정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제18권 제5호, 2013년 9월 (JBE Vol. 18, No. 5, September 2013)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.5.738>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

3D TV 시청 환경에서 수렴 훈련에 의한 시각적 불편감의 감소

감 기택^{a)*}, 전 현민^{a)}

Effects of the Convergence Training on Reduction of Visual Discomfort in 3D TV Environment

Keetaek Kham^{a)*} and Hyunmin Jeon^{a)}

요 약

본 연구는 개인의 불편감을 최소로 유지한 상태에서 3D 자극의 깊이를 늘려나가는 수렴 훈련을 통해 시각적 불편감이 감소되는지를 알아보고자 수행되었다. 실험집단은 수렴 훈련에 사용된 자극의 입체시 깊이가 순차적으로 변화하는지 무선적으로 변화하는지에 따라 두 개의 훈련 집단으로 나뉘었다. 수렴 훈련은 약 2주 간격으로 3회 실시되었으며 훈련 집단의 융합영역(fusional range)을 증가시켰다. 수렴 훈련이 시각적 불편감에 미치는 영향을 평가하기 위해 훈련 회기의 전과 후에 3D 영상을 시청하게 한 뒤, 주관적인 시각적 불편감을 설문 문항으로 측정하였다. 실험 결과, 시각적 불편감은 훈련 자극의 깊이를 순차적으로 변화시킨 훈련집단에서 감소하였다. 이러한 결과는 반복된 수렴 훈련이 3D 환경에서 시각적 불편감을 줄이는 데 효과적일 수 있음을 시사한다.

Abstract

The present study investigated whether convergence training in which has an effect on reducing visual discomfort in viewing 3D TV. The stereoscopic depth of 3D training stimulus was gradually increased while maintaining individual visual discomfort at a minimum value. Participants were randomly assigned into one of three groups: a control group and two training groups. For both training groups, all procedure and the disparity range of training stimuli were the same except the order of the disparities of training stimuli. One of the two different training procedure was provided: gradual change or random change of the disparities of training stimulus. Training itself was very effective so that convergence fusional range was improved after three sessions of training with intervals of two weeks. In order to evaluate the effect of convergence training on visual discomfort, the subjective visual discomfort in 3D TV viewing was measured before and after training sessions using questionnaire. The results showed that a significant reduction in visual discomfort was found after training only in the group of gradual change. These results demonstrated a repeated convergence training might be helpful in reducing the visual discomfort in 3D TV environment.

Keyword : 3D TV, Convergence training, reduction of visual discomfort, Eye strain, Vertigo

a) 강원대학교(Kangwon University)

* Corresponding Author : 감기택(Keetaek Kham)

E-mail: kham@kangwon.ac.kr

Tel: +82-33-250-6857

※ 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업인 인제안전성을 위한 3D 기기/장비 중심의 휴먼팩터 연구(IT R&D program of MOTIE/KEIT, 2010-10038745)의 지원을 받았다.

※ 본 연구의 일부분은 2012년 한국 감성과학회 춘계발표대회에서 발표되었음.

· Manuscript received 23, July 2013 Revised 16, September 2013 Accepted 16, September 2013

1. 서론

3D 영상의 적용범위는 입체 영화로부터 3D TV(3-dimensional television)로 확산되고 있지만 여전히 3D 영상의 시청과정에서 경험되는 시각적 불편감^[1,2,3]이나 시기능^[4,5]의 저하는 3D 콘텐츠의 대중화에 걸림돌로 작용할 가능성이 크다^[6]. 따라서 3D TV가 대중화되기 위해서는 무엇보다도 시각적 불편감을 발생시키는 요인들이 무엇인지를 확인하고 이를 최소화하려는 시도들이 필요하다.

3D TV 환경에서 시각적 불편감은 다양한 요인에 의해서 발생할 수 있다. 예를 들어, 3D 영상을 제작하는 과정에서, 우 카메라의 정렬 오류나 카메라의 특성 차이에 의해 3D 영상의 비정렬 및 왜곡이 발생될 수 있다^[7]. 이때 발생하는 좌우 영상간 키스톤 왜곡^[8]이나 색상이나 밝기, 선명함 등에서의 차이^[9]가 시각적 불편감을 발생시킬 수 있다. 좌우 영상간의 차이보다 시각적 불편감에 더 큰 영향을 주는 요인은 양안 시차의 크기이다. 영상이 지닌 양안시차는 그 크기가 클수록, 즉 영상이 지닌 깊이가 커질수록 시각적 불편감이 비례하여 증가하는 것으로 일관된 결과를 보인다^[4,7,10,11]. 특히 영상이 지닌 양안시차 중에서 교차시차를 지닌 영상, 즉 화면보다 튀어나온 영상이 시각적 불편감에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타나며^[10], 일반적으로 약 1도 정도의 시차 크기를 편안한 시청을 위한 한계로 제안되어 왔다^{[10][11]}.

위에서 기술한 3D 환경에서 외적인 요인들 이외에 3D 시청시 관여하는 인간의 양안시(binocular) 기제와 관련된 것들도 시각적 불편감을 발생시키는 요인이 될 수 있다. 예를 들어, 일상생활에서는 각 눈에 투사되는 영상의 초점을 맞추기 위해서 대상까지의 거리에 따라 수정체의 두께를 변화시키는 조절작용과 두 눈이 같은 대상을 응시하기 위해서 두 눈의 시선 각도를 변화시키는 수렴작용이 동일한 깊이를 기준으로 발생한다. 이와 달리 3D 제시 장치에서는 영상이 제시되는 화면까지의 거리는 고정되어 있지만 시차에 따라 지각되는 대상의 깊이는 바뀌게 된다. 따라서 조절은 항상 화면까지의 거리에 맞추어져 있어야 하지만, 수렴은 대상까지의 지각된 거리에 따라 달라져야 하므로 시차가 커질수록 수렴과 조절이 발생하는 거리의 불일치는 커

지게 되며 이러한 수렴-조절 불일치는 시각적 불편감을 발생시키는 주요 원인이 된다^[13].

