

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제20권 제6호, 2015년 11월 (JBE Vol. 20, No. 6, November 2015)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2015.20.6.901>

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

## 3D 환경에서 가보 영상을 이용한 입체 시력 검사도구의 개발: 탐색적 연구

감기택<sup>a)\*</sup>

### The Development of Stereotest using Gabor Images in 3D Environment: An Explorative Study

Keetaek Kham<sup>a)\*</sup>

#### 요 약

최근 3D 디스플레이 환경들이 확대되면서 컴퓨터와 3D 디스플레이 장치들을 통해 개인의 입체 시력을 검사하려는 다양한 시도가 이 제안되었다. 기존의 입체검사도구들에 비해 3D 디스플레이를 이용한 입체 시력 검사는 여러 장점들을 갖고 있지만, 3D TV나 모니터에서는 최소로 조작할 수 있는 양안시차의 한계가 1픽셀이다. 관찰거리가 짧은 pc 환경에서는 1 픽셀의 양안 시차 값은 정상 입체 시력을 구분해 낼 수 있는 기준보다 너무 크다. 본 연구에서는 이러한 문제를 극복하고자 가보 자극을 사용하여 1픽셀보다 작은 단위의 양안 시차를 제공할 수 있는 입체 검사 자극을 생성한 후 이 자극이 입체 시력 검사자극으로 적용가능한 지를 탐색적으로 살펴본다. 넓은 범위의 시차를 1회만 측정하는 기존의 입체 시력 검사 대신에 좁은 범위의 시차 값에 대해 조건 당 10번의 반복 측정을 실시하여 각 개인별 정답률을 구하였다. 가보 영상을 사용한 검사결과와 가보 영상을 이용한 검사결과를 비교하였고 그 결과 온건한 정도의 상관관계를 보여 주었다. 또한 검사 결과가 얼마나 신뢰도운지를 평가하기 위해 약 1개월 후에 동일한 환경에서 가보 영상을 이용하여 입체 시력을 측정한 후, 두 검사 결과를 비교한 결과 높은 검사-재검사 신뢰도를 보였다. 이러한 결과는 가보 자극을 사용하여 입체 검사 도구를 개발하는 경우 충분히 신뢰로운 결과를 산출할 수 있음을 시사하는 것으로, 가보 자극은 충분한 관찰거리가 제공되지 않거나 혹은 매우 정밀한 단위로 입체 시력을 평가할 필요가 있는 상황에서 개인의 입체 시력을 평가하기에 적절한 자극임을 보여준다.

#### Abstract

Many studies tried to develop a 3D display based stereo test as a substitute for the conventional stereo test. Although many 3D monitor based stereo tests have various advantages over the conventional stereo tests with printed stimuli, they have a crucial limitation in manipulating disparity. The least value for disparity manipulation is one pixel, which is too big to screen the normal stereo acuity in pc environment with a short viewing distance. In this explorative study, a Gabor image was employed as a test stimulus, because its position can be manipulated by changing its phase information, which allows sub-pixel manipulation for disparity. Instead of employing the methods of the conventional stereo tests where measurement was made only once for each of a wide range of disparity values, 10 replications were administrated for each of 6 disparity levels. The results from the test using Gabor images were compared with those using random dot stimulus because the latter stimulus was exactly the same as that of the conventional stereo test. The correlation coefficient between two tests was found to be moderate. After one month later, the whole test was repeated in the same settings. The correlation coefficient between test and retest results from Gabor images was found to be as high as that from a random dot stimulus, implying high test-retest reliability. These results suggest that a Gabor

stimulus could be used as a test stimulus for the valid and reliable stereo test, even in the limited condition, such as 3D environment with a short viewing distance and a condition for evaluating the stereo acuity very precisely.

Keyword : Stereotest, 3D environment, a Gabor image, random dot stereogram

## 1. 서론

인간의 두 눈은 수평으로 떨어져있기 때문에 깊이가 다른 대상들로부터 각 눈에 투사된 영상들의 수평적 위치는 조금씩 차이가 난다. 양안 시차(binocular disparity)라 불리는 이 정보에 의해 산출되는 입체시 깊이(stereoscopic depth)는 외부 대상의 깊이를 추정할 수 있는 매우 강력한 깊이 단서들 중 하나로 고려되고 있다<sup>[1]</sup>. 최근 양안시차를 이용하여 장면의 입체감을 제시하려는 시도들은 입체영화나 TV등 오락장면에서의 대중화를 넘어, 직업 훈련이나 원격 수술<sup>[2]</sup>등 매우 전문적인 장면으로 그 활용도가 확대되고 있다.

양안시차로부터 입체 깊이를 지각하는 능력은 개인차가 있으며, 이 능력은 얼마나 작은 깊이를 구별할 수 있는 지를 나타내는 입체 시력(stereo acuity)으로 평가할 수 있다. 3D 하드웨어와 콘텐츠들이 적용될 수 있는 분야가 확대됨에 따라 각 개인의 입체 시력을 확인하고 평가할 필요성도 증가하고 있다. 일반인들의 단순한 호기심을 뛰어넘어 3D 관련 하드웨어나 콘텐츠를 개발하는 상황에서 개인의 입체 시력에 대한 정보가 필요할 수 있다. 개발된 제품에 대한 인간 요인적 평가가 필요한 경우 각 개인의 입체시 처리 능력을 기준으로 평가자를 선별할 필요가 있기 때문이다. 예를 들어 개발된 디바이스나 영상들을 평가하기 위해 고도의 입체 시력을 가진 관찰자를 선발할 필요성이 제기될 수 있다. 이와 달리 대중적인 콘텐츠를 개발하는 경우 입체

시력이 낮은 개인에서부터 높은 개인에 이르기까지 다양한 입체 시력을 가진 관찰자들의 평가가 요구되는 상황도 만 들어질 수 있다. 따라서 저렴한 비용으로 손쉽게 개인의 입체 시력을 평가할 수 있는 도구들에 대한 수요도 증가할 것을 예상할 수 있다.

