

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제21권 제1호, 2016년 1월 (JBE Vol. 21, No. 1, January 2016)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2016.21.1.76>

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

화면 시차로부터 지각되는 3D 콘텐츠의 입체시 깊이: 직접비교와 간접비교에서의 차이

감기택^{a)†}

Stereoscopic Depth from 3D Contents with Various Disparity : The Difference Between Direct Versus Indirect Comparisons

Keetaek Kham^{a)†}

요 약

본 연구에서는 입체시 측정방법과 양안시차에 따라 지각되는 입체시 깊이 차이를 살펴보기 위해서 실시되었다. 직접비교 조건에서는 깊이를 평가할 가상자극과 깊이 평가에 사용된 실제 LED들이 모두 정면의 동일 공간에 제시되어 있었고, 간접비교 조건에서는 가상자극은 정면에 제시되었지만 깊이 평가에 사용된 LED들은 45도 오른쪽에 놓여있었다. 따라서 직접비교 조건에서는 동일 공간에 제시된 두 자극의 깊이를 비교하면서 대응시킬 수 있었지만, 간접비교 조건에서는 가상 자극의 깊이를 평가한 후 오른쪽 방향에 있는 LED를 이용하여 깊이를 추정할 수 있었다. 이 둘 두 측정 방법에서 지각되는 입체시 깊이가 달라지는지를 확인하고 부가적으로 관찰자들의 입체시력에 따라 지각되는 깊이가 달라지는지를 살펴보았다. 실험 결과 직접비교 조건에서 지각된 깊이는 간접비교 조건에서 지각된 깊이보다 더 기하학적으로 예측된 깊이와 유사하였다. 또한 입체시력이 좋은 사람들은 그렇지 않은 사람들보다 기하학적으로 예측된 깊이와 유사한 깊이를 지각하였다. 이러한 결과는 동일한 양안 시차를 가진 자극들이라도 이들 가상자극들만 제시되는 것보다 현실자극과 가상자극이 동일 공간에 제시될 때 지각된 깊이가 더 크게 지각됨을 보여주는 것이다. 따라서 양안시차를 가진 자극만 제시되는 가상현실에서 지각되는 입체 자극의 깊이보다 현실영상과 가상영상이 함께 제시되는 증강현실에서 보다 큰 깊이가 지각될 수 있음을 시사한다.

Abstract

This study was investigated whether the perceived depth was changed depending on the measurement methods. In the method of direct comparison, virtual object with one of the various binocular disparities was presented in the frontal space with LEDs which were used for depth estimation for a binocular stimulus, while in the method of indirect comparison, visual object was presented in the frontal space but the LEDs were placed rightward at the angle of 45 degree from the mid-sagittal line. In these experimental setup, the depth of binocular stimulus was directly matched that of LED in direct comparison condition. In indirect comparison condition, however, observer estimated the depth of binocular stimulus, turned one's head rightward to the array of LEDs and turned on the LED which was supposed to be the same depth as binocular stimulus. Additionally, it was investigated whether the perceived depth was different depending on observer's stereo acuity. The results showed that perceived depths measured in the direct comparison were more similar to the depth predicted from geometry than those in the indirect comparison, and that the perceived depths from observers with high stereo acuity were similar to the predicted depth from geometry those from observers with low stereo acuity. These results indicated that stereoscopic depths of the binocular stimuli would vivid and compelling when binocular stimuli was simultaneously presented with real objects in the same visual space, like a mixed reality.

Keyword : perceived depth, egocentric distance, direct and indirect comparison, stereoacuity

1. 서론

양안 시차(binocular parallax)를 이용하여 삼차원 영상을 제공하는 시스템(이후 입체 디스플레이 시스템)은 20세기 중반 입체 영화의 확산으로 인해 일반인들에게도 소개되었다. 오랜 침체기를 거쳤지만 3D 영화의 성공을 필두로 3D TV의 시험방송과 개인용 게임에 이르기까지 다양한 오락 산업으로까지 그 사용 영역이 확대 되고 있다. 최근 의학(개관을 위해서 [1]을 볼 것)이나 군사 영역의 훈련 프로그램과 같은 전문적인 영역에 까지 그 적용분야가 빠르게 확대되고 있다. 입체 디스플레이 시스템에서 제공되는 영상들로부터 불편감은 줄이고 깊이감은 더욱 생생하고 정확하게 느낄 수 있도록 하기 위해서는 인간의 3D 정보처리 과정에 대한 이해와 3D 정보처리와 관련된 DB를 구축하기 위한 휴먼팩터 연구들이 필요하다.

가장 우선적으로 시도된 휴먼팩터 연구들 중의 하나는 3D 영상의 시청에 동반되는 어지러움이나 눈 통증과 같은 시각적 불편감^[2]을 감소시킬 수 있는 방안을 모색하기 위한 것들이었다. 예를 들어 양안 시차의 크기나 영상의 운동 정보와 같은 입체 영상이 가지고 있는 특성^[3,4,5]들과 좌, 우 영상의 불완전 분리에 의해 발생하는 crosstalk^[6,7]과 같은 디스플레이의 특성들에 의해 발생하는 불편감의 정도를 파악하여 각 요인들의 허용 범위를 설정하려는 시도들이 있었다. 안전한 디스플레이 환경을 제공하기 위해서 불편감을 최소화할 수 있는 연구도 필요하지만 입체 디스플레이 시스템의 장점이 보다 생생한 깊이감과 현장감을 제공한다는 것임을 고려할 때 보다 정확하고 현실감 있는 깊이정보를 제공할 수 있는 휴먼팩터 연구가 더욱 필요하다.

현재 입체 디스플레이는 단순히 양안 시차 정보를 제공

하는 것을 뛰어넘어 입체 영상이 실제 장면과 합치된 증강 현실(augmented reality) 혹은 혼합 현실(mixed-reality)로 발전되어 가고 있다^[8,9]. 혼합현실은 경제적인 이유뿐만 아니라 실제 환경이 위험한 경우 보다 안전한 상황에서 훈련을 받을 수 있도록 하며, 다양한 시나리오를 가진 환경을 손쉽게 만들어 훈련을 효율성을 높일 수 있기 때문에^[10] 점진적으로 그 활용 범위는 더 증가하게 될 것이다. 입체 영화나 3D 게임과 같이 양안 시차를 가진 영상을 제공하는 기존의 입체 디스플레이에서는 시차를 통해 각 대상의 서로 다른 깊이, 즉 상대적인 깊이를 제공해 주는 것이 일차적인 목표였다. 이와 다르게 실제 장면과 가상의 장면이 혼합되는 증강현실의 경우 실제 장면의 깊이와 양안 시차에 의한 제공되는 영상의 깊이가 적절하게 조화될 필요가 있다. 왜냐하면 가상공간에서 지각된 거리는 공간에서의 행동을 결정짓기 때문에 훈련이나 교육에 적용될 경우 가상현실에서 익힌 공간적 행동이나 기술들이 최소한의 조정으로도 실제 환경에 적용될 수 있어야 하기 때문이다^[11].