시각적 불편감을 발생시키는 여러 요인들 중 하드웨어의 성능과 관련된 요인들은 하드웨어의 성능 개선이 어렵다 하더라도 해결 방향은 분명하게 정의할 수 있다. 이와 달리 수렴-조절 불일치에서 발생하는 불편감은 양안시차를 제한하여 수렴-조절 불일치가 작은 영상을 제시할 수도 있다. 그러나 시차가 줄어들수록 입체감은 줄어들기 때문에 제공되는 시차를 과도하게 줄이는 것은 적절한 해결책이 아니다. 대안적인 방법으로 훈련을 통해 일상생활과는 다른 3D 환경 즉, 수렴-조절 불일치가 발생하는 환경에 사용자의 시각 기능이 익숙해지도록 하여 불편감을 줄여주는 것을 고려해 볼 수 있다.

몇몇 사람들의 경우 일상생활에서도 일반인들이 3D 영상을 시청할 때 경험하는 시각적 불편감을 호소하기도 한다. 이들은 수렴과 관련하여 특히 가까운 거리에 제시된 자극을 정확히 응시하기 위해서는 두 눈의 수렴각을 증가시켜야 하는 경우에도 일정수준 이상의 수렴을 할 수 없다. 수렴 불충분(Convergence Insufficiency)증상이라고 불리는 이러한 증상을 가진 사람들의 경우 충분한 수렴을 발생시키지 못해 이중상을 경험하는 것과 더불어 일상 장면에서 시각자극으로부터 상호림, 눈 긴장, 두통과 같은 불편감들을 호소한다^[14].

3D 환경에서 교차시차가 매우 큰 경우 시차에 해당하는 수렴보다 더 적은 수렴이 발생하여 이중상을 경험하게 된다. 이러한 상황은 수렴 불충분 증상을 가진 사람들이 일상 생활에서 가까운 대상에 응시하는 경우 실제 대상의 깊이에 해당하는 수렴보다 충분하지 못한 수렴을 하는 상황과 매우 유사하다. 흥미로운 점은 이 두 상황 모두에서 시각적 불편감이 경험되며, 특히 경험되는 불편감의 종류들도 유사하다는 측면에서 이러한 불편감을 해소하거나 감소시킬 수 있는 처치 또한 유사할 가능성이 있다.

수렴 불충분 증상을 가진 사람을 치료하는 효과적인 치료 방법들 중의 하나가 수렴 훈련이다. 일반적으로 수렴 훈련은 실제 장면에서 여러 깊이에 작은 불빛이나 물체를 제시한 후, 환자들이 반복적인 수렴 과정을 통해 대상을 응시하도록 하는 방식으로 이루어진다^[15,16]. 흥미롭게도 이러한

수렴 훈련들을 반복하는 경우 수렴 불충분 환자들의 수렴 기능이 개선되는 것이 보고되어 왔다. 특히, 수렴 기능의 개선과 함께 시각적 불편감의 증상들이 사라지거나 호전되었으며^[16], 수렴과 관련된 시기능도 개선됨을 발견하였다. 예를 들어 수렴의 범위가 증가하여 단일상으로 지각할 수 있는 깊이 범위가 증가하였고^[17,18], 수렴속도의 증가^[16,19]와 수렴이 완료되기까지 요구되는 시간이 단축됨을 관찰하였다^[16]. 따라서 본 연구에서는 수렴 불충분 환자들의 수렴 정도를 증가시킬 수 있는 수렴 훈련을 3D 시청환경에 도입하여 수렴의 변화와 그에 따른 시각적 불편감이 감소하는 지를 확인하고자 실시되었다.

수렴 훈련을 고안하고자 할 때 한 가지 고려해볼 것은 훈련 자극이 지니는 양안시차의 변화, 즉 깊이의 변화 패턴이다. 3D TV를 시청하는 일반적인 상황에서 볼 때 영상의 깊이는 주로 시간에 따라 다양한 크기로 변화한다. 한 장면에도 다양한 깊이를 지닌 대상이 존재하며 우리는 수렴 눈운동을 통해 깊이가 다른 대상들의 적절한 깊이에서 수렴을 맞출 수 있다. 따라서 자극의 양안시차를 무선적으로 변화시키는 것이 다양한 시차를 가진 영상들을 포함하고 있는 3D 영상물의 특징을 더 잘 반영하기 때문에 각기 다른 깊이를 가진 영상들을 무선적으로 제시하는 것이 적절한 훈련 방법으로 고려될 수 있다. 이와 달리 비록 3D 영상이 다양한 깊이를 가지고 있지만 특정 대상이 다가오거나 물러나는 경우 그 대상의 깊이는 무선적으로 변하는 것이 아니라 점진적으로 변하게 된다. 또한 인간의 수렴 운동은 도약 눈운동과 비교해 볼 때 다른 시각적 피드백으로부터 조정되는 과정을 거치는 상대적으로 느린 눈 운동이라고 알려져 있다^[17]. 따라서 깊이가 큰 폭으로 변할 경우 수렴 눈운동이 충분하게 발생되기 어려울 수 있어 영상의 깊이 변화에 적절히 추적할 수 없을 가능성도 있다. 영상 깊이의 점진적인 변화나 수렴 눈운동의 이러한 특성을 고려한다면 훈련 자극의 깊이를 무선적으로 제시하는 것보다는 조금씩, 순차적으로 증감시키는 것이 더 적절할 수도 있다.

요약해서 말하면 본 연구는 3D 시청환경에서 다양한 크기 시차를 가진 자극에 수렴 눈운동을 하도록 하는 수렴 훈련을 통해 시각적 불편감을 줄일 수 있는 지를 확인하고자 하였다. 탐색적으로 다양한 크기의 시차를 제시하는 방

법을 두 가지 다른 방식으로 구분하여 두 훈련방식의 효과를 비교하였다.

