일반 구성 및 콘텐츠 생성 방법

입체 영상의 방해 요소와 시각적 피로도 발생부분은 너무나 광범위하고 또한 주관적 평가 요소도 다양하므로 본 연구의 실험 방법에서는 주로 객관적이고 계량화 하여 측정하기에 적당한 몇 가지 요소로 한정 하였다. 또한 3D 제작전문가의 심층 인터뷰를 통해 제작 과정에서 시각적 피로도를 최소화하기 위한 의견을 종합해 실험항목의 평가에 기준으로 삼았다. 본 연구에서는 3D 입체 영상의 제작 과정과 편집 과정에서 잘못된 얼라인먼트 (Alignment)가 입체 영상을 시청할 때 발생시키는 시각적 피로도의 최초 임계점(Critical Point)을 찾아내고, 실험 항목 간 상관관계를 분석하는, 이른바 ‘특성상 단계별 변화에 대한 최초 반응 구간에서의 체크’로 실험을 진행 하였다. 실험에 사용된 입체 영상은 크게 4종류로, 배경화면은 정지해있고 입체의 동적인 움직임이 느린 장면 (A type) 과 빠른 장면 (B type), 그리고 주 피사체의 빠른 움직임에 배경화면이 느린 움직임 (C type)과 빠른 움직임 (D type)을 가지는 입체 영상으로 구성하였는데, 영상 내 물체와 배경의 깊이 값은 ‘comfort zone’내에 위치하는 입체 영상으로 한정하였으며, [그림 1]

그림 1. 프레임 호환 방식으로 제작된 실험 영상

Fig. 1. Frame compatible test videos for the proposed subjective evaluation

에 구성된 입체 영상 클립의 대표 화면을 도시하였다.¹⁾ 각 실험 항목은 최대한 객관적이고 계량화된 수치로 나타낼 수 있도록, 측정 항목별로 7단계로 나누어 설계 하였으며, 실험의 여건상 입체 영상은 프레임 호환 방식 (Side-By-Side)으로 제작하였다.

1.1 실험 및 실험 영상의 일반적 구성

실험에 사용된 스테레오스코픽 동영상 클립은 원본에 대한 입체 완성도를 최대한 보장하고자, 2010년 5월 대구육상 3D 중계에서 사용되었던 시퀀스를 이용하여 앞서 설명한 특성을 가지는 5초 단위의 부분 영상을 발췌하여 기본 구성하였다. 각 영상 클립은 짧은 시간 안에 입체를 인식하기에 적절하도록 단일 장면 (ONE Scene), 단일 컷 (ONE Cut)으로 구성하였다. 스테레오 영상에, 앞서 설명한 제작 왜곡의 단계별 정도를 인가하기 위해, 좌안 영상을 기본으로 우안 영상에만 인위적 변형을 실시하였으며, 각 단계별 실험 영상클립 앞에는 1~7 번까지의 단계 번호를 1초 동안 삽입하여 실험평가자로 하여금 현재의 영상클립의 단계 번호를 고지하였고, 4종류로 구성된 실험 영상 클립을 시청하여 하나의 실험항목이 완료되면 7점 척도로 구성된 평가지에 기입하도록 하였다. 각 실험의 1번 항목은 정상적인 클립으로 구성하고, 번호가 높아질수록 왜곡의 정도가 심해지도록 하였다.

시청 실험은 대략 30여분 동안 진행되는데, 매 항목마다 1초의 단계 번호 고지 후 5초 동안에 실험 영상을 보여 주었고, 매 실험 동영상 클립의 단계 별 시청 실험이 끝나면, 5초의 검은 화면으로 잔상의 느낌을 제거하였다. 실험 영상의 구성 여건상, 편집과정을 통하여 실험 항목들에 대한 왜곡을 인가하였으며, 주관적으로 평가를 달리하는 부분 즉 포커스나, 밝기, 입체 값 등은 좌안 영상 이미지 대비 백분율(percentage)을 높여 정도를 달리하여 실험 하였다. 전체적으로 실험 영상의 변화를 일률적으로 단위 백분율 정도나 라인으로 적용하기에는 너무 많은 실험 절차를 거쳐야

하므로, 사전 테스트를 기반으로 해당 항목에서의 왜곡에 대한 피로도 정도를 감안하여 왜곡의 정도를 인가하였다.

실험 영상물의 시청 후 설문지의 뒷부분에 성별, 연령, 교정시력, 3D경험 유무 및 횟수, 그리고 현재 자신의 몸 상태 (상 / 중 / 하) 등을 기재하도록 하였다. 실험 인원 선발은 총 101명의 성인 남녀로 하였으며, 사전 공지를 통한 자발적인 참여로 이루어지도록 하였다. 시청 피로도의 측정 방법은 수동 (Passive) 방식인 편광필터가 내장된 47인치 TV를 사용하였고, 1회 최대 실험 평가 인원은 5명 이내로 제한하였으며, 기타 시청 환경은 [11]을 참고로 구축하였다.