입체 영상에서 지각된 깊이는 관찰자의 동공간 거리^[12]나 입체 시력 등 입체 시지각과 관련된 개인 변인이나 시야 크기(field of view)^[13,14] 등 다양한 요인에 의해 변화된다. 이러한 변인 이외에도 입체 영상이 실제 장면과 혼합된 혼합현실에서 지각되는 깊이와 입체 영상만 제시된 전통적인 가상현실에서 지각되는 깊이가 달라질 수 있다. 왜냐하면 한 대상의 깊이는 해당 대상이 갖고 있는 다양한 깊이 단서들에 의해서 영향^[15,16]을 받을 뿐만 아니라 주변에 있는 대상들의 깊이 정보와의 상호작용에 의해서도 영향^[17]을 받기 때문이다. 실제 환경 속에 놓여있는 대상의 경우 여러 깊이 단서들이 서로 일관된 방식으로 깊이 정보를 제공하는 데 반해, 양안 시차를 가진 입체 영상에서는 각 깊이 단서들의 깊이 정보가 불일치하거나 상충되는 방식으로 깊이 정보가 제공된다^[18, 19]. 따라서 양안시차를 가진 입체 디스플레이에 제시된 영상의 깊이는 실제 공간상에 있는 대상의 깊이보다 과소 추정될 가능성이 높다. 다양한 실험 환경에서 이러한 결과들은 반복적으로 확인되었다^[22,26].

혼합 현실의 경우 양안시차를 가진 영상이 주어진다

a) 강원대학교 심리학과(Dept. of Psychology, Kangwon National Univ.)

‡ Corresponding Author : 감기택(Keetaek Kham)

E-mail: kham@kangwon.ac.kr

Tel: +82-33-250-6857

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2456-345X>

※ 본 연구는 2012년도 강원대학교 학술연구 조성비로 연구하였음.

· Manuscript received November 17, 2015; Revised December 29, 2015;

Accepted December 29, 2015.

사실은 기존의 입체 디스플레이와 동일하지만, 이들 영상들이 실제 대상들과 동일한 공간에 제시된다는 측면에서 중요한 차이가 있다. 양안시차가 동일한 경우에도 지각된 깊이가 다른 실제 대상과 가상대상이 동일한 공간에 제시된다면 가상 자극의 지각된 깊이는 실제 대상의 깊이 정보들에 의해 달라질 수 있다. 각 대상들의 깊이 단서들 간의 상호작용¹⁾이 발생하는 상황에서 가상자극과 실제 자극의 양안시차들 간의 상대적인 비교가 일어난다면, 지각된 깊이는 서로 다르지만 양안 시차의 관점에서는 동일한 깊이 정보를 제공하게 된다. 이 상황에서 가상 자극의 깊이는 가상자극들만 제시된 상황에서도 실제 자극의 깊이와 더 유사하게 지각될 가능성이 있다. 이러한 가정이 타당하다면 혼합현실에서 주어지는 가상대상의 깊이는 전통적인 입체 디스플레이에서 지각되는 깊이보다 크게 나타날 가능성이 있다. 실제 대상과 조화로운 깊이 정보를 가지는 입체 영상을 제공하기 위해서는 전통적인 입체 디스플레이에서 얻어진 양안시차와 지각된 깊이정보는 적절하지 않을 수 있다. 본 연구의 일차적인 목적은 가상의 대상이 실제 장면에서 제시될 때 지각된 깊이가 입체 영상들만 제시된 환경에서 지각된 깊이와 다른 지를 살펴보는 것이다. 다양한 양안 시차와 이에 따라 지각되는 깊이에 대한 자료는 3D 디스플레이의 적용 범위가 혼합현실 등에 확대됨에 따라 그 필요성이 더욱 요구되어질 것이다.

양안 시차는 기하학에 근거한 깊이 단서이므로 사람의 눈간 거리와 시차의 크기 그리고 응시거리가 결정되면 관찰자로부터 그 대상까지의 거리를 기하학적으로 정확히 예측할 수 있다. 그러나 인간의 양안시 기제는 양안 시차로부터 기하학적 방식으로 지각되는 깊이를 계산하지는 않는다. 그 과정에서 입체 시력과 같이 각 개인의 특성에 따라 동일한 시차를 가진 입체 자극에서도 지각되는 깊이가 달라질 수 있다. 따라서 개인의 입체시 특성에 따라서 지각되는 입체시 깊이가 어떻게 변화되는 지에 대한 정보는 다중의 이용자가 동시에 동일한 입체 영상에 노출되는 환경이나 입체 영상이 개인의 특성에 맞추어 제공되는 상황 모두

에서 매우 중요하다. 예를 들어, 이러한 정보들은 3D 콘텐츠 제작자들이 특정한 양안 시차를 제공하면 다양한 개인적 특징을 가진 대중들이 지각하게 될 깊이 정도에 대한 이해를 높일 수 있기 때문이다. 또한 이러한 정보들은 개인의 입체시력에 따라 깊이를 보정하여 실제 대상의 깊이보다 합치되는 방식으로 가상 자극을 제시하는 데에도 중요하다.

따라서 다양한 입체 시력을 가진 일반인들에게 특정한 시차를 가진 입체 영상을 제시했을 때 지각되는 평균적인 깊이, 입체 시력에 따른 깊이 차이에 대한 자료를 수집하는 것이 본 연구의 두 번째 목적이다.

II. 실험 : 직접 비교와 간접비교에 의한 입체시 깊이 측정

본 연구에서는 양안시차에 의한 입체 영상의 깊이를 실제 LED의 깊이를 이용하여 평가하도록 하였다. 직접 비교 조건에서는 입체 영상과 LED가 동일한 공간에 제시되도록 한 상태에서 두 대상의 깊이를 직접 비교하면서 입체 영상의 깊이를 평가하도록 하였다. 이와 달리 간접 비교 조건에서는 가상 자극의 깊이를 측정된 다른 연구들^[20,21]의 실험 세팅과 유사하게 입체 자극이 제시되는 공간과 측정도구가 제시되는 공간을 구분하여 제시하였다. 관찰자들은 먼저 입체 자극을 보고 그 깊이를 평가한 후 다른 공간에 실제로 제시된 LED를 이용하여 입체 자극의 깊이를 평가하도록 하였다.

1. 참가자

본 연구의 목적 중 하나는 다양한 개인 특성을 가진 관찰자들이 주어진 시차로부터 지각하는 입체시 깊이가 다른 지를 살펴보는 것이므로 입체 시력에 제한을 두지 않았다. 입체 시력에 따른 지각된 깊이를 비교해 보기 위해 실험

1) 본 연구에서 기하학적 예측치를 계산할 때 개인의 눈간 거리는 개별적으로 측정하지 않았고 62mm로 가정하였다.

