

양안식 시각자극의 너비에 의한 시각적 불편함

이성일, 정용주, 손호식, 노용만
한국과학기술원 전기 및 전자공학과

vitallsi@kaist.ac.kr, yj.jung@kaist.ac.kr, sohnhosik@kaist.ac.kr, ymro@ee.kaist.ac.kr

Visual discomfort in stereoscopic images caused by the horizontal size of binocular visual stimulus

Seong-il Lee, Yong Ju Jung, Hosik Sohn, Yong Man Ro
Department of Electrical Engineering, KAIST

요 약

최근 양안식 3D 디스플레이의 시청 안정성 문제가 대두됨에 따라, 어떠한 요인들이 시각피로와 시각적 불편함을 야기하는지 밝히는 연구의 필요성이 증가하고 있다. 시각적 불편함은 양안식 3D 영상에서 과도한 양안 시차, 양안 시차의 빠른 변화, 양안 불일치 등에 의해 야기될 수 있다. 그러나 시각적 불편함은 시각시스템의 복잡한 메커니즘에 의한 결과이므로 알려진 양안 시차 등의 요인 외에도 밝혀지지 않은 요인들이 더 존재할 수 있다. 본 논문은 기존 연구로부터 시각적 불편함과 관련 있을 것으로 추정되는 요인으로 시각자극의 너비와 시각적 불편함에 대한 민감도를 선택하였다. 이들의 영향을 밝히기 위한 실험으로서, 편안한 양안 시차 범위 내에서 시각자극의 너비와 시각적 불편함에 대한 민감도에 따라 양안 융합 시간이 어떻게 달라지는지를 관찰하였다. 실험 결과로부터 편안한 양안 시차 범위 내에서도 시각자극의 너비와 시각적 불편함에 대한 민감도에 따라 양안 융합 시간이 크게 달라짐을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들은 시각자극의 너비가 주요한 시각적 불편함의 3D 콘텐츠 요인이 될 수 있음을 암시한다.

1. 서론

최근 양안식 3D 디스플레이의 시청 안정성 문제가 대두됨에 따라, 어떠한 요인들이 시각피로와 시각적 불편함을 야기하는지 밝히는 연구의 필요성이 증가하고 있다. 양안식 3D 디스플레이를 시청할 때 큰 스크린 시차 (screen disparity)에 의해 발생 가능한 과도한 양안 시차, 빠르게 움직이는 영상 객체에 의해 발생 가능한 양안 시차의 빠른 변화, 양안 영상의 기하학적 또는 광학적 불일치에 의해 발생 가능한 양안 불일치 등이 시각적 불편함을 야기하는 것으로 잘 알려져 있다 [1]. 그러나, 시각적 불편함은 시각시스템의 복잡한 메커니즘에 의한 결과이므로 상기 알려진 시각적 불편함 요인 외에도 아직 밝혀지지 않은 다른 요인들이 존재할 수 있다.

시각자극의 특징들 (공간 복잡도, 자극의 너비, 자극 제시 시간 등)은 양안식 깊이 인지와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다 [1],[2], 이로부터 시각적 불편함 역시 시각자극의 특징과 관련 있음이 기대된다. 기존 연구들을 통해 양안 시차 [3] 와 공간 복잡성 [4] 등 다양한 시각자극 특징이 시각적 불편함과 관련 있음이 밝혀졌지만, 상대적으로 시각자극의 너비가 시각적 불편함에 미치는 영향에 대해서는 연구가 부족한 것으로 여겨진다. 시각자극의 너비와 관련한 기존 연구를 통해, 시각자극의 너비가 커질수록 양안 융합 범위가 커지는 점 [2] 과 시각자극의 너비가 작아질수록 크로스톡의 가시성이 커지는 것 [5]이 밝혀졌다. 이러한 시각자극의 너비와 양안식 깊이 인지의 연관성으로부터, 시각자극의 너비가 시각적 불편함에 역시 영향을 줄 것으로 추정되지만 아직까지

실험적으로 밝혀진 것이 없다.

또한, 시각자극 특징 외에도 개인의 시각적 불편함에 대한 민감도에 의해서 인지된 시각적 불편함은 달라질 수 있다 [6]. [6]에 의하면, 피험자의 읽기 능력이 2D 영상과 3D 영상에서 차이가 크게 날수록 시각적 불편함에 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 즉, 잘 알려진 시각적 불편함 요인인 양안 시차가 불편함을 야기하지 않더라도 시각자극의 너비와 개인의 시각적 불편함에 대한 민감도에 따라 인지된 시각적 불편함이 달라질 것으로 기대된다.

