

보급형 액티브 셔터 방식 안경을 이용한 시각 실험 설계*

Designing Vision Experiment Using Active-Shutter Glasses System

강해인** · 현주석***

Hae-in Kang** · Joo-Seok Hyun***

중앙대학교 심리학과**

Department of Psychology, Chung-Ang University

Abstract

The effort of implementing realistic 3-D depth on 2-D images has been continued persistently with a theoretical understanding of depth perception and its related technical development. The present article briefly reviews a number of popular stereoscopes for studying stereoscopic depth perception according to their implementation principles, and introduces a behavioral experiment as a technical example in which the active-shutter glasses were used. In the present study, participants were tested for their visual memory against perceived depth among a set of items. The depth of the memory and test items was manipulated to be 1) monocular, 2) binocular, or 3) both-monocular-and-binocular respectively. The memory performance was worst in the binocular-depth condition, and best however in the both-monocular-and-binocular condition. These results indicate that visual memory may benefit more from monocular depth than stereoscopic depth, and further suggest that the storage of depth information into visual memory would require both binocular and monocular information for its optimal memory performance.

Key words : 3-D, stereoscope, active-shutter glasses, visual memory, Psychophysics Toolbox.

요약

2차원적 이미지에 생동감 있는 3-D 깊이감을 구현하기 위한 노력은 입체 지각에 대한 이론적 이해 및 그에 따른 기술적 발전과 더불어 오래 동안 지속되어 왔다. 본 논문에서는 입체경을 사용한 입체시 구현 원리에 기반을 둔 대중적인 입체경들을 간략히 개괄하고, 이들 중 액티브 셔터 방식의 입체경이 사용된 시각기억 실험 사례를 소개하였다. 실험에 참가한 피험자들은 자극들의 지각된 깊이를 기억하였으며, 이에 대한 기억 정확도가 측정되었다. 기억 및 검사를 위한 항목들의 깊이감은 1) 단안, 2) 양안 그리고 3) 단안과 양안 단서가 사용된 조건으로 각기 달리 처치되어 구분되었다. 참가자들의 기억 수행은 양안단서만이 처치된 조건에서 가장 낮았던 반면, 양안 단서와 단안단서가 동시에 구현되었을 때 가장 높았다. 이러한 결과는 시각기억이 깊이 정보를 저장할 때, 양안 단서를 통해 구현된 정보보다 단안 단서를 통해 구현된 정보를 더 효율적으로 저장하며, 양안단서와 단안단서가 동시에 사용되었을 때 가장 효과적인 기억 수행이 가능함을 시사한다.

주제어 : 3-D, 입체경, 액티브 셔터 글래스, 시각기억, Psychophysics Toolbox

* 본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2012-0002573)

† 교신저자: 현주석(중앙대학교 사회과학대학 심리학과, 인지 및 지각 심리학 전공)

Email : jshyun@cau.ac.kr

TEL : 02-820-5128

FAX : 02-816-5124

1. 스테레오스코픽 3D의 역사

평면적 매체를 통해 생생한 깊이감을 구현하는 것은 인류의 오랜 관심사였다. 평면적 영상에 깊이감을 부여하기 위한 노력은 14세기부터 유럽에서 발전한 르네상스 회화에서 잘 관찰되는데, 이 시기에는 원근법이 도입되면서 평면적 그림에 깊이 정보를 구현해 냈고, 대중들에게도 큰 반향을 불러일으켰다.

회화적 방식 외에도, 깊이감 구현 원리에 대한 탐구는 매우 오래전부터 진행되었다. 기원전 그리스 기하학자 Euclid는 인간의 양쪽 눈이 상이한 영상을 받아들이며, 이것이 입체감의 근원이라고 추정했다. 15세기의 수학자이자 예술가인 Leonardo Da Vinci는 입체시(stereopsis)에 대한 개념을 최초 제안했는데, 그는 양 눈으로 입력되는 동일한 대상으로부터의 상이한 영상이 깊이감의 근원이라고 설명하였다.

입체시 연구에 전환점이 된 사건은 1838년 Charles Wheatstone에 의한 입체경(stereoscope)의 발명이다(Figure 1). 그는 거울을 이용해 양 눈에 서로 다른 윤곽선 도형(line-drawing object)을 제시하여 입체감을 구현하였다. 이후 Brewster, Holmes 등에 의해 다양한 입체경이 개발되었고, 1839년 Daguerre에 의해 은판사진기술(daguerreotype)이 개발되면서 입체시에 대한 대중 및 학자들의 관심이 크게 증가하였다.

이후에도 양쪽 눈에 다른 색상의 필터를 장착해 양안시차(binocular parallax)를 구현하는 보색입체경(anaglyph) 및 특정 빛만을 통과시키는 편광필터가 사용된 디스플레이와 안경 등 다양한 입체시 관련 기술들이 연구되었다. 또한 사진 및 영상 산업이 발달하면서 첨단 기술과 장비 개발로 인해 몇 번의 입체시 부흥기가 왕래했으며, 2009년 개봉한 영화 아바타(Avatar)를 기점으로 다시 대중의 큰 관심을 받기 시작했다. 현재는 지금까지 축적된 촬영 및 디스플레이 기술과 시각 기관 및 입체시 원리에 대한 심층적 이해 그리고 다양한 콘텐츠 개발로 인해 광범위한 산업적, 학문적 접근이 가능해졌으며, 그 어느 때보다 입체시 연구가 활발히 진행되고 있다.

2. 현대의 입체시 연구 장비

최근의 기술 발전으로 인해 양쪽 눈에 상이한 영상

을 제시하는 다양한 방법과 장비들이 개발되고 대중화되었으며 따라서 일반 소비자들은 더욱 쉽게 3D 입체시를 경험하게 되었다. 이에 발맞추어 영상 제작 및 2차원 영상으로부터 3차원 영상으로의 변환(converting) 기술이 발전됨에 따라 3D 관련 콘텐츠 또한 폭발적으로 증가하고 있다. 입체시 연구자들 또한 새로운 장비의 개발과 보급으로 인해 양안시차가 구현된 자극을 이전보다 편리하게 제작하고 있으며, 실험 연구의 편의성 또한 크게 증대되었다.