1.2 실험 콘텐츠 상세 구성

- 1) 동기 오차: 정확히 동기가 일치된 클립을 기준으로 1 프레임 씩 지연된 영상을 7 단계로 구분 하였다. 따라서 첫 번째 실험 영상 클립은 정확하게 동기가 일치된 영상이고, 두 번째 클립은 1 프레임, 일곱 번째는 6 프레임 동기가 어긋난 영상 클립이다. 4가지 실험 동영상 클립 모두에 동일하게 적용하였다.
- 2) 수직 라인 지연: 첫 번째 동영상 클립을 기준으로 두 번째 클립부터 수직 라인을 5 라인 씩 변화, 지연시켜 최종 30 라인의 오차 범위 내에서 단계 별 실험 콘텐츠를 구성하였다. Full HD (High Definition) 해상도 기준으로 약 0.5% 씩의 지연 변화를 인가한 셈이다.
- 3) 회전 정렬오차: 좌/우 영상을 각각 전체 화면 비율대비 좌우로 0.5도 (Degree) 씩 기울어지도록 단계를 설정 하였다. 즉, 두 번째 실험 영상 클립의 경우 좌안영상은 좌측으로 우안영상은 우측으로 0.5도 씩 합계 1도를 중앙에서 변형시키게 되고, 같은 방법으로 7단계에서 총 6도의 왜곡 범위로 실험 콘텐츠를 구성하였다.
- 4) 두 영상의 밝기 차이: 좌안영상을 기준으로 우안 영상에 대해 노출(exposure) 차이를 1단계에서부터 7단계까지 변화시켜 실험 콘텐츠를 구성하였다. 노출의 차이를 인가하기 위해 시네폼 (Cineform) 편집기를 사용

1) 제작 왜곡의 시청 피로도는 영상의 입체값 범위 및 입체값의 시간적 변화에 따라 크게 달라질 수 있으며, 시청 피로도 연구에 있어 입체값은 매우 중요한 변인이라 할 수 있다. 하지만, 입체값의 범위 구분이나 시간적 변화 정도에 대한 변인의 추가는, 보편적으로 받아들일 수 있는 정량적 기준이 모호할 뿐 아니라, 이에 따라 지나치게 많은 변인을 가지는 시청 테스트가 될 수 있다는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 'comfort zone'내의 입체값을 가지도록 촬영된 입체 영상에 대한 제작 왜곡의 시청피로도 연구로 그 범위를 제한한다.

하였고, 인가된 왜곡을 비디오 노출 단위인 IRE (Institute of Radio Engineers)로 환산하면 실험 영상의 변화가 10IRE 씩 변화하도록 한 셈이다.

- 5) 두 영상의 색상 차이: 좌안영상을 기준으로 우안 영상의 색 포화도(Saturation)를 7단계정도로 구분하였다. 색 포화도 왜곡을 인가하기 위해 시네폼 편집기를 사용하였고, 두 번째 실험 영상 클립부터 색-포화도를 0.5단계 씩 늘려 벡터스코프 (Vector Scope) 상에서 색-포화도가 15% 씩 증가하도록 왜곡을 인가하였다. 두 카메라의 색 일치 문제는 다분히 주관적 기준일 수밖에 없지만 카메라의 색 포화도에 대한 편집 과정에서의 수치로 객관화 시킬 수 있도록 하였다.

- 6) 줌 크기 (Zoom Size) 불일치: 좌안 영상을 기준으로 화면비율 대비 1%씩 우안 영상의 크기가 변화하도록 줌 수치를 설정하여 총 7단계의 우안 영상 클립을 생성하였다. 줌으로 인해 틀려지는 컨버전스 포인트는 원래 영상을 기준으로 하였다.

- 7) 초점 불일치: 초점 좌안 영상을 기준으로 우안 영상의 흐려짐 (Blur) 단계를 5%씩 조절하여 7단계의 실험 콘텐츠를 구성하였다.

이상에서 설명한 단계 별 실험 콘텐츠의 일부 구성 예를 [그림 2]에 도시하였다.

그림 2. 단계별 실험 콘텐츠 구성의 일부 예

Fig. 2. Examples of artificial 3D production distortions applied to the test videos

2. 주관적 피로도 측정 실험의 구성

본 연구의 독립 변인(Independent Variable)은 총 7개의 실험 항목으로 1) 동기 오차 문제, 2) 수직 라인 지연 문제, 3) 회전 정렬오차 문제, 4) 두 영상의 밝기 차이 문제, 5) 두 영상의 색상 차이 문제, 6) 줌 크기 불일치 문제, 그리고 7) 초점 불일치 문제로 분류할 수 있으며, 종속변인(Dependent Variable)으로 1) 눈의 통증(예, 눈이 뻑뻑하다), 2) 시각적 스트레스로 인한 시청중단 욕구(예, 피곤하다, 스트레스를 받는다), 3) 어지러움(예, 어지럽다, 속이 울렁거린다), 4) 신체통증(예, 목이 빠근하다) 및 5) 상 흐림(예, 이중상이 보인다, 상이 흐릿하다 등)으로 설정하여 그 내용을 실험 평가자 우측에 별도 기입하도록 함으로써 변인 사이의 상관관계를 평가할 수 있도록 하였다.

실험에 사용된 영상은 (1)~(7)의 실험 주제 별 항목으로 분류되고, 각각의 주제별 항목은 앞서 설명된 4개의 기본 영상(A, B, C, D type)을 통해 테스트되며, 각 테스트 콘텐츠는 7단계의 점차 심한 왜곡이 인가된다. 실험의 정확한 평가를 위해, 실험 참가자들이 동일순서의 테스트 콘텐츠 시청에 따른 피로감을 느끼지 않도록 배려하였고, 이를 위해 설정된 7개의 실험 항목을 무작위로 바꾸어 가면서 20명 단위로 실험 순서를 달리 하였다.