개인의 입체 시력은 Randot 입체검사(Stereo Optical Co, Inc., Chicago, Illinois, USA), Fly 입체 검사(Stereo Optical Co, Inc., Chicago, Illinois, USA)등 다양한 검사도구들을 통해 측정되어 왔다. 이러한 검사도구들의 대부분은 각 눈에 제시될 두 개의 검사 자극(왼쪽 영상과 오른쪽 영상)을 편광을 이용하여 인쇄한 후, 편광 안경을 통해 관찰하면서 입체 깊이를 판단하도록 한다. 과거 3D 영상을 제시할 수 있는 환경이 제한적이었을 때 이러한 검사 도구들은 양안 시차에 의한 입체 시력을 평가할 수 있는 거의 유일한 방법들이었다. 그러나 오늘날 3D 제시 환경이 대중화되면서 기존 입체 시력 검사 도구에서 사용되던 자극과 방법을 3D 디스플레이와 컴퓨터에 아주 손쉽게 적용할 수 있다. 이에 따라 3D 디스플레이 장치를 이용하여 입체 시력 검사 도구를 개발하려는 많은 연구들이 수행되었다<sup>[3,4,5]</sup>. 특히 소프트웨어를 이용하여 3D 디스플레이에 입체 영상을 제시하는 방법은 매 시행마다 정답의 위치를 손쉽게 바꿀 수 있기 때문에 정답을 암기함으로써 결과가 오도될 가능성이 없으며, 미리 설정된 입체시 단계이외에 필요에 따라 입체시 수준을 변경할 수 있다는 장점도 가진다. 실제 3D 디스플레이를 이용한 입체 시력 검사 결과가 상용 입체 시력 검사 도구를 사용한 결과보다 더 낮거나 유사한 효용성을 보여준다<sup>[4,6]</sup>.

이러한 유용성과 효율성에도 불구하고 3D TV나 3D 모니터에 입체 자극을 제시하여 입체 시력을 검사하는 방법이 기존의 상용화된 입체 시력 검사도구보다 항상 좋은 것은 아니다. 3D TV나 모니터에서는 입체시 검사 자극의 양

a) 강원대학교 심리학과(kangwon National University)  
‡ Corresponding Author : 감기택(Keetaek Kham)  
E-mail: kham@kangwon.ac.kr  
Tel: +82-33-250-6857  
ORCID: 0000-0003-2456-345X  
· Manuscript received August 26, 2015; Revised October 16, 2015;  
Accepted October 16, 2015.

안 시차를 픽셀 단위로 조작할 수 있기 때문에 검사 자극의 양안 시차를 조작하는데 제한이 주어진다. 예를 들어, 깊이 변별의 난이도 급간을 한 픽셀보다 작게 만들 수 없으며, 보다 중요한 문제는 주어진 측정 환경에서 제시할 수 있는 양안 시차의 최소값도 한 픽셀이라는 제한을 가진다는 점이다. 일반적으로 시각(visual angle)으로 50초 정도의 양안 시차를 가진 자극으로부터 입체시 깊이를 구별할 수 있는 지가 정상적인 입체시의 기준이 되므로<sup>[7,8]</sup> 실용적인 입체시력 검사도구가 되기 위해서는 최소한 시각 50초의 양안 시차를 가진 자극을 생성할 수 있어야 한다. 따라서 TV나 모니터에 입체 영상을 제시하는 경우에도 적합한 입체시력 검사도구가 되기 위해서는 주어진 검사 환경에서 한 픽셀 값이 시각으로 최대 50초를 넘어가지 않아야 한다.

시각연구나 시력 검사에 사용되는 자극의 크기는 자극의 물리적인 크기가 아니라 망막에 맺힌 영상의 크기를 말한다. 이를 직접적으로 측정하기 어렵기 때문에 외부 자극이 눈으로 들어올 때 형성되는 각도 즉, 시각도<sup>1)</sup>(visual angle)로서 표시할 수 있는데 이는 대상의 물리적 크기뿐만 아니라 대상까지의 관찰거리에 의해서도 변화된다. 따라서 한 픽셀이 이루는 시각도를 확인하기 위해서는 해당 디스플레이가 이용되는 시청환경에 대한 고려가 반드시 필요하다. 전형적인 시청환경에서 1 픽셀에 해당되는 시각도를 고려하면 3D TV의 경우 입체시력을 측정할 수 있는 최소 양안 시차를 확보할 수 있지만 3D 모니터의 경우는 어렵다. 예를 들어 전형적인 시청거리가 2m와 3m 사이인<sup>[9,10]</sup> 46인치 혹은 55인치 3D TV 경우 1 픽셀은 시각도로 40초에서 60초에 해당된다. 이러한 상황에서 입체시력 검사는 정상 입체시의 기준이 되는 최소 양안 시차를 제공할 수 있다. 실제 3D TV를 이용하여 입체시력 측정을 제안한 한 연구<sup>[4]</sup>에서는 46인치 3D TV에 자극을 제시한 후 3m 거리에서 입체시 깊이를 변별하도록 하였다. 이러한 거리에서 입체시력 검사를 실시한 이유들 중 하나는 1픽셀의 물리적 크기가 고정되어 있기 때문에 시각도가 작은 양안시차를 갖도록 하기 위해서는 긴 관찰거리가 필요하기 때문이었다<sup>2)</sup>. 그러나 전

형적인 관찰거리가 40cm에서 60cm<sup>[11]</sup>인 데스크탑 모니터의 경우 정상 입체시를 판단할 수 있는 양안 시차를 제공하기가 어렵다. 예를 들어 전형적인 관찰거리에서 27인치 모니터를 볼 때 1 픽셀은 시각으로 100초에서 150초에 해당하기 때문이다. 기존의 입체시력 검사도구와 같이 윤곽을 가진 도형이나 무선점 입체그림 (random dot stereogram) 등은 자극의 위치를 픽셀단위로 변화시켜 양안시차를 조작해야하므로 PC환경에서 스스로의 입체시력을 평가할 수 있는 자극으로 사용하기 어렵다.

관찰거리가 짧은 PC환경에서 50초 이하의 양안시차를 구현할 수 있는 대안적인 방법은 픽셀 단위보다 작은 값으로 양안시차를 조작할 수 있는 새로운 자극을 사용하는 것이다. 이러한 기준에 적합한 시자극들 중 하나는 그림 1에 제시되어 있는 것과 같이 정현파로 밝기가 변화되는 격자무늬(grading) 자극에 가우시안 엔벨로프를 적용하여 만들어지는 가보 영상(gabor image)이다. 가보 영상은 일반적인 자극과 유사하게 픽셀단위로 영상 전체의 위치를 변경하여 양안시차를 조작할 수 있을 뿐만 아니라 정현파 자극의 위상을 변화시킴으로써 가보 영상의 정점의 위치를 변화시켜 양안시차를 조작할 수 있기 때문에 양안 시차를 1 픽셀보다 더 작은 값으로 미세하게 변화시킬 수 있다.

