

〈연구보고〉

## 3D 시청 환경에서 개인차 변인에 따른 시각적 피로

감 기 택<sup>†</sup>

강원대학교 심리학과

본 연구는 3D 영상 시청 시 발생하는 시각적 불편감의 여러 원인들 중 개인 변인들의 효과를 살펴보았다. 고려된 변인으로 나이, 멀미 민감성, 동공간 거리, 입체 시력이 포함되었고 실험 참가자들의 멀미 감수성과 동공간 거리, 그리고 입체 시력이 개인별로 측정되었다. 80분 동안 입체 영상을 본 후에 시각적 불편감을 어지러움, 눈통증, 신체 통증, 시청중단욕구, 상호림의 요인별로 평가하도록 하였다. 연령의 경우 20대 참가자들이 30대나 40대 참가자들보다 상호림과 시청중단 요구요인에서 불편감을 더 크게 지각하였고, 멀미 감수성의 경우에서도 20대에서는 멀미 감수성이 높을수록 시각적 불편감을 더 크게 지각하였지만 40대 이후에서는 멀미감수성에 따른 차이를 발견할 수 없었다. 동공간 거리와 입체시력의 차이에 따라서는 시각적 불편감에서 유의한 차이를 발견하지 못했다. 나이와 운동 멀미 감수성에 따른 시각적 불편감의 차이를 3D 영상 제시 환경이 가지고 있는 수렴-조절 불일치의 관점에서 논의하였다.

주제어 : 3D 환경, 시각적 피로, 나이, 멀미 감수성, 동공간 거리, 입체시력

---

<sup>†</sup> 교신저자 : 감기택, 강원대학교 심리학과, (24341) 강원도 춘천시 강원대학길 1  
E-mail : kham@kangwon.ac.kr

입체영상 장치는 입체영화, 3D TV나 게임 등 오락장면에 적용되고 있을 뿐만 아니라, 의학이나 군사 장면과 같은 고도의 전문화된 장면에도 적용되는 등 그 응용 범위는 가치는 확대되고 있다(van Beurden, Ijsselsteijn, & de Kort, 2012). 그러나 20세기 중반 입체 영화를 침체기에 빠뜨렸던 시각적 불편감의 문제는 오늘날에 와서도 여전히 3D 영상 장치의 확산을 위해서 극복되어야 할 요소이다.

불편감의 원인을 파악하기 위한 기존의 연구들은 주로 시각적 불편감을 일으키는 영상 특징이나 디스플레이의 하드웨어 특성들의 효과를 살펴본 것들이었다(Lambooij, Ijsselsteijn, Heynderickx, 2009). 그러나 동일한 3D 디바이스로부터 동일한 3D 영상을 보는 경우에도 개인들의 특성에 따라 지각되는 불편감이 달라진다. 또한 개인화되고 전문적인 환경에서 3D 영상장치들이 사용될 가능성이 점차 높아지고 있기 때문에 어떠한 개인적 특성들이 3D 환경에서 시각적 불편감에 많은 영향을 미치는지를 살펴볼 필요가 있다. 이를 통해 사용자에게 최적화된 3D 환경을 구축하는 데 필요한 개인 특성 자료를 제공해 줄 수 있을 것이기 때문이다.

본 연구에서는 시각적 불편감에 영향을 줄 수 있는 개인 변인의 효과를 살펴보았다. 여러 개인 변인들 중 우선적으로 고려해 볼 수 있는 것은 연령 변인이다. 시각 기능은 나이가 들면서 전반적으로 감퇴한다. 특히, 조절 작용은 20대를 정점으로 나이가 들면서 점진적으로 감소하며 40대에 이르러 노안들이 발생하기 시작한다. 3D 영상을 시청하는 과정에서 발생하는 시각적 불편감의 가장 큰 원인들 중의 하나가 수렴-조절 불일치(Hoffman 등, 2008)라

는 점을 고려하면 조절작용의 저하는 시각적 불편감에 영향을 줄 수 있다. 또 다른 중요한 개인차 변인은 운동 멀미 감수성(motion sickness susceptibility)이다. 시각 자극에 의해 유도되는 운동 멀미는 영상들의 움직임 정보과 같은 영상의 특징에 의해서 영향받는데(Lambooij 등, 2009) 이러한 영향은 개인의 멀미 감수성에 정도에 따라 개인차가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 3D 영상을 시청하는 경우에도 시각적 불편감이 2D 영상을 볼 때와 유사하게(Golding, & Markey, 1996) 개인의 멀미 감수성에 따라 달라지는 지를 살펴볼 것이다.