II. 실험

1. 참가자

대학교에 재학 중인 남녀 대학생 60명(여자 35명/ 남자 23명, 평균연령 22세)이 본 실험에 참여하였다. 이들은 모두 나안이나 교정시력이 0.8 이상이었으며 시간당 만원의 사례비를 지급받았다. 60명의 참가자들은 두 훈련 집단과 통제 집단에 무선으로 20명씩 배치되었다. 본 실험에 앞서 참가자들의 양안시에서 문제가 없는 지를 확인하기 위해서 입체 시력을 평가하였으며 세 집단간에 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았다($F(2, 56) = .073, p > .05$).

2. 자극 및 장치

3D 영상 자극을 제시하기 위해 현재 상용화 되고 있는 해상도 1920 x 1080의 55인치 SMART 3D TV가 사용되었으며, 화면 재생률 (refresh rate)은 블랭크 프레임을 포함하여 240Hz였다. 참가자들은 셔터 액티브(Shutter active) 방식의 입체 안경을 통해 3D 콘텐츠를 시청하였다. 시각적 불편감을 측정하기 위해 사용된 영상은 포물러 레이스, 파리스 에어쇼우, 그리고 제목 미상의 애니메이션 클립들로 구성되어 있었으며 총 15분 분량으로 편집되었다. 3개의 영상클립의 제시순서는 특정한 클립이 특정 위치에서 제시될 때의 효과를 배제하기 위해 무선으로 결정되었다.

수렴 훈련에 사용된 자극은 어두운 회색 배경에 놓인 하나의 하얀색 수직 막대로 구성된 입체그림 쌍이었으며 자극의 크기는 시각도로 약 11분 x 120분에 해당된다. 수렴 훈련에 사용될 시차는 모두 10 수준으로 이루어져 있으며 각 수준별 시차의 최소 최대값과 증감폭이 표 1에 제시되어 있다. 모든 훈련 단계에서 막대 자극의 양안시차는 각 단계의 최소 양안시차를 지닌 자극에서 최대 양안시차를 지닌 자극까지 총 다섯 수준의 양안시차를 지닌 자극들로 구성

표 1. 수렴 훈련 단계에 따른 훈련 자극의 양안시차 범위와 범위 내 증감폭
Table 1. The disparity ranges and increasing steps for each of training steps

훈련 단계	양안시차의 범위		증감폭 (arc deg)
	최소시차 (arc deg)	최대시차 (arc deg)	
1	0.1	0.5	0.1
2	0.2	1.0	0.2
3	0.3	1.5	0.3
4	0.4	2.0	0.4
5	0.5	2.5	0.5
6	0.6	3.0	0.6
7	0.7	3.5	0.7
8	0.8	4.0	0.8
9	0.9	4.5	0.9
10	1.0	5.0	1.0

되었다. 예를 들어, 훈련의 1단계의 자극들은 시각도로 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5도의 시차를 가진 다섯 개로 구성되어 있었고, 10 단계에서는 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0도의 시차를 지닌 다섯 개의 자극으로 구성되었다. 두 다른 훈련 집단에 제시된 자극은 동일하였지만 제시되는 그 순서는 상이하였다. 순차적 훈련 집단의 경우 막대 자극의 시차는 가장 작은 시차에서 시작하여 그 다음으로 큰 시차로 순차적으로 증가하였고 해당 훈련 단계의 최대 시차에 도달한 후 그 다음으로 작은 시차로 순차적으로 감소하였다. 따라서 최대 시차를 가진 자극은 한 번 제시되었고 나머지 시차를 가진 자극들은 증가할 때와 감소할 때 각각 한 번씩 제시되어 총 9개의 자극이 제시되었다. 무선적 훈련 집단의 경우 순차적 훈련 집단과 동일한 자극 9개가 제시되었지만 무선적으로 제시되었다는 점에서 순차적 집단과 구별되었다.

3. 측정도구

본 연구에서는 두 종류의 종속 변인을 측정하였다. 첫째, 반복된 수렴 훈련에 따라 융합 가능한 최대 시차의 크기가 증가하는 지를 확인하기 위해 매 훈련 회기를 시작할 때 측정하였다. 수렴에 의해 융합할 수 있는 최대 범위는 단일 상을 지각하는 지를 이용하여 측정되었다. 자극의 시차가 커질 때 시차에 따라 수렴 눈운동이 적절하게 발생되면 단일상이 지각되지만 수렴이 자극의 시차를 따라가지 못하면 이중상으로 지각된다^[19]. 따라서 이중상이 지각되기 직전의 시차를 수렴에 의한 최대 융합 시차로 결정하였다.

둘째, 수렴 훈련에 의해 시각적 불편감이 감소하는 지의 여부를 확인하기 위해 3회의 훈련회기들이 시작되기 전과 후에 동일한 3D 영상을 시청하도록 한 후 시각적 불편감을 측정하고 이 둘을 비교하였다. 일반적으로 시각적 불편감의 정도는 불편감을 느꼈는지를 단일 질문으로 물어보고 분석하거나 불편감과 관련된 여러 문항으로 질문을 하고^[20,21] 이를 요인으로 묶은 후 요인에 대해 분석^[21]을 할 수도 있다. 본 연구에서는 일반적으로 시각적 불편감은 보다 직접적으로 본 연구에서는 두 요인 각각에 대해 단일 문항으로 질문하였다. 각 요인은 이형철^[21]에서 제안한 신체적 스트레스, 안구 통증, 신체 통증, 상호림의 네 요인들에서 영향을 볼 때 느끼는 일반적 스트레스 요인을 제외했고, 2D영상을 볼 때와 비교할 때 큰 차이가 없는 신체 통증^[20]도 제외했다. 눈과 관련된 상호림 요인과 안구 통증을 묶어 눈 통증에 관한 단일 질문을 ‘눈이 뻑뻑하거나 불편하십니까?’로 만들었고 비디오 터미널을 볼 때 발생하는 또 다른 중요한 불편감인 어지러움의 증상^[22]에 대해 ‘어지러움을 느꼈습니까?’라는 단일 문항을 만들었다. 응답은 어지러움과 눈통증 증상 각각의 질문에 대해 2D TV를 시청 한 경우

표 2. 실험 집단에 따른 실험 회기의 구성
Table 2. Five experimental sessions for control group and each of two training groups.