가보 영상은 다른 시자극과 비교할 때 탐지가 매우 쉬운 자극으로서<sup>[12]</sup> 여러 파라미터를 체계적으로 변경시킬 수 있기 때문에 입체시 관련 연구를 비롯하여 다양한 종류의 시지각 연구에 사용되어 왔다. 특히 가보 영상에서 격자무늬 정점의 위치는 정현파 자극의 위상 변화를 통해 단일 픽셀



그림 1. 사인 격자와 가우시안 엔벨로프로 만들어진 가보 영상의 예  
 Fig 1. An example of a Gabor image, which is created from a sine-wave grating convoluted with a gaussian window

1) 시각도  $\theta = 2 \arctan (s/2D)$ 이다. s는 자극의 크기이고 D는 관찰거리이다.

2) 입체시력 검사는 검사 거리에 따라 원거리 입체시력과 근거리 입체시력으로 나눈다. 본 논문에서는 이에 대한 고려없이 관찰거리의 차이가 자극의 망막상의 크기를 변화시키는 측면만 강조하여 논의한다.

보다 더 정밀한 수준으로 조작가능하고 인간의 시기제는 이를 구분할 수 있다<sup>[13]</sup>. 특히, 인간의 시뇌에서 양안시차에 민감한 양안세포들은 자극의 위치뿐만 아니라 자극의 위상에도 반응하기 때문에<sup>[14,15]</sup>, 위상 값의 변화를 통해 픽셀 값보다 작은 양안 시차를 조작한 자극에 의해서도 입체시 깊이를 변별할 수 있을 것을 예상할 수 있다.

본 연구에서는 PC와 같이 관찰거리가 상대적으로 짧아 기존의 입체 시력 검사 도구로는 정상 입체 시력을 구별하기 힘든 상황에서, 가보영상을 입체 시력 검사 자극으로 사용하는 경우 타당하고 신뢰도 높은 검사 도구를 개발할 수 있는지를 탐색적으로 살펴보았다.

먼저 가보영상의 위상을 변화시켜 양안시차를 부여하여 입체 시력을 검사하였다. 이 검사의 타당성을 살펴보기 위해 무선점 입체 그림을 이용하여 입체 시력을 검사한 결과와 가보 영상을 이용하여 입체시 검사를 실시한 결과를 비교하였다. 왜냐하면 무선점 입체 그림은 기존 입체 시력 검사에서 가장 빈번하게 사용된 자극들 중의 하나이기 때문이다. 또한 가보 영상을 입체 검사 자극으로 사용한 검사의 신뢰도를 확인하기 위해 최소 1개월의 시간간격을 두고 동일한 측정환경에서 입체시 검사를 실시한 후 사전검사와 사후 검사들 간의 상관을 살펴보았다.

## II. 실험 : 가보 영상을 이용한 입체시 검사도구의 타당성과 신뢰도 검증

이론적으로 가보 영상을 이용하면 단일 픽셀보다 작은 값의 양안 시차를 조작할 수 있다. 본 연구에서는 가보 영상의 위상을 변화시켜 단일 픽셀보다 작은 값의 양안 시차를 변화시킨 자극을 입체 시력 검사 도구의 자극으로 사용할 수 있는지를 확인하기 위해 수행되었다. 먼저, 예비 실험에서 가보영상의 위상을 조작하여 픽셀보다 작은 크기의 양안 시차를 부여한 경우에도 입체시 깊이를 지각할 수 있는지를 알아보기 위해서 예비 실험을 실시하였다. 본 실험에서는 가보 영상을 사용하여 얻어진 입체시 검사 결과의 타당성을 살펴보기 위해, 이 결과를 무선점 입체 그림을 사용하여 얻어진 검사 결과와 비교하였다. 무선점 입체 그림은

기존 TV 시청 거리에서 관찰되었고 가보 영상은 PC의 시청 거리에서 관찰되었지만 시각으로 환산된 자극들의 시차는 동일하게 유지되었다. 이를 위해 무선점 자극이 제시된 관찰거리와 TV에서의 픽셀 크기를 이용하여 한 픽셀의 시각도를 계산한 다음, 해당 시각도가 PC환경의 관찰거리에서는 물리적으로 얼마나 큰 자극인지를 계산하고 이를 가보 영상의 위상값으로 변환하였다. 두 검사의 시각도만 동일하게 맞춰준다면 평가된 입체 시력은 관찰거리와는 무관하게 변화되지 않고 비슷하게 나타나므로<sup>[19,20]</sup> 각기 다른 관찰거리에서 얻어진 자료로도 두 검사의 결과를 직접 비교할 수 있다. 또한 가보 영상을 이용한 입체시 검사의 신뢰도를 확인하기 위해 검사-재검사 신뢰도가 측정되었다.

### 1. 참가자

100명의 대학생들이 실험 참가 사례비를 받고 실험에 참가하였으며, 다양한 수준의 입체 시력을 평가하기 위해 실험 참가에 어떠한 제약도 부과하지 않았다. 검사-재검사 신뢰도를 살펴보기 위해 본 실험을 실시한 1개월 후에 동일 환경에서 재검사를 실시하였는데 이 검사에 86명만이 참여하였다. 따라서 본 연구에서는 86명으로부터 얻어진 자료만이 분석에 이용되었다.

### 2. 자극

무선점 입체자극 (random-dot stereogram). 이 자극은 기존의 입체 시력 측정도구에서 사용되는 것과 동일한 자극으로, 양안 시차는 영상의 전체 위치를 픽셀단위로 변화시킴으로써 조작되었다. 이 영상들은 입체 TV를 통해 3m거리에서 관찰하면서 입체 시력을 측정하는 데 사용되었다. 무선점 입체 자극에서는 한 눈으로 볼 때 윤곽이나 형태정보는 없지만 입체안경을 통해 볼 때 동일한 양안 시차를 가진 점들에 의해서 형태가 보이게 된다. 본 실험의 자극으로 사용된 무선점 입체 자극에서는 배경과 깊이가 다른 네 개의 사각형 영역이 주어져 있어서 해당 자극을 입체 안경을 쓴 채 관찰하면 네 개의 사각형이 튀어나와 있는 것으로

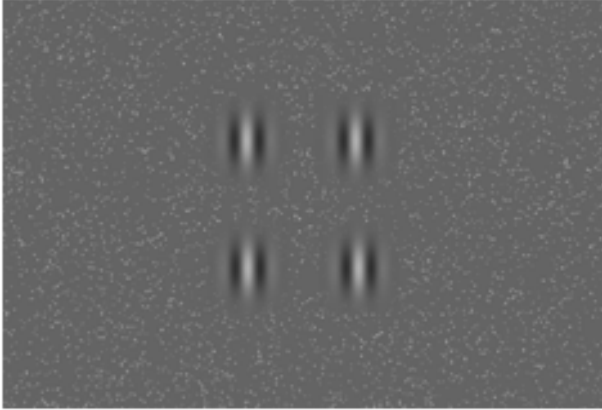


그림 2. 가보 영상을 이용한 입체 검사 자극의 예. 4 개의 가보 영상이 제시되었으며 그 중 세 개의 시차는 동일하였고 나머지 한 개의 시차는 더 큰 값을 가졌다.