일반적인 개인 특성이외에 양안 시기제와 직접적으로 관련된 변인들은 개인의 동공간 거리와 입체 시력이다. 양안시차는 사람의 두 눈이 수평으로 떨어져 있기 때문에 발생하므로, 동일한 장면을 보는 경우에도 동공간 거리가 넓은 사람일수록 두 눈의 영상들 간에는 상대적으로 큰 시차가 발생한다. 이와 반대로 입체 영상의 경우는 모든 사람들에게 동일한 크기의 시차 정보가 주어진다. 일상생활에서 경험하는 양안 시차의 크기를 고려해볼 때 동공간 거리가 넓은 사람일수록 입체영상의 시차 범위는 상대적으로 작게 취급될 수 있으므로 시각적 불편감도 약할 것을 예상할 수 있다. 마지막으로 각 개인들의 입체 시력에 따라 시각적 피로도 정도가 달라질 가능성이 있다. 양안시차에 의한 입체시 깊이를 지각하지 못하는 사람들은 입체 영상에 노출될 가능성이 적다. 그러나 입체시 깊이는 지각할 수는 있지만 정상인보다 입체지각 능력이 떨어지는 입체시 이상자(stereo anomaly)들은 3D 환경에 노출될 가능성은 여전히 높다. 입체 시력에 따라 경험하는 입체시 깊이가 달라지는 것(감

기택, 2016)과 유사하게 시각적 불편감에서도 차이가 있는 지를 살펴보았다.

요약하면 본 연구에서는 나이와 운동멀미 감수성 등의 일반적인 개인 특성과 동공간 거리와 입체시력 등 양안시기제와 관련이 있는 개인 특성에 따라 경험되는 시각적 불편감에서 차이가 있는 지를 탐색적으로 살펴보았다.

## 방 법

**참가자** 교정시력이 0.8이상인 115명이 실험에 참가하였다. 연령과 성별에 따라 비슷한 인원의 참가자를 모집하여 20대 34명(남성: 18명, 여성: 16명), 30대 33명(남성: 15명, 여성: 18), 40대 이상 48명(남성: 24명, 여성: 24명)이 실험에 참가하였으며, 시간당 최소 1만원의 사례비가 제공되었다.

**측정도구** 무선점 입체그림(random-dot stereogram)을 이용하여 개인의 입체 시력을 측정하였다. 자세한 절차는 감기택(2016)에 제시되어 있다. 참가자들의 운동 멀미 감수성을 측정하기 위해 Golding(1998)의 운동 멀미 감수성 질문지(Motion Sickness Susceptibility Questionnaire, MSSQ)를 번안하여 사용하였다. 개인의 동공간 거리 측정에서는 측정의 변산성을 최소화하기 위해 디지털 카메라로 참가자의 얼굴을 촬영하였다. 사진을 컴퓨터로 불러들인 다음 각 눈의 중심을 마우스로 클릭함으로써 각 참가자의 동공간 거리를 측정하였다.

종속측정치로서, 입체영상을 시청하는 과정에서 발생하는 시각적 불편감에 대한 주관적인 느낌을 측정하기 위해 3D 환경의 시각적 불편감을 평가하기 위해 개발된 질문지(이형

철, 이승현, 감기택, 서준호, 2010)를 사용하였다. 이 척도는 7점 척도로 평가되는 32문항으로 이루어져 있으며 요인분석을 통해 추출된 눈통증, 시청곤란, 어지러움, 신체 통증, 상호림의 5개 요인으로 구성되어 있었다.

**자극 및 장치** 다양한 종류의 영상들을 실험에 포함시키기 위해 기존 3D 방송에 사용된 영상들 27개를 2-3분 단위로 편집하여 사용하였다. 특정한 클립이 특정위치에서 제시될 때의 효과를 배제하기 위해 영상의 제시순서는 무선화되었다. 총 시청 시간은 약 80분이었으며, 55인치 3D TV를 통해 영상들을 시청하였다.