전 각 개인별로 입체 시력을 측정하였다. 모두 48명이 실험에 참가하였으며, 이들은 입체시력에 따라 각각 16명씩 상, 중, 하의 입체시력을 가진 집단으로 분류되었다.

2. 자극 및 장치

실험은 조명이 완전히 차단되지 않은 실내에서 수행되었다. 입체 시력을 측정한 후 곧바로 시차에 따른 입체 자극의 지각된 깊이를 추정하도록 하였다. 각 개인의 정답률에 따라 입체시력이 높은 집단, 중간집단, 낮은 집단의 세 집단으로 구분되었다. 모든 실험에서 입체 자극은 시각으로 0.5 x 4 도의 직사각형으로 제시되었으며, 이 자극의 지각된 깊이는 10 x 200cm의 판에 1.5cm 간격으로 배열되어 있는 LED들 중 주어진 자극의 깊이와 동일한 깊이에 있는 LED

를 on 시킴으로써 추정하도록 하였다. LED판과 TV는 동일한 높이의 책상위에 놓여있었기 때문에 화면 중앙에 제시된 입체 자극은 LED보다 약 45cm 높게 제시되었다. 자극은 55인치 3D TV를 통해 제시되었는데 TV를 직접 관찰하는 대신에 그림 1과 같이 관찰자의 정면 100cm 거리에 45도 각도로 놓여있는 반 거울(half mirror)을 통해 관찰하였다. 이와 같은 방식으로 자극을 제시한 이유는 TV를 직접 관찰하는 경우 TV 화면보다 뒤에 있는 것으로 지각되는 자극의 깊이는 LED를 통해서 평가하기 어렵기 때문이었다. TV는 반 거울의 오른쪽 수직방향으로 200cm 거리에 제시되어 있었다. 따라서 관찰자들이 반거울을 통해서 TV를 관찰하는 경우 마치 정면 300cm의 거리에 TV가 놓여있는 것으로 평가하게 된다. 직접 비교 조건에서는 그림 1에서와 같이 깊이 추정을 위한 LED를 입체 자극이 제시된 정면

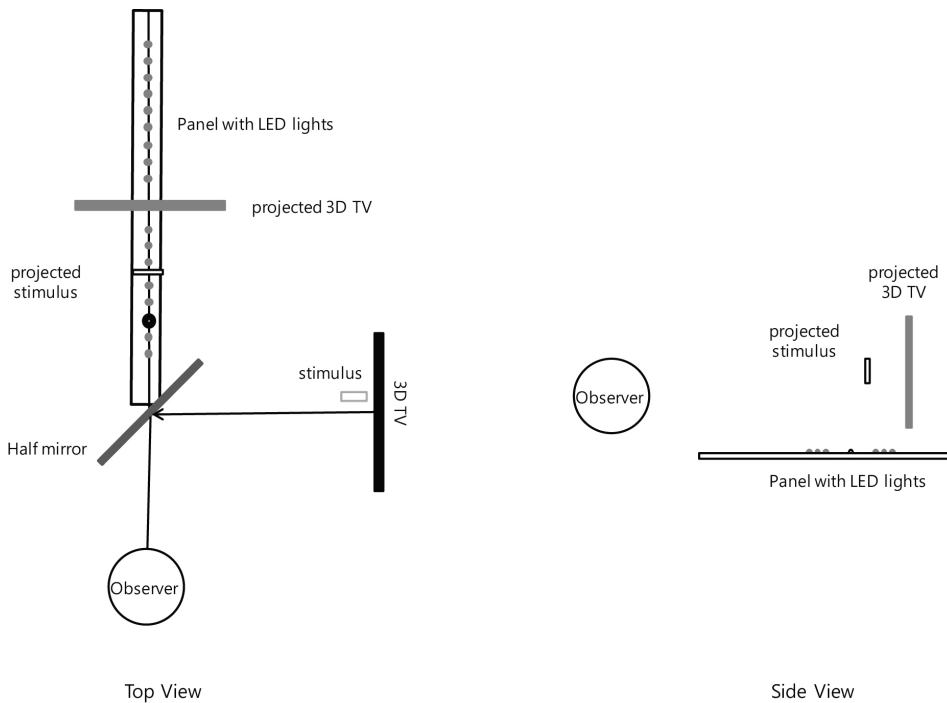


그림 1. 직접 비교조건에 대한 도식적 그림. 왼쪽 그림은 위에서, 오른쪽 그림은 옆에서 본 모습을 나타낸다. 관찰자들은 자신들의 오른쪽에 놓여있는 3D TV에 제시된 영상을 반 거울을 통해서 보았다. 제시된 자극의 깊이는 정중앙에 나열되어 있는 LED의 불빛들의 깊이와 비교하여 반응하였다.

Fig. 1. Schematic diagram of experimental settings for direct matching. The left and right figures represent top view and side view, respectively. Through half mirror, participants watched 3D TV, which is located right side of the participants. Participants were asked to match the depth of stimulus with one of the LED lights arranged on the mid-sagittal line on the table

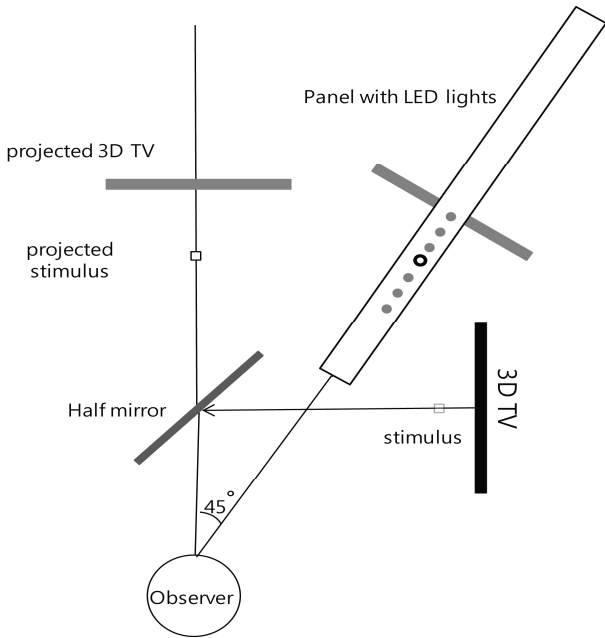


그림 2. 간접 비교조건에서의 실험 세팅에 대한 도식적 그림. 깊이 비교에 사용된 LED의 위치를 제외하고는 다른 모든 실험조건은 동일하였다. LED가 놓여있는 판은 정중앙선에서 45도 오른쪽에 제시되어 있었다. 관찰자들은 입체자극의 깊이를 평가한 후 고개를 돌려 추정된 깊이에 있는 LED를 켜도록 지시받았다.