Fig 2. An example of stereo test stimulus with Gabor images. Four gabor images were presented, and three of them had the same disparity while the other had larger disparity.

관찰된다. 이 사각형을 구성하는 점들의 기본 양안시차는 2픽셀로 고정되어 있었다. 그리고 세 사각형을 구성하는 점들의 양안시차는 동일하였고 나머지 한 사각형을 구성하는 점들의 양안시차는 기본 양안시차보다 더 큰 양안시차를 갖고 있었다. 따라서 해당 자극에서 정답은 나머지 세 사각형과 깊이가 다른 한 사각형이었는데 그 위치는 시행마다 무선적으로 결정되었다. 양안 시차 차이 조건은 모두 6수준으로 선정되었는데 가장 작은 차이는 한 픽셀이었고 가장 큰 차이는 6 픽셀이었다. 따라서 세 사각형 영역에 있는 점들의 양안 시차는 항상 2 픽셀이었고, 정답에 해당되는 영역에 있는 점들의 양안 시차는 양안 시차 차이 조건에 따라 3픽셀에서 8픽셀 중의 한 양안 시차 값을 갖고 있었다. 무선점 자극들은 입체 TV의 시청환경인 3m거리에서 관찰되었는데 이 거리에서 1픽셀은 시각도로 약 40초에 해당되었다. 따라서 6수준의 양안시차 차이 조건에서 입체시 깊이 차이는 40초에서 240초까지 40초 단위로 변화되었다. 각 점들의 양안시차는 각 점들의 위치를 픽셀단위로 변경함으로써 부여하였으며, 이 자극을 입체 안경을 통해서 볼 경우 세 사각형이 배경에서 동일한 깊이로 튀어나와 있는 것으로 지각되었고 나머지 한 사각형은 양안 시차 차이 조건의 수준에 따라 이들 세 사각형보다 조금 더 튀어 나와 있는

것으로 지각되었다. 각 사각형 영역의 크기는 150픽셀이었고 사각형 사이의 간격은 40 픽셀이었다. 왼쪽에 제시되는 사각형의 시작점은 영상의 중앙에서 170 픽셀 왼쪽에서부터 제시되었고 오른쪽에 제시되는 사각형의 시작점은 영상의 중앙에서 20픽셀 오른쪽에서부터 시작되었다. 사각형 영역이 위치가 고정되면 양안시차가 동일한 사각형들의 가로 위치 또한 동일하게 되어 양안시차에 의한 깊이 정보 외에 사각형들의 정렬여부에 의해서도 정답을 결정할 수 있게 된다. 이러한 문제점을 제거하기 위해 사각형의 가로 위치를 10픽셀 범위에서 무선적으로 선정하였다.

가보 영상(gabor image) 입체자극. 본 실험에서는 픽셀보다 작은 단위로 양안시차를 조작하기 위해 그림 1에 제시되어 있는 것과 같은 가보 영상을 입체자극으로 사용하였다. 가보자극은 가로 세로 151픽셀의 정사각형 영역에 밝기 값이 사인파로 변화되는 수직 방위를 가지는 3 사이클의 격자 자극(grating)에 이차원 가우시안 엔벨로프를 적용하여 만들었다. 최종적으로 가보 영상의 해당 픽셀에서의 밝기는  $I(x,y) = MeanL + contrast * \cos[2\pi f(x\cos(Otheta) + y\sin(Otheta) + phase * \pi/180)] * \exp(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2})$  로 결정되었는데, 여기서

- $I(x,y)$  가보 영상의 특정 픽셀위치에서의 픽셀(밝기) 값이고
- MeanL 가보 영상의 평균 밝기로 픽셀 값으로 127로 고정되어 있었으며
- Contrast 가보 영상의 대비값. 0 ~1 사이값을 가질 수 있지만 1.0으로 고정되었다.
- $f$ 는 사인파형의 빈도로 모든 자극은 3 cycle로 고정되었고
- Otheta: 가보 영상의 방위를 각도로 표시한 것으로 본 실험에서는 0도로 고정 즉, 수직 격자 자극만 사용하였다.

영상의 양안시차는 가보 영상의 위상변화를 통해 조작하였고, 이를 PC 환경인 70cm 거리에서 관찰하도록 하였다. 주어진 시청 환경에서 한 픽셀값보다 작은 값으로 양안 시

차를 조작할 수 있었다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 무선점 입체 자극의 사각형 대신 가보 영상을 사용했다는 점만 차이가 있을 뿐 자극의 위치, 자극사이의 간격 등 나머지 파라미터들은 무선점 입체 자극과 유사하였다. 모두 4 개의 가보 영상이 제시되었으며 이들 중 3 가보 영상의 양안 시차는 동일하였고 무선적으로 선택된 나머지 한 가보 영상의 양안 시차만이 다르게 제시되었다. 양안 시차의 차이는 무선점 입체 자극 조건에서와 것과 유사하게 시각으로 40초에서 240초까지 40초 단위로 6 수준 차이로 구성되어 있었으며, 이 깊이가 차이들은 좌, 우에 제시된 가보 영상의 위상 차이를 이용하여 구현하였다. 이 자극을 입체 안경을 통해 볼 때 3 개의 가보 영상들은 배경보다 튀어나온 정도가 동일하였고 나머지 한 개의 가보 영상은 이들보다 조금 더 튀어나와 있는 것으로 지각되었다.

### 3. 장치

무선점 입체 자극은 55인치 삼성 입체 TV에 제시되었고 관찰자들은 3m 거리에서 셔터형 입체 안경을 쓴 채 해당 자극을 보았다. 가보 영상 자극은 27인치 3D 모니터에 제시되었으며 70cm 거리에서도 셔터형 입체 안경을 쓴 채 자극을 관찰하였다. 두 조건 모두에서 각 영상들은 1920x1080 해상도로 제시되었다.