또한, 각 실험 항목에 대한 영상 시청에 있어, 단계 별로 왜곡이 인가된 영상을 시청하는 사이에 1초 단위의 단계 번호를 고지하여 시청 단계의 인지 및 짧은 휴식을 취할 수 있도록 하였고, 4개의 실험 영상을 시청하는 사이에는 5초의 검은 화면을 구성하여 시청 피로도가 연계되지 않도록 하였다. 시청 실험을 수행하는 과정에서, 피로감을 느끼는 시점이 되면 더 이상 높은 왜곡이 인가된 영상을 시청하지 말고 평가를 수행하도록 권고하였으며, 7단계까지 시청 불편감을 느끼지 못하는 경우에는 5초의 블랙 화면이 보이는 때에 평가를 수행하도록 하였다. 또한, 주어지는 실험 주제와 주제 사이에는 충분한 휴식 (20초 내외)을 취할 수 있도록 하였는데, 각 실험 주제 별 실험 영상의 시청 구성도를 [그림 3]에 도시하였다.

IV. 실험 결과 및 분석

1. 실험 결과

본 연구에 참여한 101명의 실험 평가단에 대한 일반적 통계를 살펴보면, 남자 실험 참가자가 60명 (59.4%), 여자가 41명 (40.6%)으로 남성 참여자가 약 10% 더 많았고, 연

A	1	1번 영상	2	2번 영상	3	3번 영상	4	4번 영상	5	5번 영상	6	6번 영상	7	7번 영상
5초 Black														
B	1	1번 영상	2	2번 영상	3	3번 영상	4	4번 영상	5	5번 영상	6	6번 영상	7	7번 영상
5초 Black														
C	1	1번 영상	2	2번 영상	3	3번 영상	4	4번 영상	5	5번 영상	6	6번 영상	7	7번 영상
5초 Black														
D	1	1번 영상	2	2번 영상	3	3번 영상	4	4번 영상	5	5번 영상	6	6번 영상	7	7번 영상
5초 Black														

그림 3. 실험 주제 별 실험 영상 시청 구성도 (각 번호고지는 1초, 번호 당 영상은 5초)

Fig. 3. Test configuration for each subjective evaluation (notice of degradation (number): 1 sec, test video: 5 sec, per each)

령대별로는 10-20대가 16명 (15.8%), 21-30대가 75명 (67.4%), 31-40대가 8명 (8%), 그리고 41-50대가 2명 (2%)으로 21-30대가 주류를 이루었다. 입체 영상의 경험을 묻는 질문에는 25명 (24.8%)이 전혀 경험이 없다고 답했으나, 1-3회가 53명 (52.5%), 4-10회가 21명 (20.8%)으로 나타나 입체 영상 시청 경험이 있는 실험 참가자가 전체의 75%를 넘었고, 20회와 60회 등 입체 영상 시청의 경험이 매우 많은 실험 참가자도 각기 1명씩 있었다. 현재의 몸 상태를 묻는 질문에는 37명 (36.6%)이 좋음 (high), 61명 (60.4%)이 보통 (medium)으로 답하여 보통 이상이 97% 이상을 차지했고, 교정시력 또한 90명 (89%)의 응답자가 1.0 이상인 것으로 나타났다. 일반적 통계를 종합해 보면, 모집단이 대학생 위주로 형성되어, 전체 모집단의 평균 연령이 21-30세 사이에 집중해 있으며, 시력이나 몸 상태가 전반적으로 양호하고, 입체 영상에 대한 기 경험자가 많다는 특성을 보이고 있다.

유효평가 항목은 전체 101명 중 일부 미 응답자 4명을 제외한 97명에 대한 유효 결측값 (N=97)을 토대로 구성되었고, 전체 7가지의 실험항목에 대한 빈도분석의 평균값과 표준 오차 결과는 표 1과 같다.

표 1의 결과를 보면, 95% 신뢰 구간에서 1번, 2번, 7번 항목에 대해서는 특정 단계를 기준으로 시청 피로도의 인지가 확연하게 구분되는 반면, 나머지 항목에 대해서는 두 단계에 걸쳐 시청 피로도를 느끼는 개인차가 존재하는 것을 볼 수 있다. 예를 들어, 프레임 동기 (1번 항목) 문제의 경우, 1프레임 차이까지는 모든 응답자가 시청 피로도를 느끼지 않는 것으로 응답했으나, 2프레임 이상 차이가 나면

모든 응답자가 시청 피로도를 호소하였다. 반면, 두 영상의 색상 차이 (5번 항목)에 의한 시청 피로도의 경우에는 좌/우 안 영상의 색-포화도가 30% (3단계) 차이를 보일 때 까지는 모든 시청자가 시청 피로도를 느끼지 않는다고 응답했으나, 5단계 (60% 색-포화도 차이)가 되어야 비로소 모든 응답자가 시청 피로도를 호소하였다.

