

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제19권 제2호, 2014년 3월 (JBE Vol. 19, No. 2, March 2014)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2014.19.2.215>

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

패럴랙스 배리어를 사용한 무안경식 휴대용 3차원 디스플레이의 수평위치에 따른 크로스톡 및 3차원 시각 피로의 측정과 모형 구축

박종진^{a)}, 김신우^{a)}, 이형철^{a)†}

Measurement and Modeling of Crosstalk and 3D Visual Fatigue Along with Horizontal Position in Mobile Glassless 3D Display Having Parallax Barrier

JongJin Park^{a)}, ShinWoo Kim^{a)}, and Hyung-Chul O. Li^{a)†}

요 약

3D 기술은 초기의 붐 이후 점차 느리게 확산되고 있다. 그 원인 중 하나로 현재 3D 입체 영상을 시청할 수 있는 디스플레이가 주로 안경을 사용하며 그 때문에 사용 환경이 제한적이라는 점을 들 수 있다. 이런 측면에서 본 연구에서는 기존에 주로 연구되었던 안경식 디스플레이가 아닌 휴대용 무안경식 3D 디스플레이를 대상으로 기존에 잘 연구되지 않았던 지각적 크로스톡과 입체 시각 피로를 측정하고 그 결과를 모형화 하였다. 그 결과 휴대용 무안경식 3D 디스플레이의 수평 위치에 따라 지각되는 크로스톡이 체계적으로 변화한다는 것을 확인하였다. 측정된 크로스톡은 화면 중심부에서 상대적으로 낮았으나 좌/우측으로 이동함에 따라 급격하게 증가하는 현상을 보였으며, 이런 변화 경향성은 입체 시각 피로 및 불편감 측정 과정에서도 나타났다. 본 연구의 결과는 무안경식 디스플레이를 설계하고 평가하는 과정에서 지각적 요소를 고려하는 것이 필요함을 시사한다.

Abstract

The 3D technology has been spread slowly and the reason would be attributed to the fact that most commercialized 3D displays require 3D glasses. There have been various researches on human factors of glass type 3D display. In this study we measured and modeled crosstalk as well as 3D visual fatigue induced by mobile glassless 3D display. Crosstalk as well as visual fatigue varied depending on horizontal position of the 3D mobile display. Measured crosstalk was relative low around the center of the display and it increased at the side of the display. Similar results were found in the measurement of 3D visual fatigue and discomfort. These results imply that human factors should be considered in the process of design and evaluation of mobile 3D displays.

Keyword : Mobile 3D display, glassless, crosstalk, horizontal position

a) 광운대학교 산업심리학과 (Department of I/O Psychology, Kwangwoon University)

† Corresponding Author : 이형철(Hyung-Chul O. Li)

E-mail: hyung@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5425

※ 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업 [10038745, 인체안전성을 위한 3D 기기/장비 중심의 휴먼팩터 연구] 와 2013년도 광운대학교 교내연구비 사업(이형철)의 일환으로 수행하였음.

· Manuscript received January 15, 2014 Revised March 4, 2014 Accepted March 7, 2014

1. 서론

영화 아바타가 3D 기술을 대중에게 다시 소개한 이후, 3D 입체 영상은 영화관을 중심으로 빠르게 확산되었다. 꾸준한 3D 영화의 출시와 기존 영화의 3D 재개봉으로 인하여 3D 입체 영상은 이제 대중들에게 일상적으로 접할 수 있는 기술 중 하나가 되었다. 영화관 뿐만 아니라 가정에도 3D TV가 꾸준히 보급되어 3D 콘텐츠를 집에서 관람할 수 있는 환경이 마련되었다. 그러나 3D 디스플레이의 보급이 꾸준히 증가하였음에도 불구하고 영화관에서 관람하는 3D 입체 영상을 제외하면 거의 모든 영상 관련 콘텐츠는 여전히 2D 영상으로만 제공되고 있다.

3D 콘텐츠의 보급이 지연되는 원인 중 하나는 기존의 2D 콘텐츠 제작에 비하여 3D 콘텐츠 제작은 더 많은 자본과 높은 수준의 기술을 필요로 하기 때문이다. 3D 콘텐츠 제작은 촬영 장비를 3D 촬영장비로 바꾸는 것 이상의 노력을 필요로 한다. 3D 효과를 적절하게 사용하여 실감나는 3D 입체 영상을 제작하려면 다양한 제한 사항을 모두 고려해야 하며, 이를 충족시키는 것은 많은 시간과 노력을 요구한다^[1]. 또한 이미 촬영한 영상을 3D로 변환하는 것 역시 3D 콘텐츠를 제작하는 것과 유사한 시간과 노력을 필요로 한다. 이런 제한점 때문에 3D 콘텐츠는 주로 영화 분야에서 제작되고 있는데, 영화는 본래 많은 자본과 높은 수준의 기술을 사용하는 분야이기 때문이다.

3D 영상 매체의 확산을 저해하는 또 다른 원인으로 기술적인 한계를 들 수 있다. 3D 디스플레이를 구현하기 위한 기술은 여러 가지 방식이 있다. 본질적으로 3D 디스플레이 기술은 하나의 디스플레이를 보는 관찰자의 양 눈에 서로 다른 영상을 제시하는 것이다. 현재 시판되는 많은 3D 디스플레이들 화질을 유지하면서 양안 영상을 분리하기 위하여 주로 안경을 사용하는 방식을 채용하고 있다. 안경식 3D 디스플레이는 셔터 글라스를 이용하여 시간을 분할하거나 편광 필터를 사용하여 공간을 분할하는 방법을 사용하는데, 영상을 안경에서 분할하기 때문에 안정적으로 양안 영상이 분리할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 안경이 없으면 입체 영상을 볼 수 없으며, 셔터 글라스의 경우 디스플레이 사이에서 안경이 호환되지 않는다는 단점이 있다.

한편 3D 입체 영상을 제시하는데 안경이 반드시 필요한 것은 아니다. 양 안에 서로 다른 영상을 제시할 수 있으면 3D 입체 영상을 제시하는 것이 가능하기 때문이다. 안경을 사용하지 않는 방식을 채용한 디스플레이를 현재 광범위하게 사용되는 안경 착용 방식 디스플레이에 빗대어 무안경식 3D 디스플레이라고 부른다. 무안경식 3D 디스플레이는 3D 입체 영상을 더욱 다양한 환경에서 체험할 수 있게 해준다. 예를 들면 휴대용 기기나 광고판, 박물관 등 다양한 환경에서 3D 입체 영상을 제시하는 것이 가능하다.

그러나 무안경식 3D 제시 방법은 안경식 3D 제시 방법에 비하여 양안 영상의 분리가 명확하게 이루어지지 않는다는 단점을 가지고 있다^[2]. 현재 시판되는 디스플레이에 적용된 대표적인 무안경식 3D 제시 방법은 패럴랙스 배리어(Parallax barrier)나 렌티큘러(Lenticular) 방식이다^{[2],[3]}. 각 제시 방법의 세부적인 사항은 조금씩 다르지만 두 방법은 공통적으로 양 눈이 위치할 것으로 예상되는 위치에 각각 서로 다른 영상을 보내는 것이다. 따라서 디스플레이가 제작될 때 미리 정한 위치나 거리에서 시청하지 않으면 양안 영상이 정확하게 분할되지 않게 되며 그 결과 안경식 디스플레이에 비하면 시청 위치에 따라 입체 지각을 할 수 없는 경우가 더 많다. 이를 극복하기 위하여 현재 시판중인 무안경식 3D 디스플레이는 크기가 큰 경우 여러 시점을 지원하도록 제작되며, 크기가 작은 경우에만 하나의 시점(2개의 영상)으로 제작된다. 그럼에도 불구하고 현재 3D 디스플레이 기술은 양안의 영상을 확실하게 분리하지 못한다.