**절차** 먼저 참가자 특성에 대한 기초자료 수집을 위해 멀미 감수성을 측정하는 설문 실시되었고 동공간 거리측정과 입체시 검사각 개인별로 수행되었다. 동공간 거리를 측정하기 위해서 참가자의 얼굴 정면을 촬영하였으며, 이어서 3m의 시청거리에서 입체시 검사가 곧바로 실시되었다. 검사는 6 수준의 양안시차 조건 각각에 대해 8번의 반복 측정이 이루어졌으며 제시 순서는 무선화되었다. 본 실험에서는 80분의 3D 영상 시청시간 중 전반 약 40분 분량의 영상이 제시된 후 5분간의 휴식시간이 주어졌고 곧바로 나머지 약 40분의 영상들이 제시되었다. 영상을 본 후 곧바로 시각적 불편감을 측정하는 설문을 실시하였다.

참가자들의 연령은 20대, 30대, 그리고 40대 이상 세 집단으로 분류하였다. 다른 개인 변인들은 참가자 개별 점수의 전체 분포에 근거하여 집단을 분류하였다. 멀미 감수성 지수의 개인별 분포에서 상, 중, 하위 25%에 해당하

는 참가자들로 집단을 구분하였고, 동공간 거리도 개인별 동공간 거리 분포에서 상, 중, 하위 25%에 해당하는 참가자들로 집단을 구분하였다. 입체시력의 경우 100% 정답을 보고한 사람이 약 30%에 해당되어 입체시맹(3명)을 제외한 하위 30%사람들을 선정하여 각각 입체시력 상위, 하위 두 집단으로 분류하였다. 이 결과 입체시력 검사에서 상위 집단의 정답율은 100%였고 하위 집단의 정답률은 평균 78.3%였다.

연령에 따른 시각적 불편감 요인들의 평균 값이 그림 1의 왼쪽 위에 제시되어 있다. 전반적으로 나이가 증가할수록 시각적 불편감은 감소하는 경향을 그래프는 잘 보여주고 있다. 이러한 경향을 가장 뚜렷하게 보여주는 요인은 상하림 요인으로 나이에 따른 차이가 통계적으로 유의하게 나타났다( $F(2,112) = 6.42, p$

$< .01$ ). 또한 시청중단 욕구 요인에서도 통계적으로 유의한 결과가 나타났으며( $F(2,112) = 4.10, p < .05$ ), 눈 통증 요인에서는 경향성은 나타났지만 통계적으로 유의하지는 않았다( $F(2, 112) = 4.10, p = .07$ ). 나이에 증가함에 따라 불편감이 감소하는 경향은 극장에서 3D 영화를 본 후에 측정된 시각적 불편감에서도 유사하게 나타났다(Yang 등, 2011). 그들의 연구에서는 10대 참가자가 포함되어 있었는데 10대에서 30 초반의 연령대가 경험하는 시각적 불편감이 30대 중반이후의 사람들이 경험하는 시각적 불편감보다 높게 나타났다. 특히, 어지러움에서는 연령별 차이가 없었지만 상하림에서는 본 연구의 결과와 유사하게 나이별로 유의한 차이가 발견되었다. 이러한 결과들을 통해 볼 때 3D 영상을 시청한 후에 경험하는 상하림 증상은 시청거리와 화면 크

