

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제18권 제1호, 2013년 1월 (JBE Vol. 18, No. 1, January 2013)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.1.66>

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

양안시차에 따른 다양한 3D 자극의 크기지각 예측함수 개발

박종진^{a)}, 이형철^{a)}, 김신우^{a)†}

Screen Disparity and Size Perception Function of Various 3D Stimuli

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

요 약

최근 다양한 환경에서 사용할 수 있는 3D 디스플레이가 활발하게 보급되었으나, 3D 콘텐츠의 보급은 그에 미치지 못하고 있다. 3D 콘텐츠의 확산을 저지하는 원인으로 주로 언급되는 것은 시각 피로이지만, 그에 못지않게 영상 왜곡의 영향 역시 크다. 신윤호, 이형철, 김신우 (2012)는 앞선 연구에서 단순한 자극에 대한 크기 지각 왜곡 효과를 측정하고 화면 시차와 크기 지각 사이에 선형적 관계가 존재함을 보고하였다. 본 연구에서는 이에 더하여 정사각형, 자유 선, 입방체 등 다양한 자극 특성이 자극 크기 지각에 미치는 영향을 크기 맞추기 과제를 사용하여 측정하였다. 그 결과 앞선 연구의 결과와 마찬가지로 화면 시차에 따라 지각된 크기가 선형적으로 변화하는 것을 확인하였으며, 이러한 선형성은 대상의 종류와 무관하게 일관되게 관찰되었다. 화면시차와 크기지각의 관계를 시각도 (visual angle)에 의한 크기변화 예측함수로 제시하였다. 이 함수를 사용하면 영상제작에서 특정 화면시차의 자극이 시청자에게 어떤 크기로 지각될 지를 미리 예측할 수 있어 매우 유용할 것으로 기대한다.

Abstract

Although there has been much advance in the development of 3D displays of various purpose, 3D contents are not yet so used as expected in those displays. One well-known obstacle in the enjoyment of 3D contents is visual fatigue, but another major issue is image distortion of 3D contents. In the previous research, Shin, Li, & Kim (2012) reported systematic linear relationship between screen disparity and size perception of a simple object whose retinal size was constant across different disparities. In this research, we intended to generalize the previous finding by using various 3D stimuli in the test of the relationship between screen disparity and size perception of those stimuli. Consistent with previous findings, our data indicated that size perception linearly changes as a function of screen disparity and the linearity was observed in all stimuli types we used in this research. We described the empirical relationship between screen disparity and size perception in the form of prediction function for size perception in which visual angle is the predictor. This function will be very useful in the creation of 3D contents as one can make reasonable predictions on the to-be-perceived size of an object being filmed using screen disparity of their camera setting.

Keyword : Binocular disparity, Size perception, 3D display, Reverse function

a) 광운대학교(Kwangwoon university)

† Corresponding Author : 김신우 (ShinWoo Kim)

E-mail: shinwoo.kim@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5421 Fax: +82-2-941-9214

※ 이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2012S1A5A8024163)

· Manuscript received October 24, 2012 Revised January 7, 2013 Accepted January 7, 2013

1. 서론

3D 영상의 개념 자체는 매우 오래 되었으나 실제로 대중에게 널리 알려지게 된 계기는 2009년 영화 아바타의 성공이 계기가 되었다. 그 후 영화관 뿐 아니라 다양한 시청 환경에서 3D 영상을 시청할 수 있는 다양한 디스플레이가 시판되기 시작하여 현재 TV, 모니터, 모바일 환경 등 다양한 시청 환경에서 3D 영상물을 접하는 것이 가능하게 되었다. 3D 영상을 제시하는 방법은 다양하지만 그 원리는 모두 동일하다. 디스플레이 하나에서 두 눈에 서로 다른 영상을 제시할 수 있도록 구현 되었다면 무엇이든 3D 디스플레이로 사용할 수 있기 때문이다. 왜냐하면 2D 와 3D 디스플레이 사이의 가장 큰 차이가 양안 시차의 구현 여부이기 때문이다. 사람의 두 눈은 성인을 기준으로 평균 약 6~7cm 정도 좌우로 떨어져 있으며 그 때문에 외부 세계의 상이 두 눈에 수평으로 약간 다른 시점에서 맺히게 되는데 이 차이를 양안 시차라고 한다. 양안 시차는 2D 영상에서 느낄 수 없는 추가적인 공간감을 부여하여 영상에 생동감과 역동성을 줄 수 있으며, 공간적 관계를 쉽게 지각할 수 있도록 돕는다. 따라서 3D영상을 응용할 수 있는 분야는 영화, 게임 등 영상물 분야에만 국한된 것이 아니라 의학적 용도나 학습 등 영상의 공간적 구조를 파악할 필요가 있는 분야라면 어떤 분야라도 응용할 수 있다. 해부학 자료나 복잡한 도형처럼 2D 그림만 가지고 공간적 관계를 이해하기 어려운 영상에 양안시차를 추가하면 자연스럽게 공간적 관계를 지각할 수 있기 때문이다.