불완전한 양안 영상 분리는 어느 한 쪽 영상에 반대편 영상이 간섭하는 현상을 유발시키는데 이를 크로스톡(Crosstalk)이라고 한다^[4]. 즉 크로스톡이 높은 디스플레이는 단순히 피로하거나 불편한 3D 디스플레이가 아니라 3D 입체 영상의 품질 자체가 떨어지는 불완전한 3D 디스플레이가 될 수 있다. 크로스톡은 안경식 디스플레이를 사용한 연구에서 3% 이하인 경우 입체 시각 피로에 거의 영향을 미치지 않으며, 10~15%를 넘어서면 입체 지각을 심각하게 방해하는 것으로 알려져 있다^[5]. 3D 무안경식 디스플레이가 가지는 불완전한 양안 분리는 무안경식 3D 디스플레이가 안경식 디스플레이에 비하여 상대적으로 더 높은 크로스톡을 유

발시시킬 가능성이 높음을 시사한다^[2]. 게다가 이런 높은 크로스톡이 3D 영상 제시 기술이 가지는 한계와 결합되면 사용자의 입체 경험을 심각하게 손상시킬 가능성이 있다^{[6],[7]}.

현재 사용되는 3D 영상 제시 기술은 양안에 서로 다른 자극을 제시하여 양안 시차에 의한 깊이 정보를 제공할 수 있지만, 양안 시차에 의하여 발생한 깊이감에 대응하는 초점 변화를 제공하는 것은 불가능하다^{[8],[9]}. 이는 입체 영상의 수렴-조절 불일치를 유발하며, 두통, 어지러움, 울렁거림, 초점 어려움 등 다양한 입체 시각 피로 및 불편감을 유발하는 주된 원인 중 하나로 알려져 있다^{[9],[10]}. 지금까지 이런 증상은 주로 안경식 디스플레이를 사용하여 연구되어 왔다^{[10],[12]}. 그러나 무안경식 디스플레이에서 양안 영상 분리와 관련된 시각적 문제는 아직 충분히 연구되지 않았다.

본 연구에서는 패럴랙스 배리어를 사용하는 무안경식 3D 디스플레이에서 불완전한 양안 영상 분리에 의하여 나타나는 크로스톡이 어떤 특성을 가지는지 측정하고 그 결과를 모형화하고자 한다. 패럴랙스 배리어는 구조적 한계 때문에 자극이 제시되는 수평 위치에 따라 크로스톡 수준이 변화하게 된다^{[2],[3]}. 따라서 본 연구에서는 자극의 수평 제시 위치에 따른 크로스톡 수준 및 지각된 초점 어려움 수준과 그 변화 양상을 측정하고 그 결과를 모형화 하였다.

연구의 첫 번째 단계로 연구에 사용된 모바일 디스플레이가 어떤 특성을 보이는지 지각적으로 확인하는 절차를 진행하였다. 이 절차를 진행한 목적은 디스플레이가 유발

하는 크로스톡이 어떻게 보이는지 현상적으로 확인하는 것이었다. 관찰에 사용한 자극 및 그 관찰 결과는 그림 1에 제시되어 있다. 관찰에 사용한 자극은 그림 1의 좌측 열에 제시된 바와 같이 각 눈에 제시된 자극이 단일 색상으로 전체 화면을 채운 단순한 영상이었다. 좌안에 제시한 자극은 그림 1의 좌상단에 제시한 최저 밝기 영상으로 0.1 cd/m²의 밝기를 가지고 있었으며, 우안에 제시한 자극은 그림 1의 좌하단에 제시한 최대 밝기 영상으로 61.3 cd/m²의 밝기를 가지고 있었다. 이런 자극을 사용하면 무안경식 디스플레이가 가지는 수평 위치에 따른 크로스톡 변화를 육안으로 확인하는 것이 가능하다. 만약 수평 위치에 따라서 유발되는 크로스톡 수준의 차이가 없다면 단안으로 좌, 우안의 자극을 관찰할 때 전체 화면이 일관적인 밝기를 보이는 것으로 지각될 것이다. 그러나 관찰 결과 패럴랙스 배리어가 보일 것으로 예상되는 전형적인 크로스톡 유발 현상, 즉 디스플레이 수평 위치에 따른 크로스톡의 체계적 변화^{[2],[3]}가 연구에 사용한 디스플레이에서도 나타났다. 관찰 결과를 묘사하기 위하여 그림 1의 우측 열에 좌안과 우안 위치에 배치한 카메라로 디스플레이를 촬영한 그림을 제시하였다. 그림 1의 우상단에 제시된 좌안 위치 촬영 영상은 주로 디스플레이 우측에서 흰색 영역이 보인다. 이는 좌안 영상의 경우 화면 오른 쪽에서 중앙 방향으로 점진적인 크로스톡이 유발된다는 것을 시사한다. 그림 1의 우하단에 제시된 우안 영상 역시 유사한 경향을 보인다. 다만 우안 영상의 경우 유발되는 크로스톡의 변화가 우측에서 중앙으로 변화한다는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 그림 1에서 나타난 수평 위치에 따른 크로스톡 변화를 측정하기 위하여 수평 위치에 따른 밝기 비교 과제를 사용하였다. 디스플레이의 수평 위치에 따른 크로스톡 수준의 변화는 주로 무안경식 디스플레이에서 나타날 것으로 예측되는 현상이며, 특히 무안경식 디스플레이 중에서도 단일 시점을 가지는 제시 방식에서 두드러지게 나타날 것이라고 예측할 수 있다^[2]. 추가적으로 입체 자극이 서로 다른 수평위치에 제시될 때 지각적으로 양안 분리에 어려움을 겪는지 확인하기 위하여 “초점 어려움” 수준을 측정하는 세 개의 설문 문항을 사용하여 입체 시각 피로 및 불편감 요인 중 크로스톡에 큰 영향을 받는 “초점 어려움” 수준을 측정하였다^[10].



그림 4. 패럴랙스 배리어 방식의 3D 디스플레이에서 나타나는 양안 영상 분리
 Fig. 4. Left/right stimuli and images in the parallax barrier type 3D display employed in the experiment

II. 실험 1: 디스플레이 수평 위치에 따른 크로스톡 측정

실험1의 목적은 무안경식 모바일 3D 디스플레이를 관찰할 때 화면 수평 위치에 따라서 크로스톡이 서로 다른 수준으로 유발된다는 현상적 관찰을 기반으로, 디스플레이 수평 위치에 따른 크로스톡 수준을 지각적으로 측정하는 것이다. 실험 1의 목적은 입체 지각을 측정하는 것이 아니라 양안 자극이 얼마나 적절하게 분리되는지 그 정도를 크로스톡 수준을 통하여 간접적으로 측정하는 것이기 때문에 자극을 양안이 아니라 단안에 각각 제시하였다.