### 4. 절차

무선점 입체자극을 사용한 입체 시력 검사와 가보 영상을 사용한 입체 시력 검사를 각 참가자별로 실시하였다. 두 자극 조건의 실시 순서는 개인별로 무선화되었다. 두 영상 조건은 입체 영상 자극을 제외하고는 양안시차의 크기, 반복 횟수 등 다른 변수들은 동일하였다. 각 시행은 양안 시차가 0인 무선점 배경이 제시되면서 시작되었다. 이를 입체 안경을 끼고 보면 무선점 배경이 TV나 모니터의 표면과 동일한 깊이에 있는 것으로 지각된다. 관찰자가 키보드의 특정 키를 누르면 화면보다 튀어나온 4 개의 자극이 제시되는

데 이 중 세 개의 양안시차는 동일하고 나머지 한 개의 양안시차는 다르게 제시되었다. 관찰자의 과제는 4 개의 입체 자극들 중 깊이가 다른 하나의 자극이 어느 위치에 있는 것인지를 확인한 후 해당 자극의 위치를 키보드의 특정 키를 눌러서 반응하는 것이었다. 가보 영상과 무선점 입체 그림 자극 각각에서 양안 시차의 크기는 모두 6수준이었으며 각 수준 당 10번의 반복이 이루어져 총 60번의 시행이 실시되었다. 실시 순서는 시차 수준을 구획으로 삼아 구획내 무선화를 통해서 결정되었다. 두 자극 각각에 대해 60번의 시행이 이루어져 총 120번의 깊이 변별 시행이 실시되었다. 각 입체 자극 조건별로 검사-재검사 신뢰도를 측정하기 위해 최소 1개월의 시간이 흐른 뒤 두 입체 자극을 사용한 입체 시력 검사가 반복되었으며 재검사 실험의 모든 절차는 이전 검사의 절차와 동일하였다.

### 5. 결과 및 논의

#### 5.1 예비실험 : 가보 영상의 위상변화에 의한 입체시 깊이 변화여부의 확인

본 실험에 적용된 실험 세팅에서 가보 영상의 위상변화를 통해 픽셀보다 작은 값에 해당되는 양안시차를 부여하는 경우에도 입체시 깊이를 변별할 수 있는 지, 그리고 지각된 입체깊이가 수리적으로 계산된 한 픽셀에 해당되는 위상 값인<sup>3)</sup> 약 7.2도에 상당하는 지를 확인하기 위해서 예비실험을 실시하였다. 예비실험에서는 위치 차이에 의해 양안시차를 부여한 표준 자극의 입체시 깊이를 위상 변화를 통해 양안시차를 부여한 비교자극의 입체시 깊이와 비교를 통해 표준자극의 지각된 깊이의 역치(threshold)를 측정하였다. 다양한 실험 환경에서 입체시 자극을 본 경험이 있는 3명의 대학원생이 실험에 참가하였는데 이들은 모두 시각도로 1분 이하의 입체 시력을 가지고 있었다.

#### 5.1.1 예비실험의 자극 및 절차

예비실험에서는 표준자극과 비교자극 모두 가보 영상으로 입체시 자극을 만들어 제시하였다. 표준자극의 경우 각

3) 본 연구에 사용된 가보 영상의 크기는 151픽셀이었고 3 주기를 가지고 있었다. 따라서 한 주기는 151/3 픽셀이었고 이를 위상으로 표시하면 360도 해당하였다. 따라서 151/3 픽셀 : 360도 = 1 픽셀 : x 도의 비례식을 풀면 한 픽셀은 위상으로 약 7.2도에 해당되었다.

눈에 투사되는 가보 영상의 위치를 한 픽셀만큼 옮겨 해당 양안시차를 가지도록 하였고, 비교자극에서는 가보영상의 위치는 고정된 채 정현파자극의 위상만 변화시킴으로써 양안시차를 부여하였다. 비교자극의 양안 시차는 한 픽셀에 해당되는 위상차인 7.2도를 중심으로 1.8도 단위로 증가하거나 감소하도록 하여 모두 7수준(1.8, 3.6, 5.4, 7.2, 9, 10.8, 12.6도)을 가지도록 하였다. 표준 자극과 비교자극은 응시점을 기준으로 좌, 우에 무선적으로 제시되었으며 비교 자극의 양안 시차의 크기도 무선적으로 제시되었다. 따라서 표준자극과 비교자극의 좌우위치 2수준과 비교자극의 양안시차의 크기 7수준에 의한 14개 실험 조건이 하나의 구획으로 결정되었으며 각 구획은 10번의 반복측정이 이루어졌다. 따라서 비교자극의 각 양안 시차크기 조건은 20번 반복 측정되었다.

### 5.1.2 예비실험의 결과

각 7개 양안시차 조건에서 표준자극이 비교자극보다 더 튀어나와 보인다고 반응한 시행의 비율을 프로빗(probbit)분석의 원자료로 삼아 표준자극의 지각된 입체시 깊이를 평가하였다. 그림 3에는 세 관찰자 중 한 관찰자의 결과가 대표적으로 제시되어 있다. 비교자극의 각 위상 값 조건에서 표준자극이 비교자극보다 더 튀어나왔다고 반응한 비율값

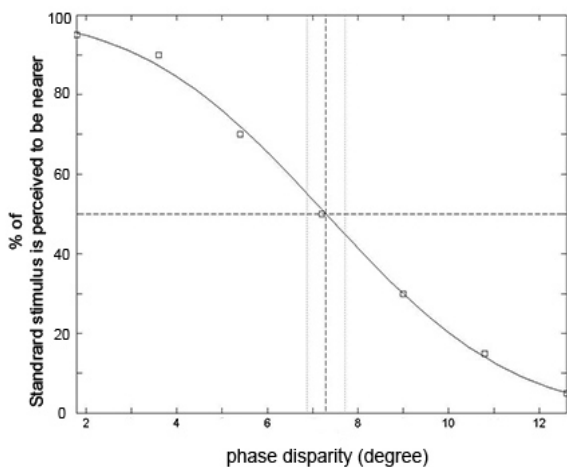


그림 3. 한 관찰자의 프리빗 분석의 결과  
 Fig 3. The results of probit analysis based on the data from one observer

과 이 값을 이용하여 프로빗 분석을 통해 얻어진 누적 가우시안 곡선이 제시되어 있다. 그림에서 굵은 점선은 표준자극과 비교자극의 깊이가 비슷한 비율(50%)로 지각된 지점 즉 역치를 나타내는데, 세 관찰자의 역치는 각각 8.3도, 7.2도, 8.8도로 나타났다. 세 관찰자 역치의 평균과 표준편차는 각각 8.1과 0.82로 나타났으며 이는 수학적으로 계산한 1 픽셀값에 해당되는 위상값 7.2도와 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다( $t(2)=1.90$ , NS).