그러나 3D 영상이 가진 장점에도 불구하고 영화 산업을 제외하고 3D 영상의 활성화는 지체되고 있는 실정이다. 그 주된 원인으로 크게 입체 시각 피로와 영상 왜곡 현상 두 가지 요인을 들 수 있다.

잘 알려진 바와 같이 3D 디스플레이에 제시된 영상은 2D 영상이나 실제 사물과 다르게 안구통증, 울렁거림, 상하림 등 고유한 시각 피로 및 불편함을 유발하는 경향이 있다. 이는 주로 양안 시차에 의하여 유발된 수렴-조절 불일치 현상에 의하여 발생한다^[1]. 수렴-조절 불일치 현상은 3D 영상을 시청할 때 특정 조건 아래에서 본래 강하게 묶여 있는 수렴 눈 운동과 조절 작용이 강제로 분리되는 현상이다. 수

렴 눈 운동은 대상이 깊이 수준에서 움직이거나 다른 깊이를 가지는 위치에 있는 대상을 바라보기 위하여 두 눈을 서로 반대방향으로 움직이는 현상을 가리키며, 조절 작용은 망막에 상이 깨끗하게 맺히도록 수정체의 두께를 조절하여 굴절률을 변화시키는 작용을 가리킨다. 일반적으로 수렴과 조절은 강하게 묶여 있어 수렴 눈 운동이 조절 작용을 유발시키고 조절 작용이 수렴 눈 운동을 유발시키는데 이를 수렴-조절 결합이라고 부른다. 자연적인 환경에서는 수렴-조절 결합이 다가오는 물체나 멀리 있는 물체를 빠르고 정확하게 볼 수 있도록 돕는 중요한 역할을 한다. 그러나 3D 디스플레이를 통하여 영상을 볼 때는 시각 피로의 원인이 된다. 3D 디스플레이에 제시된 영상의 초점은 항상 디스플레이가 있는 위치에 존재하게 된다. 반면에 수렴 눈 운동은 양안 시차에 의하여 유발되기 때문에 영상에 깊이감을 주면 그에 비례하여 디스플레이로부터 먼 거리에 수렴점이 형성된다. 즉 초점과 수렴이 분리된다. 이 현상이 시각 피로의 주된 원인이며, 이 현상이 입체감을 유발하는 화면 시차에 의하여 유발되기 때문에 원천적으로 제거하는 것은 불가능하다.

또한 상대적으로 덜 주목받는 현상이지만 3D 디스플레이를 통하여 보는 영상은 같은 영상을 2D로 볼 때에 비하여 왜곡되어 보이는 경향이 있다. 영상 왜곡 현상 역시 수렴과 조절이 영향을 주지만 촬영, 즉 영상 제작 문제까지 더해져 더욱 복잡하다. 특히 3D 영상이 실감 증진과 공간적 관계 지각을 돕기 위하여 사용된다는 것을 생각해 보면 영상 왜곡 현상 역시 반드시 해결해야 하는 문제이다. 영상 왜곡 현상은 크게 깊이감 왜곡과 크기 왜곡으로 나눌 수 있다. 깊이감 왜곡은 3D 디스플레이를 통하여 제시되는 양안 시차가 촬영 조건이나 촬영 거리 등의 변인 때문에 자연적인 환경에서 얻게 되는 양안시차에 비하여 달라지기 때문에 발생하게 된다. 이는 촬영 거리, 관찰 거리, 촬영 시 카메라 수렴 거리 등에 따라서 체계적으로 변화하게 된다. 사람의 경우 양안에 거의 같은 상이 맺히기 때문에 10 m 이상의 거리에 있는 대상에 대해서는 양안 시차에 대한 입체감을 느낄 수 없다. 그러나 축구 경기 촬영처럼 먼 거리에 있는 대상을 촬영하는 경우 영상에 입체감을 주기 위하여 카메라 간 거리를 조작하게 되고, 이런 방법으로 영상에 양안