크로스톡 수준은 밝기 측정 과제를 사용하여 측정하였다. 이 과제는 만약 디스플레이가 크로스톡을 유발하지 않는다면 디스플레이를 단안으로 관찰할 때 동측 영상(관찰하는 눈에 제시되는 영상. 좌안의 경우 좌안영상, 우안의 경우 우안 영상)의 밝기가 대측 영상(반대편 눈에 제시되는 영상. 좌안의 경우 우안 영상, 우안의 경우 좌안 영상)의 밝기에 영향 받지 않을 것이라는 가정 하에 구성되었다. 이 과제의 수행 결과를 사용하여 디스플레이의 수평 위치에 따른 지각된 크로스톡 정도를 추정하고 그 경향을 모형화하였다.

1. 참가자

서울 동북부에 위치한 4년대 대학 재학생 18명이 유급으로 실험에 참가하였다. 참가자 중 연구의 목적에 대해서 모르는 참가자는 13명 (72.2%)이었다. 시지각 실험은 연구 목적에 대하여 이미 알고 있다는 것이 실험 결과에 영향을 미치지 않기 때문에 이 참가자들이 결과에 체계적인 영향을 미칠 가능성은 없었다¹³⁾. 모든 참가자는 정상 시력이거나 교정된 정상 시력을 가지고 있었다.

2. 장치

연구에 사용된 모바일 디스플레이는 LG 사의 Optimus Cube로, 화면 크기는 너비 9.4 cm, 높이 5.6 cm이며 해상도는 너비 800, 높이 480 화소를 가진다. 이 장비는 3D 입체

자극을 제시하기 위하여 패럴랙스 배리어 방식으로 영상을 양안으로 분할하여 제시한다. 참가자는 이 디스플레이를 45 cm 떨어진 위치에서 관찰하였다. 관찰거리와 디스플레이 위치를 안정적으로 유지하기 위하여 참가자가 실험 자극을 관찰하는 동안 턱받침을 사용하여 머리 위치를 고정하였다. 실험을 수행하기 전에 각 턱받침의 높이를 조정하여 모든 참가자가 항상 같은 위치에서 디스플레이와 자극을 관찰하도록 배치하였다.

실험에 사용한 자극은 LG사에서 제공한 Real3D SDK와 Google사에서 제공한 Android development tool을 사용하여 직접 제작하였다. Real3D SDK는 OpenGL을 사용하여 양안의 자극을 개별적으로 구성하여 입체 영상을 제시할 수 있도록 기기 제조사에서 공식적으로 배포한 개발 도구로, 본 연구에서도 양안 자극을 개별적으로 구성하여 제시하기 위하여 사용하였다.

3. 크로스톡 측정 과제 및 자극 구성

앞서 언급한 바와 같이 디스플레이의 수평 위치에 따른 크로스톡 정도를 지각적으로 측정하기 위하여 단안 밝기 판단 과제를 사용하였다. 이 과제에 사용된 자극은 그림 2에 제시된 바와 같이 동측 영상과 대측 영상으로 구성되어 있었다. 동측 영상은 여러 밝기를 가질 수 있는 배경(좌측 밝기 범위: 0.1 ~ 55.5cd/m², 우측 밝기 범위: 좌측: 0.1 ~ 61.3cd/m²)과 가장 어두운 밝기(좌, 우측 모두 약 0.1 cd/m²)를 가지는 세로 막대 영역으로 구성되어 있으며, 대측 자극은 반대로 동측 자극의 세로 막대 영역에 대응하는 영역에 최대 밝기(좌측 영상: 55.5 cd/m², 우측 영상: 61.3 cd/m²)의



그림 2. 밝기 판단 과제에 사용한 동측 및 대측 자극
Fig. 2. Ipsilateral and contralateral stimuli for luminance discrimination task in Experiment 1

세로 막대가 배치되어 있으며 배경은 항상 가장 어두운 밝기(좌, 우측 모두 약 0.1 cd/m^2)으로 구성되어 있다. 자극은 약 5.07 lux 의 밝기를 가진 어두운 조명 아래에서 제시되었다.

양안 영상에서 유발되는 크로스톡은 이 자극을 사용한 밝기 판단 과제를 사용하여 수행되었다. 참가자는 단안으로 자극의 수직 막대와 배경의 밝기를 비교하고, 어느 쪽이 더 밝게 지각되는지 키보드를 눌러 반응하였다. 만약 디스플레이가 크로스톡을 유발하지 않는다면 디스플레이를 단안으로 관찰할 때 동측 영상의 밝기는 대측 영상의 밝기에 영향 받지 않을 것이다. 이 경우 관찰자는 배경과 막대가 똑같이 가장 어두운 밝기로 제시되었을 때 막대 또는 배경 중 어느 한 쪽이 밝다고 응답할 확률이 동일할 것이라고 예상할 수 있다. 또한 배경이 조금이라도 밝게 제시된다면 항상 배경이 밝다고 응답할 것이다. 그러나 디스플레이가 크로스톡을 유발하고 관찰자가 크로스톡을 탐지할 수 있다면 관찰자는 크로스톡의 수준에 따라서 배경과 세로 막대 중 어느 한 쪽이 더 밝게 지각되었다고 응답할 것이다. 이 경우 관찰자가 배경이 밝다고 응답한 경우와 세로 막대가 밝다고 응답한 경우가 동일한 수준일 때, 관찰자가 배경의 밝기와 세로 막대의 밝기를 동일한 수준으로 지각한다고 간주할 수 있다. 즉 배경의 밝기와 세로 막대의 밝기를 비교하여 어느 쪽이 더 밝은지 구분할 수 없는 배경 밝기를 크로스톡의 밝기라고 간주할 수 있다. 이런 절차를 사용하면 디스플레이의 수평 위치에 따른 크로스톡을 배경의 밝기에 대응시킬 수 있게 된다. 즉 크로스톡이 얼마나 밝은지 그 비율을 측정하는 것이 가능하다.

자극은 1.12 cm 너비의 세로 띠로, 높이는 화면과 동일하였다. 이 자극은 크로스톡을 측정하고자 하는 7개의 위치 중 한 군데에 제시되었는데, 그림 1에 제시된 중앙 위치와 중앙을 기준으로 좌, 우측으로 각각 1.3 cm 간격으로 3개 위치를 더하여 총 7개 위치에 제시되었다. 동측 자극은 항상 가장 어두운 밝기(좌, 우측 모두 약 0.1 cd/m^2)로 제시되었으며, 대측 자극의 세로 막대는 최대 밝기(좌측 영상: 55.5 cd/m^2 , 우측 영상: 61.3 cd/m^2)로 제시되었다. 배경의 밝기는 총 10 단계로 구성되었으며, 각 단계는 RGB 값을 기준으로 분할하였다 (RGB: 0, 28, 57, 85, 113, 142, 170,

198, 227, 255). 모든 조건에서 자극을 10회 반복하였기 때문에 자극은 한 눈에 각각 700회씩 제시되었다.