7가지 실험 항목에서, 각 실험 영상의 특성에 따른 시청 피로도 차이를 분석하여 표 2와 같은 결과를 얻었다. 표 2에서, Cammera_Panning과 Object_Speed는 실험에 사용되었던 A, B, C, D type의 영상을 분류하기 위한 것으로, Cammera_Panning 과 Object_Speed 조합으로 1-1은 A, 1-2는 B, 2-1은 C, 2-2는 D type에 해당한다. 실험의 결과를 살펴보면, 대부분의 경우에 있어 카메라의 움직임이 있는 경우 시청 피로도의 극치 (Upper Bound at Camera_Panning=2)가 더 높게 나타났지만, 두 카메라의 색상 차이 문제에 있어서는 상반된 결과를 보였다. 즉, 카메라가 움직이는 경우 색상 차에 의한 입체 영상의 시청 피로도가 카메라가 정지해 있는 경우에 비해서 더 낮은 차이에서 발생할 수 있다는 것이다. 이 경우를 제외하고는, 일반적으로 카메라 움직임이 있는 경우, 그리고 물체의 움직임이 빠를 경우 입체 영상의 시청 피로도를 느끼는 극치가 더욱 커지는 것을 관찰할 수 있었는데, 이는 카메라나 물체가 빠르게 움직이는 경우 인간 시각체계에 의한 입체의 인지가 이루어지기 어렵다는 기존의 연구 결과들을 고려할 때 기본적인 시청 피로도가 높은 부분에서는 제작 오류에 의한 시청 피로도 극치가 상대적으로 증가하였다는 결과를 보여주며, 실제 입체 영상 제작에 있어 역동적인 장면의 촬영 시에는

표 1. 각 실험항목에 대한 빈도 분석 결과
Table 1. Frequency analysis result for each distortion tested

Production_Issue (왜곡단위)		Mean (실제왜곡)	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
동기오차 (프레임)	1	2.446 (1.4)	.078	2.291 (1.3)	2.601 (1.6)
수직라인 (라인)	2	5.510 (22.6)	.110	5.292 (21.5)	5.728 (23.6)
회전정렬 (도)	3	3.936 (14.7)	.136	3.665 (13.3)	4.206 (16.0)
밝기 차 (IRE)	4	4.853 (38.5)	.129	4.597 (36.0)	5.109 (41.1)
색상 차 (포화도 %)	5	3.985 (44.8)	.134	3.719 (40.8)	4.250 (48.8)
줌 차이 (%)	6	4.835 (3.8)	.130	4.578 (3.6)	5.092 (4.1)
초점 (블러 %)	7	4.464 (17.3)	.134	4.198 (16.0)	4.730 (18.7)

표 2. 실험 항목에 대한 세부적 평균값과 표준 오차

Table 2. Details of the statistical analysis (average and standard deviation) for each distortion tested

Production_Issue * Camera_Panning * Object_Speed						
Production_Issue	Camera_Panning	Object_Speed	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	1	1	2.990	.107	2.777	3.202
		2	2.289	.096	2.098	2.479
	2	1	2.216	.078	2.062	2.371
		2	2.289	.077	2.135	2.442
2	1	1	5.031	.137	4.759	5.303
		2	5.598	.138	5.324	5.872
	2	1	5.773	.139	5.496	6.050
		2	5.639	.132	5.377	5.901
3	1	1	3.464	.148	3.170	3.758
		2	3.866	.164	3.540	4.192
	2	1	4.113	.158	3.800	4.427
		2	4.299	.133	4.035	4.563
4	1	1	4.856	.163	4.532	5.180
		2	4.876	.159	4.560	5.193
	2	1	4.928	.142	4.647	5.209
		2	4.753	.145	4.465	5.041
5	1	1	3.969	.163	3.645	4.294
		2	4.258	.153	3.954	4.562
	2	1	3.835	.151	3.536	4.134
		2	3.876	.138	3.603	4.150
6	1	1	4.361	.146	4.071	4.651
		2	4.918	.164	4.593	5.242
	2	1	4.928	.142	4.645	5.210
		2	5.134	.143	4.851	5.417
7	1	1	4.196	.165	3.869	4.523
		2	4.505	.154	4.198	4.812
	2	1	4.505	.153	4.201	4.809
		2	4.649	.156	4.340	4.959

입체 효과를 극대화하기 어렵다는 의미로 해석할 수 있다. 각 항목에 대한 보다 상세한 결과 고찰은 다음과 같다.

2. 실험 항목 별 상세 결과 분석

- 1) 동기 오차: 동기 오차 문제에 대한 실험 결과는 95% 신뢰 구간에서 평균 2.291 지점 (선형적으로 1.146 프레임 지연에 해당)부터 시청 피로도가 나타났고, 시청

피로도의 주원인은 상 흐림이라 응답하였다²⁾. 이는 입체를 인식하는 과정에서 양안 입력 영상의 시차가 (Delay) 상당한 영향을 미친다는 가설에 일치하는 실험 결과로 입체의 동기화(synchronization)는 1 프레임만 차이가 나도 시각적 피로도가 발생할 수 있는, 시청 안전성에 매우 중요한 요소임을 알 수 있다. 4가지 각기 다른 영상에 대한 실험 결과³⁾를 보면 카메라의 움직임이 느리고 주 피사체의 움직임이 느릴 때 가장 피