본 논문에서는 편안한 양안 시차 범위 내에서 시각자극의 너비와 개인의 시각적 불편함에 대한 민감도에 따라 인지된 시각적 불편함이 달라짐을 양안 융합 시간 측정을 통해 연구한다. 양안 융합 시간은 시각자극을 단일상으로 보기 위해 소요된 시간으로, 이 시간이 길어질 수록 피험자는 시각자극을 융합하는 것이 힘든 것을 의미하며 이는 피험자의 시각 시스템에 더 큰 부하가 걸리는 것으로 해석할 수 있다. 실험 결과로부터 편안한 양안 시차 범위 내에서도 시각자극의 너비와 시각적 불편함에 대한 민감도에 따라 양안 융합 시간이 크게 달라짐을 확인할 수 있었다.

2. 양안 융합 시간 측정

2.1 실험 환경 및 피험자

양안 융합 시간 측정을 위해 ITU-R BT. 500-11 [7]의 권고를 따라 시청 환경을 구축하였고, 양안식 영상을

디스플레이 하기 위해 반투명 거울 (half mirror)로 구성된 편광방식 3D 모니터 (1920×1080 픽셀 해상도, Redrover SDM-400[®])를 사용하였다. 총 21 명의 피험자가 양안 융합 시간 측정에 참여하였다. 참여한 피험자들은 정상 시력 또는 정상 교정 시력과 정상 입체시력 (60 arcsec 이하)을 가졌다.

피험자의 시각적 불편함에 대한 민감도 측정을 위해 2D 영상과 1.5 도의 양안 시차를 갖는 3D 영상에서 각각 피험자의 글자 읽기 능력을 측정하였다 [6]. 2D 영상에서 읽은 총 글자 수에 대비하여 3D 영상에서 읽은 총 글자 수의 비율 (WRRT-ratio)을 이용해 피험자의 시각적 불편함에 대한 민감도를 정량화하였다 [6].

2.2 사용된 시각자극

실험에 사용된 시각자극은 세 개의 막대 (색도: D65, 밝기: 50 cd/m²)와 배경 (색도: D65, 밝기: 25 cd/m²)으로 이루어져있다. 세 개의 막대는 수직으로 배치되어 있으며, 위와 아래 막대는 스크린의 위치 (zero disparity plane)를 나타내는 반면, 가운데 막대는 양안 시차에 의해 스크린과 다른 깊이를 갖는다. 각각의 막대의 수직 간격은 시각도 (visual angle) 1.5 도이며, 막대의 수직 크기는 시각도 2 도이다. 실험에 사용한 시각자극은 편안한 양안 시차 범위 내 두 단계의 양안 시차 (0.5 도와 1 도)와 세 단계의 너비 (0.25 도, 1 도, 그리고 4 도)를 갖는다.

2.3 양안 융합 시간 측정 방법

피험자들에게 시각자극을 보여주기 전에 스크린에 위치한 “fixation cross”를 보여 주었다 [8]. 피험자들은 이 “fixation cross”를 응시할 것을 지시 받았으며, 이는 피험자들의 폭주(vergence)를 스크린에 위치하게 하기 위함이다. “fixation cross”는 피험자의 실험 집중력을 높이기 위해 임의의 시간 동안 제시되었다. “Fixation cross” 이후 10 초 동안 시각자극이 제시되었다. 피험자가 시각자극이 제시되는 시점을 놓치는 것을 막기 위해 “Fixation cross”로부터 시각자극이 변할 때 키를 누르게 함으로서 피험자의 집중력을 높였다. 그리고 시각자극이 융합될 때까지 키를 누르게 하였고, 융합이 되었을 때 키를 놓게 하였다. 양안 융합 시간은 시각자극이 제시되고 누르고 있던 키가 놓아진 시점까지로 정의하여 측정하였다. 여기서, 양안 융합은 세 개의 막대가 모두 단일상으로 보이는 것으로 정의되었다 [9].

3. 실험 결과

참여한 피험자들의 WRRT-ratio 의 평균은 1.437 이고, 표준 편차는 0.610 이었다. 참여한 피험자들의 WRRT-ratio 의 평균+표준편차를 기준으로 참여한 피험자들은 두 그룹 (MBS: moderate binocular status, GBS: good binocular status)으로 나누었다 [6].

