

3D 영상의 피로도 측정 기술

□ 손광훈, 김동현, 최재섭, 최성환 / 연세대학교

I. 서론

3D 영상의 획득, 전송 및 디스플레이 기술의 발전과 집중적인 연구에 힘입어 고화질 3차원 영상 기술이 현실로 다가오고 있다. 3D 영상 장치에는 다양한 종류가 있지만, 그 가운데 스테레오 방식의 디스플레이 장치가 다시점, volumetric, 홀로그래픽 등의 영상 장치들에 비해 3DTV의 첫 단계로 주목받고 있다. 특히 최근에 크게 저변을 확대한 3D 영화관과 3DTV를 통해 스테레오 콘텐츠를 쉽게 접할 수 있게 되었다. 여러 연구들이 스테레오 디스플레이를 통해 시청자가 시각적인 정보를 이해하는데 더 나은 표현력을 제공한다는 것을 보여준다. 게다가 다수의 3D 디스플레이 제조업체는 고화질 2차원 영상과 근접한 밝기, 대조, 선명도, 색 표현력과 응답속도를 가지는 고화질 3DTV를 출시하고 있다. 그러나, 3D 시장의 성공은 고화질 3DTV 개발에만 달린 것이 아

니며, 반드시 3D에 대한 인간의 시각적 특성을 이해함으로써 고품질의 편안한 3D 콘텐츠에 대한 지속적인 노력이 동반되어야 한다.

II. 스테레오 영상에서 발생하는 왜곡

일반적으로 스테레오 영상의 왜곡은 크게 4가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 압축 부호화에 의한 왜곡이다. 2차원 영상 압축이 오직 시간과 공간상의 중복성을 이용하는 것과 달리 3D 압축은 시간과 공간상의 중복성과 더불어 시점간의 중복성을 이용하여 압축을 수행한다. 그러나 고성능의 새로운 부호화 기술이 개발된다고 하더라도 2D 영상에 비해 영상의 정보량 자체가 많을 뿐 아니라, 부호화 또는 전송에서 발생하는 열화가 3D 시청의 피로도 발생에 미

치는 영향은 많이 알려져 있지 않고, 시점 간 이종 부호화기 사용에 따른 화질 격차 등의 문제 등을 추가적으로 연구할 필요가 있다.

두 번째 왜곡은 스테레오 카메라에 의한 왜곡으로서, 카메라의 화질, 특성 비대칭, 정렬 오차 등에 따라 발생할 수 있다. 카메라 화질은 선명도, 대조, 해상도, 노이즈, 렌즈 왜곡처럼 일반적으로 카메라의 성능을 구분 짓는 속성들을 포함하고 있다. 카메라의 특성 비대칭은 여러 대의 카메라를 사용함으로써 발생하는 요소로서 카메라 간의 노출, 컬러, 동기화, 화이트 밸런스, 줌 등에서의 미세한 차이가 발생한 경우를 말한다. 카메라의 정렬 오차는 스테레오 영상 촬영 시 가장 문제가 되는 사항으로서, 수평식 카메라에서 광축이 서로 평행하지 않을 때 발생하며, 폭주식 카메라에서 광축이 서로 교차하지 않을 때 발생한다.

세 번째 왜곡은 디스플레이로부터 발생하는 크로스톡과 해상도 열화이다. 일반적으로 크로스톡은 시분할(time-multiplexing) 디스플레이에서, 해상도의 저하는 공간분할(space-multiplexing) 디스플레이에서 주로 발생한다. 또한, 적정 시청범위를 벗어난 곳에서 보았을 때 나타나는 왜곡과 시청자가 옆으로 이동할 때 나타나는 끊김 현상 등도 3D 디스플레이에서 발생하는 왜곡으로 분류할 수 있다.