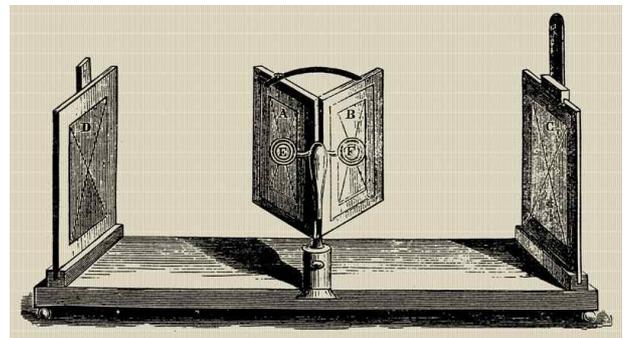


Figure 1 An illustration of the mirror stereoscope developed by Charles Wheatstone(1838). The images on the left and right mirrors (C, D) are reflected and arrive at each eye (E, F) by the mirrors placed on the left and right corner of the stereoscope. Adapted from "Contributions to the physiology of vision.—Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision" by C. Wheatstone, 1838, Philosophical transactions of the Royal Society of London, 128, 371-394.

본 논문에서는 입체경을 사용한 깊이 자극 구현 방법 중 최근 널리 사용되는 몇 가지 방법들에 대한 기술적 개요를 간략히 소개하고 그 중, 저가형 액티브 셔터 방식의 입체경이 활용된 시각기억(visual memory) 실험을 예시하는데 목적을 두었다. 특히 입체경의 구동 원리에 대한 이론적 접근보다는 보급형 액티브 셔터 방식의 입체경과 Psychophysics Toolbox간 연동이 시도된 구체적인 시각 연구 사례를 절차와 방법 위주로 상세히 소개하여, 입체시 연구에 입문하는 시각 연구자들이 손쉽게 실험 연구를 접할 수 있도록 도움을 제공하는데 목적을 두었다.

2.1. 입체경 방식(stereoscope system)

거울을 사용한 입체경은 현재 많은 입체시, 혹은 양안경쟁 연구자들이 선호하는 연구도구 중 하나이다. 이 방식은 분리된 두 개의 화면, 혹은 한 화면에 독립되어 제시되는 두 자극을 거울로 반사시켜 각각의 눈에 제시하는 방법을 사용한다.

입체경 방식의 가장 큰 장점은 양안시차를 초래하는 두 영상이 양쪽 안구로 정확히 분리 제시되어 양쪽 눈 사이의 혼선(crosstalk)이 없는 양안시차를 구현한다는 점이다. 따라서 양안 경합(binocular rivalry)을 연구하는 실험 등에 흔히 사용된다(Chopin, Mamassian, & Blake, 2012). 또한, 피험자의 눈에는 거울을 통해 반사된 영상이 제시되기 때문에, 영상 제시 수단에 큰 제한이 없다. 예를 들어, 도안 및 인화된 영상은 물론 컴퓨터 화면, TV, 심지어는 실생활의 물체도 양 눈에 독립적으로 제시할 수 있다.

하지만 거울을 사용한 입체경은 광학적으로 특수 제작된 거울 사용이 요구되며, 두 개의 독립된 자극을 공간적, 위치적으로 동기화시키는 것이 어렵다. 또한 참가자들은 머리와 눈의 위치가 장비에 근접 또는 접촉해야하고 그 위치가 고정되므로 적지 않은 불편과 피로감을 경험할 가능성이 있다.

2.2 셔터 안경 방식(active-shutter glasses system)

셔터 안경 방식은 120Hz이상의 높은 주사율(frame rate)을 보유한 모니터가 양 눈에 각각 입력될 두 영상을 번갈아 빠르게 제시하고, 개별 제시 시점에 맞추어 참가자가 착용한 안경의 좌우 셔터가 개폐를 반복해 양안 시차를 제공한다. 셔터의 개폐와 영상 간 전환은 1/60초 단위로 빠르게 수행되므로 일반인의 눈으로는 셔터 개폐와 영상 간 전환이 지각되지 않는다. 따라서 안경을 착용하지 않고 화면을 보게 되면 양 눈에 제시될 영상이 겹친 상태로 보인다.

이 시스템의 큰 장점은 시각 피로가 적다는 점이다. 참가자는 전자 장치가 포함된 안경을 착용하고 화면을 응시하는데, 이 때 머리와 목의 움직임, 신체 자세가 앞선 입체경 방식에 비해 자유롭다(Sakano &

Ando, 2010). 또한 화면이 자연스럽게 정면에 위치하므로 피로나 심리적 부담이 경감되며, 양안시차를 가진 두 영상을 융합시키는 것이 편안해진다(Baker, Meese, & Hess, 2008). 실험자 입장에서도 장비의 규모가 절약되어 공간적, 금전적으로도 효율적이다¹⁾.

셔터방식의 단점은 양 눈으로 입력되는 영상 간 혼선의 발생 가능성이다. 양 눈으로 입력되는 영상이 단일 화면에 제시므로 반대편 눈으로부터의 영상이 완전히 차단되지 않아 고스트이미지(ghost image)가 발생할 수 있다. 또한 편광 방식이나 보색입체경에 비해 안경이 크고 무거우며 전원 공급을 위한 전선 및 충전이 요구된다는 번거로움이 있다.