4. 절차

참가자는 시선이 디스플레이 중앙에 놓이도록 턱받침의 높이를 조절하도록 요청받은 다음, 자극 및 실험 진행에 대한 설명을 들었다. 설명이 끝나고 참가자는 실험할 눈이 아닌 반대편 눈을 안대로 가리고 실험을 시작하였다. 매 시행에서 참가자는 1 초 동안 제시되는 자극을 관찰한 다음 세로 막대가 더 밝게 지각되면 키보드 a키를, 배경이 더 밝게 지각되면 키보드 k키를 눌러 응답하도록 요청받았다. 키보드 입력 오류를 방지하기 위하여 응답은 자극이 사라지고 나서 화면이 회색으로 변했을 때에만 동작하도록 구성하였다. 참가자가 응답을 완료하면 즉시 다음 자극이 제시되었으며, 응답에 시간 제한은 없었다. 총 실험 조건은 측정하는 눈 마다 자극 위치 7조건, 배경 밝기 10조건, 반복 10조건을 전부 교차하여 각 눈에 700회 씩 무선적으로 제시하였다. 따라서 총 시행은 1400 회 였다. 한 눈의 측정이 완료되면 3분 간 휴식 시간이 주어졌으며 휴식이 끝나면 안대를 바꿔 착용하고 동일한 절차를 반대편 눈에 적용하였다.

5. 크로스톡 추정

참가자가 수행한 과제는 밝기 판단 과제로, 크로스톡은 이 과제를 반복적으로 수행한 결과를 기반으로 배경과 세로 막대의 밝기가 구분되지 않는 배경의 밝기를 추정하는 방법으로 측정하였다. 그러나 배경의 밝기는 미리 구성된 10개 수준에서 변화하였으며 각 디스플레이 수평 위치 당 10회의 측정만 하였기 때문에 세로 막대와 배경이 구분되지 않는 배경의 밝기는 보간법을 사용하여 결정하였다. 보간 절차는 자료 특성에 따라서 크게 세 가지 방법으로 나뉘었다. 첫째, 배경 밝기에 따라 응답이 완전히 달라지는 경우에는 평균을 사용하였다. 예를 들어 만약 배경 밝기 10 cd/m^2 조건에서는 항상 세로 막대(즉 대측 자극에서 넘어옴 크로스톡 영역)가 밝다고 응답하고 20 cd/m^2 조건에서는 항상 배경이 밝다고 응답한 경우, 두 수준의 평균인 15 cd/m^2 를

세로 막대와 배경이 동일하게 지각되는 배경 밝기 추정치로 사용하였다. 둘째, 밝기에 대한 응답이 점진적으로 변화하는 경우 회귀 함수를 사용하여 보간하였다. 세로 막대가 더 밝다는 응답이 100%인 상황에서 배경이 더 밝다고 응답하는 경우가 점진적으로 증가하여 50%를 넘어서는 경우, 2차 다항식 모형을 사용하여 계산하여 세로 막대 또는 배경이 밝다고 응답하는 경우가 50%인 되는 지점을 예측하여 이 값을 세로 막대와 배경이 구분되지 않는 배경 밝기의 추정치로 사용하였다. 마지막으로 모든 조건에서 항상 세로 막대가 밝다고 응답한 경우가 50%를 넘는 경우는 배경이 아무리 밝아도 항상 크로스톡이 더 밝다고 응답한 것이며 이 경우 크로스톡을 100%로 간주하였다.

자료 분석에는 크로스톡 측정 실험에서 과제를 성실하게 수행하지 않은 참가자 두 명의 자료를 제거하고 총 16명의 자료만 분석에서 사용하였다. 자료가 제거된 참가자들은 모든 배경 밝기 조건에서 일관적으로 세로 막대만 밝다고 응답하였다. 이는 모든 시행에서 동일한 키보드 버튼을 눌렀다는 것을 의미한다. 만약 참가자가 어떤 크로스톡도 지각하지 못했다고 하더라도 배경과 세로 막대가 같은 밝기를 가지는 경우 (즉 둘 다 0.1 cd/m²인 경우)가 시행에 포함되어 있었기 때문에 모든 시행에서 같은 반응을 보이는 것은 과제를 성실하게 수행하지 않았음을 반영한다. 따라서 참가자 두 명의 자료를 제거하였다.

6. 결과

그림 3에 제시한 바와 같이 크로스톡은 양안 영상에서 서로 다른 경향을 보였다. 우안 영상의 경우 디스플레이의 좌측에서 더 높은 크로스톡을 보이며 좌안 영상의 경우 디스플레이의 우측에서 더 높은 크로스톡을 보인다. 이런 측정 결과 차이가 크로스톡의 차이를 반영하는 것인지 아니면 측정 과정의 오차에 의한 것인지 확인하기 위하여 반복 측정 변량분석으로 통계 분석을 수행하였다. 변량 분석은 전체 자료에서 나타나는 변량과 실험 조건으로 분할한 집단의 변량의 비율이, 집단 평균의 차이가 존재하지 않는다고 가정된 분포에서 나타날 가능성을 가지고 집단 사이의 평균 차이가 존재하는지 여부를 검증하는 통계 기법이다.

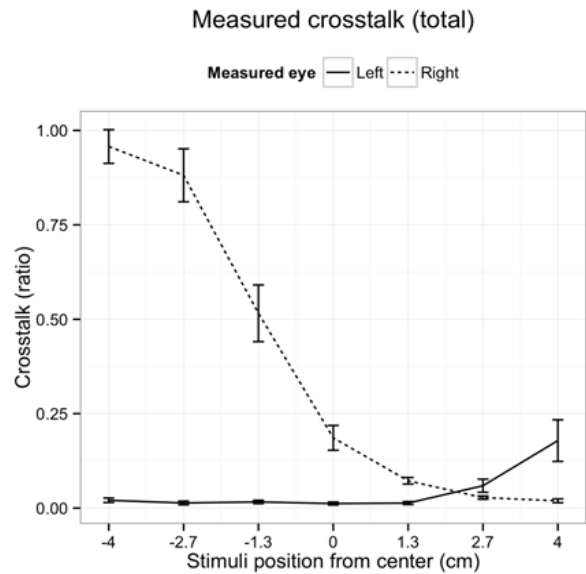


그림 3. 자극 수평 위치에 따른 크로스톡 측정 결과
Fig. 3. Perceived crosstalk as a function of horizontal stimuli position in display

따라서 변량 사이의 비율인 F비가 크면 집단 평균이 같지 않은 가능성이 높다. 보통 “통계적으로 유의미하다”를 결정하는 기준은 5%, 즉 $p < .05$ 수준 이하이다^[4]. 측정 결과를 통계적으로 검증한 결과좌안 및 우안의 크로스톡 차이는 모두 통계적으로 유의미하였다(좌안: F비: $F(1, 14)=15.8$, 통계적 유의미성: $p < .005$, 우안: F비: $F(1, 14)=439.8$, 통계적 유의미성: $p < .000$). 즉 좌안 및 우안 영상의 지각된 크로스톡은 디스플레이의 수평 위치에 따라서 변화함을 의미한다. 또한 이 결과는 앞서 확인한 현상적 관찰 두 가지를 잘 기술하고 있다. 첫째, 크로스톡이 디스플레이의 수평 위치에 따라 변화하는 경향을 보인다는 점이다. 예를 들어 우안 영상은 자극이 왼쪽 편에 제시될수록 더 높은 크로스톡을 가지게 된다. 따라서 어떤 자극이 디스플레이의 왼쪽 모서리에 제시되면 양안 영상이 분리되지 않을 가능성이 있음을 시사한다. 결과적으로 이 디스플레이에서 3D 입체 영상을 보는 경우 화면의 수평 방향으로 움직이는 대상은 그 깊이가 일정하게 제시되는 경우에도 체계적으로 다른 깊이를 가지는 것으로 지각될 가능성이 있다. 둘째, 양안 영상의 크로스톡이 서로 다르게 변화하는 경향을 보인다. 우안 영