- 2) 시청 피로도 유발 원인에 대한 설문 응답은 눈의 통증, 시청 중단 욕구, 어지러움, 신체 통증 및 상 흐림 중 선택하여 작성하도록 하였으며, 각 실험 항목 및 실험 영상에 대한 응답 빈도 분석 결과를 표 3에 나타내었다.
- 3) 각 실험 영상에 대한 평균 시청 피로도 유발 단계에 대한 상관관계를 [그림 4]에 도시하였다. 각 부 영상의 y 축은 각 실험의 왜곡 단계를 의미하며, a. 부 영상의 x 축은 각 실험 항목을, b.~h. 부 영상의 x 축은 카메라 패닝 유/무 (표 2의 카메라 패닝 파라미터 1, 2)를 의미한다. 지면의 제한으로 모든 그림에 대한 상세한 설명은 생략하지만, c. 실험 2 (수직라인 오차)의 상관관계 그래프에 대한 해석을 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 카메라 움직임이 없는 경우 (x축의 값이 1인 왼쪽) 물체의 움직임이 빠른 영상 (B)이 물체의 움직임이 없는 영상 (A)에 비해 높은 평균 극치 (표 2 참조, 왜곡 차이 0.567, 즉 2.8 라인 차이)를 가지지만, 카메라의 움직임이 있는 경우에는 물체의 움직임에 의한 (C, D) 극치 차이는 거의 없어지면서 (왜곡 차이 0.134, 0.7 라인) 전반적으로 극치가 높아지는 경향이 있다. 특히 물체의 움직임이 없는 경우 (A, C) 물체의 움직임이 빠른 경우 (B, D)에 비해 카메라 움직임에 의한 극치 증가가 크게 나타났다 (왜곡 차이 0.742, 3.7 라인). 이와 같은 방식으로 [그림 4]의 상관관계를 표 2의 실험 결과와 연계하여 각 실험 결과에 대한 특징을 해석할 수 있다.

표 3. 피로도 발생이유 응답 빈도분석

Table 3. Frequency analysis for the 'reason of fatigue' responded

원인종류	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D	3A	3B	3C	3D
1. 눈의 통증	3.0	2.0	2.0	2.0	13.9	12.9	12.9	13.9	10.9	9.9	9.9	5.0
2. 시청중단욕구	11.9	12.9	10.9	14.9	25.7	25.7	21.8	18.8	27.7	29.7	26.7	29.7
3. 어지러움	30.7	32.7	40.6	35.6	36.6	21.8	24.8	31.7	43.5	40.6	39.6	50.5
4. 신체통증						2.0						
5. 상 흐림	54.5	51.5	45.5	46.5	13.9	15.8	16.8	6.9	14.9	12.9	19.8	10.9
결 측		1.0	1.0	1.0	9.9	21.8	23.8	28.7	3.0	6.9	4.0	4.0
합 계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

4A	4B	4C	4D	5A	5B	5C	5D	6A	6B	6C	6D	7A	7B	7C	7D
7.9	11.9	9.9	8.9	7.9	10.9	9.9	11.9	6.9	9.9	12.9	11.9	9.9	12.9	14.9	12.9
43.6	36.6	35.6	32.7	63.4	55.4	60.4	50.5	23.8	32.7	24.8	19.8	17.8	17.8	12.9	19.8
6.9	7.9	9.9	14.9	6.9	11.9	9.9	11.9	51.5	32.7	36.6	36.6	17.8	14.9	11.9	8.9
	1.0		2.0					1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	
25.7	26.7	32.7	29.7	15.8	15.8	15.8	24.8	11.9	6.9	11.9	12.9	39.6	44.6	48.5	45.5
15.9	15.9	11.9	11.9	5.9	5.9	4.0	1	5.0	15.8	12.9	16.8	13.9	7.9	10.9	12.9
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

그림 4. 실험 항목별 평균값에 대한 분포도와 상관관계 그래프

Fig. 4. Interrelation of frequency analysis results in the presence of camera panning and moving object for each test item

로도의 발생이 늦게 나타나고 있는데, 이는 영상의 배경이나 사물의 움직임이 적을 때 프레임 차이에 의한 시차의 정도가 낮기 때문이다. 결과를 종합해보면 카메라의 액션이나 피사체의 움직임이 빠른 영상을 제작하는 경우일수록 특히 동기화의 중요성이 커지며, 기본적으로 양안 영상의 동기화 문제는 시각적 피로도의 발생에 있어 매우 중요하게 다루어져야 한다는 결론을 도출할 수 있다.

2) 수직 라인 지연: 수직 라인 지연의 실험 결과는, 95% 신뢰 구간에서 평균 5.292 단계부터 시청 피로도가 나타나고 있는데, 이는 화면의 수직화면 주사선수를 기준으로 2.117%의 지연에 해당한다. 시각적 피로도가 발생한다고 응답한 실험 참가자들은 피로도의 원인으로 어지러움과 시청중단에 대한 욕구를 들고 있다. 수직 라인 오차는 카메라의 물리적인 높이가 틀리거나 수평이 불안정한 상황에서 주로 발생하며 후반 작업에서 보정하기 위해서는 정상적인 그림의 디지털 줌을 이용하거나 영상의 인위적으로 변형을 가해야 하므로 화질의 열화를 가져올 수 있는 요소이지만, 상대적으로 작은 오차는 시청 피로도 유발에 크게 관여하지 않는 것을 알 수 있다. 4가지 실험 영상에 대한 세부 결과를 살펴보면 카메라의 움직임이 빠르고 피사체의 움직임이 빠를수록 피로도 발생시점이 늦게 나타나는데, 이는 움직임이 많은 기본적으로 인간 시각체계가 입체형성이 어렵기 때문이다. 이러한 결과는 인간 시각체계가 처리해야 할 데이터의 양과도 연관 지을 수 있는데, 시각 체계가 처리해야 할 데이터가 많을수록 입체의 인지에 더 많은 시간이 소요되는 특성과 연계된다. 결론적으로, 수직 라인 지연은 수직화면 주사선수를 기준으로 최소 2% 이내에서 맞추어져야 하며, 수직 라인 지연에 의한 시청 피로도는 어지러운 증상이 강하게 나타나는 항목으로 볼 수 있다.