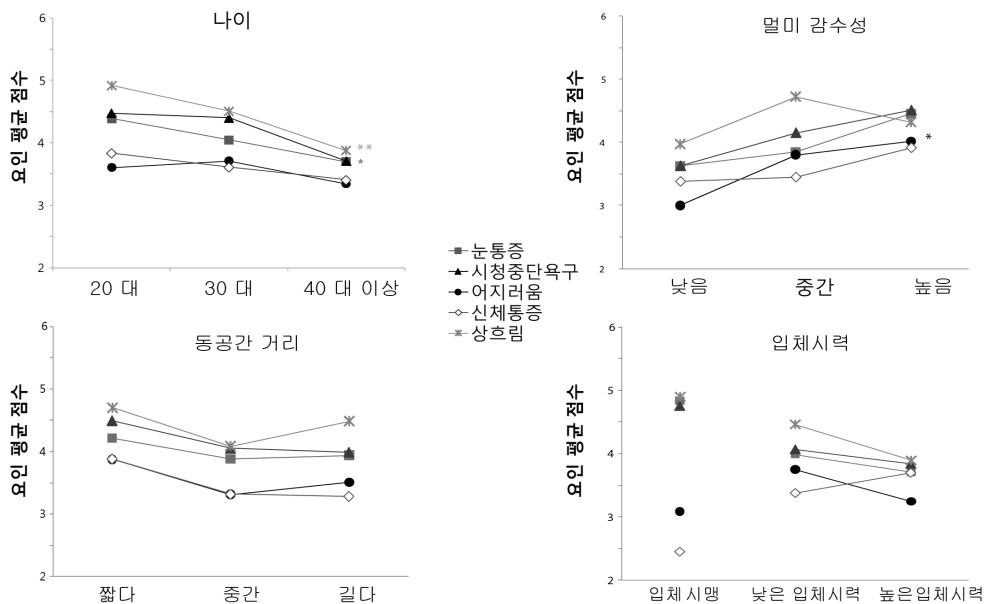


그림 1. 개인 변인에 따른 시각적 불편감 요인 점수 (\*와 \*\*는 각각 .05, .01 수준에서 통계적으로 유의한 것을 나타낸다)

기등이 TV의 시청환경과 달라져도 일관되게 나타나는 것으로 결론내릴 수 있다.

멀미 감수성에 따른 시각적 불편감을 알아보기 위해서 세 멀미 감수성 집단별로 시각적 불편감의 각 요인에서 차이가 있는지를 살펴 보았다. 그림 1의 오른쪽 위에 제시되어 있는 것과 같이 가장 큰 차이를 보인 요인은 어지러움 요인으로 멀미 감수성이 높은 집단이 어지러움을 더 심하게 느끼는 것으로 나타났다 ( $F(2,84) = 3.89, p < .05$ ). 앞서 시각적 불편감은 연령에 따라 큰 차이를 보이므로 멀미 감수성의 효과를 각 연령 집단별로 구분하여 살펴 보았다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 연령으로 구분하여 보면 멀미 감수성에 따른 시각적 불편감의 효과는 20대에 매우 뚜렷하게 나타나지만 나이가 증가할수록 그 효과는 점진적으로 감소하는 것으로 나타났다. 20대에서는 멀미 감수성이 높은 집단일수록 눈통증 요인( $F(2,22) = 5.68, p < .01$ ), 시청중단 욕구( $F(2,22) = 6.63, p < .01$ ), 어지러움 요인( $F(2,22) = 4.83, p < .05$ )에서 불편감이 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났으며, 30대에서는 눈통증 요인에서만 멀미 감수성이 높을수록

불편감이 높은 것으로 나타났다( $F(2,20) = 5.28, p < .05$ ). 40대 이상에서는 통계적으로 유의한 하위요인이 발견되지 않았다.

동공간 거리에 따른 시각적 불편감은 그림 1의 하단 왼쪽 그래프에 제시되어 있다. 동공간 거리가 짧은 관찰자들이 전반적으로 시각적 불편감을 더 크게 느끼는 것으로 나타났지만, 통계적으로 유의하지는 않았다. 나이를 구분하여 살펴 본 결과에서도 유의한 차이는 발견되지 않았다. 마지막으로 입체시력에 따른 차이는 그림 1의 하단 오른쪽에 제시되어 있다. 입체시력이 높은 집단과 낮은 집단에서의 시각적 불편감을 비교한 결과 전반적으로 입체시력이 높은 집단에서 불편감 점수가 낮은 것으로 나타났지만 통계적으로 유의하지는 않았다.

본 연구 결과를 요약하면 나이가 젊을수록, 20대 중에서도 멀미 감수성이 큰 사람일수록 시각적 불편감을 더 크게 지각하는 것으로 나타났다. 멀미 감수성에 따라 시각적 불편감에서 차이가 발생하는 이유들 중의 하나는 관찰자들의 수렴 기능과 관련이 있을 수 있다. 영상으로부터 어지러움을 지각하는 대표적인 경