상의 경우 화면 중심부터 크로스톡이 급격히 증가하기 시작하여 디스플레이 가장 왼쪽에서는 크로스톡이 최대에 이르게 된다. 이 경우 좌안 영상이 거의 대부분 우안 영상에 포함되게 된다. 이 경우 패럴랙스 배리어 방식의 특성상 우안 영상은 보이지 않을 가능성이 높다^{[2],[3]}. 반면에 좌안 영상의 경우 거의 대부분의 수평 위치에서, 즉 중심으로부터의 거리가 좌측 4 cm에서 우측 1.3 cm 에 이르는 5개 조건에서 크로스톡이 5% 내외로 나타나며 디스플레이의 가장 오른쪽에서도 25% 이하의 크로스톡을 보인다. 이는 앞서 언급한 현상적 관찰 결과와 일치한다. 즉 이 모바일 디스플레이(LG Optimus Cube)는 양안 영상에 서로 다른 수준과 경향성을 가지는 크로스톡을 유발시키며, 크로스톡이 가장 낮은 지점인 스위트스팟(sweetspot)이 화면 중앙에서 우측에 약간 치우친 수평 위치(중앙에서 우측으로 1.3 ~ 2.7 cm 영역)에서 나타남을 보여준다. 이 결과는 측정에 사용된 디스플레이의 배리어가 정확하게 중앙에 정렬되지 않았다는 것을 시사한다. 제조사에서 어떤 이유에 의하여 배리어를 정렬한 것인지 알 수 없으나 지각적 특성을 고려하지 않고 배리어를 조절한 결과일 가능성이 높고 관찰자의 입체 경험을 손상시킬 가능성이 있다.

이 결과는 현상적인 크로스톡을 적절하게 기술하기 때문

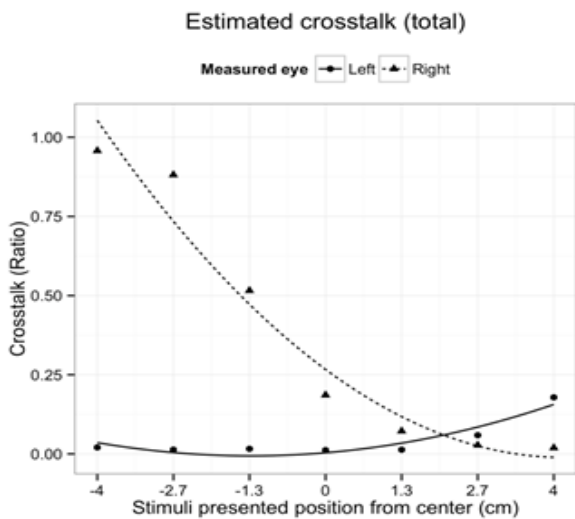


그림 4. 2차 다항식 모형으로 예측한 위치에 따른 크로스톡 수준
 Fig. 4. Perceived crosstalk estimated by a 2nd-order polynomial model

에 이 결과를 바탕으로 무안경식 모바일 디스플레이가 보여주는 수평 위치에 따른 크로스톡의 변화 양상을 모형화 하였다. 결과를 기술하기 위한 모형은 2차 다항식을 사용하였는데, 측정된 크로스톡의 변화 양상이 한 점에서 최저값을 가지고 수평 위치의 변화에 따라 점차적으로 빠르게 증가하는 경향을 보이기 때문이다. 2차 다항식을 사용하여 자료를 모형화 한 결과는 그림 4에 제시되어 있다. 이 모형은 좌안과 우안에 유발되는 크로스톡이 디스플레이의 수평 위치에 따라 변화하는 것을 잘 반영하고 있으며, 디스플레이 중앙으로부터 우측 1.3 cm와 2.7 cm 사이 지점에서 크로스톡이 가장 낮게 나타난다는 측정 결과를 잘 반영하고 있다. 디스플레이의 수평 위치에 따른 크로스톡 수준에 대한 모형과 그 파라미터는 표 1에 제시되어 있다. 모형의 R² 값은 측정 값의 전체 변량 중 모형이 설명한 변량의 비율을 의미한다^[14].

표 1. 위치에 따른 크로스톡 변화에 대한 2차 다항식 모형의 파라미터 및 통계적 유의도

Table 1. Parameters and statistics for the model describing perceived crosstalk along with horizontal position in the display

Model: $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_2x^2$				
Measured eye	Variable name	Coefficient	p value	R ²
Left	b_0	0.0038	0.000	0.77
	b_1	0.0150	0.000	
	b_2	0.0057	0.000	
Right	b_0	0.2668	0.000	0.93
	b_1	-0.1324	0.000	
	b_2	0.0158	0.000	

III. 실험 2: 디스플레이 수평 위치에 따른 지각된 불편감 측정

실험 2는 실험1에서 측정된 디스플레이 수평 위치에 따른 크로스톡의 변화가 지각된 입체 시각 피로, 특히 초점 어려움에 영향을 미치는지 확인하고자 하는 목적으로 수행되었다. “초점 어려움”을 측정하기 위한 설문은 세 문항으로 구성되어 있으며 초점이 잘 맞는지, 그리고 이중상을 관

찰하였는지 여부를 Likert 7점 척도로 측정한다. 실험2에서는 실험 1에서 자극을 제시한 위치에 가는 수직 막대를 제시하고 그 자극을 관찰하면서 지각된 초점 어려움 요인의 변화를 측정하고 그 결과를 모형화 하였다.

1. 참가자 및 장치

참가자 및 장치는 실험 1과 동일하였다.

2. 자극

자극의 대략적인 모습이 그림 5에 제시되어 있다. 자극은 2 cm의 높이와 23 mm의 너비를 가진 긴 막대 모양으로 구성되었다. 실험 1의 결과에 따르면 자극 수평 방향 너비가 너무 넓으면 자극이 동질적인 밝기로 구성되어 있는 경우에도 크로스톡으로 인하여 밝기가 수평 방향을 따라 변화하는 것으로 지각될 가능성이 있기 때문에 너비가 좁고 긴 막대 모양의 자극을 사용하였다. 자극은 항상 12 mm의 교차 화면 시차를 가지고 있었으며 실험 1과 마찬가지로 7개의 수평 위치 (화면 중앙, 좌측 및 우측으로 각각 1.3, 2.7, 4 cm 위치) 중 하나에 제시되었다. 자극은 각 시행에서 5 초 간 제시되었고, 모든 시행은 반복 없이 각각 한 번씩 제시되어 총 7회의 시행으로 구성되었다.