3) 회전 정렬오차: 회전 (Roll) 정렬오차는 리그 시스템을 사용하는 경우 카메라의 정렬 과정에서 발생할 수 있는 왜곡으로 그 실험 결과는 95% 신뢰 구간에서 평균 3.665 단계 (선형적으로 2.443도의 정렬 오차에 해당) 부터 시청 피로도를 유발하는 것으로 나타났다. 시청

피로도의 유형은 수직 라인 오차에서와 마찬가지로 어지러움과 시청 중단 욕구로 응답되었다. 4가지 실험 영상에 따른 시청 피로도 결과에서는 카메라의 움직임이 느릴수록, 그리고 피사체의 움직임 느릴수록 피로도 발생 시점이 빠르게 나타나는 것을 보여주는데, 이러한 현상은 수직 라인 지연의 결과와 같이 인간 시각 체계가 처리해야 할 데이터가 적을수록 더욱 빠르게 입체 인지 및 오류를 구분할 수 있기 때문이다.

4) 두 영상의 밝기 차이: 두 영상의 밝기 문제는 제작된 좌/우 영상의 노출 차이로 발생하며, 실험 결과는 95% 신뢰구간에서 평균 4.597 단계 (선형적으로 34.478 IRE에 해당)부터 시청 피로도가 유발된 것을 보여주고 있다. 시청 피로도의 유형은 상 흐름과 시청 중단 욕구로 응답되었다. 4가지 실험 영상에 대한 세부 결과에서는 빠른 카메라의 움직임과 빠른 피사체의 움직임에서 가장 빨리 시청 피로도가 나타나며, 피사체의 움직임이 빠르지만 카메라의 움직임이 다소 느린 C-type 영상에서 가장 늦게 시청 피로도가 발생하는 것을 볼 수 있다. 하지만, 피로도 발생의 표준오차 범위가 극히 작기 때문에 이러한 현상에 큰 의미를 두기는 어려워 보인다. 입체 영상을 인지하고 느끼는 과정에서 좌우 영상의 밝기가 다를 경우 두 영상의 평균 밝기로 인지하게 된다는 기존 연구 결과가 있으나, 그 차이가 대략 40IRE에 이르게 되면 양안 입력 영상의 통합 인지 상태가 깨지면서 시청 피로도를 유발하는 것으로 실험 결과는 나타나고 있다. 따라서 입체 영상의 제작 시 카메라의 자동 조리개조절 상태나 ND (Neutral Density)필터가 틀릴 때 영상의 밝기의 차이가 심해질 수 있는 사실을 염두에 두고, 40IRE 이상의 양안 영상 밝기 차이가 유발되지 않도록 해야 한다. 또한, 조리개의 과다 노출로 인한 포화(Saturation)는 후 제작 과정에서 보정이 불가능하기 때문에 제작 과정에서 두 카메라의 밝기 대해 민감하고 세심한 주의가 요구된다 할 수 있다.

5) 두 영상의 색상 차이: 두 영상의 색상 차이에 대한 실험 결과는 95% 신뢰구간에서 평균 3.719 단계 (선형적으로 55.785% 색-포화도 차이에 해당)부터 시청 피

로도가 나타나는 것을 보여주고 있으며, 시청 피로도의 유형은 상 흐림과 시청 중단 욕구로 응답되었다. 4가지 실험 영상에 대한 세부 실험 결과는 C-type과 D-type 영상에서 피로도 발생이 빠르게 나타나는 것을 보여주고 있는데, 이는 카메라 워킹과 피사체의 움직임이 있는 경우 입체의 인식과정에서 혼합되어 보이던 두 영상의 색상에 대한 차이가 더욱 낮은 극치에서 분리되어 보이면서 시청 피로도를 유발하는 특징을 가지고 있음을 나타낸다.

- 6) 줌 크기 (Zoom Size) 불일치: 두 영상의 줌 사이즈 (Zoom Size) 불일치에 대한 실험 결과는 95% 신뢰구간에서 평균 4.578 단계 (선형적으로 3.434%의 줌 크기 차이에 해당)부터 시청피로도가 유발되는 것을 보여주고 있으며, 피로도 발생 원인으로 어지러움과 시청중단 욕구가 가장 많이 나타났다. 4가지 실험 영상에 대한 세부 실험 결과는 카메라의 움직임이 느리고 피사체의 움직임이 느릴수록 피로도 발생 시점이 이르게 나타나는 것을 보여주고 있다.