2.3 편광 필터 안경(polarized filter glasses system)

편광 필터 방식은 화면과 안경에 특정 빛만을 통과시키는 필터를 장착하고, 이를 통해 양 눈에 상이한 영상을 제시하는 방법이다. 최근 3D TV 등에 흔히 적용되며, 안경에 전자 장치가 추가되지 않아 충전이 필요 없고 가벼우며 다수가 동시에 시청할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 셔터글래스 방식에 비해 양 눈으로 제시되는 영상 사이의 혼선이 비교적 적으며 화면 깜빡임이 없어 눈의 피로 또한 적다. 하지만 단일 디스플레이에 두 영상이 교차 제시(interlaced)되므로 영상 해상도 저하가 필연적이며, 영상을 제시하는 디스플레이 설계가 복잡하여 일반적 시각실험 환경에 다소 부적합한 단점이 있다.

2.4. 보색입체경(Anaglyph)

보색입체경에서는 보색 관계를 가지는 색상 필터가 각각의 눈에 장착되어 특정 색상의 영상을 차단하고 보색 관계의 영상만을 통과시켜 양쪽 눈에 다른 영상을 제시한다. 보색입체경은 과거로부터 많이 사용된 방식으로, 안경이 저렴하고 가벼우며 자극 구성이 편리하여 많은 관련 서적 및 영상물에 사용되었다. 하지만 색상 필터에 의한 색정보 왜곡 및 손실로 인해 색상 자극을 제시하는 데에는 적합하지 않다. 또한 안경

1) 시각자극 제시에 널리 사용되는 다양한 소프트웨어(예: Psychophysics toolbox)와의 연동이 가능하기 때문에 여러 자극의 구성과 제시가 가능하다. 이러한 장점들로 인해 많은 시각 연구자들이 셔터안경 방식을 이용해 연구를 진행한다. Psychophysics toolbox가 제공하는 자극 제시 방식에 대한 내용은 본 논문 끝부분의 부록 1에 소개하였다.

을 장시간 착용하면 눈에 피로감을 주므로 장시간의 시각 실험에는 권장되지 않는다.

3. Active shutter glasses system을 이용한 양안깊이단서와 단안깊이단서 처리 효율성 차이 연구 사례

본 단락에서는 서두에 소개된 입체시 연구 장비들 중 액티브 셔터 안경 시스템과 시각 연구에 널리 사용되는 소프트웨어인 Psychophysics toolbox를 연동한 시각기억(visual memory)에 대한 실험 사례를 소개한다. 본 실험에서는 양안깊이단서(binocular depth cues)를 이용해 구현된 깊이 자극과 단안깊이단서(monocular cues or pictorial cues)를 이용해 구현된 깊이 자극이 시각기억에 저장되는 정보의 파지 효율성에 있어서 차이를 초래하는지를 관찰하였다.

3.1. 실험의 목적

최근 양안시차에 기반을 둔 입체시에 대한 폭발적인 관심에도 불구하고, 인간의 기억, 주의 등 고등 인지 과정에서 입체시의 중요성 및 역할에 대한 연구는 극히 드물었다. 이러한 인지 과정들은 의식(consciousness)의 근간을 구성하며 입체시 구현을 위한 기술 발전이 초래하는 인간의 행동적 변화를 예측하기 위해 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 양안시차에 의해 구현된 입체시 자극들이 고등 인지 체계인 시각기억에 미치는 영향을 조사하였다.

양안 깊이 단서에 근거한 원근감은 대개 신경계의 감각적이고 자동적 처리에 근거할 가능성이 크다. 특히 양쪽 눈으로 입력되는 상이한 영상에 의한 양안부등(binocular disparity) 정보는 이를 처리하는 뇌세포의 감각적이고도 반사적 반응에 근거해 의미 있는 깊이 정보로 해석될 가능성이 크다.

반면 이차원적 단안 깊이단서에 근거한 원근감은 양안 단서에 대한 감각적, 반사적 처리와는 달리 일상 생활의 시각 경험을 통해 학습된 인지적(cognitive) 이해에 기인할 가능성이 크다. 예를 들어, 경험적으로 같은 크기일 수밖에 없는 두 물체 중 하나가 시야에서 작게 보이면 상대적으로 크게 보이는 다른 물체보다 멀리에 위치한다는 ‘상대적 크기(relative size)’에

근거한 깊이 지각 원리가 대표적이다.

두 종류 원근감의 상반된 특성을 고려할 때, 시각기억과 같은 인지적 시스템은 양안 깊이 단서 보다는 단안 깊이 단서 정보에 상대적으로 더 민감할 것을 예측할 수 있다. 기존 연구에 따르면, 시각기억은 기억이 요구되는 항목의 개별적 속성들의 조합보다는 이 속성들을 포괄하는 객체 중심적 표상방식에 의존하며(Vogel, Woodman, & Luck, 2001), 피험자의 의지나 과제 맥락 등의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Chun & Jiang, 1998). 이는 시각기억이 감각적 처리 보다는 인지적 처리 속성이 강한 체계임을 의미한다. 이처럼 시각기억의 인지적 특성을 고려할 때, 감각적 양안단서에 의해 기억자극의 깊이감이 구현된 경우보다 인지적 단안단서에 의해 구현된 경우 기억 처리가 더욱 원활할 수 있다.

본 실험에서는 이러한 예측을 근거로 양안 및 단안 단서에 대한 기억파지 효율성을 관찰함으로써, 두 단서가 원근감이 구현된 시각자극에 대한 기억 파지에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위해 인지적인 요소가 강한 단안단서를 통해 구현된 깊이자극과, 감각적이고 자동적 속성이 강한 양안시차를 이용해 구현된 자극에 대한 기억 과제의 정확도를 비교하였다. 또한 복합단서 조건을 통해, 두 단서가 동시 사용되었을 때의 기억 정확성 또한 조사하였다.

3.2 시스템 구성

실험 자극 제시 환경은 nVidia사의 3D Vision Kit (shutter glasses와 IR emitter)와, Samsung 2233RZ 모니터, Quad-buffer 모드를 지원하는 nVidia사의 Quadro FX580 VGA카드로 구성되었으며 Windows 7 운영체제를 사용하는 PC를 이용해 진행되었다²⁾. 실험 자극은 Matlab 프로그램과 Psychophysics toolbox를 통해 구성되었으며(Brainard, 1997), 액티브 셔터 방식 안경과 연동된 LCD 모니터에 제시되었다.