비교자극의 위상차에 의한 양안시차의 크기는 픽셀로 환산하면 1/4픽셀에서 시작하여 1과 3/4픽셀에 이르기까지 1/4 픽셀씩 증가하는 것이었다. 각 개인별 결과와 그래프들은 모두 비교자극의 위상차에 의한 양안시차가 커질수록 표준자극이 더 튀어나왔다고 반응한 비율이 체계적으로 감소하고 있음을 보여주었다. 이러한 결과는 본 실험 환경에서 가보 영상의 위상 값을 변화시켜 양안시차를 부여한 자극에서도 입체시 깊이를 지각할 수 있으며, 위상차를 이용하여 픽셀 단위 이하로 양안시차를 조작하는 경우에도 깊이 변별이 신뢰롭게 이루어질 수 있음을 보여준다.

비록 3명의 피험자가 참여했지만 한 피험자가 각 조건당 20번씩 총 140번의 시행을 통해 역치를 측정하는 정신물리학적 방법을 사용했으며, 그림 3에서 볼 수 있듯이 양안시차의 크기가 커질수록 표준자극이 가깝다고 반응한 비율이 체계적으로 증가하고 있다. 그림에 제시되지 않은 나머지 2명의 반응 결과도 그림 3과 유사하였다. 이와 같은 결과들은 각 관찰자들의 반응이 매우 신뢰로운 것임을 보여준다.

### 5.1 본 실험 결과: 가보 자극과 무선점 자극에 의한 입체 시력 검사 결과 비교

예비 실험을 통해 가보 영상의 위상값을 변화시켜 양안시차를 부여하는 경우에도 입체 시력이 뛰어난 관찰자들은 신뢰로운 입체시 깊이를 산출할 수 있음을 확인하였다. 본 실험에서는 위상차에 의한 양안시차를 부여한 자극이 주어지는 경우 다양한 입체 시력을 가진 일반인들도 그들의 입체 시력에 따라 입체시 변별에서 수행 정도가 달라질 수 있는지를 확인하였다. 또한 본 실험의 결과가 기존의 입체 시력 평가도구로부터 얻어진 입체 시력 점수와 유의한 값을 가지는 지를 확인하였다.

무선점 입체그림을 사용한 입체 시력 검사와 가보 영상을 사용한 입체 시력 검사는 관찰거리는 달랐지만 시각도는 동등하게 유지되었다. 사전 검사에서 무선점 입체 시력 검사의 정답률( $74.7 \pm 24.0$ )은 가보 영상의 정답률( $54.1 \pm 19.8$ )보다 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났으며 ( $t(99)=9.52, p < .001$ ), 사후 검사에서도 무선점 입체 시력 검사의 정답률( $78.4 \pm 25.0$ )은 가보 영상의 정답률( $61.8 \pm 20.0$ )보다 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타나 ( $t(85)=7.35, p < .001$ ) 가보 영상에 의한 깊이 판단이 무선점 입체 영상에 의한 깊이 판단보다 어려운 것으로 나타났다. 지각된 깊이나 입체 시력 등은 주변에 놓여있는 자극에 의해 영향받게 되는데<sup>[16,17]</sup>, 이는 무선점 입체그림 자극의 경우 주변 점 자극들의 국소적인 윤곽에 의해 상대적인 양안 시차 정보가 추가적으로 사용되기 때문임을 시사한다. 이러한 점을 고려한다면 두 다른 과제에서 정답율의 차이는 무선점으로 만들어진 입체 자극의 경우 각 점들의 윤곽이 분명하고 무선점의 수도 많기 때문에 윤곽으로부터 국소적인 양안시차와 상대적인 양안시차 정보가 많이 제공되지만, 가보 영상의 경우 뚜렷한 윤곽정보가 없었기 때문에 국소적인 양안 시차와 상대적인 양안시차 정보가 적게 제공되었기 때문일 수 있다.

일반적으로 검사의 타당도는 기존의 타 검사 도구에서 얻어진 결과와 비교함으로써 확인될 수 있지만, 기존 입체 시력 검사에서 얻어진 결과를 본 연구의 결과와 직접 비교하기는 어렵다. 왜냐하면 기존 입체 시력 검사에서는 가장 큰 시차 차이를 가지는 자극에서 시작하여 시차 차이를 점점 줄여나가면서 피검자가 깊이 판단에 오류를 보이는 시차까지 자극을 제시한 후 해당 자극의 양안 시차 수준을 피검자의 입체 시력으로 결정한다. 따라서 동일 수준의 시차 자극에 대한 반복 측정이 매우 제한적으로 이루어진다. 이와 달리 가보 영상을 사용한 본 연구에서는 다양한 수준의 양안시차 자극을 제시하고 10번의 반복측정을 한 후 최종 정답률을 산출하였다. 역치와 정답율을 직접적으로 비교할 수 없기 때문에, 가보 영상에서 얻어진 결과의 타당도는 유사한 절차를 사용했지만 검사 자극만 무선점 입체그림을 사용하여 얻어진 결과와 비교하였다. 무선점 입체그림은 기존의 상용 입체시 검사도구들이 주로 사용하는 자

극이므로 이를 통해 가보 영상을 이용한 검사 결과의 타당도를 간접적으로 확인해 볼 수 있다. 사전 검사에서 무선점을 검사자극으로 사용한 결과와 가보 영상을 검사자극으로 사용한 결과들 간에는 유의한 상관 관계가 나타났으며 ( $r(86)=.44, p < .001$ ), 사후 검사에서도 두 검사 결과 간에 유의한 상관이 발견되었다( $r(86)=.53, p < .001$ ). 이러한 결과는 가보 영상을 이용하여 입체시 검사를 만드는 경우에도 무선점 입체 그림을 이용한 입체 시력 검사도구와 유사한 타당도를 가진 검사도구를 개발할 수 있음을 시사한다.