Fig. 2. Schematic diagram of experimental settings for indirect comparison. All the experimental setting were the same as exp 1, except for the position of the panel with LED lights. The panel was rotated 45 degree from the mid-sagittal line. Participants were asked to estimate the depth of stereo stimulus and then to turn their head 45 degree and turn on the LED light on the estimated depth. There was no time limit for this task

방향에 두어 두 자극의 깊이를 직접 비교하면서 입체 자극의 깊이를 추정할 수 있도록 하였다. 이와 달리 간접 대응 조건에서는 그림 2에서와 같이 입체 자극은 정면에 제시되었지만 LED판을 정면의 오른쪽 45도 방향에 두어 입체시 자극과 LED의 깊이를 직접 비교할 수는 없었다. 따라서 관찰자들은 입체시 자극의 지각된 깊이 정도를 평가한 후 고개를 돌려 자신이 평가한 깊이와 동일한 깊이에 있다고 판단되는 LED를 on시키는 것이 관찰자의 과제였다.

두 깊이 비교조건에서 비교차와 교차시차를 가지는 입체 자극의 깊이 추정은 LED판의 깊이가 2m로 한정되어 있었

기 때문에 독립적으로 이루어졌다. 먼저 교차 시차의 크기는 시각으로 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128분에 가장 근사한 픽셀값으로 제공되었으며 3m의 관찰거리에서 해당하는 픽셀 값은 각각 1, 3, 6, 11, 22, 44, 89, 177 픽셀로 모두 8 수준이었다. 비교차 시차의 경우 시차가 커질수록 깊이는 매우 커지게 되어 교차시차와 동등한 시차를 실험에 포함시킬 수 없었다. 따라서 주어진 실험 환경에서 허용될 수 있는 시차는 시각도로 1, 2, 4, 8, 16, 24분에 가장 근사한 픽셀값으로 제공되어 1, 3, 6, 11, 22, 33 픽셀의 6개의 시차가 실험에 포함되었다.

4. 절차

깊이 추정 실험에 앞서 각 개인별로 본 실험실에서 제작한 입체시력 평가도구를 사용하여 입체 시력을 측정하였다. 평가도구는 4개의 양안 시차를 가지는 네 개의 사각형으로 구성되어 있었으며, 그 중 무선적으로 선정된 하나의 자극 시차가 나머지 세 자극의 시차와 시각으로 1분에서 6분까지 차이가 났었다. 이들 자극은 교차 시차와 비교차 시차 자극이 각각 독립적으로 구성되어 있었으며, 각 시차 조건에 대해 10번씩 모두 120번의 시행을 실시한 후 정답률에 따라 세 집단으로 분류되었다. 상위, 중위, 하위 입체시 집단의 평균 정답률은 각각 98.3%, 92.0%, 68.1%였다.

입체시력의 평가가 끝난 후 두 개의 깊이 비교 조건(직접 비교와 간접비교)과 두 개의 깊이 방향 조건(교차 시차와 비교차 시차)에 의해서 만들어지는 네 가지 실험 조건의 실시 순서는 무선적으로 선정되었다. 실험에 앞서 실험 환경에 익숙해질 수 있도록 세 번의 연습 시행을 실시하였다. 각 LED의 on/off는 컴퓨터를 통해 통제되었는데 미리 정해진 전진 키나 후진 키를 누르면 각각 현재 켜져 있는 LED는 꺼지고 이보다 한 칸 앞이나 뒤에 있는 LED가 켜지도록 되어있었으며, 전진이나 후진 키를 계속 누르고 있으면 LED의 불빛이 연속적으로 다가오거나 물러나도록 되어있었다.

각 실험 조건에서 한 시행은 시차가 0인 십자 형태의 응

시점이 제시됨으로써 시작되었다. 관찰자가 스페이스 키를 누르면 응시점이 사라지면서 무선적으로 선정된 특정 시차를 가진 사각형이 제시되고 무선적으로 선정된 LED가 켜졌다. 이때 직접 비교 조건에서 관찰자의 과제는 입체시 자극과 LED 자극의 깊이를 비교해가면서 입체시 자극의 지각된 깊이에 대응되는 LED를 켜는 것이었고, 간접 비교 조건에서 관찰자의 과제는 입체시 자극의 깊이를 평가한 후 고개를 돌려 45도 다른 시선 방향에 제시된 LED에서 지각된 깊이에 해당하는 LED를 켜는 것이었다. 관찰자가 원하는 시간만큼 자극을 번갈아 관찰하고 깊이를 추정할 수 있었다. 각 시차 조건당 3번씩 반복 측정되어 교차 시차 조건에서는 24번(8개 시차조건과 3번의 반복측정)의 깊이가 추정이 이루어졌고 비교차 시차 조건에서는 18번(6개 시차조건과 3번의 반복측정)의 깊이가 추정이 이루어졌다. 직접 비교와 간접 비교조건 각각 42번씩 시행이 실시되어 총 84회의 시행이 수행되었으며 필요한 경우 휴식을 포함하여 약 40분간 실험이 실시되었다.

5. 결과 및 논의

5.1 측정 방법에 대한 차이 : 직접 비교와 간접 비교

시차크기에 따른 지각된 깊이가 측정 방법에 따라 변화되는 것을 알아보기 위해서 각 측정방법과 시차크기 조건에서 각 참가자로부터 얻어진 지각된 깊이의 평균값을 원자료로 삼아 반복 측정방안 변량분석을 실시하였다. 교차시차와 비교차 시차에 포함된 양안 시차 조건의 수가 달랐기 때문에 통계적 분석은 따로 실시되었다. 먼저 교차시차 조건을 보면 예상할 수 있듯이 직접비교와 간접 비교 두 조건 모두에서 양안 시차가 커질수록 지각된 깊이는 증가하는 것으로 나타났다($F(7,329) = 110.39, p < .001$). 전반적으로 직접비교 조건에서 지각된 깊이가 간접비교 조건에서 지각된 깊이보다 더 큰 것으로 나타났지만 ($F(1,47) = 15.48, p < .001$), 양안 시차가 커질 때의 지각된 깊이의 증가폭, 혹은 지각된 깊이의 기울기는 두 측정 방법에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉 직접 비교 조건에서는 기울기가 상대적으로 급격하게 나타난 반면 간접 비교 조건에서는

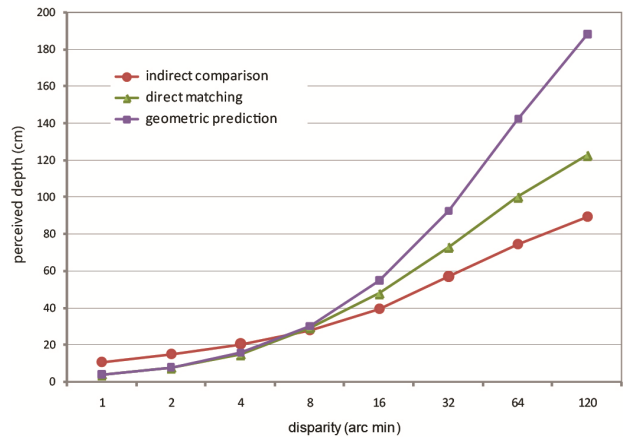


그림 3. 양안 시차에 따른 지각된 깊이가 각 측정 조건별로 제시되어 있다. 사각형은 기하학적으로 예측된 깊이를 나타낸다.