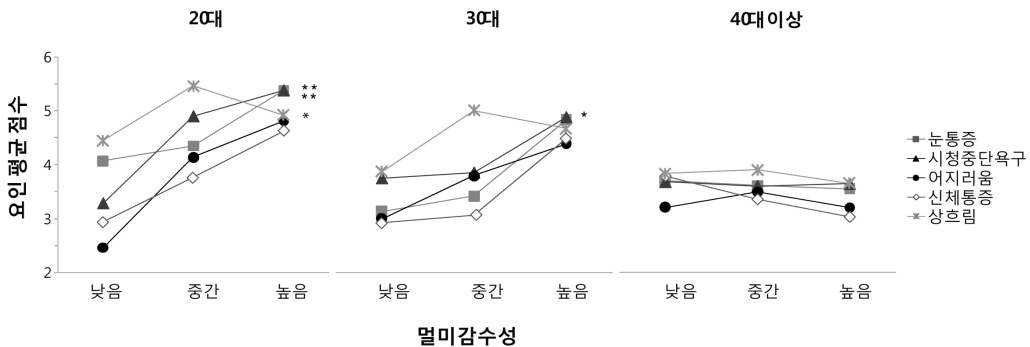


그림 2. 멀미 감수성에 따른 시각적 불편감 요인 점수들이 연령별로 구별되어 제시되어 있다 (\*\*는 .01 수준에서 통계적으로 유의한 것을 나타낸다).

우는 운동장면을 볼 때이지만, 3D 영상을 볼 때에는 운동 장면이 없는 경우에도 어지러움이 발생된다(Li, Barkowsky & Callet, 2014). 3D 환경에서 발생하는 불편감이 수렴-조절 불일치 특히, 과도한 수렴이 요구되는 상황에서 발생됨을 고려할 때(Hoffman 등, 2008) 시각적 불편감을 발생시키는 개인적 요인들 중의 하나는 개인의 수렴능력과 관련이 있을 수 있다. 특히 수렴을 충분하게 하지 못하는 사람들은 3D 환경이 아닌 일상생활에서도 어지러움과 같은 시각적 불편감을 경험하게 되는데(Lavrich, 2010) 이들이 경험하는 여러 증상들은 3D 환경에서 경험하는 시각적 피로와 매우 유사하다. 아마도 수렴 불충분(convergence insufficiency)의 증상을 가진 사람들이 일상생활에서 느끼는 불편감의 원인과 과도한 수렴이 요구되는 3D 상황에서 느끼는 불편감의 원인이 모두 수렴 능력의 한계 때문에 발생했을 가능성이 있다.

젊은 사람이 3D 환경에서 불편감을 더 크게 지각하는 것은 나이에 따른 조절작용과 수렴작용의 변화가 비대칭적으로 발생하는 것과 연관이 있을 수 있다. 일상 장면에서 조절작용과 수렴 작용은 서로 연결되어 작동하므로 수렴이 변화되면 그 영향으로 조절이 변화되며 그 반대의 경우도 발생한다(Schor, 1985). 그러나 조절작용은 나이가 들면서 그 기능이 감소하는데 반해 수렴작용은 나이가 들어도 상대적으로 그 기능이 잘 유지된다(Ciuffreda & Ong, 1993). 이에 따라 두 기능의 연결성을 나타내는 척도인 수렴변화에 따른 수렴성 조절의 비(CA/O)값은 나이가 증가함에 따라 점진적으로 감소하게 된다(Heron 등, 2001). 즉, 수렴에 따른 조절 변화가 나이가 증가함에 따라

약해지게 된다. CA/O 값이 큰 20대 관찰자들이 교차시차를 가진 영상을 볼 때 수렴변화에 따른 강한 수렴성 조절이 발생하므로 상이 흐려지는 것을 경험하게 되지만, 노인의 경우 수렴에 따른 조절변화가 크지 않아 상의 흐림이 거의 발생되지 않는다. 결론적으로 일상생활에서 수렴과 조절의 연동 작용이 좋은 20대에서는 3D와 같이 수렴, 조절의 불일치가 발생하는 인위적인 상황에서는 역설적으로 불편감을 더 느끼게 될 수 있음을 시사한다.

입체 시력에 따른 시각적 불편감의 차이는 크지 않았다. 본 연구 결과와 유사하게 정상 아동과 사시나 약시 등 양안 융합에 이상이 있는 이상 양안시(abnormal binocular vision: ABV)를 가진 아동들을 포함한 연구(Kim 등, 2013)에서 ABV 아동의 입체시력이 전반적으로 낮았지만 시각적 불편감에서는 정상인 통제 집단과 유의한 차이가 발견되지 않았다. 그러나 ABV 아동을 입체시력으로 구분하여 살펴본 결과에서는 입체시력이 좋은 ABV 아동이 다른 아동보다 시각적 불편감은 오히려 더 높은 것으로 나타났다. 저자들은 좋은 입체시력을 가진 ABV는 수렴을 유지하기 위해 일상보다 더 과도한 노력이 필요하기 때문으로 불편감을 더 크게 느끼는 것으로 해석했다. 이러한 결과들은 양안시 이상자들에게는 입체시력이 시각적 불편감의 한 예측 변인이 될 수 있음을 시사한다. 본 연구에서는 입체 시력이외에 참가자의 일반적인 시력(visual acuity)을 측정하지 않았다. 따라서 입체시력의 효과인지 일반 시력의 효과인지를 판단하기 위해서는 일반 시력에 대한 평가가 포함되어야 한다.