3.3 실험 자극

실험은 총 세 개의 구획으로 구성되었다. 첫 구획은 양안깊이단서 구획으로, 참가자들에게 제시되는 깊이 정보는 양안시차를 통해 구성되었다. 24인치 모니터

2) nVidia 3D vision kit는 Windows Vista, Windows 7, Windows XP 운영체제에서만 공식 드라이버를 지원한다.

의 $6.09^\circ \times 6.09^\circ$ 시야각(visual angle) 내에 $0.71^\circ \times 0.71^\circ$ 크기의 색상 도형 네 개가 제시되었다. 도형의 색상은 빨강, 파랑, 녹색, 검정, 노랑, 하늘색, 자주색, 흰색의 총 8개 색상 중 네 종류가 비복원추출(without-replacement)되었다. 각 자극의 양안부등 정도는 사전 실험에서 결정된³⁾ 1.07° , 0.53° , 0° , -0.53° , -1.07° 의 다섯 단계 중 하나로 결정되었다.

둘째 구획은 단안깊이단서 구획으로, 피험자들은 자극의 크기와 상대적 위치 변화를 토대로 자극 깊이를 판단하였다. 자극의 크기와 위치는 총 다섯 단계 중 한 단계에 속하였다. 가장 멀리 있는 자극은 화면 중앙을 기준으로 $5.83^\circ \times 5.83^\circ$ 영역에 $0.74^\circ \times 0.74^\circ$ 크기의 사각형으로 제시되었으며, 두 번째 단계의 자극은 $7.11^\circ \times 7.11^\circ$ 영역 내에 $0.84^\circ \times 0.84^\circ$ 크기의 사각형으로, 세 번째 단계의 자극은 $8.67^\circ \times 8.67^\circ$ 영역 내에 $0.95^\circ \times 0.95^\circ$ 크기의 사각형으로 제시되었다. 네 번째와 다섯 번째의 경우 각각 $10.56^\circ \times 10.56^\circ$, $12.87^\circ \times 12.87^\circ$ 의 영역 내에 $1.13^\circ \times 1.13^\circ$, $1.44^\circ \times 1.44^\circ$ 크기의 사각형으로 제시되었다.

셋째 구획은 단안깊이단서와 양안깊이단서가 동시에 제공되는 복합단서 구획으로, 자극의 깊이정보는 사각형의 크기, 상대적 위치, 그리고 양안부등 정도를 통해 구현되었다. 복합단서 구획은 참가자들이 한 종류의 단서(단안 혹은 양안단서) 중 하나를 선택적으로 고려하는지 아니면 두 단서를 모두 고려하는지를 확인하는데 목적을 두었다. 복합단서 구획의 자극 크기와 위치는 단안단서 구획과 동일하였으며, 양안부등의 정도는 양안단서 구획과 동일하였다.

3.4 실험 절차

총 24명의 피험자들은 깊이정보의 제시 방법에 따라 구분된 세 개의 구획 중 하나에 할당되었다. 피험자들은 구획 내에서 깊이 변화탐지 과제와 색상 변화탐지 과제를 수행하였으며 구획 제시 순서는 피험자별로 역균형화(counter-balanced)되었다.

깊이 변화탐지 과제 시행의 예시가 Figure 2에 도해되었다. 개별 시행의 시작과 함께 600ms동안 네 개의

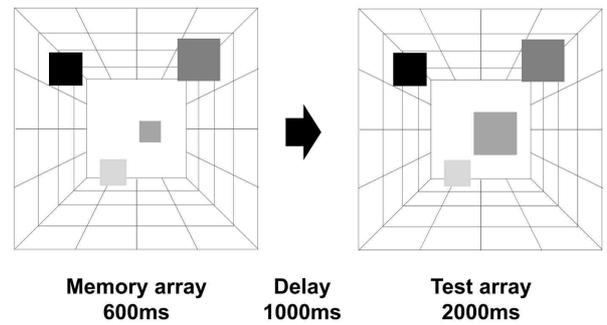


Figure 2 An illustration of a no-depth-change trial example in the monocular depth block. The participants remembered the relative depth of four-colored squares, and reported if the depth of an item has changed or not when the test (comparison) squares were displayed after a second of a memory delay. In the present example, the depth of the square around the center changed

색상도형을 포함한 기억항목들이 제시되었다. 개별 항목의 색상과 위치는 시야의 지정된 영역 내에서 매 시행마다 무선 추출되었다. 이 단계에서 참가자들은 제시된 깊이단서에 근거해(조건에 따라 양안단서, 단안단서, 복합단서) 각 도형의 깊이 수준을 기억하도록 지시받았다. 색상 도형이 사라진 뒤 기억지연 시간에 해당하는 1초 동안 빈 화면이 제시되었으며 뒤이어 기억 항목과의 비교를 요구하는 검사항목들이 제시되었다. 전체 시행 중 절반의 시행에서는 검사항목 중 한 항목이 대응되는 기억항목 중 한 항목과 깊이 수준을 달리했으며(depth-change trial) 나머지 절반의 시행들에서는 기억항목과 검사항목의 깊이 수준이 동일했다(no-depth-change trial). 참가자들은 키보드의 ‘z’ 또는 ‘/’ 키를 눌러 기억과 검사 항목 간 깊이 수준 변화의 유무를 보고하였다.