그림 5. 실험 2 자극 예시
Fig. 5. An example stimulus employed in Experiment 2

3. 절차

참가자는 먼저 45 cm 거리에 배치된 모바일 디스플레이의 중앙을 바라보도록 턱받침의 높이를 조절하였다. 참가자가 디스플레이 중앙을 바라볼 수 있게 되면 참가자에게

실험 절차에 대하여 설명하였다. 실험이 시작되면 참가자는 매 시행마다 턱받침에 머리를 고정하고 키보드로 다음 자극을 스스로 호출하였으며 제시된 막대 자극을 5초 간 관찰하였다. 자극이 사라지면 참가자는 방금 관찰한 자극에 대하여 초점 어려움을 측정하도록 고안된 설문 문항에 응답하도록 요청받았다. 참가자가 관찰한 자극에 대한 모든 문항에 응답을 마치면 다시 턱받침에 머리를 고정하고 다음 시행을 진행하였다. 모든 자극은 무선적으로 제시되었으며 반복되어 제시되지 않았다. 따라서 총 7회의 시행을 마치면 실험이 완료되었다.

4. 결과

전체 18명의 피험자 중 크로스톡 측정 과제를 불성실하게 수행한 두 명의 자료를 분석에서 제외하여 총 16명의 자료를 사용하여 분석하였다. 측정 결과는 그림 6에 제시하였다. 예측대로 지각된 초점 어려움 수준은 지각된 크로스톡 수준에 따라 변화하는 경향을 보였다. 또한 측정 결과를 반복측정 변량분석을 사용하여 검증한 결과 자극 제시 위

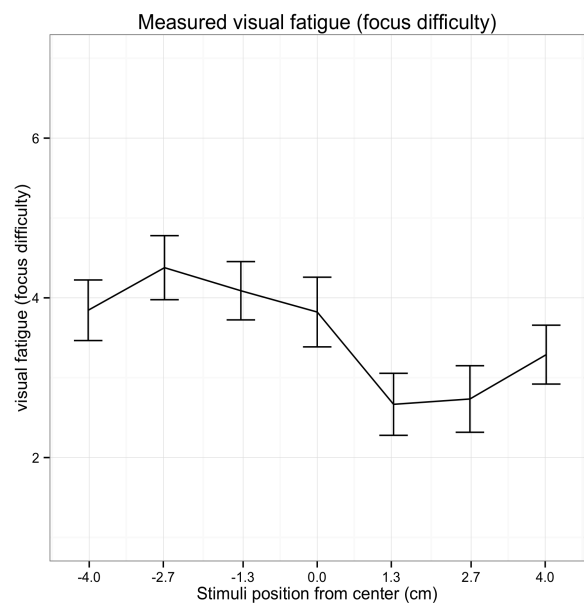


그림 6. 자극 수평 위치에 따른 측정된 시각 피로 (초점 어려움)
Fig. 6. Measured visual fatigue (focus difficulty) as a function of horizontal stimuli position in display

치에 따른 초점 어려움 점수의 차이가 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다 (F비: $F(1, 14)=8.52$, 통계적 유의미성: $p < .05$). 이 결과는 앞선 실험 1의 결과와 유사한 경향을 보인다. 즉 크로스톡 스위트스팟에 가까운 화면 중앙으로부터 우측 1.3 cm 위치에 제시된 자극의 초점 어려움 점수가 가장 낮았으며 그 주변으로 갈수록 초점 어려움 점수가 증가하였다. 한편 좌측 4 cm 위치 조건의 경우 오히려 초점 어려움 점수가 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 실험 1에서 나타난 양안 영상의 크로스톡 결과를 반영한 것으로 해석할 수 있다. 어떤 자극이 화면 좌측 모서리에 가깝게 제시되면 좌안 영상의 경우 크로스톡이 매우 낮기 때문에 좌안 영상이 잘 제시되지만, 우안 영상의 경우 크로스톡이 100%에 가깝기 때문에 결과적으로 좌안과 우안에 동일한 좌안 영상이 제시되게 된다. 이 경우 상 분리가 거의 이루어지지 않게 된다. 따라서 이 경우에는 크로스톡이 존재하지만 지각하는 것은 거의 불가능하며, 그 결과 일반적인 2D 영상과 유사하거나 동일한 자극을 관찰하게 된다. 따라서 이 경우 입체 시각 피로가 감소하는 것은 자연스러운 현상이라고 할 수 있다.

자극의 수평 위치에 따른 입체 시각 피로(초점 어려움)의 변화는 앞서 실험 1에서 측정한 디스플레이 위치에 따른 크로스톡의 변화 및 디스플레이에 대한 현상적 경험을 잘 기술하는 것을 확인할 수 있었다. 실험 2의 측정 결과는 3차 다항식 함수를 통하여 적절하게 기술할 수 있다. 그림 7에서 3차 다항식 함수를 사용하여 초점 어려움 점수를 모델링한 결과를 확인할 수 있다. 또한 표 2에 이 모형의 파라미터를 제시하였다.

표 2. 위치에 따른 초점 어려움 점수에 대한 3차 다항식 모형의 파라미터 및 통계적 유의도

Table. 2. Parameters and statistics for the model describing visual fatigue (focus difficulty) along with horizontal position in the display

Model: $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_2x^3$

Variable name	Coefficient	p value	R^2
b_0	3.541	0.000	0.75
b_1	-0.535	0.011	
b_2	0.029	0.024	

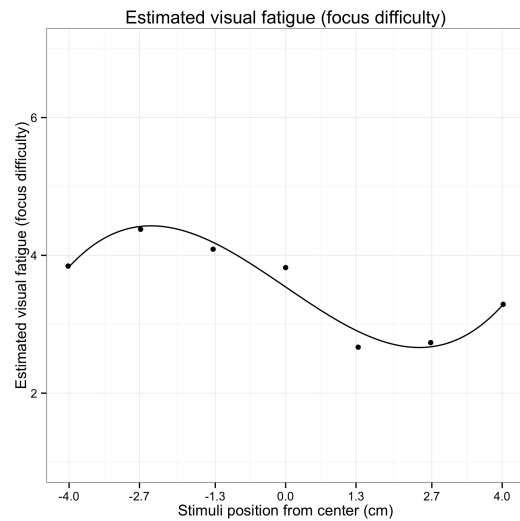


그림 7. 3차 다항식 모형으로 예측한 위치에 따른 초점 어려움 점수.
 Fig. 7. Visual fatigue (focus difficulty) estimated by a 3rd-order polynomial model

IV. 결론

본 연구는 무안경식 3D 모바일 디스플레이가 유발하는 크로스톡 및 시각적 불편감을 측정하고 모형화 하는 것을 목표로 수행되었다. 연구에서 사용한 모바일 디스플레이는 패럴랙스 배리어 방식을 사용하여 양안의 자극을 분리한다. 이 방식의 디스플레이는 자극이 제시되는 수평 위치와 디스플레이의 수평 시야각에 따라 양안 자극의 분리가 체계적으로 왜곡되는 현상을 보인다. 즉 자극의 수평 위치에 따라 크로스톡 수준이 체계적으로 변화한다^[2]. 이런 현상을 반영하여 정확하게 크로스톡을 측정하기 위하여 본 연구에서는 두 가지 실험을 통하여 디스플레이가 유발하는 크로스톡을 측정하였다. 실험 1에서는 밝기 비교 과제를 사용하여 디스플레이의 수평 위치에 따른 지각된 크로스톡 수준을 측정하였다. 실험 2에서는 자극의 수평 위치에 따른 입체 시각 피로 및 불편감, 특히 초점 어려움과 관련된 시각적 불편감을 설문 문항을 사용하여 측정하였다.