시차를 주게 되면 대상의 깊이감이 왜곡되어 영상 속의 대상들이 카드 판처럼 납작하게 보이는 카드보드 효과가 나타난다^[2]. 크기 왜곡은 대상이 실제 크기나 2D 디스플레이를 통해 보이는 크기에 비하여 부자연스럽게 크거나 작게 지각되는 현상을 가리킨다. 이 현상은 망막에 맺히는 상의 크기에 추가로 양안 시차에 의한 깊이 정보가 제시되기 때문에 발생한다. 양안 시차는 추가적인 깊이 정보를 제공하기 때문에 양안 시차를 가지는 영상은 디스플레이에서 튀어나와 보이거나 더 들어가 보이게 된다. Emmert의 법칙에 따르면 이러한 거리 정보는 대상이 가까이 있는 것으로 지각되면 작게 느껴지도록 만들며, 대상이 멀리 있는 것으로 지각되면 크게 지각되도록 만든다^[4]. 즉, 양안 시차에 의하여 제시되는 거리 정보가 크기 정보를 체계적으로 변화시킨다. 많은 3D 영상물에서 실감을 위하여 대상이 튀어나와 보이게 만드는데 이는 대상이 더 작게 보이도록 만든다. 인형 극장 효과^[3]라고 부르는 이 현상은 3D 영상을 시청하는데 실감을 저해시킨다. 앞서 언급한 두 현상 모두 기하학적인 관계에 의하여 예측하는 것이 가능하지만 완벽하게 예측하는 것은 불가능하다. 자극이 동일하다고 해서 지각이 동일한 것은 아니며, 영향을 줄 수 있는 변인이 매우 많아 심리학적 고려가 필요하기 때문이다.

신윤희, 이형철, 김신우 (2012)^[5]는 지각적인 양안 시차가 크기 왜곡에 미치는 영향을 측정하여 보고하였다. 그들은 크기 왜곡을 측정하기 위하여 화면 시차가 제시된 자극과 화면시차가 없는 자극의 크기를 동일하게 만드는 과정을 사용하여, 크기 왜곡을 화면 시차에 대한 지각된 크기의 함수로 측정하였다. 지각된 크기는 화면 시차에 비례하여 변화하였으며, 교차 시차인 경우에는 자극이 작게 지각되고 비교차 시차인 경우에는 자극이 크게 지각되는 경향을 보였다. 그러나 이 결과를 3D 영상에 그대로 적용시키기에 한계가 있다. 양안 시차는 대상이 3차원 공간에 존재하기 때문에 발생하며 이런 과정에서 자극의 공간 주파수나 텍스처, 자극 자체의 깊이 등 다양한 요소가 크기 지각에 영향을 미칠 가능성이 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 앞선 연구의 단순한 사각형 자극에 추가로 선으로만 구성되어 높은 공간주파수를 가진 자극과 추가적인 단안 단서를 가진 자극을 추가하여 양안 시차에

의하여 유발된 크기 지각 왜곡이 자극의 단안단서에 의하여 영향 받는지 확인하고자 하였다. 본 연구에서는 앞선 연구 [5]에서 사용한 크기 맞추기 과제를 그대로 사용하였으며 추가로 자극 종류를 두 조건 더 포함하여 각 조건에서 양안 시차에 의하여 유발된 크기 지각 왜곡을 확인하고 자극 종류에 따른 차이를 확인해보고자 하였다.

II. 실험

1. 참가자 및 장치

광운대학교 학부생 및 대학원생 27명이 참가하였다. 모든 참가자들은 정상 시력 또는 교정된 정상 시력을 가지고 있었다.

3D 자극을 제시하기 위해 1920x1080의 해상도와 60Hz의 화면 갱신률을 지원하는 현대IT 주식회사의 3D 디스플레이 S465D (화면 너비 101.8 cm, 높이 57.3 cm)를 사용하였다. 이 모니터가 지원하는 3D 제시 방식은 편광 방식 (Glass Pattern Retarded Type)으로, 편광안경을 착용하면 1080개의 세로 열 중 짝수 열 (540개)에 나타나는 영상은 왼쪽 눈에 제시되고 홀수 열 (540개)에 나타나는 영상은 오른쪽 눈에 제시되며 각 눈에 제시되는 영상에 화면 시차를 주어 관찰자가 양안 시차 정보에 의한 깊이를 지각하는 것이 가능하다.