Fig. 3. The perceived depth is plotted as a function of crossed disparity for each of measurement methods. The square represents depth predicted by geometry

기울기가 완만하게 나타나 비교조건과 양안시차 크기조건 간의 상호작용 또한 통계적으로 유의한 것으로 나타났다 ($F(7,329) = 42.43, p < .001$). 보다 구체적으로 각 양안 시차 조건에서 두 측정 방법에 따른 차이는 시각도 8분을 기준으로 서로 다르게 나타났다. 8분 보다 작은 양안시차의 경우 간접비교 조건의 지각된 깊이가 직접비교 조건에서 지각된 깊이보다 더 크게 나타났지만, 8분 보다 큰 양안시차의 경우 직접비교 조건에서 지각된 깊이가 더 크게 나타났다.

기하학적으로 예측된 깊이를 기준으로 볼 때 모든 시차조건에서 직접 비교 조건에서 지각된 깊이가 간접비교 조건에서 얻어진 깊이보다 기하학적 예측치와 더 유사한 것으로 나타났다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 8분 이하의 양안시차 조건에서 직접비교 조건의 지각된 깊이는 기하학적 예측치와 거의 일치했지만 간접비교 조건의 지각된 깊이는 전반적으로 과도 추정되었으며 각 시차간 지각된 깊이 차이도 작게 나타남을 확인할 수 있다. 8분 보다 큰 경우 직접비교 조건에서의 지각된 깊이가 간접비교 조건에서 지각된 깊이보다 기하학적으로 예측된 깊이와 더욱 유사하였으며 시차조건들 간 깊이차도 크게 나타났다. 이러한 결과는 입체 영상이 실제 장면에 있는 대상들과 함께 나타나는 경우 양안 시차들

간 깊이차이가 상대적으로 크게 나타나 입체 영상의 깊이감이 보다 커질 수 있으며, 시차의 크기가 달라질수록 지각된 깊이도 큰 폭으로 변화될 것을 예상할 수 있다.

비교차 시차 조건에서도 직접비교와 간접 비교 두 조건 모두에서 양안 시차가 커질수록 지각된 깊이는 증가하는 것으로 나타났다($F(5,235) = 912.28, p < .001$). 또한 전반적으로 직접비교 조건에서 지각된 깊이가 간접비교 조건에서 지각된 깊이보다 더 큰 것으로 나타났지만 ($F(1,47) = 28.26, p < .001$), 양안시차가 커질수록 지각된 깊이는 직접비교 조건에서는 급격하게 증가했지만 간접비교 조건에서는 상대적으로 완만하게 증가하여 비교조건과 양안시차 조건간의 상호작용도 통계적으로 유의하였다($F(5,235) = 71.70, p < .001$). 그러나 양안시차가 작은 경우 간접비교 조건에서 지각된 깊이가 과대 추정되었던 교차시차 조건에서와는 달리, 시차 2분 이상의 양안시차에서는 과대추정이 나타나지 않았다.

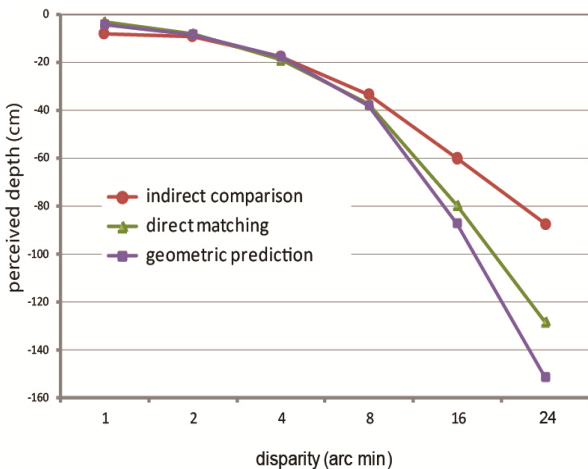


그림 4. 비교차 시차에 따른 지각된 깊이가 측정 방법별로 제시되어 있다.
 Fig. 4. The perceived depth is plotted as a function of uncrossed disparity for each of measurement methods. The square represents depth predicted by geometry

기하학적으로 예측된 깊이를 기준으로 볼 때 1분인 경우 간접비교 조건에서 지각된 깊이가 과대추정 되었고, 2분에서 8분까지는 기하학적 깊이와 유의한 차이가 발견되지 않

았지만 16분과 24분에서는 두 측정 방법 모두에서 기하학적 예측치보다 과소평가되었다. 각 측정 방법에 따라 지각된 차이가 나는 지를 살펴본 결과 시각으로 16분 조건 ($t(45)=5.76, p < .001$)과 24분 조건($t(45)=9.02, p < .001$)에서 각각 통계적으로 유의한 차이를 얻었다.

가상현실에서 추정된 관찰자로부터의 깊이(egocentric distance)는 실제 공간에서 추정된 관찰자로부터의 깊이와 비교할 때 일반적으로 감소된다^[22,23,24]. 본 연구의 결과도 측정 방법과 상관없이 교차시차에서는 시각으로 약 8분(기하학적 예측 깊이 약 30.4 cm)이상에서, 비교차시차에서는 시각으로 2분(기하학적 예측 깊이 약 9.5cm)이상에서 지각된 깊이가 기하학적 예측깊이보다 과소평가되어 나타났다. 특히 평가방법에 따라 과소평가 정도가 차이가 났으며 간접비교 조건보다 직접비교 조건에서 기하학적 예측치와 더 일치하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 양안시차에 의한 지각된 깊이는 전통적인 입체 디스플레이 장치에서보다 혼합현실과 같은 상황에서 기하학적 예측치와 더 유사할 수 있음을 보여준다. 양안 시차에 의한 입체시 깊이는 시각 피질에 있는 양안 세포들에 의해서 처리되는 것으로 추정되고 있다. V1에 있는 세포들은 양안 시차에 대해 반응하지만 인간이 깊이를 지각하지 못하는 반상관(anticorrelated) 자극에 대해서도 반응을 하는 것으로 보아 지각된 깊이가 이 단계에서 처리한다고 보기 힘들며^[25], 국소적인 시차 비교에 의한 깊이감의 달라진다는 본 연구에서의 결과는 V1 이후에서 발견되는 양안 세포와 연관이 있을 가능성이 더 높다.

보다 현실을 충실히 모사하는 가상현실 장치를 개발하기 위해 해상도와 같은 영상장치의 하드웨어적 한계나 시야각 [13]뿐만 아니라 관찰자의 주관적인 현장감(sense of presence) [26]등과 같은 변인의 효과가 연구되고 있다. 이에 덧붙여 본 실험의 결과는 양안시차를 가진 가상의 자극이 다양한 깊이 단서를 가진 실제 자극과 동일 공간에 제시되는 지의 여부가 지각된 깊이를 더욱 향상시킬 수 있는 주요 요인임을 보여주는 것으로 양안시차를 가진 영상은 전통적인 입체 디스플레이보다 혼합현실과 같은 상황에서 더 유용하게 사용될 수 있음을 시사한다.