양안 단서만이 사용된 구획에서는 입체시에 대한 피험자 간 민감도 차이를 최소화하기 위해 본실험 전 깊이 지각에 대한 사전 평가(pre-test)가 실시되었다⁴⁾. 사전평가의 개별 시행이 시작되면 실험에 사용되는 다섯 단계 중 한 단계에 해당하는 깊이를 가진 단일 색상도형이 제시되었다. 참가자는 이 도형의 깊이를 기억한 후, 뒤이어 제시된 화면에서 자신이 앞서 본 자극의 깊이를 판단하도록 요구받았다. 사전평가에

3) 사전실험에서, 이중상을 경험하지 않으면서 깊이감이 분명한 것으로 보고된 양안시차 $\pm 1.07^\circ$ 를 최대 깊이 값으로 선택했으며 이 값과 양안시차가 전혀 없는 0° 사이의 중간치인 $\pm 0.53^\circ$ 값을 추가해 총 다섯 단계의 깊이 단계를 설정하였다.
 4) 본 연구 말미의 부록2에 예시된 Psychophysics toolbox 스크립트는 사전 평가 실험에서 사용된 것임을 밝혀둔다.

사용된 자극의 깊이감은 Figure 3에 예시되었다. 피험자들은 20시행 단위로 평가 정확도에 대한 피드백을 받았으며, 실제 깊이와 피험자의 깊이 평가가 0.9 이상 상관을 보일 때 사전평가가 종료되었다.

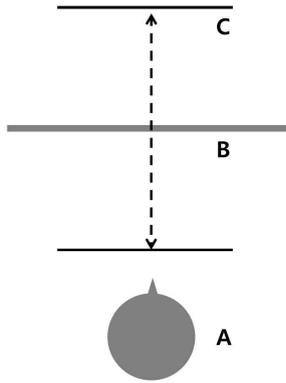


Figure 3 An illustration of the pre-test procedure in the binocular depth cue condition. The participants determined whether remembered depth of the squares were on the plane of either A or C relative to the plane of the monitor surface B. The pre-test persisted until the participants start reporting accurate depth of the memory squares with a correlation above .90 between the stimulus depth itself and their estimated depth

3.5 실험결과 및 논의

본실험의 깊이 및 색상 변화탐지 정확도가 Figure 4의 (A)에 도해되었다. 깊이 단서의 종류와 변화탐지과제의 종류 변인에 대한 반복측정에 근거한 2원 변량분석(repeated-measure 2-way ANOVA)을 실시한 결과 깊이 단서종류와 변화탐지과제 변인의 주효과는 모두 유의미했으며, 각각, $F(2, 21) = 29.9, p < .001, F(1, 21) = 28.2, p < .001$, 두 변인 간 상호작용 또한 유의미하였다, $F(2, 21) = 28.7, p < .001$.

두 변인 간 상호 작용에 대한 정확한 해석을 위해 색상 변화탐지 구획과 깊이 변화탐지 구획 별로 양안/단안/복합 조건에서 관찰된 변화탐지 정확도에 대한 일원변량분석을 실시하였다. 그 결과, 색상 변화탐지 구획에서는 정확도의 차이가 발견되지 않았으나, $F(2, 21) = .851, p > .05$, 깊이 변화탐지 구획에서는 유의미한 차이가 발견되었다, $F(2, 21) = 136.38, p < .001$. 이는 기억 과제에 구현된 항목들의 입체감 변화에 관계

없이 색상에 대한 기억만을 요구할 경우 깊이 단서의 종류 자체는 기억 정확도에 큰 영향을 미치지 않았음을 의미한다. 반면에 색상 변화 여부에 관계없이 입체감에 대한 기억만을 요구한 경우, 단안단서가 구현된 경우(단안 및 복합 조건)에 비해 양안 단서만이 구현된 경우 기억 파지가 매우 부정확했음을 의미한다.

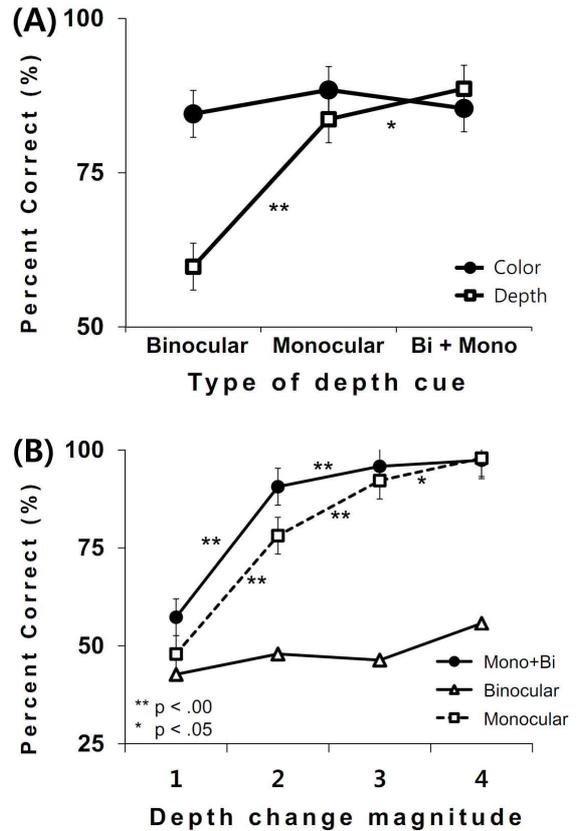


Figure 4 (A) The results of color(filled circle) and depth (outline box) change detection accuracies in the present experiment (B) The results of depth change detection accuracy as a function of depth-change magnitude. The error bars indicate 95% confident interval according to Loftus and Masson (1994)

깊이 변화탐지 구획에서 얻어진 정확도를 깊이 변화량에 따라 세분화시킨 결과가 Figure 4의 (B)에 도해되었다. 깊이 변화량은 기억항목의 깊이수준에서 비교항목의 깊이수준을 뺀 값의 절대값을 의미한다. 깊이 변화탐지 구획의 정확도에 대해 깊이변화량(1,2,3,4)과 단서종류(양안/단안/복합) 두 변인에 대한 2원 변량분석을 실시한 결과 두 변인의 주효과는 모두 유의미했으며, 각각, $F(3, 63) = 60.6, p < .001, F(2, 21) = 85.5, p < .001$, 두 요인의 상호작용 역시 유의미하

였다, $F(6, 63) = 9.33, p < .001$.