줌 사이즈 불일치로 생기는 왜곡은 입체 영상의 제작에서 가장 일반적인 문제이기도 한데, 단 렌즈(Fixed Focal Length)를 사용하는 경우라도 두 카메라의 렌즈에서 정확하게 초점거리를 일치시키기가 현실적으로 쉽지 않고, 초점거리를 일치시키더라도 렌즈의 광학 특성상 화면의 크기가 틀리는 경우도 발생하기 때문이다. 본 논문의 실험 결과는, 이렇게 양안 영상의 크기가 달라지더라도, 3% 이내의 줌 사이즈 차이 이내로 양안 영상의 크기 차이를 줄여야 최소한 시각적 피로도 유발을 피할 수 있다는 것을 보여준다.

- 7) 초점 불일치: 초점 불일치 문제에 대한 실험 결과는 95% 신뢰구간에서 평균 4.198 단계 (선형적으로 5.248% 블러 단계에 해당)부터 시청 피로도가 나타나는 것을 보여주고 있으며, 피로도 유형은 당연히 상 흐림이 주요인으로 응답되었다. 4가지 실험 영상에 대한 세부 실험 결과에서는 카메라의 움직임이 적고 피사체의 움직임이 느릴수록 적은 오차에서 피로도가 발생하는 것을 보여주고 있다. 초점 불일치 문제는 사람마다 초점의 일치여부가 다소 틀리기 때문에 주관적 경향이

강한 항목에 해당하며, 뷰파인더나 모니터의 잘못된 세팅으로 인해 좌우 영상의 포커스가 틀리게 세팅 될 수 있다. 실제로 반 거울을 사용하는 경우 빛의 반사와 굴절 특성으로 초점의 변화가 발생하며 카메라의 피사계심도 차이로 인해 양안 영상의 포커스가 틀리게 나타날 수 있다.

IV. 결 론

양질의 콘텐츠 보급 및 이를 통한 시청 피로도의 개선은 3D 영상 산업이 대중적으로 성공하기 위해 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 본 논문에서는 제작 및 후-제작 단계에서 발생할 수 있는 다양한 제작 왜곡들이 스테레오스코픽 3D 비디오의 시청 피로도에 미치는 영향을 주관적 시청 실험을 통해 직접적으로 분석하였다. 이러한 분석을 위해, 본 논문에서는, 입체 영상의 인지 원리를 통해 입체 영상물을 시청 할 때 발생하는 시각적 피로도가 어떤 부분에서 어떻게 발생 하는지에 대해 조사하고, 입체 영상의 제작 장비 활용에서 발생할 수 있는 왜곡 요인들을 분류하였다. 분류된 요인들을 객관적인 수치나 계량화된 표현이 가능한 7개 항목으로, 실험의 대상 문제를 선정하였는데, 동기 오차, 수직 라인 지연, 회전 정렬 오차, 두 영상의 밝기/색상 차이, 줌 사이즈 불일치 및 초점 불일치의 문제들이 그것이다. 또한, 각 실험 항목의 시청 실험에서 입체 영상 자체의 특성에 따른 시청 피로도 차이를 일반화하기 위해, 배경의 움직임 정도와 피사체의 움직임 정도를 조합하여 4가지 대표 실험 영상 클립을 구성하였고, 각 실험 영상 클립에 해당 왜곡을 7단계로 설정하여 실험 콘텐츠를 구축하였다. 시청 실험은 ITU-R BT.1483에서 권고하는 양안식 TV 영상 주관적 평가 방법에 따라 총 101명의 실험 참가자를 통해 수행되었는데, 항목별 시청피로도의 누적을 막고, 실험항목의 특정 순서에 따른 누적 피로도의 영향을 분석에서 제거하기 위해 실험 항목의 순서 임의화 및 단계별 휴식, 실험 항목별 충분한 휴식 등을 고려하여 시청 실험을 설계하였다.

실험의 결과로부터 얻어진 결론을 종합해 보면, 입체 영상에서 발생하는 시청 피로도는 동기 문제를 제외하고는

고정된 배경에 빠르게 움직이는 입체 피사체에서 보다 높은 극치를 가지게 되고, 카메라의 움직임이 존재하는 경우 두 영상의 밝기 차이에 의한 문제를 제외하면 피사체의 움직임은 시청 피로도의 극치에 제한적인 영향을 미치는 특징으로 요약할 수 있다. 또한, 수직 라인 지연, 회전 정렬 오차, 줌 사이즈 불일치 및 초점 불일치의 문제에 있어서는 카메라 움직임이 있는 경우가 배경이 고정된 경우보다 더 큰 오차에서 시각 피로도가 나타나기 시작하며, 동기 및 색상 불일치 문제에 있어서는 반대의 결과를 보였다.

입체의 시청에서 느끼는 피로감은 결국 제작에서 완벽한 조합을 이루어 내지 못했기 때문에 발생하며, 왜곡된 입체 영상의 인지과정 문제로 귀결시킬 수 있다. 따라서 초기 제작 단계에서 입체 영상의 시청에서 나타날 수 있는 피로 유발 요인을 최대한 제거하고, 리그 시스템 및 카메라, 렌즈 등의 유기적 조합을 정확히 조정하는 것이 필수적이라 할 수 있다. 두 영상의 동기문제나 수직정렬문제, 회전축 오차 문제, 화면크기 변환 문제와 같이 좌/우 화면의 크기나 비율이 틀어져서 발생하는 문제는 약간의 변형만으로도 많은 피로감을 느끼게 하기 때문에 제작 단계에서 가장 중요하게 다루어져야 할 부분이라 하겠다. 반면, 두 영상의 밝기가 틀리는 문제와 색상이 다른 문제 그리고 초점이 틀리는 문제는 상대적으로 덜 민감한 문제이기는 하지만, 이 또한 기본적으로 입체 영상의 인식에 방해가 되는 원인으로 작용한다.