5.2 입체 시력에 따른 지각된 깊이 차이

양안 시차에 따라 지각된 크기의 변화가 입체시력 정도에 따라 달라지는 지를 알아보기 위해서 교차시차와 비교차시차 조건 각각에서 직접비교 조건에서의 지각된 깊이와 간접비교 조건에서의 지각된 깊이를 나누어 살펴보았다. 교차시차 조건에서 각 양안시차 자극에 대한 입체시력 집단의 지각된 깊이의 평균이 측정 방법별로 그림 5의 좌, 우측에 구별되어 제시되어 있다. 각 측정 방법에서 입체시력 집단을 피험자간 변인으로, 양안시차 조건을 피험자내 변인으로 하여 혼합 설계 변량분석을 실시하였다. 먼저 왼쪽에 제시되어 있는 직접비교 조건에서 입체시력이 좋은 사람이 그렇지 않은 사람보다 전반적으로 깊이를 더 크게 지각했으며 ($F(2,45)=3.76, p < .05$), 양안시차가 커질수록 입체시력에 따른 지각된 깊이의 차이는 더 크게 나타났다. 따라서 이러한 차이가 통계적으로 유의한 지를 알아보기 위해 입체시력 집단과 양안시차 조건들 간에 상호작용 효과를 살펴보았다. 변량분석 결과 Mauchly의 구형성 가정을 만족하지 못하여($\chi(27)=748.06, p < .001$) 자유도를 Greenhouse-Geiser 추정치($\epsilon = .178$)를 사용하여 교정하였다. 이 결과에서 입체시력 집단과 양안시차 조건들 간에 상호작용도 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($F(2.49, 56.05)=$

$3.40, p < .05$). 이러한 결과는 양안시차가 작은 조건에서는 입체시력에 따라 지각되는 깊이에서 큰 차이가 없지만 양안시차가 커질수록 입체시력에 따른 지각된 깊이가 더 크게 나타남을 의미한다. 이를 보다 확증적으로 알아보기 위해 어떤 양안시차 조건에서 입체시력 집단간 차이가 나타나는 지를 확인한 결과 양안시차가 작은 조건에서는 통계적으로 유의한 차이를 발견하지 못하였고 64분과 128분 조건에서 통계적으로 유의한 차이가 나는 것을 확인하였다.

간접비교 조건의 결과도 직접비교 조건과 유사하게 전반적으로 입체시력이 높은 집단이 입체시력이 낮은 집단보다 깊이를 더 크게 지각하였고 이러한 차이들은 양안시차가 커질수록 더 커지는 패턴으로 나타났다. 하지만, 입체시력 집단 간에는 경향성은 나타났지만 통계적으로 유의하지는 않았다 ($F(2,45)=2.98, p=.061$). 간접비교조건에서도 Mauchly의 구형성 가정을 만족하지 못하여($\chi(27)=575.31, p < .001$) 자유도를 Greenhouse- Geiser 추정치($\epsilon = .184$)를 사용하여 교정하여 살펴본 결과 양안시차의 크기가 커질수록 지각되는 깊이는 커지는 것으로 나타났지만($F(1.29, 57.94)= 71.47, p < .001$), 양안시차와 입체시력 집단 변인들 간의 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다($F(2.58, 57.94)= 2.11, NS$).

입체 디스플레이를 포함한 가상 환경에서 자기 중심적

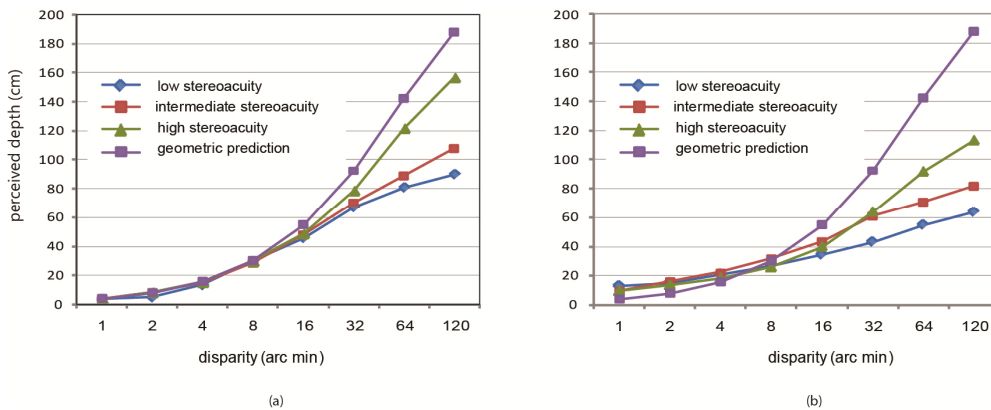


그림 5. 좌 우측에 제시된 그래프는 각각 직접 비교와 간접비교 조거에서 얻어진 자료를 나타내고 있다. 각 그래프에는 추정된 깊이가 입체 시력이 각기 다른 집단별로 구별되어 제시되어 있다.

Fig. 5. The left and right panel represent the data from direct comparison and indirect comparison, respectively. In each graph, data from three different stereo acuity groups are separately shown

깊이에 영향을 주는 변인으로 하드웨어의 특성이나 정밀도, 합성된 영상의 특징들과 같이 하드웨어나 콘텐츠 요인을 살펴보는 연구들은 많지만 관찰자의 특징과 같은 휴먼 팩터 연구의 수는 상대적으로 적다. (개관을 위해서 [27]을 볼 것). 휴먼팩터 연구들 중에서도 관찰자의 성, 나이, 성격 등과 같은 변인들의 효과를 알아보는 연구들이 시도되고 있지만 개인의 입체시력의 수준과 관련된 연구는 매우 드물다^[27]. 본 연구는 동일한 시차를 가진 가상 자극이라도 개인의 입체시력에 따라 지각된 깊이에서 큰 차이가 발생할 수 있음을 보여준다. 특히 입체시력의 수준에 따라 지각되는 깊이 차이는 간접비교 조건보다 직접비교 조건에서 더 크게 나타나고 있음을 본 실험을 통해 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 전통적인 입체 디스플레이 시스템에 제시된 입체영상을 볼 때보다 혼합현실에서 입체 영상을 볼 때 입체시력에 따른 차이가 더 크게 나타날 수 있음을 시사한다. 특히 직접비교 조건에서 입체시력이 좋은 사람들은 시각도로 8분 이상인 조건에서 양안시차가 증가하여도 기하학적 예측치의 80% 수준을 유지하는 데 반해, 입체시력이 중간 정도이거나 낮은 집단은 양안시차가 증가할수록 지각된 깊이대비 기하학적 예측치의 비율은 지속적으로 감소하고 있다. 지각된 깊이가 양안시차가 커질수록 개인의 입체시력

에 따라 큰 폭으로 차이를 보여주는 본 연구의 결과는 혼합현실과 같은 상황에서 가상 자극의 깊이를 실제 공간에서의 깊이에 합치시키기 위해서는 반드시 사용자의 입체시력이 고려되어야 함을 시사한다.