마지막으로 살펴볼 스테레오 영상의 왜곡은 깊이 왜곡이다. 이는 스테레오 디스플레이를 통해 영상을 보는 것과 실제의 장면을 직접 보는 것과 깊이감의 차이가 발생하는 현상을 말한다. 이러한 왜곡은 카메라 간의 거리, 초점 거리, 촬영 거리가 시청자의 안간(inter-pupillary) 거리, 시야(FOV), 시청 거리가 동일한 직교 스테레오 경우를 제외하면 피할 수 없는 문제이다. 그러므로 스테레오 콘텐츠 촬영 시에는 자연스럽게 편안한 3차원 영상 제작을 위해 반드시

시 촬영 조건과 시청 조건을 충분히 감안해야 하고 깊이 왜곡의 정도를 고려해야 한다. 이와 관련하여 Woods는 깊이 평면의 왜곡, 비선형 깊이, 깊이와 크기의 배율 변화, shearing distortion과 같은 다양한 영상 왜곡에 대해 분석하였다[1]. 그 밖에 Cardboard 현상과 puppet theater 현상 또한 심각한 깊이 왜곡의 일종으로 볼 수 있다. Yamanoue은 이러한 현상을 기하학적 분석을 통해 설명하였고, Masaoka는 스테레오 이미지의 양안 시차로부터 계산된 물체의 깊이를 기반으로 puppet-theater 효과와 cardboard 효과 정도의 크기를 예측하였다[2]. 그러나 적절이 촬영되어 자연스럽게 편안한 스테레오 영상이라고 하더라도 시청 환경이나 디스플레이의 종류에 따라 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, Jones는 장면에서의 깊이와 인지되는 영상에서의 깊이와의 관계를 표현하는 카메라 파라미터 계산 방법을 제시하였으며, 영상 내에서 관심 영역의 깊이 왜곡을 낮추는 비선형 깊이 스케일링 방식이 Holliman에 의해 제안된 바 있다[3].

III. 3차원 영상의 피로도

1. 3차원 영상의 피로도 유발 요인

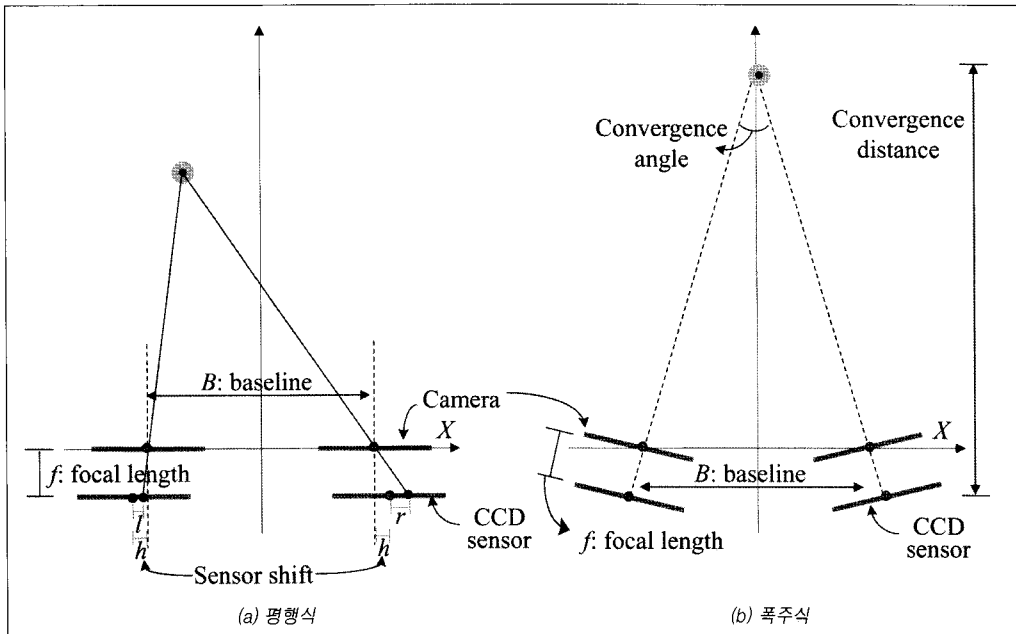
3차원 영상의 시각 피로는 3D 시장의 성공을 위해서 반드시 해결되어야 할 문제이다. 3D 영상을 보면서 시각 피로를 경험하게 된 일반인들의 경우 3D 영상에 대한 선입견을 가지게 되어 이를 극복하기가 상당히 어렵기 때문이다. 같은 맥락으로, Meesters는 3DTV가 기존의 TV처럼 좋은 화질과 편안함을 보장할 때 지속적인 성공을 할 수 있을 것이라 주장하였다[11]. 시각 피로의 원인 중 대표적인 요소로