실험집단	실험회기	훈련 전 시청	훈련 1회기	훈련 2회기	훈련 3회기	훈련 후 시청
통제집단			융합영역 측정	융합영역 측정	융합영역 측정	융합영역 측정
훈련집단	3D영상시청 설문		융합영역 측정 수렴훈련	융합영역 측정 수렴훈련	융합영역 측정 수렴훈련	3D영상시청 설문

와 비교하여 7점 척도로 대답하도록 요청했다. 즉, 1점은 2D TV를 시청할 때와 같은 경우의 증상 정도를, 7점은 2D TV를 시청할 때보다 매우 심한 증상 정도를 나타낸다.

4. 절차

실험은 총 다섯 회기로 구성되어 있으며 수렴 훈련을 실시하는 세 번의 훈련 회기와 훈련 회기의 전과 후에 3D 영상을 시청하면서 시각적 불편감을 측정하는 두 번의 불편감 측정 회기로 나뉜다. 표 2에는 통제집단과 훈련 집단에 따른 실험 회기의 구성이 제시되어 있다. 모든 실험은 개인 별로 진행되었으며, 참가자들은 3m의 시청 거리를 두고 3D TV의 정면에 위치하였다. 통제집단과 훈련 집단 간의 유일한 차이는 수렴 훈련의 유무였다.

훈련 전 불편감 측정 회기의 경우, 3D 입체안경을 착용한 상태에서 약 15분 분량으로 구성된 3D 영상을 시청하였다. 영상의 시청이 모두 끝난 뒤, 참가자들은 일반적인 2D TV를 시청할 때와 비교하여 어지러움 정도와 눈 통증의 정도를 7점 척도로 평정하도록 지시받았다. 약 한 달 만에 걸친 3회의 훈련회기들이 끝난 후 실시된 훈련 후 불편감 측정회기에서도 동일한 자극과 절차에 따라 시각적 불편감을 측정하였다.

수렴 훈련은 약 2주 간격으로 3 회기에 걸쳐 반복하여 실시되었다. 한 회기의 수렴 훈련은 개인의 최대 수렴 정도를 측정하는 과정과 실제 수렴 훈련이 수행되는 두 과정으로 구성되어 있었다. 각 개인의 수렴 정도는 두 훈련 집단에 속한 관찰자뿐만 아니라 통제 집단에 속한 관찰자들을 대상으로 측정되었는데 이는 수렴 훈련이 없는 집단에서도 수렴 가능한 최대 시차의 변화가 발생하는 지를 확인하기 위한 것이었다. 먼저 최대 수렴 정도는 융합할 수 있는 최대 시차를 측정하는 방법을 통해 측정되었다. 먼저 관찰자들이 화면의 중앙에 제시된 응시점을 바라보면서 특정 키를 누르면 응시점의 왼쪽이나 오른쪽에 응시점보다 가까운 혹은 먼 깊이에서 특정 시차를 가진 막대자극이 약 2초 동안 입체 영상으로 제시되었다 사라졌다. 이때 관찰자들은 제시된 자극이 하나로 보였는지 둘로 보였는지에 따라 정해진 키를 누르도록 지시받았다. 단일상을 지각했다고 보고

하는 경우 정해진 단계만큼 시차를 증가시켰고 이중상으로 지각하는 경우 정해진 단계만큼 시차를 감소시킨 후 다음 시행을 실시하였다. 모두 40 시행이 실시되었는데 매 10 시행 단위로 시차의 변화 폭은 0.8도에서 0.2도씩 감소하도록 하였다. 최종적으로 각 개인의 최대 수렴 정도는 40회의 시행 중 후반 5시행에 제시된 자극의 시차 값들의 평균으로 결정하였다.

수렴 훈련은 최대 수렴 정도를 측정한 다음 5 분간의 휴식 후에 통제 집단을 제외한 두 훈련 집단만을 대상으로 실시되었다. 수렴 훈련은 참가자 스스로 키보드의 스페이스 바를 누름과 동시에 시작되었다. 훈련은 표 1에 제시되어 있는 단계 중 1단계부터 시작하였으며 9개의 교차 시차와 9개의 비교차 시차 자극들 세트는 반복하여 제시되었지만 어느 시차 자극들이 먼저 제시될 것인지는 무선적으로 정해졌다. 그림 1은 순차적 훈련 집단과 무선적 훈련 집단들에게 제시된 자극의 시차 변화 패턴을 보여주고 있다. 예를 들어 순차적 훈련 집단의 경우 1단계 훈련 수준에서 0.1도의 교차 시차를 가진 자극에서 시작하여 0.1도씩 증가하다가 0.5에 이른 후 거꾸로 0.1도씩 감소하는 형태로 시차가 변화되어 총 9개의 자극의 시차는 단계적으로 증감되었다. 무선적 훈련 집단에게는 무선적 크기의 시차가 제공된 것이 아니라 순차적 훈련 집단에게 주어진 자극과 동일한 9개의 자극이 제시되었지만 그 제시 순서가 무선적이었다. 각 자극은 모두 2초간 제시된 후 사라지고 다음 자극이 제시되었는데 각 관찰자들은 깊이가 변화되는 자극을 지속적으로 응시하도록 지시를 받았다.