가보 자극을 사용하여 얻어진 검사결과가 신뢰로운 지를 확인하고 이를 무선점 자극을 사용하여 얻어진 검사결과들의 신뢰도와 비교해 보았다. 검사-재검사 신뢰도를 통해 검사의 신뢰도를 확인하기 위해 사전검사와 사후 검사 결과들 간의 상관관계를 확인하였다. 가보 자극을 이용한 검사결과와 재검사 결과 간에는 매우 높은 상관관계가 있음이 발견되었다( $r(86)=.82, p < .001$ ). 특히 이 상관 계수는 무선점 자극을 이용한 사전 검사와 사후 검사 결과들 간의 상관 계수( $r(86)=.88, p < .001$ )과 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 가보 영상을 사용하여 입체 시력 검사도구를 만드는 경우에도 무선점 입체 그림을 자극으로 사용하는 입체 시력 검사도구의 신뢰도와 유사한 정도의 신뢰도를 가질 수 있음을 보여 주었다. 측정된 입체 시력은 관찰거리와 무관하게 나타나므로 가보 영상과 무선점 입체 그림 자극을 사용한 검사 결과를 직접 비교하는 것이 큰 문제가 아니다.

표 1은 가보 영상을 사용하여 얻어진 사후 검사 결과의 백분위 점수와 이를 토대로 입체 시력을 크게 세 단계로 나눈 기준들이 제시되어 있다. 기준의 엄격한 정도에 따라 차이는 있지만 대략 인구의 약 5% 이상은 입체시를 보지 못하는 입체시맹(stereo blind)으로 나타난다<sup>[18]</sup>. 본 연구에 적용된 가보 자극은 네 개의 가보 영상이 포함되어 있었으며 그 중 한 영상의 양안 시차를 다르게 제시하였다. 따라서 깊이를 변별하지 못해 무선점으로 반응을 했다면 25%의 정답율을 얻었을 것이다. 따라서 표 1에서 약 30%의 정답률을 획득한 사람들의 누적 퍼센트가 5.8%로 나타난 것은<sup>[11]</sup>의 연구에서 보고된 입체시맹의 비율과 유사하다. 이들 입체시맹에 해당하는 피검자를 제외하고 나머지 피검자



표 1. 각 정답률과 해당 점수의 누적 퍼센트, 입체 시력 평가 결과들  
 Table 1. The percentage of the correct response, its cumulative percentage and stereo acuity results are shown

percentage of correct responses	cumulative percentage	evaluation
25	3.5	stereo-blind
30	5.8	
35	12.8	
40	15.1	low stereo acuity
45	18.6	
50	23.3	
55	24.4	
60	26.7	
65	29.1	
70	39.5	intermediate stereo acuity
75	46.5	
80	53.5	
85	68.6	high stereo acuity
90	80.2	
95	97.7	
100	100.0	

들을 정답률에 따라 세 수준으로 분류하였다. 약 70%의 정답률을 보이는 사람들까지 입체 시력이 낮은 집단으로 분류할 수 있으며, 75%에서 85%의 정답률을 보이는 사람들은 입체 시력이 중간정도인 집단으로 분류할 수 있고, 나머지 90% 이상의 정답을 보이는 집단은 입체 시력이 좋은 집단으로 분류할 수 있다. 입체 시력 검사의 결과에서 각 정답율이 상대적으로 어느 정도의 입체 시력을 갖고 있는지를 나타내는 백분위 점수를 제공하는 경우 그 결과는 보다 다양하게 적용할 수 있다. 즉, 표 1에서는 입체시맹을 제외하고 입체 시력을 세 단계로 구분하고 있지만, 이를 필요에 따라 보다 세분화된 단계로 구분할 수 있도록 백분위 점수를 5% 단위로 구분하여 제시해 놓았다.

기존의 입체 시력 검사 도구에서는 반복 측정이 제한적이었지만 본 연구에서는 시차 조건당 10번의 반복 측정을 수행하였다. 반복 측정이 많아질수록 그 결과의 신뢰성은

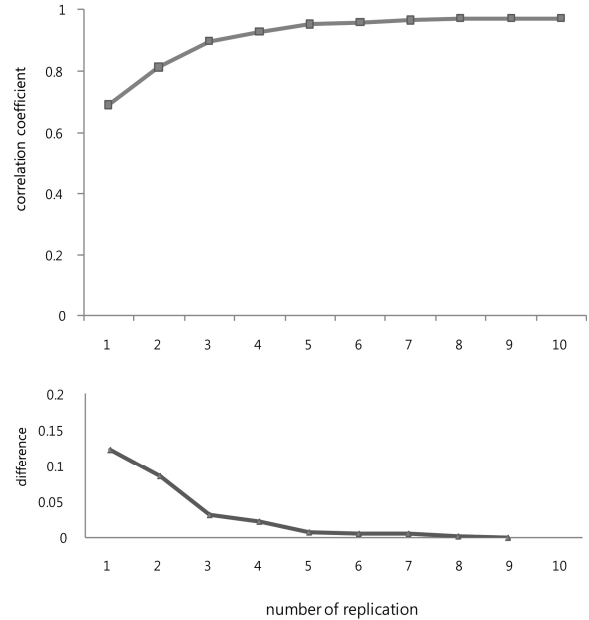


그림 4. 각 반복수까지 얻어진 정답률과 전체정답률의 상관계수(위)와 상관계수의 변화량(아래)

Fig 4. The correlation coefficients between correct responses from total trials and those from the given replications (above) and the difference in correlation coefficient (below).

높아질 수 있다는 장점이 있는 반면, 검사시간을 비롯하여 다른 비용의 증가가 불가피하다. 본 연구의 결과에서 얼마나 많은 반복 측정을 수행하는 것이 가장 효율적인지를 알아보기 위해서 각 반복 측정 후의 결과와 최종 10번을 반복한 후의 결과와의 유사성을 상관관계를 통해 알아보았다. 예상할 수 있듯이 그림 4에는 반복수가 많아질수록 해당 반복 수행에서 얻어진 정답률과 최종 정답률과의 상관관계는 높아지는 것으로 나타났다. 그러나 상관계수의 증가량은 네 번 반복 때 까지는 급격하게 변화하지만 여섯 번째까지는 그 변화정도가 줄어들며 여섯 번 이상에서는 반복을 추가해도 상관 계수의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 여섯 번 반복한 후에 얻어진 정답률이 10번 반복한 후에 얻어진 정답률과 거의 유사한 것임을 보여준다. 따라서 여섯 번 이상의 추가적인 반복은 효과가 없음을 시사한다. 보다 빠른 효율적으로 검사를 실시하기 위해서는 상관계수의 변화가 급격하게 일어나는 수준인 네 번 반복을 실시하는 것이 적합할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 가보 자극을 이용하여 입체 시력을 평가하는 것이 타당하고 신뢰로운 지를 탐색적으로 살펴보았다. 먼저 예비실험을 통해 가보 영상의 위상을 변화시킴으로써 한 픽셀보다 적은 값의 양안 시차를 부여하는 경우에도 해당 자극의 입체시 깊이가 변화됨을 확인하였다. 본 실험에서는 다양한 수준의 시차를 가진 가보 자극을 제시한 후 개인의 입체 시력을 평가하였다. 기존 입체 시력을 평가하는 데 사용된 무선점 입체그림을 이용한 결과와 비교해 볼 때 가보 영상을 사용한 입체 시력 검사도 충분히 타당하고 신뢰로운 검사가 될 수 있음을 확인하였다. 이 결과는 관찰 거리가 짧은 pc 환경에서 3D 모니터 상에서도 일반인들이 쉽게 자신의 입체 시력을 평가할 수 있는 도구를 개발할 수 있음을 보여준다.