알려져 있는 조절과 수렴의 불일치로 인한 시각 피로는 [5]에서 분석되었다. 또한 지속적인 3D 영상 시청을 위해서, 극심한 피로, 눈의 통증, 두통, 현실감을 상실하게 하는 문제를 해결하기 위한 노력이 필요하다[6]. 그리고, 스크린의 밝기와 시청거리 또한 시각 피로와 높은 연관이 있다고 밝혀진 바가 있다[5]. 또한, 시각적 피로는 수렴과 초점 거리의 불일치 뿐 아니라 다른 여러가지 요소에 의해서도 시각 피로가 발생하며, 카메라 특성, 시청 거리, 시차 분포, 시차 변동, 수직 시차, 크로스톡, 노이즈, 움직임, 카메라의 비대칭 특성 등이 연구되고 있다.

1) 카메라 구조

Stelmach는 카메라 설치 방식(평행식, 영상 이동, 폭주식)에 따른 스테레오 영상의 깊이와 시각적 안

정감의 상관관계를 분석하였으며 각각의 카메라 구조를 그림 1에 나타내었다[7]. 폭주식과 영상을 이동시킨 카메라 설정은 가시 깊이에 영향을 주지 않으면서 시각적 편안함을 향상시키고, 폭주식 카메라 설정에서 발생하는 keystone 왜곡은 시각적 편안함에 부정적인 영향을 미치지 않는다고 하였다. 하지만, 이후의 여러 논문들에서는 폭주식 스테레오 카메라는 피해야 한다고 하는 등 논란의 여지가 있다. 관련하여 Son은 폭주식 카메라로 촬영한 영상과 임의의 시청자 위치에 따른 깊이 지각을 표현하는 솔루션을 보였다. 또한 스테레오 영상에서 keystone 왜곡이 제거되는 조건을 제시하였다[9]. 그리고, 카메라 간 거리와 수렴 거리 그리고 초점 거리에 따른 화질과 자연스러움을 조사하기 위한 주관적 평가가 수행되었다[8].



〈그림 1〉 스테레오 카메라 구조

2) 과도한 시차 (Excessive parallax)

3차원 합성 범위를 벗어난 과도한 시차로 인한 시각 피로는 여러 논문에서 연구되었다[6][10-11]. 과도한 시차가 흔히 발생하는 이유는 3D 영상 제작자가 더욱 강한 3차원 효과를 주려는 의도 때문에 발생한다. 이러한 영상들은 사전의 주관적인 평가를 거치게 되지만 일부 시청자들의 합성 범위를 벗어날 수도 있다. 또한, 과도한 시차는 시청 환경 또는 디스플레이가 변할 때에도 발생한다. Kooi는 공간 왜곡, 특성 비대칭과 시차의 요인들을 조사하여 편안함 정도를 측정하였고, 또한 각각의 왜곡의 개별적인 임계치를 제시하였다[6]. Speranza는 컴퓨터 그래픽으로 생성한 스테레오 영상을 통해 양안 시차, 물체의 움직임과 시각적 편안함 간의 상관 관계에 대해 조사하였다[10]. 또한, 3D 컨소시엄은 편안한 3차원 콘텐츠 제작과 시청을 위한 변이의 임계치를 권고함으로써 시각적 피로를 방지하는 등의 3차원 영상 안전 가이드라인을 제시하였다[11]. 그리고, 3차원 합성 범위가 시청 거리와 디스플레이의 시야의 함수로 정의되었고, 변이와 공간 주파수의 함수로 정의되었다. 이를 바탕으로 [12]에서는 고주파 영역에서의 합성 범위를 이용한 선별적 필터링으로 시각적 편안함을 높이는 기술을 제안하였다. 더불어 이미 촬영된 영상을 이용하여 편안함을 향상시키기 위해서 스테레오 변이 추정과 중간 시점 합성을 통해 깊이 생성 범위를 조절하는 방법이 있다[13].