점진적 훈련집단에 속한 관찰자들에게는 교차 시차(비교차 시차)를 가진 자극을 보는 경우 막대 자극이 점진적으로 다가 왔다가(멀어 졌다가) 다시 화면 깊이로 돌아가는 것을 보일 것이라고 알려주었고, 무선적 훈련 집단에 속한 관찰자들에게는 교차 시차(비교차 시차)를 가진 자극을 보는 경우 막대 자극이 화면보다 가까운(먼) 영역에서 다양한 깊이로 제시될 것이라고 알려주었다. 각 시차 자극 각각에 대해 9개의 자극이 4번 반복되어 총 36시행이 실시되었으므로 한 구획은 총 72회의 시행으로 구성되어 있었다.

각 구획에 제공될 시차의 단계는 이전 구획의 자극에 대한 관찰자들의 반응에 의해 변화되었다. 즉, 한 구획이 실시

(a) 순차적 수렴 훈련

(b) 무선적 수렴 훈련

그림 1. 훈련 집단에게 실시된 훈련 자극의 시차가 시간이 흐름에 따라 어떻게 변화하는 지를 나타내는 그래프

(a) 순차적 훈련 집단의 경우 시간의 흐름에 따라 훈련 자극의 시차는 점진적으로 증감하나, (b) 무선적 훈련 집단의 경우 시차의 크기는 무선적으로 변한다. 훈련은 교차, 비교차 시차 방향에서 총 10단계로 구성되어 있으나, 본 그래프에서는 교차시차 방향의 3단계까지만 제시되었다.

Fig 1. The patterns of disparity change of training stimuli for two training groups

된 후 관찰자들이 앞선 자극들을 모두 단일상으로 지각했고 불편감을 지각하지 않은 경우 다음 구획에서 제시되는 시차의 수준은 표 1에 제시된 단계값들에서 한 단계 높은 수준으로 결정되었다. 이와 반대로 앞선 자극들에서 이중상을 경험한 적이 있으며 시각적 불편감도 경험하였다면 다음 번 시행에서 한 단계 낮은 시차수준이 결정되었다. 그 나머지 상황에서는 이전 시차와 동일한 수준의 시차를 가진 자극이 다시 제시되었다.

한 회기는 총 10구획으로 구성되어 있었기 때문에 각 시차조건마다 360회의 시행이 실시되어 총 훈련 시행 수는 720회였으며, 이 시행들을 모두 실시하는 데 약 25분이 소요되었다.

5. 결과 및 논의

두 훈련 집단과 통제 집단에 각각 20명씩 총 60명의 관찰자가 배정되었다. 이중에서 중간 회기에서 불참한 통제집

단의 1인과 융합영역의 최초 측정값이 본 실험의 최대값이 시차 9도에 이르러 훈련효과를 측정할 수 없는 5인의 자료가 분석에서 제외되었다. 그 결과 각 집단별로 총 18명의 자료가 분석에 포함되었다.

5.1 훈련회기간 최대 융합영역의 변화

수렴 훈련이 반복됨에 따라 융합영역이 증가하는 지를 살펴보기 위해 실험 집단(통제집단, 순차적 훈련집단, 무선적 훈련집단)을 피험자 간 변인으로, 훈련 전 기저선(baseline) 측정치와 세 회기의 반복 훈련 후에 측정한 값들을 피험자 내 변인으로 하여 융합할 수 있는 최대 융합영역을 이원변량분석을 실시하였다. 각 집단과 각 훈련 회기에서의 융합 영역의 평균 값이 교차 시차와 비교차 시차 각각에 대해 그림 2에 제시되어 있다. 그림을 통해서도 쉽게 파악할 수 있듯이 교차시차의 경우 수렴 훈련이 반복됨에 따라 최대 융합 영역이 확대되는 것을 알 수 있지만, 비교차 시차의 경우 수렴 훈련이 반복되는 경우에도 융합 영역은

(a) 교차시차

(b) 비교차시차

그림 2. 반복 훈련에 따른 융합 가능 영역의 폭

(a)는 교차시차 방향, (b)는 비교차시차 방향에서 융합 가능한 시차의 크기를 시각도로 나타낸다.

Fig 2. Fusional ranges as a function of training sessions

거의 변화가 없다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이후의 분석은 교차시차에 대해 집중하였다.

교차시차의 경우 훈련이 반복되면서 최대 융합영역이 커지는 것으로 나타나 훈련의 주효과가 통계적으로 유의하였다($F(3, 153) = 12.578, p < .001$). 이러한 결과는 수렴 불충분 환자들이 수렴 훈련 후에 수렴 가능한 범위가 증가한 결과^[12,13]와 일치한다. 특히 최근의 수렴 불충분 환자들을 위한 수렴 훈련에는 3D 디스플레이를 사용하여 윤곽이나 무선점으로 이루어진 입체 자극^[17,18]을 제시하기도 하는데 이러한 자극들은 본 연구에서 사용된 훈련 자극과 매우 유

사하다.

훈련의 효과는 각 훈련 집단별로 상이한 것으로 나타나 훈련 집단과 반복 훈련 간에 상호작용은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($F(6, 153) = 2.306, p < .05$). 훈련과 훈련 집단간의 상호작용이 유의하게 나타난 결과는 수렴 훈련을 받지 않았던 통제 집단의 경우에는 최대 융합영역에서 유의한 차이가 없었지만($F(3, 153) = .40, p > .05$), 순차적 훈련 집단이나($F(3, 153) = 10.01, p < .001$) 무선적 훈련집단($F(3, 153) = 6.78, p < .001$)에서는 수렴 훈련이 반복됨에 따라 최대 융합 영역이 증가하는 것으로 나타났

기 때문이다. 두 훈련 집단 간에 수렴 훈련의 효과는 뚜렷하지 않았다. 두 번째 수렴 훈련이 끝난 후에도 최대 융합 영역에서 두 훈련 집단간 훈련효과의 차이는 나타나지 않았지만 세 번째 훈련이 모두 완료된 후에는 순차적 훈련 집단의 융합영역(4.02 ± 0.80)이 무선적 훈련 집단의 융합영역(3.36 ± 0.83)보다 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 이러한 차이도 통계적으로 유의한 수준을 넘지는 못하였다.