본 연구는 개인차 변인들이 시각적 불편감

에 영향을 줄 수 있는 지를 탐색적으로 살펴본 연구로서, 나이나 운동멀미 감수성 등에서 발견된 차이가 실제 개인의 수렴 능력에 의해서 발생한 것인지를 확증하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

### 참고문헌

- 김기택 (2016). 화면시차로부터 지각되는 3D 콘텐츠의 입체시 깊이: 직접비교와 간접비교에서의 차이. 방송공학회 논문지, 인쇄중.
- 이형철, 이승현, 감기택, 서준호 (2010). 한국 특허 등록번호 10-0995972-0000, 서울: 한국.
- Ciuffreda, K. J., Ong, E., & Rosenfield, M. (1993). Tonic vergence, age and clinical presbyopia. *Ophthalmic Physiological Optics*, 13, 313-315.
- Golding, J. F. (1998). Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness. *Brain Research Bulletin*, 47(5), 507-516.
- Golding, J. F., & Markey, H. M. (1996). Effect of frequency of horizontal linear oscillation on motion sickness and somatogravic illusion. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 67, 121-126.
- Heron G., Charman W. N., & Schor C. M. (2001). Age changes in the interactions between the accommodation and vergence systems. *Optometry and Vision Science*, 78, 754-762.
- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 1-30.
- Kim, S., Suh, Y., Yun, C., Yoo, E., Yeom, J., & Cho, Y. (2013). Influence of stereopsis and abnormal binocular vision on ocular and systemic discomfort while watching 3D television. *Eye*, 27, 1243-1248.
- Lavrich, J. B. (2010). Convergence insufficiency and its current treatment. *Current Opinion in Ophthalmology*, 21(5), 356-360.
- Li, J., Barkowsky, M., & Callet, P. L. (2014). Visual discomfort of stereoscopic 3D videos: Influence of 3D motion. *Displays*, 35(1), 49-57.
- Lambooj, M., Fortuin, M., & Heynderickx, I. (2009). Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: A Review. *Journal of Imaging Science and Technology*, 53(3), 30201-1-30201-14.
- Schor, C. M. (1985). Models of mutual interactions between accommodation and convergence. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 62, 369-374.
- van Beurden, M. H. P. H., IJsselsteijn, W. A., & de Kort, Y. A. W. (2012). Effectiveness of stereoscopic displays in medicine: a review. *3D Research*, 3(1), 1-13.
- Yang, S. -N., Selmins, B., Gooper, S., Doherty, R., Corriveau, P. J., & Sheedy, J. E. (2011). Individual differences and seating position after immersion and symptoms in stereoscopic 3D viewing, Proceedings of the Stereoscopic Displays and Applications. XXII, vol. 7863.

1 차원고접수 : 2015. 12. 08  
수정원고접수 : 2016. 01. 20  
최종게재결정 : 2016. 01. 28

〈Brief Report〉

## **The effect of individual differences on visual discomfort in watching 3D contents**

**Keetaek Kham**

Kangwon National University

The present study investigated whether visual discomfort was influenced by various individual differences, such as age, motion sickness susceptibility, interpupillary distance, and stereo acuity. The last three characteristics were measured individually. After watching 3D television programs for 80 minutes, participants answered the visual discomfort questionnaire, consisting of 5 different factors such as dizziness, eye pain, body ache, blurring vision. The university students and young adults had more discomfort than the participants in their 30s, 40s, or older. For the participants in their 20s, observers with higher scores in motion sickness susceptibility had more discomfort, but this tendency was weakened and disappeared as observers' age increased. With regard to interpupillary distance and stereo acuity, there was no difference in visual discomfort. The results were discussed in the context of convergence-accommodation conflict in 3D environment.

*Key words* : 3D environment, visual discomfort, age, motion sickness susceptibility, inter-pupillary distance, stereo acuity