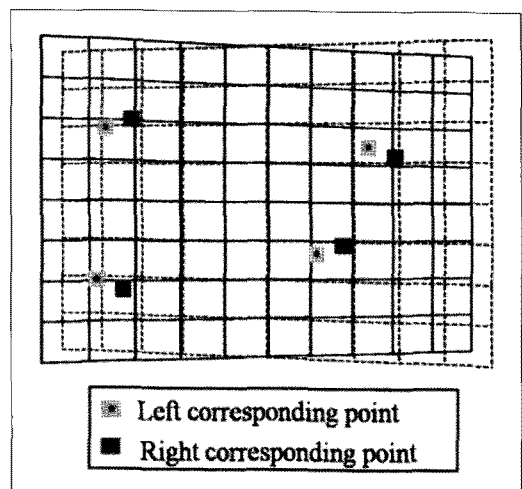
3) 시차 분포

[14]에서는 영상을 9개의 영역으로 분할하여 주성분 분석(PCA)을 수행함으로써 시차 분포에 따른 시각 피로를 예측하였다. 또 다른 시차 분포의 영향은 [10][15-17]에서 찾을 수 있다. Jsselstein은 시청자의 깊이감, 자연스러움의 정도를 측정하

기 위해 연속 평가 방법을 사용하였다. 이에 따르면 주관적인 평가가 시간의 변화에 상당히 영향을 받는다는 것으로 밝혀졌다[15]. Yano는 시각 피로의 요소를 연구하였고, 합성 범위 내에서 영상이 표시될 때에도 영상 내의 물체가 깊이 방향으로 과도하게 이동한다면 시각 피로가 유발된다고 하였다[16]. Nojiri는 시차 분포 범위와 시차 변화가 시각적 편안함에 얼마나 영향을 주는지 연구하였고, 각도 변이가 60분 이하로 제한되어야 한다고 제안하였다[17].

4) 수직 변이

수직 변이가 시각 피로에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되었다. 대부분의 수직 변이는 <그림 2>와 같은 키스톤 왜곡이 발생하는 폭주식 카메라에서 발생한다. 이에 따라 수평 카메라 설치와 폭주식 카메라 설치의 비교를 위한 주관적 평가가 [7]과 [8]에서 연구되었다. 키스톤 왜곡에 의해 유발되는 수직 변이의 범위가 [1]에서 논의 되었고, [6]에서 수직 이동에 의해 유발되는 수직 변이의 양을 측정하였다.



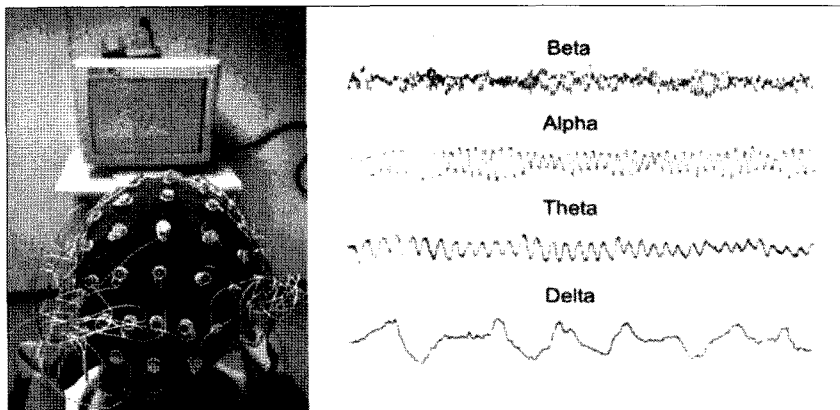
<그림 2> 키스톤 왜곡

5) 그 외

크로스톡은 스테레오 디스플레이에서 발생하는 왜곡이다. Seuntiens는 크로스톡의 인지적 속성을 시차와 크로스톡 레벨을 변화하며 실험하였다. 시각 피로는 카메라 간 거리가 증가함에 따라 발생하고, 크로스톡이 증가할 때는 유지되는 반면에, 크로스톡과 카메라 간 거리의 증가에 따른 시각 피로는 증가하는 것을 보여 준다. 조명, 컬러, 대비와 크로스톡과 같은 비대칭 영향은 [6]에서 다루어졌다. [19]에서 2차원과 3차원 디스플레이에서 가우시안 노이즈 레벨을 이용하여 노이즈의 영향을 조사하였고 그에 따른 영상의 자연스러움이 측정되었다. 동일한 노이즈 레벨이 보였을 때 시청감과 자연스러움 모두 2D보다 3D에서 더 높게 평가 받았다는 결과를 보여주었다. 또한, 시각 피로와 시청 시간과의 관계는 [8]에서 연구되었으며, 시청자가 5초와 10초의 시청 시간 동안 스테레오 정지 영상의 자연스러움과 깊이감을 평가하였지만 시청 시간은 큰 영향이 없다는 결과를 얻었다.