이상과 같은 본 논문의 연구 결과는, 제작 과정에서 발생하는 다양한 오차에 대한 상대적인 중요성 및 각 오차에 대한 허용 한계 범위 등에 대한 기본적 정보를 제공하고 있다. 이러한 정보는 입체 영상 제작의 가이드라인 작성에 있어, 제작 현장의 상황 및 사용되는 제작 장비의 상태에 따라 발생할 수 있는 오류에 대한 상대적 우선순위를 결정하고, 제한된 시간 및 자원의 효율적 사용을 가능하게 한다. 하지만, 보다 높은 수준의 세밀한 입체 영상 가이드라인으로 발전시키기 위해서는 방송사나 영화 제작사 등 유관 분야의 폭넓은 관심과 경험, 그리고 데이터의 축적이 필요하다.

다 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] A. Woods, T. Docherty, and R. Koch, "Image distortions in stereoscopic video systems," Proc. of the SPIE Stereoscopic Displays and Applications IV, vol.1915, pp.36-48, 1993.
- [2] W. A. Ijsselstein, H.de Ridder, and J. Vliegen, "Subjective evaluation of stereoscopic images: Effects of camera parameters and display duration," IEEE Trans. CSVT, vol.10, no.2, pp. 225-233, 2000.
- [3] H. Yamanoue, S. Ide, M. Okui, F. Okano, M. Bitou, and N. Terashima, "Parallax distribution for ease of viewing in stereoscopic HDTV," Technical Rep., NHK Lab. No.477, 2002.
- [4] F. Kooi and A. Toet, "Visual comfort of binocular and 3D displays," Displays vol.25, no.2-3, pp.99-108, Elsevier B.V. 2004.
- [5] F. Speranza, W. J. Tam, R. Renaud, and N. Hur, "Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images," in Proc. of the SPIE Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XIII, vol.6055, pp.94-103, 2006.
- [6] M.T.M. Lambooi, W.A. Ijsselstein, I. Heynderickx, "Visual discomfort in stereoscopic displays: a review," in Proc. of SPIE Stereoscopic Display and Virtual Reality Systems XIV, vol.6490, 2007.
- [7] D. M. Hoffman, A. R. Girshick, K. Akeley, and M. S. Banks, "Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue," Journal of Vision, vol.8, no.3, pp.1-30, 2008.
- [8] D. Kim, D. Min, J. Oh, S. Jeon and K. Sohn, "Depth map quality metric for three-dimensional video," in Proc. of the SPIE Stereoscopic Displays and Applications XX, vol.7273, no.19, pp.1-9, 2009.
- [9] J. Choi, D. Kim, and K. Sohn, "Visual fatigue evaluation and enhancement for 2D-plus-depth video," in Proc. of the IEEE ICIP, pp.2981-2984, 2010.
- [10] 김동현, 최성환, 손광훈, "시청자의 입체시 특성을 고려한 3D 비디오의 피로도 예측," 방송공학회논문지, 제16권 제2호, pp.331-338, 2011.
- [11] ITU, "Subjective assessment of stereoscopic television pictures," ITU-R BT. 1438, 2000.
- [12] Bernard Mendiburu, "Fundamentals of stereoscopic imaging," NAB'09 3D Tutorial, Las Vegas Apr. 2009.
- [13] 허남호, "3DTV 현황 및 기술전망," 2010 방송통신 산업전망 컨퍼런스, 한국정보통신산업협회 2010년 1월.
- [14] A. Berthold, "The influence of blur on the perceived quality and sensation of depth of 2D and stereo images," ATR Human Information Processing Research Lab., Kyoto, Japan, Tech. Rep. H-232, 1997.
- [15] Rob Hummel, "3D stereoscopic cinematography," Film and Digital Times, Issue 22-24 pp.70-85, Apr-Jul 2009.

저 자 소 개

장 형 준

- 1994년 : 호서대학교 정보통신공학과 졸업
- 2011년 : KGIT 뉴미디어학부 졸업 공학석사
- 1994년 ~ 2000년 : KBS 청주방송총국
- 2000년 ~ 2010년 : KBS TV 기술국 영상시스템 감독
- 2010년 ~ 현재 : KBS 3D 콘텐츠 제작단 차장
- 주관심분야 : 3D/UHD 영상처리 및 응용

김 용 구

- 1993년 : 연세대학교 전기공학과 졸업
- 1995년 : 연세대학교 전기및컴퓨터공학과 공학석사
- 2001년 : 연세대학교 전기전자공학과 공학박사
- 2001년 ~ 2002년 : 연세대학교 전파통신연구소 박사후연구원
- 2002년 ~ 2006년 : (주)온타임텍 멀티미디어연구소 연구소장/이사
- 2006년 ~ 2009년 : 연세대학교 전기전자공학부 연구교수
- 2009년 ~ 현재 : KGIT 뉴미디어학부 교수
- 주관심분야 : 모바일 비디오/영상 통신, 3D/UHD 멀티미디어 신호처리 및 응용