실험1의 결과는 디스플레이를 정면에서 바라볼 때 나타나는 시각적인 현상을 잘 기술하였다. 양안의 크로스톡 변

화는 유사한 경향을 보였으나 크로스톡 수준의 차이는 매우 크게 나타났다. 우안 영상의 경우에는 디스플레이 좌측에서 측정된 크로스톡이 100%에 가깝게 나타났으나 좌안 영상의 경우에는 디스플레이 우측에서 측정된 크로스톡의 최대치가 20% 수준이었다. 이런 결과는 연구에 사용된 디스플레이의 패럴랙스 배리어 배치가 관찰자가 정확히 정면에서 디스플레이를 바라볼 때 가장 낮은 크로스톡을 경험하도록 구성되어 있지 않다는 것을 시사한다^{[2],[3]}. 따라서 연구에 사용된 디스플레이 (Optimus cube)의 경우 정면에서 자극을 바라볼 때 중앙에서 약간 우측 위치에 제시된 자극을 관찰할 때만 적절한 깊이감과 낮은 크로스톡을 유지할 수 있으며, 자극이 디스플레이 좌측 끝에 제시되면 양안 모두 좌안 영상이 제시되어 입체감이 감소하거나 사라지며, 자극이 디스플레이 우측 끝에 제시되면 크로스톡이 증가할 것이라고 예측할 수 있다.

이 예측은 실험2에서 확인되었다. 두 번째 실험에서는 참가자가 자극의 수평 위치에 따라 지각된 초점 어려움 수준을 측정하였다. 그 결과 참가자는 크로스톡이 가장 낮게 측정된 위치에서 가장 낮은 초점 어려움을 보고하였다(우측 1.3 cm). 게다가 우측 1.3 cm 지점을 기준으로 좌우로 제시된 자극은 이 위치에서 멀어질수록 보고된 초점 어려움 수준 역시 증가하였다. 그러나 가장 좌측에 제시된 자극에 대한 초점 어려움 수준은 오히려 감소하였으며, 이는 앞선 실험 1의 예측과 일치하는 결과이다. 따라서 실험 1과 실험 2는 연구에 사용된 무안경식 모바일 디스플레이에서 나타난 자극 위치에 따른 크로스톡의 지각적 특성을 잘 반영하였다고 말할 수 있다.

이 결과는 무안경식 3D 모바일 디스플레이에서 입체 자극을 표시할 때 나타나는 제한점을 잘 보여준다. 크로스톡이 높은 디스플레이는 입체감이 감소할 가능성이 높다. 높은 크로스톡은 양안의 자극을 섞어 좌/우안 영상이 섞인 동일한 영상이 양안에 제시되도록 만들기 때문이다^[15]. 물론 본 연구에 사용된 3D 모바일 디스플레이의 크로스톡 특성이 일반적이지 않을 가능성 역시 존재한다. 그러나 상대적으로 크로스톡의 증가율이 낮은 좌안 영상에서도 크로스톡이 증가하는 경향성을 보인 것으로 미루어 보아 본 연구에 사용된 것과 동일한 방식의 패럴랙스 배리어를 사용한 디

스플레이의 경우 입체 자극을 적절하게 제시할 수 있는 화면의 크기가 일정 크기 이하로 제한될 가능성이 높다는 것을 예측할 수 있다. 이는 패럴랙스 배리어 방식의 구현 방법 때문에 나타나는 제한점이며^[2], 본 연구 결과에 따르면 연구에 사용된 디스플레이는 전형적인 패럴랙스 배리어 방식의 디스플레이로 보인다.

이러한 한계를 극복하는 방법은 기술적으로 현재 패럴랙스 배리어보다 더 나은 방식의 배리어를 가지는 디스플레이를 개발하는 방법이 있다. 그러나 어떤 기술적 변화가 적용된다 할지라도 인간의 지각적 특성을 반영하지 못하면 제대로 입체 영상을 제시할 수 없을 것이다. 이는 본 연구에 사용된 디스플레이 특성에서도 나타난다. 만약 크로스톡이 최저가 되는 지점을 화면 정 중앙으로 이동시킨다면 화면의 우측 영역에서 나타나는 우안 영상의 크로스톡이 증가하는 대신 화면의 우측 영역에서 나타나는 좌안 크로스톡을 감소시킬 수 있을 것이며, 결과적으로 관찰자가 더 좋은 입체 영상을 시청하게 될 것이다. 이런 관점에서 본 연구에서 사용한 크로스톡 측정 방법은 디스플레이의 지각된 크로스톡을 손쉽게 측정하기 위한 한 가지 방법이 될 수 있을 것이다.

추가적으로 실험 1에서 측정된 디스플레이 수평 위치에 따른 크로스톡 수준과 실험 2에서 측정된 자극의 수평 위치에 따른 입체 시각 불편감 사이의 관계를 좀 더 명확하게 보이기 위하여 실험 1과 실험2의 결과를 결합하여 지각된 크로스톡 수준에 따른 입체 시각 피로 수준을 모형화 하였다. 이 모형은 실험 1에서 측정된 디스플레이의 각 수평 위치에서 측정된 크로스톡과 실험 2에서 측정된, 실험 1의 측정 위치에 대응하는 위치에 제시된 자극에 대한 초점 어려

표 3. 위치에 따른 초점 어려움 점수에 대한 3차 다항식 모형의 파라미터 및 통계적 유의도

Table 3. Parameters and statistics for the model describing measured visual fatigue (focus difficulty) along perceived crosstalk

Model: $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_2x^2$

Variable name	Coefficient	p value	R ²
b_0	2.37	0.000	
b_1	8.46	0.005	0.6
b_2	-8.07	0.023	

움 점수를 2차 다항식 모형을 사용하여 예측하는 방법으로 구성하였다. 그림 8에 모형의 예측 결과가 제시되어 있으며 그 계수는 표 3에 제시되어 있다. 이 모형은 동일한 자극에 대한 반응을 사용하여 모형화한 것이 아니기 때문에 모형이 설명하는 변량의 양이 앞선 모형들에 비하여 상대적으로 적다. 그러나 이 모형은 본 연구에서 측정된 모바일 무안경식 3D 디스플레이에서 크로스톡의 증가에 따른 초점 어려움 수준의 변화를 잘 기술하고 있다. 즉 어떤 위치에서 상대적으로 낮은 크로스톡이 측정되는 경우 입체 시각 피로 및 불편감의 점수도 낮으며, 이는 크로스톡 수준이 50%가 될 때까지 증가하다가 크로스톡이 매우 높아지는 100%에 가까워지면 입체 시각 피로 및 불편감 점수가 오히려 감소한다는 것을 잘 보여준다.