2. 3차원 영상의 피로도 측정 기술

스테레오 영상과 비디오의 인지 화질을 측정하는 연구들이 많이 진행되고 있다. ITU는 주관적 화질 평가를 표준화하기 위해 모노스코픽 텔레비전과 스테레오 텔레비전 영상을 위한 권고안을 가지고 있다 [20]. [20]은 스테레오 영상의 평가 방법, 촬영 환경, 시청 환경과 테스트 자료를 포함하는 평가 조건을 제시하였다. 이러한 주관적 영상 화질 평가 방법은 시각 피로도를 측정할 때에도 이용될 수 있다. 시각적 피로의 메커니즘은 아직 완벽히 밝혀진 바 없지만, 시각 피로 증상은 일반적으로 눈의 피로, 눈물, 안구의 압박감, 눈 주위의 통증, 눈을 깜박일 때의 불편함, 안구의 뜨거움, 초점 맞추기 어려움, 흐린 시야, 굳은 어깨, 그리고 두통 등이 있다. 또한 객관적인 피로도 측정 방법으로서 조절 능력, 시력, 동공의 직경, 중요 합성 주파수, 안구 이동 속도, 시각 피로도의 주관적 등급 그리고 작업 능력과 같은 시각 피로도를 측정하는 방법들이 있다. 또한 <그림 3>과 같이



<그림 3> EEG신호를 이용한 뇌파 측정

배경 뇌파와 ERP 신호를 분석하여 시각 피로를 객관적으로 평가하는 방법이 제시되었다[21]. 다음의 두 기술은 영상 분석을 통해 스테레오 영상의 주관적 피로도를 예측하는 연구 사례를 나타내었다.

1) 스테레오 영상에서의 피로도 예측 [22]

카메라 간 거리와 수직 변이를 파라미터로 사용하는 영상을 이용하여 주관적 화질 평가를 시행하여 얻은 결과를 분석하고, 새로운 영상이 입력되었을 때 주관적 화질 평가를 수행하지 않고, 영상 분석을 통하여 정확하게 예측할 수 있는 객관적 피로도 예측이다. 카메라 간 거리가 조절되었으며, 카메라의 수직 정렬이 정확하게 이루어지지 않은 여러 영상을 만들기 위하여 3D Max를 사용한 실험 영상을 제작하였다. 카메라간 거리는 등 간격 배열을 하여 4가지 경우의 수로 제작되었으며, 카메라의 수직 정렬 상태는 3가지 경우의 수로 제작하였다. 피로도의 주관적 실험 결과에 따르면 카메라 거리와 수직 변이

의 두 항목은 서로 독립적이며, 피로감은 주로 카메라간 거리에 영향을 받을 수 있다. 피로감 정량화를 위해 사용되는 영상 분석 결과는 SIFT를 통해 추출된 변이의 분포와 수직변이를 이용한다. 주관적 평가 결과를 이용하여 선형 회귀식을 풀게 되면 변이의 분포와 수직변이의 가중치를 얻을 수 있으며, 새롭게 피로도를 평가할 영상이 입력되면 획득했던 가중치를 곱하여 피로도를 예측할 수 있다. 스테레오 피로도 측정 방법은 주관적 평가를 거쳐 정량화된 주관적 화질 지수에 대비해 상관도를 산출할 수 있게 된다.