그림 6에는 비교차시차 조건에서 각 양안시차 자극에 대한 입체시력 집단의 지각된 깊이의 평균이 측정 방법별로 좌, 우측에 따로 제시되어 있다. 교차시차 조건의 분석방법과 동일하게 입체시력 집단을 피험자간 변인으로, 양안시차 조건을 피험자내 변인으로하여 혼합 설계 변량분석을 실시하였다. 직접비교에 의해 깊이를 평가하도록 하였을 때 비교차 시차 조건에서는 입체시력 집단 간에 유의한 차이가 발견되지 않았다($F(2,45)=1.74, NS$). Mauchly의 구형성 가정을 만족하지 못하여($\chi(14)=146.10, p < .001$) 자유도를 Greenhouse- Geiser 추정치($\epsilon = .440$)를 사용하여 교정한 후 살펴본 결과 비교차 시차가 커질수록 지각된 깊이는 점점 더 멀리있는 것으로 지각하였음을 나타냈지만 ($F(2.20,99.08)=2216.35, p < .001$), 양안시차와 입체시력 집단 변인들 간의 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다 ($F(4.04, 99.08)=.87, NS$).

간접비교에 의해 깊이를 평가하도록 하였을 때 비교차 시차에 대한 각 입체시력 집단의 깊이 평가값은 통계적

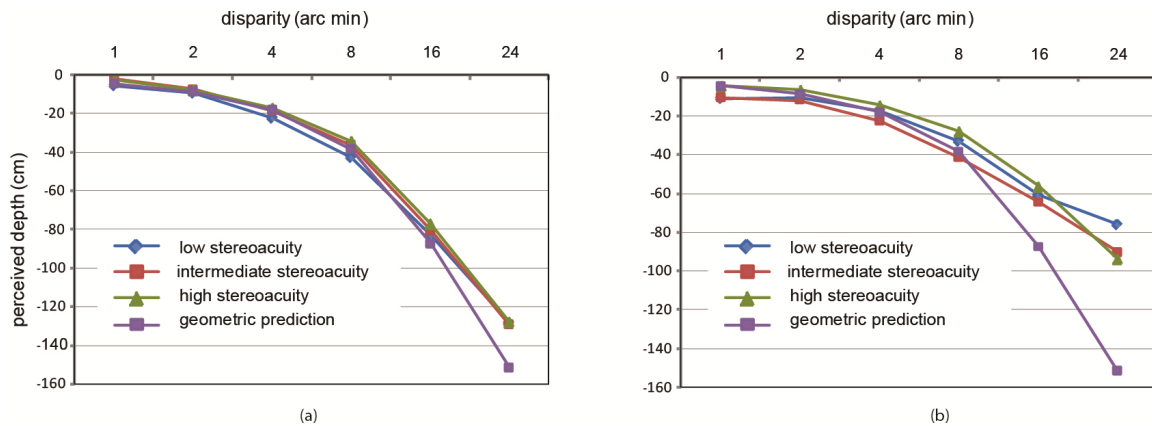


그림 6. 직접비교와 간접비교에서 얻어진 자료들이 각각 (a)와 (b)에 제시되어 있다. 각 그림에서는 지각된 깊이가 입체 시력 집단별로 구분되어 제시되어 있다. 사각형 점들은 기하학적으로 예측된 깊이를 나타낸다.

Fig. 6. The data from direct matching (a) and indirect estimation(b) are presented, respectively. In each graph, data from three different stereo-acuity groups are separately shown

으로 유의한 차이를 가지지 못하였다($F(2,45)=1.10$, NS). Mauchly의 구형성 가정을 만족하지 못하여($\chi(14)=278.46$, $p < .001$) 자유도를 Greenhouse- Geiser 추정치($\epsilon = .290$)를 사용하여 교정한 후 살펴본 결과 비교차 시차가 커질수록 지각된 깊이는 점점 더 멀리있는 것으로 지각하였음을 나타냈지만 ($F(1.45, 65.14)=216.96$, $p < .001$), 양안시차와 입체시력 집단 변인들 간의 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다($F(2.90, 65.14)=1.52$, NS).

교차시차조건과 비교해서 비교차시차 조건에서는 집단 간 차이가 두드러지지 않았다. 이러한 결과를 해석할 때 한 가지 주의해야 할 사항은 본 연구에 포함된 시차의 범위가 교차와 비교차 시차에서 차이가 있었다는 점이다. 비교차 시차의 경우 양안시차가 일정 수준을 넘어가면 양안시차의 작은 변화는 기하학적으로 예측된 깊이는 매우 큰 값으로 변화되므로 본 실험이 실시된 실험실 환경에서 측정할 수 있는 최대값은 비교차 시차로 약 24분 이었다. 이 값은 교차시차의 최대값 120분과 비교해볼 때 아주 작은 값이며, 교차시차에서도 16분과 32분에서는 집단 간 큰 차이가 발생하지 않았다. 따라서 비교차시차에서 집단 간에 유의한 차이를 발견하지 못한 것이 비교차시차의 특징 때문인지 혹은 선정된 시차값의 범위가 교차시차 조건의 범위에 비해 상대적으로 작았기 때문인지를 본 실험의 결과만으로 확신하기 어렵다. 이에 대한 답을 구하기 위해서는 보다 큰 공간에서 교차시차에 적용된 범위와 유사한 범위의 시차를 부여한 이후 지각된 깊이 측정이 필요하다.

III. 결론

본 논문에서는 다양한 양안 시차를 가진 가상의 영상들의 지각된 깊이를 직접비교와 간접비교를 통해 측정하였다. 전반적으로 직접비교 조건에서 얻어진 입체시 깊이는 간접비교 조건에서 얻어진 입체시 깊이보다 기하학적으로 예측된 깊이와 더욱 유사하게 나타났고, 양안 시차가 서로 다른 대상에 대해서 깊이 차이가 더 크게 분명하게 나타났다. 따라서 양안시차가 커질수록 이에 대한 지각된 깊이의 기울

기는 직접비교에서 더 크게 나타났다. 두 측정 방법에 따른 이러한 차이는 비교차시차 조건보다 교차시차 조건에서 더 분명히 나타났다. 가상 자극과 실제 자극이 동일한 공간에 제시된다는 점에서 본 연구의 직접비교 조건은 혼합현실 상황과 유사한 상황으로 해석가능하다. 본 연구의 결과는 양안 시차를 가진 가상영상의 깊이는 전통적인 입체 디스플레이에서 보다 혼합 현실에서 큰 입체시 깊이가 지각될 수 있으며, 기하학적으로 예측된 깊이와 유사한 깊이를 얻을 수 있음을 시사한다.