반복 훈련에 따른 융합 영역에 대한 분석 결과는 수렴 훈련이 교차 시차를 가진 자극 즉 화면보다 가까이 있는 대상을 융합시킬 수 있는 영역을 증가시키는 데 효과적이었음을 보여준다. 훈련을 받지 않은 통제집단과 비교해볼 때 수렴 훈련을 받은 두 훈련 집단에서 모두에서 융합 영역이 증가하는 것으로 나타났다. 이를 보다 구체적으로 살펴보면 순차적 훈련집단의 경우 훈련을 받기 전 약 2도의 융합 영역을 지녔으나 최종 훈련 후 4도까지 융합 영역이 증가하였으며, 무선적 훈련집단의 경우 훈련 전 약 2도의 융합 영역을 지녔으나 최종 훈련 후 3.4도 까지 융합 영역이 증가하였다. 이러한 융합 영역의 증가는 교차시차를 지닌 자극에 반복적으로 노출됨에 따라 조절과 수렴이 불일치하는 상황에 익숙해짐으로써 단일상을 형성할 수 있는 수렴 가능한 교차시차의 영역이 넓어진 것으로 해석할 수 있다.

비교차 시차의 경우 반복 훈련 횟수가 증가하여도 융합 영역에 변화가 없었으며 실험 집단 간에도 차이가 없었다. 이와 같은 결과는 본 연구의 실험 환경과 수렴 눈 운동의 특성의 관점에서 살펴볼 수 있다. 일반적으로 두 눈의 시선과 응시대상이 이루는 수렴 각은 관찰거리와 선형적이지 않다. 즉, 1m나 그 이하의 가까운 거리에서는 거리에 따라 수렴 각은 급격하게 변화되지만 수렴각 변화의 90%는 2m 내의 관찰거리에서 만들어진다. 따라서 2m 이상의 거리에서는 관찰거리에 따른 수렴각의 변화가 거의 없게 된다 [25,26]. 본 연구의 실험 환경에서 관찰거리가 3m이었기 때문에 실험 환경에서 더 이상 두 눈이 벌어지는 개산(divergence)이 발생하기 어려웠을 가능성이 있다. 즉, TV 등 시청거리가 큰 3D 관찰 환경에서 수렴각의 개산에 의해 단일상을 형성하는 과정은 거의 발생하지 않을 것을 예상할 수 있기 때문에, 매우 큰 비교차 시차를 가진 자극을 사용하여 훈련을 하는 과정이나 큰 비교차 시차를 검사자극

으로 사용하는 것은 적절하지 않음을 시사한다. 특히 수렴-조절 불일치의 관점에서 볼 때 교차시차인 경우 시차가 커질수록 수렴-조절 불일치는 점점 커지게 되지만 3m 이상인 경우 깊이가 증가하는 경우에도 수렴각이나 조절 수준의 변화도 거의 없다^[27]. 따라서 3m 이상의 시청환경에서는 비교차 시차를 수렴 훈련에 적용할 필요는 없을 것으로 추정할 수 있다.

5.2 훈련 전후의 시각적 불편감

반복된 수렴 훈련이 시각적 불편감에 미치는 영향을 살펴보기 위해 3D 영상을 시청한 후 느껴지는 어지러움과 눈 통증 수준을 3 회기의 수렴 훈련을 실시하기 전과 후에 각각 평가하였다. 훈련 전과 후를 피험자내 변인으로 통제집단과 두 훈련 집단을 피험자간 변인으로 하여 각 관찰자가 평정한 어지러움 점수와 눈 통증 점수 각각을 변량분석하였다. 어지러움의 경우 훈련 전에 비해서 훈련 후에는 개선되어 훈련의 주효과($F(1, 51) = 5.660, p < .05$)는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 또한 훈련과 실험집단간 상호작용효과도 통계적으로 유의한 것으로 나타났는데($F(2, 51) = 4.889, p < .05$), 이는 순차적 훈련 집단에서는 훈련 후 어지러움이 유의하게 줄었지만($F(1, 51) = 10.4, p < .01$) 나머지 두 집단에서는 어지러움이 통계적으로 유의하게 감소하지 않았기 때문에 상호작용 효과가 발견된 것으로 해석할 수 있다. 눈 통증의 경우 훈련의 주효과는 나타나지 않았지만 훈련과 실험 집단간 상호작용은 통계적으로 유의한 차이가 발견되었다($F(2, 51) = 4.412, p < .05$). 이는 통제 집단과 두 훈련집단에서 훈련의 효과가 각기 다르게 나타났기 때문이다. 따라서 훈련 효과가 각 집단에 따라 어떠한 차이를 보였는지를 확인하기 위해 각 집단별로 훈련 전 후에 눈 통증의 차이를 분석하였다. 통제집단과 무선적 훈련 집단에서는 훈련 전과 후에 눈 통증 정도에서 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수 없었지만 순차적 훈련 집단에서만 훈련 후에 눈 통증이 통계적으로 유의하게 감소하였다($F(1, 51) = 8.48, p < .01$).