2) 2D plus depth의 영상에서의 피로도 예측 [23]

무안경식 다시점 디스플레이는 <그림 4>와 같은 2D plus depth의 영상을 사용함으로써 높은 전송 효율을 가질 수 있고 다양한 어플리케이션(자유시점 TV 등)에 적용이 가능하다. 무안경식 다시점 디스플레이에서 깊이 영상의 공간적/시간적인 특성은 피



<그림 4> 2D Analog plus depth 영상 형식

로를 유발하는 주요 요소이다. 깊이 영상의 분산 및 평균 값을 사용하여 피로도 유발 요소인 공간적/시간적 복잡도, 깊이 생성 위치와 영상 전체의 움직임 크기를 측정하고 이를 이용하여 피로도를 예측하는 방법이 제안되었다. 깊이 영상만을 사용함으로써 계산의 복잡도를 낮추고, 편안한 영상을 위한 깊이값 조절도 용이하다.

IV. 결론

본 논문에서는 3D 영상에서 발생할 수 있는 왜곡의 종류, 피로도 유발 요인, 피로도 측정 방법을 분류하였다. 그러나 앞으로 해결해야 할 여러 가지 문제가 있다. 현재의 스테레오 방식의 3D 디스플레이는 근본적으로 조절과 수평의 불일치 문제로부터 자유로울 수 없다. 또한 완벽한 스테레오 카메라를 보유하고 있더라도, 3D 촬영에 있어서도 제약 사항이 많이 존재한다. 그것은 초점 거리의 제한, 컷 변화에 따른 급격한 시차 변화, 빠른 움직임의 물체, 화면 가장

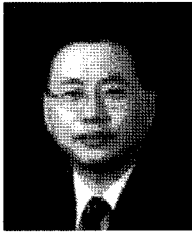
자리의 물체, 카메라의 흔들림에 취약함 등의 문제로서, 기존의 2D에서 다양하게 사용되었던 촬영 기법을 포기해야 한다. 3D 영상의 피로도 문제에 있어서 가장 어려운 문제는 피로도의 개인차이다. 3D를 적절히 인지하지 못하는 사람이 일부 존재하고, 3D를 잘 볼 수 있는 사람들 가운데서도 개인차가 분명하여, 평균적으로 적절하다고 생각하는 3D 영상의 경우에도 불편함을 느끼는 사람이 존재한다. 나이에 따른 폭주 능력의 차이, 훈련에 따른 입체 시 합성 능력의 차이, 입체 영상이 유아에 미치는 영향 등도 고려 대상이다. 피로도의 측정 방법은 또 다른 연구 과제이다. 피로도 인지에는 개인차가 존재하기 때문에 일반적으로 화질 평가에서 사용되는 설문 결과의 평균 조사에는 한계가 있으며, 이에 따라 EEG, fMRI 등의 생체 신호 분석 방법이 연구되고 있다. 따라서 앞으로 피로도에 영향을 주는 요인의 발굴 및 요인 간 상호 작용, 피로도의 정확한 주관적, 객관적 측정 방법에 대한 추후 관련 연구가 필요하며, 다양한 3D 디스플레이를 고려한 다시점 영상의 피로도에 대한 연구 또한 필수적이다.

참고 문헌

- [1] Woods, T. Docherty, and R. Koch, "Image distortions in stereoscopic video systems," Proc. SPIE 1915, 36-48, 1993
- [2] Yamanoue, H., Okui, M., Yuyama, I., "A Study on the Relationship Between Shooting Conditions and Cardboard Effect of Stereoscopic Images," IEEE transactions on circuits and systems for video technology, vol. 10, No. 3, April 2000, pp. 411-416
- [3] Holliman, N., "Mapping perceived depth to regions of interest in stereoscopic images," Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI, Proceedings of SPIE 5291, 2004
- [4] L. M. J. Meesters, W. A. Jsselstein, and P. J. H. Seuntjens, "A Survey for Perceptual Evaluations and Requirements of Three-Dimensional TV," IEEE transactions on circuits and systems for video technology, Vol. 14, No. 3, pp. 381-391, March 2004