실험에 사용한 자극은 Matlab과 심리학 실험용 함수 모음인 Psychtoolbox 3를 사용하여 제시하였다^[6]. Psychtoolbox 3를 사용하면 모니터 화면 갱신율과 해상도에 맞춰 자극을 정확하게 제시할 수 있다.

2. 실험설계 및 자극 구성

양안 시차를 가지는 자극이 3D 디스플레이를 통하여 제시되었을 때 지각되는 크기는 교차 시차로 제시되면 화면 크기보다 작게, 비교차 시차로 제시되면 화면 크기보다 크게 지각된다^{[4][5]}. 본 연구에서는 이에 더불어 자극 종류가 지각된 크기 변화에 미치는 영향을 검증하고 측정결과의 신뢰성을 담보하기 위하여 참가자에게 두 가지 과제를 수

행하도록 요청하였다.

첫 번째 과제는 실험 가설을 검증하기 위한 것으로 앞선 연구^[5]에서 사용한 과제와 동일하게 구성된 크기 맞추기 과제였다. 이 과제의 목적은 크기는 다르지만 모양이 같은 도형 두 개 중 하나의 크기를 다른 자극의 크기와 동일하게 지각되도록 조작하고 입력하는 것이었다. 매 시행마다 회색 배경에 도형 두 개가 제시되며 화면 중앙을 기준으로 왼쪽 위에 제시되는 도형(기준 자극, 좌상단 기준 30 cm, 15 cm에 위치)은 모든 시행에서 크기가 일정하였고 오른쪽 아래 제시되는 도형(조절 자극, 좌상단 기준 60 cm, 35 cm에 위치)은 매 시행마다 기준 자극에 비하여 크기가 50% 크거나 작게 제시되었다.

자극 특성이 지각된 깊이에 주는 영향을 확인하기 위하여 선행 연구에서 사용된 자극인 정사각형 자극에 더하여 고주파의 공간주파수 성분을 가지는 자유 선과 추가적인 단안 깊이 정보를 가지는 입방체의 총 세 가지 자극을 실험에 사용하였다(그림 1). 정사각형은 앞선 연구^[5]에서 사용한 자극과 동일한 자극으로 한 변의 길이가 15 cm였고 흰색(255/255/255, RGB)이었다(그림 1 a). 자유 선은 부정형 자극으로 15 cm범위 내에서 자유롭게 변하는 곡선으로 선은 검은 색(0/0/0, RGB)이었고 선이 없는 자극 영역 부분은 배경과 동일한 회색이었다(그림 1 b, 흰색 파선 제외). 입방체는 단안 단서만 가지는 육면체의 투사형이었다. 정면, 윗면, 측면의 세 영역으로 표시된 흰색 자극으로 각 면은 선 없이 오직 색만 다르게 정의되었다. 입방체의 크기는 앞면의 너비 및 높이 15 cm, 윗면과 옆면은 1/4 (3.75 cm)이었다. 각 면의 색은 윗면의 색 흰색 (255/255/ 255, RGB)을

기준으로 앞면의 밝기는 90% (229/ 229/229, RGB), 옆면의 밝기는 80% (204/204/204, RGB) 였다(그림 1 c).

자극의 시차는 실험 조건에 따라서 기준 자극(기준 시차 조건) 또는 조절 자극(조절 시차 조건) 중 한 자극에만 주었다. 화면 시차는 관찰거리 2 m (0.5 디오퍼), 동공 간 거리 6.5 cm를 기준으로 0.1 디오퍼 단위로 조작하였다. 디오퍼는 거리에 역수를 취한 값으로 양안 시차와 선형 관계를 가지기 때문에 거리를 디오퍼 단위로 정의하면 양안 시차를 동일한 간격으로 유지할 수 있다. 자극의 상대적 거리는 시차 없는 조건인 0.5 (2 m) 디오퍼를 포함하여 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 디오퍼로 총 7 조건을 사용하였다. 따라서 자극의 화면 시차는 각각 관찰자로부터 5 m, 3.3 m, 2.5 m, 2 m, 1.67 m, 1.43 m, 1.25 m 거리에 존재하는 물체의 양안 시차와 동일하였다. 즉 2 m 조건에서 자극은 화면상에 존재하며 이보다 가까운 거리의 자극은 교차 시차로, 먼 거리의 자극은 비교차 시차로 제시되었다. 화면 시차 조건을 시각도로 변환하면 각각 $-1^{\circ}7'$, $-44.7'$, $-22.3'$, 0 , $22.3'$, $44.7'$, $1^{\circ}7'$ 시각도로 일정한 간격으로 변화하였다.