깊이 변화량 증가에 따라 상대적으로 유사한 정확도 증감 패턴을 보인 복합단서 조건과 단안단서 조건의 차이를 검증하기 위해 단서의 종류(단안/복합)와 깊이변화량 두 변인에 대한 추가적인 변량분석이 실시되었다. 그 결과, 단서종류에 따른 주효과는 발견되지 않았으나, $F(1, 14) = 3.457, p > .05$, 깊이 변화량의 주효과는 유의미했으며, $F(3, 42) = 152.3, p < .001$, 두 변인 간 상호작용 또한 유의미했다, $F(3, 42) = 3.0, p < .05$. 이 결과는 양안 및 단안 깊이 단서가 동시 제공된 경우, 그 중 하나만이 선택되기보다는 두 단서가 모두 고려되며, 이 경우 기억 수행이 가장 윤택했던 것으로 해석할 수 있다.

본 실험의 결과는 양안부등만으로 깊이감이 구현될 경우 자극이 시각기억에 효과적으로 파지되지 못함을 보여준다. 특히 양안단서 조건의 상대적 깊이 차이가 최대(4단계 변화)가 된 경우조차 깊이 변화탐지 정확도는 우연수준(50%)에 머물렀다. 반면 기억항목의 깊이감 구현 단서에 단안단서가 사용된 경우(단안, 복합)에는 깊이 변화탐지 정확도가 현저히 회복되며, 깊이 변화량이 증가할수록 정확도가 비례해 증가하는 것이 관찰되었다. 흥미로운 점은, 양안단서만이 사용된 경우 기억 수행에 큰 도움을 주지 못한 것으로 나타난 양안부등 정보가 단안 단서와 함께 사용된 복합 조건에서는 기억 수행의 상대적 향상을 초래했다는 점이다. 이는 최적의 시각 기억 수행을 위해서는 양안 깊이단서와 단안깊이단서 양쪽 모두가 필요할 가능성을 시사한다.

4. 종합논의

본 논문은 스테레오스코픽 입체시를 구현하는 장비들의 구동 원리를 간략히 개괄하고 시각 기억 과제를 사용한 행동적 실험 사례와 함께 액티브 셔터 방식 안경과 Psychophysics toolbox를 연동하는 방식을 소개하였다. 양안과 단안 깊이단서, 혹은 두 단서 모두가 사용된 자극들에 대한 기억 정확성을 관찰한 결과, 양안 단서만이 사용된 경우 기억 수행이 가장 부정확했던 반면 단안 단서가 사용되었을 때는 정확도가 큰 폭으로 회복되었다. 특히 양안과 단안단서가 함께 사용되었을 때 기억 수행이 가장 정확했다. 이는 시각기억에서 깊이 정보가 저장될 경우 양안 깊이단서보다는 단안 단서가 더 중요하며, 두 종류 단서가 동시 제공

될 경우 기억 수행이 가장 향상됨을 의미한다. 또한 두 정보가 동시 제공되면 하나의 단서만을 선택하는 것이 아니라, 두 정보 간 상호작용으로 인해 깊이감에 대한 기억 파지(memory retention)가 촉진됨을 의미한다.

양안 깊이단서만이 사용된 조건에서의 깊이 변화탐지 정확도의 저하에 대한 원인으로서는 실험에 사용된 3-D Vision kit에 의한 양안시차 구현 자체가 감각적으로 그다지 효과적이지 못했기 때문임을 의심할 수 있다. 그러나 양안시차에 대한 감각적 변별을 요구한 사전 평가과제의 결과, 물리적 양안시차의 정도와 참가자가 평가한 깊이감 간 상관 정도가 반복 연습 이후 모두 0.9를 상회하였다. 따라서 본 실험에서 양안단서 구현의 저조한 변화탐지 정확도는 3D Vision kit에 의해 구현된 깊이 정보에 대한 감각적 변별의 어려움보다는 양안부등 정보 자체에 대한 기억 파지의 어려움에 기인했음을 의미한다.

그럼에도 불구하고 단일 실험에 근거한 본 연구의 결론은 비약적 해석에 그칠 가능성이 있으므로 다양한 종류의 감각 및 기억과제를 사용한 반복검증이 필요한 것으로 판단된다. 미루어 볼 때, 본 연구의 결과에 대한 해석은 자극 속성을 단기기억에 저장하고 이를 검사자극과 대조하는 기억 과정의 특성에 대한 이해에만 국한된다. 따라서 양안단서의 상대적 비효율성이 기억에 국한된 현상인지 아니면 감각 및 기억 모두를 포함하는 일반적 특성인지에 대한 정확한 해석을 위해서는, 시각탐색(visual search)과 같은 감각적 과제에서 양안단서와 단안단서의 상대적 영향력을 관찰해 보는 것이 바람직할 것이다.

이외에도, 깊이감의 변화는 연속적(continuous)인 변화선상에 놓여있는 반면, 색상과제는 단속적(discrete)인 변화에 한정되므로 두 과제 사이에 현격한 질적 차이가 있었을 가능성도 존재한다. 추후 연구에서 색상보다는 방위선분(orientation bar)의 기울어짐 각도에 대한 변화탐지와 같은 보다 연속적 변화가 발생하는 자극을 시도해 볼 필요가 있다.

한편으로는, 본 논문에서 소개된 실험의 결과는 액티브 셔터 방식을 이용한 입체 자극 구현 방식이 일반적인 시각 실험을 수행하기 위한 적절한 기준을 충족시킬 가능성을 보여준다. 또한 적절한 구동 소프트웨어와 연동될 경우, 상대적으로 낮은 비용이 소요되는 액티브셔터 방식의 안경이 실험 자극 구현과정에서 고가의 입체경 장비에 대한 효과적 대안이 될 가능성을 시사한다.