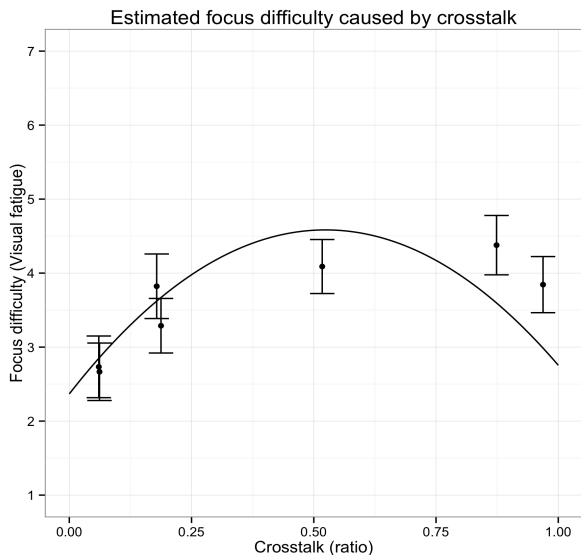


그림 8. 2차 다항식 모형으로 예측한 지각된 크로스톡의 변화에 따른 초점 어려움 수준

Fig. 8. Measured visual fatigue (focus difficulty) as a function of perceived crosstalk and estimated visual fatigue by 2nd-order polynomial model

물론 본 연구의 지각적 측정 결과가 자극 제시 위치에 따른 크로스톡 변화 경향성을 잘 보여주고 있으나 이 결과를 모든 무안경식 3D 모바일 디스플레이 전체에 반영하는 것은 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 연구에 사용된 디스플레이의 입체 영상 제시 방식의 제한점이다. 무안경식 3D 제시

방식은 모두 근본적으로 동일한 기제를 사용하지만 각 방식 사이에서 특징적 차이가 나타날 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서 측정된 결과를 렌티큘러 등의 다른 방식을 사용하는 디스플레이에 적용하는 것은 추가적인 연구의 수행을 통하여 보강되어야 할 부분이다. 둘째, 본 연구에서 사용된 디스플레이는 두 시점을 제공하는 디스플레이이다. 그러나 더 많은 시점을 제공하는 디스플레이의 경우 위치에 따른 크로스톡 증가가 극단적인 상 역전에 도달하지 않은 가능성이 높다. 따라서 본 연구를 여러 시점을 지원하는 디스플레이에 적용시키려면 본 연구의 내용을 확장하는 추가적 연구가 수행되어야 할 것이다. 셋째, 본 연구의 측정 결과는 본 연구에 사용한 디스플레이의 특성에 제한될 가능성이 있다. 특히 본 연구에 사용된 디스플레이는 크로스톡이 가장 낮은 지점인 스윗 스팟이 화면 중심으로부터 우측에 쏠려있는 경향을 보인다. 따라서 스윗 스팟이 화면 중앙에 가깝게 배치된 다른 디스플레이를 사용하는 경우 상대적으로 입체 시각 경험이 더 나아질 가능성이 있다. 패럴랙스 배리어의 특성상 해상도나 화면 크기의 증가가 본 연구에서 측정된 중앙으로부터의 거리에 따른 크로스톡 증가 경향성에 영향을 미칠 가능성은 크지 않지만, 본 연구에서 사용한 디스플레이가 오직 한 종류이기 때문에 연구 결과를 더욱 명확하게 확정하려면 다른 디스플레이를 사용한 추가적 연구가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Mendiburu, B. 3D movie making. Focal Express.2009
- [2] Dodgson, N. A. Autostereo displays: 3D without glasses. Electronic Information Displays, 1997.
- [3] Sakamoto, K., Kimura, R., & Takaki, M. (2005, May). Parallax polarizer barrier stereoscopic 3D display systems. In Active Media Technology. Proceedings of the 2005 International Conference. pp. 469-474. 2005
- [4] Seuntiëns, P. J. H., Meesters, L. M. J., & IJsselsteijn, W. A. Perceptual attributes of crosstalk in 3D images. Displays, 26(4), pp. 177-183, 2005.
- [5] Park, J., Li, H. O., & Kim, S. The effects of stimulus-background contrast, background texture density and screen disparity of stimulus on crosstalk perception, Journal of Broadcast Engineering of Korea, 18(2), pp.225-236, 2013.

[6] Wang, L., Tu, Y., Chen, L., Zhang, P., Teunissen, K.m and Heynderickx, I. Crosstalk acceptability in natural still images for different (auto) stereoscopic display technologies, Journal of the SID, 18(6), pp.405-414, 2010.

[7] Woodgate, G. and Harrold, J. High efficiency reconfigurable 2D/3D autostereoscopic display, SID Symp. Digest Tech. Papers, 34(1), pp.394-397, 2003.

[8] Howarth, P. A. Potential hazards of viewing 3-D stereoscopic television, cinema and computer games: a review. Ophthalmic and Physiological Optics, 31(2), pp.111-122, 2011.

[9] 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):33, pp.1 - 30. 2008

[10] Li, H. O., Human Factor Research on the Measurement of Subjective Three Dimensional Fatigue, Journal of Broadcast Engineering of Korea, 15(5), pp.607-616, 2010.

[11] Kooi, F. L. and Toet, A. Visual comfort of binocular and 3-D displays. Displays, 25, pp.99-108, 2004.

[12] Park, J. Li, H. O. and Kim, S. The Effects of Stimulus-background Contrast, Background Texture Density and Screen Disparity of Stimulus on Crosstalk Perception, Journal of Broadcast Engineering of Korea, 18(2), pp.225-236, 2013.

[13] Cavanagh, P. Visual cognition. Vision research, 51(13), pp.1538-1551. 2011

[14] Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. Using multivariate statistics (6th edition). Pearson Education. pp. 37~47, 130~133, 2013

[15] Siegel, M. Perceptions of crosstalk and the possibility of a zoneless autostereoscopic display. Proc. SPIE, 4297, pp.34 - 41. 2001.

저 자 소 개



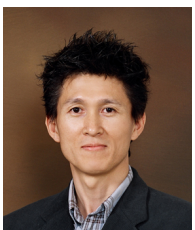
박 종 진

- 2009년 : 광운대학교 산업심리학과 학사
- 2011년 : 광운대학교 산업심리학과 석사
- 2011년 ~ 현재 : 광운대학교 산업심리학과 박사과정
- 주관심분야 : 3D 휴먼팩터, 시지각



김 신 우

- 2003년 : 연세대학교 심리학과 학사
- 2007년 : New York University 심리학과 석사
- 2010년 : New York University 심리학과 박사
- 2010년 ~ 현재 : 광운대학교 산업심리학과 조교수
- 2010년 ~ 현재 : 감성과학회 편집위원
- 주관심분야 : 시선추적, 범주화, 인과관계, 개념학습, 추론, 사용성



이 형 철

- 1987년 : 연세대학교 심리학과 학사
- 1989년 : 연세대학교 심리학과 석사
- 1996년 : 미국 University of Wisconsin, Madison, 심리학과 박사
- 1999년 ~ 현재 : 광운대학교 산업심리학과 교수
- 2010년 ~ 2011년 : TTA, 3DTV PG, 품질안전규격 WG 의장
- 2010년 ~ 2011년 : 3D 시청 안전성 협의회 의장
- 주관심분야 : 3D 휴먼팩터, 시지각, Brain-Computer Interface