표 1 은 편안한 양안 시차 범위 내에서 시각자극의 너비에 따른 양안 융합 시간의 변화를 시각적 불편함에 대한 민감도를 기준으로 나눈 두 그룹에 대해 각각 보여준다. 실험 결과로부터, 주어진 양안 시차에서 시각자극의 너비가 작아짐에 따라 양안 융합 시간이 증가함을 관찰할 수 있었다. 또한, 시각자극 너비에 따른 양안 융합 시간의 변화가 시각적 불편함에 더 민감할 것으로 예상되는 MBS 에서 더 크게 변함을 관찰할 수 있었다. ANOVA 테스트를 이용한 통계적 유의성 검증 결과로부터 양안 시차 0.5 도와 양안 시차 1.0 도에서

시각자극의 너비가 양안 융합 시간에 미치는 영향이 유의미함을 확인하였다 ($p < 0.0001$).

표 1. 양안 융합 시간 측정 결과

양안 시차 (degrees)	시각자극의 너비 (degrees)	양안 융합 시간 (sec)	
		MBS	GBS
0.5	4	0.87±0.09	1.86±0.21
	1	1.82±0.31	2.57±0.28
	0.25	5.84±1.17	3.65±0.43
1	4	2.37±0.44	3.32±0.34
	1	2.90±0.34	4.84±0.44
	0.25	9.06±0.94	7.04±0.49

측정된 양안 융합 시간은 평균±표준 오차로 기술되었다.

4. 결론

본 논문에서는 편안한 양안 시차 범위 내에서 시각자극의 너비에 따른 양안 융합 시간의 변화를 확인하였다. 주어진 양안 시차에서 시각자극의 너비가 작아질수록 양안 융합 시간이 증가하는 것을 관찰하였고, 이러한 변화가 통계적으로 유의미함을 확인하였다. 또한, 시각자극의 너비의 영향이 시각적 불편함에 대한 민감도를 기준으로 분류한 두 그룹에서 다른 역시 확인하였다. 시각적 불편함에 대한 민감도가 큰 그룹은 그렇지 않은 그룹에 비해 시각자극의 너비 변화에 따라 양안 융합 시간이 더 많이 변화하였다. 본 연구결과는 시각적 불편함 예측 및 저감 연구 등 3D 시청 안정성 연구 결과로 활용되리라 믿는다.

Acknowledgment

본 연구는 방송통신위원회의 방송통신미디어 원천 기술개발사업의 연구결과로 수행되었습니다 (KCA-2011-11912-02003).

참고문헌

- [1] M. Lambooi, W. IJsselsteijn, M. Fortuin, and I. Heynderickx, “Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: A review,” *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 53, no. 3, pp.1-14, May, 2009.
- [2] I.P. Howard and B.J. Rogers, *Seeing in depth*, I Porteous, June 2002.
- [3] S. Yano, M. Emoto and T. Mitsuhashi, “Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images,” *Displays*, vol. 25, no. 5, pp. 141-150, 2004.
- [4] M. Wöpking, “Viewing comfort with stereoscopic pictures: An experimental study on the subjective effects of disparity magnitude and depth of focus,” *Journal of the Society for Information Display*, vol. 3, no. 3, pp. 101-103, 1995.
- [5] I. Tsirlin, L.M. Wilcox, and R.S. Allison, “The effect of crosstalk on depth magnitude in thin structures,” *In Proceedings of SPIE, Stereoscopic Displays and Applications XXII*, vol. 7863, pp.786313-1-786313-10, February 2011.
- [6] M. Lambooi, M. Fortuin, W.A. IJsselsteijn, B.J. Evans, I. Heynderickx, “Susceptibility to Visual Discomfort of 3-D Displays by Visual Performance Measures,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 21, no. 12, pp. 1913-1923, December 2011.
- [7] ITU-R BT-500.11, “Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures,” 2002.
- [8] F. Farzin and A.M. Norcia, “Impaired visual decision-making in individuals with amblyopia,” *Journal of vision*, vol. 11, no. 14, pp. 1-10, 2011.
- [9] M. Scheiman and B. Wick, *Clinical management of binocular vision heterophoric, accommodative, and eye movement disorders*, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2002.