그럼에도 불구하고 본 연구에서 사용된 액티브 셔터 방식의 입체감 구현에는 양안 영상 간의 혼선이라는 문제점이 항상 존재한다. 이러한 문제점이 정확히 통제되지 못할 경우 일반적인 시각 실험에서 잘못된 결과 해석에 도달할 가능성은 매우 크다. 본 연구의 양안단서 조건 또한 양안부동에 근거한 깊이감의 정확성이 변화탐지에 결정적인 역할을 하므로 이와 같은 혼선에 대한 추가적인 통제 실험이 여전히 필요한 상황이다.

또 다른 제한점은 시각 피로감이다. 양안시차가 구현된 자극의 경우 참가자는 안구의 수렴(convergence)과 조절(accommodation)간 불일치에 노출되는데, 결과적으로 이는 양안단서 조건에서의 상대적 피로감을 유발시켜 부정확한 기억 수행을 초래할 수 있다. 물론 실험의 시행수를 최소화해 과제 수행시간을 40분 내외로 제한했으나, 그럼에도 불구하고 시각 피로의 가능성을 배제하기는 어렵다. 또한 셔터클래스 안경의 특성상 착용 후 시야가 상대적으로 어둡게 느껴지며 셔터가 지속적으로 개폐되므로 이 또한 피로 문제를 야기할 수 있다.

추후 연구에서는 양안 입력 영상 간 혼선을 최소화하고 시각 피로감이 최소화된 시스템을 이용해(예: 편광안경 방식이나 입체경 시스템) 본 실험의 결과를 반복 검증해 보는 것이 바람직 할 것이다.

REFERENCES

- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
- Baker, D. H., Meese, T. S., & Hess, R. F. (2008). Contrast masking in strabismic amblyopia: attenuation, noise, interocular suppression and binocular summation. *Vision Research*, 48(15), 1625-1640.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial vision*, 10(4), 433-436.
- Chopin, A., Mamassian, P., & Blake, R. (2012). Stereopsis and binocular rivalry are based on perceived rather than physical orientations. *Vision Research*, 63, 63-68.
- Chun, M. M. & Jiang, Y. (1998). Contextual Cueing: Implicit Learning and Memory of Visual Context Guides Spatial Attention. *Cognitive Psychology*, 36,

28 - 71.

- Loftus, G. R. & Masson, M. E. J. (1994). Using confidence intervals in within-subject designs. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(4), 476-490.
- Sakano, Y. & Ando, H. (2010). Effects of head motion and stereo viewing on perceived glossiness. *Journal of Vision*, 10(9), 1-14.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1), 92-114.
- Wheatstone, C. (1838). Contributions to the physiology of vision.--Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 128, 371-394.

원고접수: 2012.07.30

수정접수: 2012.09.14

게재확정: 2012.10.25

<부록 1> Psychophysics toolbox와 연동된 입체자극 제시 방법

Psychophysics toolbox는 자체적으로 다양한 방식의 입체자극 제시 방식을 지원하며, 스크립트를 수정하여 모드의 전환이 손쉽게 가능하다. Psychophysics toolbox에서 기본적으로 제공되는 입체자극 제시 방식은 StereoDemo(stereoMode) 명령어를 통해 확인 해 볼 수 있다.

1. frame sequential stereo mode (StereoMode=1)

Psychtoolbox에서 지원하는 첫 번째 입체자극제시 옵션은 프레임 순차 표시 방식(frame sequential stereo mode)이다. 이 옵션은 Psychtoolbox가 구동되는 OS에서 지원하는 셔터 안경과 연동하여 시간적으로 분리된 이미지를 순차적으로 제시하는 방법으로 양 쪽 눈에 상이한 이미지를 제시한다. 이 옵션을 사용하기 위해서는 120Hz이상의 주사율을 가진 모니터와, Quad-buffer mode를 지원하는 그래픽카드(예: nVidia 사의 Quadro FX series, ATi사의 FireGL, FirePro series 등), 그리고 active shutter 방식을 이용하는 입체안경(nVidia사의 3D vision, Cambridge research system사의FE-1, Real D 사의 Crystal eyes series 등)과 안경과 모니터의 동기화를 조절하는 IR emitter 등이 필요하다.

2. Parallel display - Free and Cross fusion (StereoMode=4, 5)

입체시를 제시하는 두 번째 방식은 이미지를 한 화면에 나란히 제시하는 방식이다. Psychtoolbox는 좌, 우의 눈으로 들어갈 각각의 이미지를 각각 좌, 우측(free fusion mode)과 우, 좌측(cross fusion mode)에 나란히 제시한다. 이 방식을 이용하기 위해서는 하나의 스크린을 두 개로 나뉘서 볼 수 있는 보조 도구를 사용하거나 (입체경 등), 눈의 정렬을 바꿔서 자극을 응시해야 한다(양안 교차법이나 양안 평행법을 이용)

3. Anaglyph stereo for color filter glasses (StereoMode=6, 7, 8, 9)

세 번째 방식은 보색입체경(anaglyph)를 사용하는 방법으로, 이미지는 적색-녹색, 혹은 적색-청색의 두 채널로 나누어져서 한 스크린에 겹쳐 제시되게 된다. 피험자는 해당 색상 조합의 보색입체경을 착용하고 실험을 진행하게 되며, 렌즈의 색상 필터가 해당 색상은 차폐하고 보색을 띤 자극만을 받아들임으로써 양안시차가 발생하게 된다. Psychtoolbox에서는 이러한 적-청, 청-적, 적-녹, 녹-적 색상 필터 모드를 지원한다.

4. Dual-Window stereo mode (StereoMode=10)

네 번째 방식은 dual-window stereo 방식으로서, 두 개의 독립된 모니터에 자극을 제시하는 방식이다. 이 방식 역시 거울 방식 입체경을 이용해 양 쪽 눈에 다른 스크린을 비추는 형식으로 양안시차를 제공한다. 이 방식은 두 모니터 사이의 제시 시간을 맞추기 위해 고성능의 그래픽카드와 모니터를 필요로 하며, Windows 운영체제 내에서는 영상 제시 과정에서 타이밍 오류가 잦은 것으로 알려져 있다.