본 연구의 또 다른 결과는 개인의 입체시력에 따라 지각되는 깊이가 분명하게 차이가 났으며 이러한 차이는 양안 시차가 커질수록 더 크게 발생될 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과들을 종합해보면 혼합현실과 같은 영상 제시방법은 입체시력이 뛰어난 개인들에게 보다 더 적합하게 적용될 수 있으며 제시되는 자극 공간이 50cm 이하의 좁은 공간보다는 관찰자로부터 2-3m 이상 떨어져 있는 넓은 공간을 제시할 때 더 깊이를 제공할 수 있음을 시사한다.

본 연구에서는 개인의 입체시력을 3 단계로만 나눈 후, 입체시력에 따라 지각된 깊이에서 차이가 발생하는지를 확인하였다. 또한 기하학적인 예측도 동공간 거리를 개인별로 측정된 것이 아니라 62mm로 동일하다는 가정하에서 계산된 것이다. 각 양안시차와 측정 방법에 따라 보다 실제적인 DB를 구축하기 위해서는 보다 정교한 입체시력의 측정과 동공거리에 대한 개인별 측정치에 대한 정보가 부가적으로 필요하다.

참고 문헌 (References)

- [1] van Beurden, M. H. P. H., IJsselstein, W. A., & de Kort, Y. A. W. Effectiveness of stereoscopic displays in medicine : a review. 3D Research, 3(1), 1-13, 2012.
- [2] Lipton, L. Foundations of the stereoscopic cinema- A study in depth. New York, NY: Van Nostrand Reinhold. 1982.
- [3] Ukai, K., & Kato, Y. The use of video refraction to measure the dynamic properties of the near triad in observers of a 3-D display. Ophthalmic and Physiological Optics, 22, 385-388, 2002.
- [4] Wopking, M. 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, 3,

101-103, 1995.

[5] Yano, S., Emoto, M., & Mitsuhashi, T. Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images, *Displays*, 25, 141-150, 2004.

[6] Huang, K., Yang, J., Wu, C., Lee, K., & Hwang, S. System-crosstalk effect on stereopsis human factor study for 3-D displays, *Proc. SPIE*, 7524, 2010.

[7] Wang, L., Teunissen, K., Tu, Y., Chen, L., Zhang, P., Zhang, T., & Heynderi, I. Crosstalk Evaluation in Stereoscopic Displays, *Journal of display technology*, 7(4), 208-214, 2011.

[8] Sands, J., Lawson, S. W., & Benyon, D. Do we need Stereoscopic displays for 3D Augmented Reality Target Selection Tasks?, *Proceedings of the Eighth International Conference on Information Visualisation (IV'04)*, 633-638, 2004.

[9] Azuma, R.; Baillot, Y.; Behringer, R.; Feiner, S.; Julier, S.; MacIntyre, B. Recent Advances in Augmented Reality. *Computer Graphics and Applications*, 21, 34-47, 2001.

[10] Swartout, W. Gratch, J. Hill, R.W. Hovy, E. Marsella, S. Rickel, J., & Traum, D. Toward virtual humans, *AI Magazine* 27, 96-108, 2006.

[11] Loomis, J.M. Knapp, J. Virtual and Adaptive Environments: Visual Perception of Egocentric Distance in Real and Virtual Environments, Erlbaum, Mahwah, NJ, 2003.

[12] Kham, K., & Lee, J. The effect of inter-pupillary distance on stereopsis, *Korean Journal of Cognitive Science*, 9, 37-49, 2003.

[13] Knapp, J.M. Loomis, J.M. Limited field of view of head-mounted displays is not the cause of distance underestimation in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 13, 572-577, 2004.

[14] JONES, J. A., SUMA, E. A., KRUM, D. M., AND BOLAS, M. Comparability of narrow and wide field-of-view head-mounted displays for medium-field distance judgments. In *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception (SAP'12)*. ACM, New York, 119-119, 2012.

[15] Maloney, L. T., & Landy, M. S. A statistical framework for robust fusion of depth information. In W. A. Pearlman (Ed.). *Visual communications and image processing*, *Proceedings of the SPIE*, 1199, 1154-1163, 1989.

[16] Biilthoff, H. H. Shape from X: Psychophysics and computation. In Landy, M. S. & Movshon, J. A. (Eds), *Computational models of visual processing* (pp. 305-330). Cambridge, Mass.: MIT Press, 1991.

[17] Westheimer, G. & Levi, D. M. Depth attraction and repulsion of disparate foveal stimuli. *Vision Research*, 27, 1361-1368, 1987.

[18] Howarth P. A. Potential hazards of viewing 3-D stereoscopic television, cinema, and computer games: A review. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 31, 111 - 122, 2011.

[19] 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, 2008.

[20] Brenner, E., & van Damme, W. J. M. Judging distance from ocular convergence. *Vision Research*, 38, 493-498, 1998.

[21] Sinai, M.J., Krebs, W.K., Darken, R.P., Rowland, J. H., and McCarley, J.S. Egocentric distance perception in a virtual environment using a perceptual matching task. *Proceedings of the 43rd Annual Meeting Human Factors and Ergonomics Society*, 43, 1256-1260, 1999.

[22] Philbeck J. W., Loomis J. M. Comparison of two indicators of perceived egocentric distance under full-cue and reduced-cue conditions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 72 - 85, 1997.

[23] Matsushima, E. H., Douchkin, I. O., Ribeiro Filho, N. P., & Aparecido Da Silva, J. Perceptual constancy in judgments of egocentric distance: Prevailing binocular information. *Arquivos Brasileiras de Oftalmologia*, 6, 62-68, 2003.

[24] Willemsen, P., Colton, M.B., Creem-Regehr, S. H., Thompson, W.B., The effects of head-mounted display mechanical properties and field-of-view on distance judgments in virtual environments, *ACM Transactions on Applied Perception*, 6(2), 8:1-8:14, 2009.

[25] Parker, A. J. Binocular depth perception and the cerebral cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 379-391, 2007.

[26] Phillips, L., Interrante, V., Kaeding, M., Ries, B., & Anderson, L. Correlations between physiological response, gait, personality, and presence in immersive virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(2), 119-141, 2012.

[27] Renner, R. S., Velichkovsky, B. M., and Helmert, J. R. The perception of egocentric distances in virtual environments - A review. *ACM Computing Surveys*, 46, 23:1-23:40, 2013.

저 자 소 개



감 기 택

- 1988년 : 연세대학교 심리학과 학사
- 1990년 : 연세대학교 심리학과 석사
- 1997년 : 연세대학교 심리학과 박사
- 1997년 ~ 1999년 : Vanderbilt 대학교 시각연구소 post-doc
- 2006년 ~ 현재 : 강원대학교 심리학과 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-2456-345X>
- 주관심분야 : 삼차원 공간지각 및 휴먼팩터