수렴 훈련이 수렴 불충분 증상을 겪고 있는 사람들의 불편감을 줄인다는 연구 결과[16]와 유사하게 수렴 훈련이 3D 환경에서 발생하는 시각적 불편감을 줄일 수 있음을 확

그림 3. 훈련 회기의 전과 후에 측정된 어지러움과 눈통증 문항에 대한 각 실험 집단별 평균 점수

Fig 3. Mean values for vertigo and eye strain before and after training were shown for each of experimental groups

인하였다. 이로써 본 연구에서 측정된 최대 융합 영역과 시각적 불편감 모두에서 수렴 불충분 환자들을 대상으로 한 연구결과와 유사하게 융합 영역은 증가되었고 불편감이 감소된 것을 확인하였다. 본 연구에서는 수렴 눈운동 과정이나 그 자세를 직접적으로 측정하지는 않았다. 수렴 불충분 환자의 경우 수렴 훈련이 융합 가능한 최대 시차를 증가시킬 뿐만 아니라 수렴 눈운동과 관련된 전반적인 시기능을 개선시키다는 기존의 연구들^[16,19]을 고려해 보면 본 연구에 참여한 관찰자들도 수렴과 관련된 전반적인 시기능의 향상이 동반되었을 것으로 추정할 수 있다. 수렴 불충분 환자의 경우나 큰 시차를 가진 영상이 주어진 3D 환경에서는 수렴과 조절이 일치하지 않는다는 공통점이 있지만 수렴 불충분 환자가 수렴을 적절하게 하면 수렴과 조절이 보다 일치되지만 3D 환경에서는 수렴과 조절의 불일치가 더욱 커진다는 차이가 있다. 따라서 왜 수렴 운동이 두 과정에서 유사한 결과를 낳는지를 규명해 보는 것은 이론적인 관점에서 흥미로운 주제가 될 수 있다. 예를 들어, 수렴과 조절의 상호 연결(cross-link)은 자극의 반복 노출에 의해 변화될 수 있는데^[28] 3D 상황에서는 수렴-조절의 불일치를 견뎌낼 수 있는 한계가 수렴 훈련에 의해 증가하지만, 수렴 불충분 환자들의 경우 수렴 훈련을 통해 대상의 정확한 깊이로 수렴할 수 있게 됨으로써 수렴-조절 불일치의 정도가 점진적으로 감소할 수도 있다. 이와 같은 추정을 확인하고 탐색하기 위해서는 수

렴과 조절을 비롯한 시기능을 직접적으로 측정할 수 있는 연구가 필요하다.

시각적 불편감을 발생시키는 여러 요인들 중 대부분의 연구들은 영상이나 하드웨어의 특성과 성능에 초점을 맞추었지만, 개인차 또한 중요한 요인들 중의 하나이다. 본 연구는 수렴 불충분 환자를 대상으로 한 연구는 아니지만 일반인을 대상으로 한 본 연구의 결과가 수렴 불충분 환자를 대상으로 한 연구들과 유사하다는 사실은 3D 상황에서 시각적 불편감의 개인차와 관련된 주요 변인이 수렴과 관련될 수 있음을 시사한다. 수렴 불충분 환자라는 임상적인 기준에는 미치지 못하지만 수렴 정도가 실제 대상의 깊이보다 작아 응시 시차가 크게 발생하는 사람들이 있다. 따라서 각 개인의 수렴 불충분 정도나 응시 시차의 크기와 3D 환경에서 불편감의 정도를 파악해 보는 연구는 응용적인 가치가 충분히 있는 흥미로운 연구 주제이다.

수렴 훈련을 하기 위해서는 반드시 3D TV나 다른 입상적인 장비가 필요한 것은 아니다. 손쉽게 할 수 있는 수렴 훈련의 한 방법은 눈 앞에 제시된 연필을 응시하도록 지시를 준 후 연필을 코쪽으로 서서히 다가가게 하는 것^[29]을 반복하는 것이다. 수렴 불충분 환자들의 훈련 방법으로 고안된 간이 훈련법이지만 3D 영상을 시청할 때 발생하는 시각적 불편감이 수렴 훈련을 통해 감소될 수 있다는 본 연구의 결과는 3D 영화 등 다양한 3D 콘텐츠나 환경에서 느끼는 시각적 불편감을 경감시켜 줄 수 있을 것이다.

III. 결 론

수렴 훈련은 3D 시청시 발생할 수 있는 시각적 불편감을 감소시키는 것으로 나타났다. 특히, 본 연구에서는 한 회기 25분씩 2주에 한 번씩 총 3회기의 수렴 훈련을 실시하였다는 점을 고려할 때 훈련의 효과는 매우 높았고 장기적임을 확인하였다. 이러한 훈련 프로그램은 기존의 3D TV에 쉽게 장착될 수 있으므로 흥미를 가미한 3D 게임형태로 제작된다면 본 연구의 훈련보다 더 빈번하고 장시간의 훈련이 가능해 질 수 있을 것이며 이를 통해 3D TV의 시청과정에서 발생할 수 있는 시각적 불편감을 상당히 감소시킬 수 있을 것을 기대한다. 또한 훈련 프로그램에 사용될 자극의 시차는 교차시차 즉 화면보다 가까이 있는 자극을 사용하는 것이 적절하며, 시차의 변화도 점진적이고 순차적으로 변화되는 것이 더 효과적임을 확인하였다.