<부록 2> Frame sequential 방식을 이용한 깊이지각 pretest script – psychophysics toolbox

% 본 스크립트는 Psychophysics toolbox에서 제공하는 stereoscopic 입체시 제시 스크립트(stereoDemo.m)를
% 참고하여 실험에 적합하도록 작성되었음.
% 본 스크립트는 Windows7, Matlab 2008, Psychophysics Toolbox version-3 환경 하에서 테스트되었음.

```
function stereo_pretest
%%stereo setting starts
AssertOpenGL; Screen('Preference', 'SkipSyncTests', 0); ScreenNumber = max(Screen('Screens'));
[win, rects] = Screen('OpenWindow', ScreenNumber, [0 0 0], [], [], [], 1); % stereo mode 1
HideCursor; KbName('UnifyKeyNames')
% Assorted variables
[wWidth,wHeight] = RectSize(rects); CentX = wWidth/2; CentY = wHeight/2;
depPix2 = [ -30 , -15, 0, 15 , 30] ; %binocular disparity (in pixels)
trialN = 20; stimsz = 50; % number of trial and stimulus size
colorList = [255 0 0;0 255 0;0 0 255;255 202 0;255 71 222;0 255 255;128 128 128];
mycolorList = zeros(trialN,3); expEnd = 0; %initializing parameters
for k = 1:trialN
    colorIndex = randperm(7); mycolorList(k,:) = colorList(colorIndex(1,:));
end
tempN = size(depPix2,2);
if tempN < trialN ;
    tempN2 = trialN/tempN;
    if mod(trialN,tempN) ~= 0 ; tempN2 = tempN2 - (mod(trialN,tempN)/tempN) + 1;
    end
    for i = 1:tempN2-1 ; depPix2 = [depPix2 depPix2]; end
end
indexdep = randperm(trialN);
for i = 1:trialN ; depPix(1,i) = depPix2(1,indexdep(i)) ; end
depList = depPix ;
% Clear Screen
Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 0); Screen('FillRect',win, [0 0 0]);
Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 1); Screen('FillRect',win, [0 0 0]);
Screen('Flip', win); WaitSecs(.2);
% trial start
for i = 1:trialN
    if expEnd == 0
        keyfCode = 0; termination = 0; depPer = 0; myDep = depPix(i);
        table1(i,1) = myDep; waitSecs(.5);
        % memory item presentation
```

```

while termination == 0
    % frame drawing
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 0);
    Screen('FrameRect', win, [255 255 255], [CentX-300, CentY-300, ...
        CentX+300, CentY+300], 50)
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 1);
    Screen('FrameRect', win, [255 255 255], [CentX-300, CentY-300, ...
        CentX+300, CentY+300], 50)
    % colored-square drawing
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 0);
    screen(win, 'FillRect', mycolorList(i,:), [CentX-stimsize-((myDep)/2)-depPer, ...
        CentY-stimsize, (CentX)+stimsize-((myDep)/2)-depPer, (CentY)+stimsize]);
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 1);
    screen(win, 'FillRect', mycolorList(i,:), [CentX-stimsize+((myDep)/2)+depPer, ...
        (CentY)-stimsize, CentX+stimsize+((myDep)/2)+depPer, CentY+stimsize]);
    Screen('Flip',win);
    %response for the next step
    [a,b,keyCode] = kbCheck ;    inputKey = find(keyCode);
    if isempty(inputKey) == 0
        if strcmp(kbName(inputKey),'Return') ; termination = 1; end
    end
end
end
%% response routine starts
termination2 = 0; depEval = 0; keyCode = 0; a = 0; b = 0; waitSecs(.5);
while termination2 == 0
    %% head drawing
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 0);
    Screen('FillArc', win, [255 255 255], [CentX-50, 600, CentX+50, 700],0,360)
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 1);
    Screen('FillArc', win, [255 255 255], [CentX-50, 600, CentX+50, 700],0,360)
    %% monitor drawing
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 0);
    screen(win, 'FillRect', [255 255 255], [CentX-200, CentY-150, (CentX)+200, (CentY)-145]);
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 1);
    screen(win, 'FillRect', [255 255 255], [CentX-200, CentY-150, (CentX)+200, (CentY)-145]);
    %% colored-square drawing
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 0);
    screen(win, 'FillRect', mycolorList(i,:), [CentX-stimsize, CentY-150-depEval, ...
        (CentX)+stimsize, (CentY)-145-depEval]);
    Screen('SelectStereoDrawBuffer', win, 1);
    screen(win, 'FillRect', mycolorList(i,:), [CentX-stimsize, CentY-150-depEval, ...
        (CentX)+stimsize, (CentY)-145-depEval]);
    Screen('Flip',win);

```

```

        [a,b,keyCode] = kbCheck ; inputKey = find(keyCode);
    if isempty(inputKey) == 0
        currentInput = kbName(inputKey) ;
        if strcmp(currentInput,'UpArrow');
            if depEval > 100 ; depEval = depEval;
            else depEval = depEval + 1;
            end
        elseif strcmp(currentInput,'DownArrow') ;
            if depEval < -100 ; depEval = depEval; else depEval = depEval - 1; end
        elseif strcmp(currentInput,'Return');
            termination2 = 1; depEval = depEval; table2(i,1) = depEval;
        elseif strcmp(currentInput,'F2'); expEnd = 1; break
        else depEval = depEval;
        end
    end
end % for termination2
end % for expEnd
end % for i
tempNum = size(table2,1) ; table1 = table1(1:tempNum) ;
display(strcat('correlation :',num2str(corr(table1,table2))));
Screen('CloseAll'); close all ; clear all ; ShowCursor;

```