최근 HMD의 사용이 증가하고 있는데, 다른 디스플레이에 비해 상대적으로 짧은 시청거리를 갖고 있다. 만일 HMD의 영상 장치에서 픽셀의 크기가 충분히 작게 제공되지 않는다면 기존의 입체시력 검사 도구를 적용하기 어렵다. 본 연구에서 제공된 가보 영상이 그 대안으로 사용될 수 있는데, 실제 적용가능한 지에 대한 확인은 HMD를 이용한 추가 실험을 통해서 가능할 수 있을 것이다. 또한 3D TV의 경우에서도 충분한 관찰거리가 확보되지 않아 무선점 입체그림으로는 충분히 작은 시각도의 입체 검사자극을 만들 수 없는 상황이 주어 질 수 있다. 가보 영상 자극은 이러한 환경에서도 쉽게 적용될 수 있다. 기존의 입체 시력 검사 도구들과 유사하게 각 개인의 입체 시력을 검사 결과물로 도출하기 위해서는 검사 자극의 양안 시차의 범위와 단계, 그리고 적절한 검사 절차를 확정하는 것이 추가적으로 필요하다.

### 참 고 문 헌 (References)

[1] Howard, I. P. Seeing in depth. Vol. 1 Basic mechanisms. Thornhill, Ontario, Canada: I Porteous, 2002.  
 [2] van Beurden, M. H. P. H., IJsselsteijn, W. A., & de Kort, Y. A. W. Effectiveness of stereoscopic displays in medicine : a review. 3D Research, vol 3 no 1, pp. 1-13, 2012.  
 [3] Gargantini, A., Facchetti, G., Vitali, A. A random dot stereoacuity test based on 3d technology. Proceedings of the 8th International

Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, Pervasive Health, pp. 358 - 361, 2014.  
 [4] Kim, J., Yang, H.K., Kim, Y., Lee, B., & Hwang, J. M. Distance stereotest using a 3-dimensional monitor for adult subjects, American Journal of Ophthalmology, vol. 151 no. 6, pp. 1081 - 1086, 2011.  
 [5] Breyer, A. Jiang, X., Rutsche, A., & Mojon, D. S. A New 3D Monitor -Based Random-Dot Stereotest for Children. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 47, pp. 4842-4846, 2006.  
 [6] Fujikado T, Hosohata J, Ohmi G, et al. Use of dynamic and colored stereogram to measure stereopsis in strabismic patients. Japanese Journal of Ophthalmology, vol. 42, pp. 101-107, 1998.  
 [7] Tychsens L. Binocular vision. In (Hart W. M. Eds). Adler's Physiology of the Eye: Clinical Applications, pp. 773 - 853. CV Mosby St. Louis, 1992.  
 [8] Cho, Y. A., Cho, S., & Roh, G. Evaluation of criteria of stereoacuity for Titmus, Randot & TNO Stereotest. Journal of The Korean Ophthalmological Society, Vol.40 No.2, pp. 532-537, 1999.  
 [9] Ardito M. Studies of the influence of display size and picture brightness on the preferred viewing distance for HDTV programs. SMPTE Journal, 103, pp.517 - 522, 1994.  
 [10] Withers, S. (Oct 3, 2014). TV Viewing Distance Guide. Retrieved from <https://www.avforums.com/article/tv-full-hd-ultra-hd-4k-viewing-distance-guide.10704>.  
 [11] Rempel D. Willms K. Anshel J. Jaschinski W. Sheedy J. The effects of visual display distance on eye accommodation, head posture, and vision and neck symptoms. Human Factors, vol. 49, pp. 830 - 838, 2007.  
 [12] Watson, A. B., Barlow, H. B., & Robson, J. G. What does the eye see best?. Nature, vol. 302 no. 5907, pp. 419-22, 1983.  
 [13] Tsui, S., Khuu, S. K., & Hayes, A. The perceived position shift of a pattern that contains internal motion is accompanied by a change in the pattern's apparent size and shape. Vision Research, 47, pp. 402-410, 2007.  
 [14] Ohzawa, G.C. DeAngelis, R. Freeman, R. Stereoscopic depth discrimination in the visual cortex: neurons ideally suited as disparity detectors. Science, vol. 249, pp. 1037 - 1041, 1990.  
 [15] Anzai, A., Ohzawa, I., & Freeman, R. D. Neural mechanisms underlying binocular fusion and stereopsis: Position vs. phase. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, vol. 94, pp. 5438 - 5443, 1997.  
 [16] Petrov, Y. & Glennerster, A. The role of a local reference in stereoscopic detection of depth relief. Vision Research, vol. 44, pp. 367-376, 2004.  
 [17] Glennerster, A., & McKee, S. P. Bias and sensitivity of stereo judgements in the presence of a slanted reference plane. Vision Research, vol. 39, pp. 3057 - 3069, 1999.  
 [18] Richards, W. Stereopsis and Stereoblindness. Experimental Brain Research, vol. 10, pp. 380-388, 1970.  
 [19] Ogle, K. N. Note on stereoscopic acuity and viewing distance. Journal of the Optical Society of America, vol.148, pp. 794 - 798, 1958.  
 [20] Brown, J. P., Ogle, K.N. & Reiher, L. Stereoscopic acuity and observation distance. Investigative Ophthalmology, vol. 4, pp. 894 - 900, 1965.

---

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 : 0000-0003-2456-345X
- 주관심분야 : 삼차원 공간지각 및 휴먼팩터