본 연구는 최소 2주의 간격으로 훈련이 실시되어 TV 시청의 관점에서 보면 매우 드물고 짧은 훈련으로 고려될 수 있다. 향후에는 매일 훈련하는 것과 같이 매우 단기적인 훈련 기간동안의 훈련 효과와 그 효과의 지속성에 대한 연구가 필요하다. 시각적 불편감과 관련하여 가장 시급히 해결되어야 할 문제들 중의 하나는 아동이나 청소년을 대상으로 한 휴먼 팩터 연구들이다. 아동이나 청소년의 경우 3D TV에 접근이나 몰입의 정도도 장년이나 노년 인구와 비교해 볼 때 훨씬 높을 것으로 예상이 되는데, 추후 연구를 통해 대학생을 대상으로 한 본 연구에서 발견된 훈련효과들이 아동이나 청소년에게도 유효한지를 확인하는 것은 3D TV의 확산에 긍정적인 영향을 줄 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 1-30, 3, 2008.
- [1] Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 1-30, 3, 2008.
- [2] Seuntjens, P. J. H., Meesters, L. M. J., Ijsselstein, W. A. Perceptual attributes of crosstalk in 3D images. *Display*, 26, 177-183, 10, 2005.
- [3] Kuze, J., & Ukai, K., Subjective evaluation of visual fatigue caused by motion images. *Display*, 29, 159-166, 3, 2008.
- [4] Yano, S., Ide, S., Mitsuhashi, T., & Thwaites, H. A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV image. *Displays*, 23, 191-201, 9, 2002.
- [5] Emoto, M., Niida, T., & Okano, F. Repeated vergence adaptation causes the decline of visual functions in watching stereoscopic television. *Journal of Display Technology*, 1(2), 328-340, 12, 2005.
- [6] Lipton, L. *Foundations of the stereoscopic cinema: A study in depth*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1982.
- [7] Patterson, R. Human factors of stereo displays: An update. *Journal of the Society for Information Display*, 17, 987-996, 2009.
- [8] Woods, A., Docherty, T. & Koch, R. Image Distortions in Stereoscopic Video Systems", *Proc. SPIE*, 1915, 36-49, 1993.
- [9] Kooi, F. L., & Toet, A. Visual comfort of binocular and 3D displays. *Displays*, 25, 99-108, 2004.
- [10] Yano, S., Emoto, M., & Mitsuhashi, T. Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images. *Display*, 25, 141-150, 2004.
- [11] Emoto, M., Nagata, S., Yano, S. Distribution of fusional vergence limit in viewing stereoscopic image systems, *Journal of Institute of Transportation Engineers*, 55, 703-710, 2001.
- [12] Lambooi, M., & Ijsselstein, W. Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: A Review. *Journal of Imaging Science and Technology*, 53(3), 030201-1-30201-14, 3, 2009.
- [13] Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 1-30, 1, 2008.
- [14] Leeuwen, A. F., Westen, M. J., Steen, J. V. D., Faber, J. T., & Collewijn, H. Gaze-shift dynamics in subjects with and without symptoms of convergence insufficiency: influence of monocular preference and the effect of training. *Vision Research*, 39, 3095-3107, 9, 1999.
- [15] Bucci, M. P., Kapoula, Z., Yang, Q., Bremond-Gignac, D., & Wiener-Vacher, S. Speed-accuracy of saccades, vergence and combined eye movements in children with vertigo. *Experimental Brain Research*, 157, 286-295, 3, 2004.
- [16] Jainta, S., Bucci, M. P., Wiener-Vacher, S., & Kapoula, Z. Changes in vergence dynamics due to repetition. *Vision Research*, 51, 1845-1852, 8, 2011.
- [17] Daum, K. M., Rutstein, R. P., & Eskridge, J. B. Efficacy of computerized vergence therapy. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 64, 83-89, 2, 1987.
- [18] Griffin, J. R. Efficacy of vision therapy for nonstrabismic vergence anomalies. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 64, 411-414, 6, 1987.
- [19] Grisham, J. D., Bowman, M. C., Owyang, L. A., & Chan, C. L. Vergence orthoptics: validity and persistence of the training effect. *Optometry and Vision Science*, 68(6), 441-451, 6, 1991.
- [20] Li, H. O. Human Factor Research on the Measurement of Subjective Three Dimensional Fatigue. *Journal of broadcasting engineering*, 15(5), 607-616, 2010.
- [21] Emoto, M., Niida, T., & Okano, F. Repeated vergence adaptation causes the decline of visual functions in watching stereoscopic television.

- Journal of Display Technology, 1(2), 328-340, 12, 2005.
- [22] Wolfgang, J. K. On the preferred viewing distances to screen and document at VDU workplaces. *Ergonomics*, 33, 1055-1063, 1990.
- [23] Cooper, J., Selenow, A., Ciuffreda, K. J., Feldman, J., Faverty, J., Hokoda, S. C., & Silver, J. Reduction of asthenopia in patients with convergence insufficiency after fusional vergence training, *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 60(12), 982-989, 9, 1983.
- [24] Cooper, J., & Feldman, J. Operant conditioning of fusional convergence ranges using random dot stereograms, *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 57(4), 205-213, 4, 1980.
- [25] Allison, R. S., Gillam, B. J., & Vecelli, E. Binocular depth discrimination and estimation beyond interaction space. *Journal of Vision*, 9, 1-14, 1, 2009.
- [26] Bruce, V., Green, P. R., & Georgeson, M. A. *Visual perception: physiology, psychology & ecology*. Psychology Press, fourth edition, 2003.
- [27] Palmer, S. E. *Vision Science: Photons to Phenomenology*. MIT Press, 1999.
- [28] Schor, C. M., & Tsuetaki, T. K. Fatigue of accommodation and vergence modifies their mutual interactions. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 28, 1250-1259, 8, 1987.
- [29] Passmore, J. W., & MacLean, F. Convergence insufficiency and its managements; an evaluation of 100 patients receiving a course of orthoptics, *American Journal of Ophthalmology*, 43(3), 448-456, 3, 1957.

저 자 소 개

감 기택

- 1988년 : 연세대학교 심리학과 학사
- 1990년 : 연세대학교 심리학과 석사
- 1997년 : 연세대학교 심리학과 박사
- 1997년 ~ 1999년 : Vanderbilt 대학교 시각연구소 post-doc
- 2006년 ~ 현재 : 강원대학교 심리학과 교수
- 주관심분야 : 삼차원 공간지각 및 휴먼팩터

전 현민

- 2010년 2월 : 강원대학교 심리학과 학사
- 2012년 8월 : 강원대학교 심리학과 석사 (인지 및 신경)
- 2012년 9월 ~ 2013년 2월 : 강원대학교 사회과학연구원 전임연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : (주)ThinkUser HCI 인텔리전스 사업부
- 주관심분야 : 3차원 공간 지각, 3D 휴먼팩터, HCI