- [5] Sumio Yano, Shinji Ide, Tetsuo Mitsuhashi, and Han Thwaites, "A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images," *Displays* 23, pp.191–201, 2002
- [6] F. Kooi and A. Toet, "Visual comfort of binocular and 3d displays," *Displays* 25, pp. 99–108, 2004
- [7] L. B. Stelmach, W. J. Tam, F. Speranza, R. Renaud, and T. Martin, "Improving the visual comfort of stereoscopic images," *Proc. SPIE* 5006, 269–282, 2003
- [8] W.A.Ijsselstein, H.de Ridder, J.Vliegen, "Subjective Evaluation of Stereoscopic Images: Effects of Camera Parameters and Display Duration," *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, Vol.10, No.2, 2000
- [9] J. Son, Y. N. Gruts, K. Kwack, K. Cha, and S. Kim, "Stereoscopic image distortion in radial camera and projector configurations," *J. Opt. Soc. Am. A* 24, 643–650, 2007
- [10] Speranza, F., Tam, W. J., Renaud, R., Hur, N., "Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images," *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XIII Proceedings of the SPIE*, Volume 6055, pp. 94–103, 2006
- [11] "3DC Safty Guidelines for Popularization of Human-friendly 3D," 3D Consortium (2006)
- [12] Perrin J., Fuchs P., Roumes C., Perret F., "Improvement of stereoscopic comfort through control of the disparity and of the spatial frequency content," *Visual information processing VII*, vol. 3387, No7, pp. 124–134, 1998
- [13] J. Konrad, "Enhancement of viewer comfort in stereoscopic viewing: parallax adjustment," *Proceeding of SPIE*, pp. 179–190, 1999
- [14] Yamanoue, H., Ide, S., Okui, M., Okano, F., Bitou, M., and Terashima, N., "Parallax distribution for ease of viewing in stereoscopic HDTV," Technical report, NHK Laboratories Note No. 477, 2002
- [15] Ijsselstein, W.A., de Ridder, H., Hamberg, R., Bouwhuis, D., and Freeman, J., "Perceived depth and the feeling of presence in 3DTV," *Displays*, 18, 207–214, 1998
- [16] S. Yano, M. Emoto, T. Mitsuhashi, "Two Factors in Visual Fatigue Caused by Stereoscopic HDTV Images," *Displays*, Vol. 25, Issue 4, 141–150, 2004
- [17] Nojiri, Y., Yamanoue, H., Hanazato, A., Emoto, M., Okano, F., "Visual comfort/discomfort and visual fatigue caused by stereoscopic HDTV viewing" *Proc. SPIE*, Vol. 5291, 303, 2004
- [18] P.J.H. Seuntjens, L.M.J. Meesters and W.A. Ijsselstein, "Perceptual attributes of crosstalk in 3D images," *Displays* 26 (4–5), pp. 177–183, 2005
- [19] Seuntjens, P., Heynderickx, I. and Ijsselstein, W., "Viewing experience and naturalness of 3D images," *Proceedings of the SPIE*, pp. 43–49
- [20] "Subjective Assessment of Stereoscopic Television Pictures," ITU, Recommendation BT.1438, 2000
- [21] H. Li, J. Seo, K. Kham and S. Lee, "Measurement of 3d visual fatigue using event-related potential (ERP) : 3D Oddball paradigm," *IEEE 3DTV-CON '08*, May, 2008
- [22] D. Kim, D. Min, J. Oh, S. Jeon and K. Sohn, "Depth map quality for three-dimensional video," *Proc. Electronic Imaging*, 2009
- [23] 최재섭, 김동현, 손광훈, "깊이 영상의 시공간적 특징분석을 통한 3차원 영상의 피로도 측정", 한국방송공학회 학술대회, 2009년

필자소개



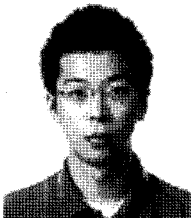
손광훈

- 1983년 : 연세대학교 전자공학과 공학사
- 1985년 : University of Minnesota, MSSE
- 1991년 : North Carolina State University, Ph.D
- 1993년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1994년 : Georgetown University, Post-doctor fellow
- 1995년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학부 교수
- 2002년 9월 ~ 2003년 8월 : Nanyang Technological University, Visiting Professor
- 주관심분야 : 3차원 영상처리, 영상 통신



김동현

- 2004년 8월 : 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 석사
- 2007년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 3차원 컴퓨터비전, 3차원 영상 피로도



최재섭

- 2009년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 3차원 컴퓨터비전, 3차원 영상 화질 평가



최성환

- 2009년 2월 : 항공대학교 항공전자공학과 학사
- 2010년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 3차원 영상 처리, 3차원 영상 부호화