크기 맞추기 과제는 자극 종류 및 시차 조건에 따라서 총 6개 블록으로 수행되었다. 자극 종류는 앞서 언급한 정사각형, 자유선, 입방체 중 하나를 무선적인 순서로 배치하였고 시차 조건은 각 자극 종류에 대하여 기준 시차 조건을 먼저 수행하고 조절 자극 조건을 수행하거나 또는 그 역순으로 수행되었다. 참가자들은 매 시행마다 기준 자극에 비하여 크거나 작게 제시된 조절 자극의 크기를 조작하여 두 자극의 크기가 동일하게 지각되도록 맞출 것을 요청받았다.

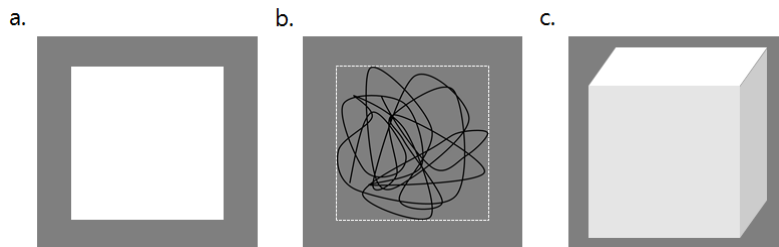


그림 1. 실험에서 사용한 세 가지 종류의 자극들: 사각형, 자유선, 육면체
Fig. 1. Three types of stimuli used in the experiment: Rectangle, free line, and cube

두 번째 과제는 깊이 변별 과제로 양안 시차에 의하여 유발된 입체 지각의 정확도를 측정하기 위하여 수행되었다. 크기 맞추기 과제는 양안 시차에 의한 정상적인 깊이 지각을 필요로 하지만 모든 사람이 정상 양안시를 가진 것은 아니다. 사람에게 따라서 교차, 비교차, 또는 양 방향 시차에서 제대로 깊이 지각을 할 수 없거나 수행이 현저하게 떨어지는 경우가 존재한다. 따라서 이 과제의 목적은 양안 시차에 의한 깊이 지각이 적절하지 않은 참가자를 걸러내기 위한 것이었다. 참가자는 매 시행마다 화면 중앙에 제시된 무선 점 사각형 자극이 스크린보다 튀어나와 보이는지 들어가 보이는지 가능한 한 빠르게 응답하도록 요청받았다.

깊이 변별 과제의 자극은 화면 중앙에 5% 빈도의 무선 점으로 구성된 사각형 자극이었다. 사각형을 이루는 점의 분포는 매 시행마다 무선적으로 제시되었다. 매 시행마다 사각형의 화면 시차는 세 조건 중 하나였는데 시차가 없거나, 2화소 크기를 가지는 교차 또는 비교차 시차로 제시되었다.

3. 절차

참가자들은 실험이 피로를 유발할 수 있으며 언제든지 그

만들 수 있다는 설명을 포함한 실험 안내를 받았다. 참가자들은 모니터로부터 2 m (0.5디오퍼) 떨어진 거리에서 깊이 맞추기 과제를 수행한 다음 깊이 변별 과제를 차례로 수행할 것을 요청받았다. 크기 맞추기 과제는 정사각형, 자유선, 입방체의 자극 종류 세 조건과 기준 시차 조건, 조절 시차 조건의 수행 순서 두 가지를 교차한 6개 블록으로 구성되었다. 도형 세 종류의 순서는 순서 효과를 배제하기 위하여 역균형화 하여 6개의 진행 순서를 구성하였고 여기에 자극 종류 조건에 기준 시차 조건과 조절 시차 조건을 적용하는 순서 두 가지(기준시차-조절시차 순서, 조절시차-기준시차 순서)를 교차하여 총 12개의 진행 순서를 사용하였다. 참가자는 이 진행 순서 중 어느 하나에 무선적으로 할당되었다. 실험을 시작하면 회색 배경에 기준 자극과 조절 자극이 나타나며, 참가자들은 조절 자극을 조작하여 두 도형의 크기를 가능한 한 정확하게 동일한 크기로 지각되도록 바꾸고 키보드로 입력하도록 요청받았다. 크기가 입력되면 입력에 대한 반응으로 도형이 0.5초간 점멸하였다(그림 2a). 각 세션 별 시행 횟수는 조절 자극의 초기 크기 2조건 (50% 크거나 작음) 과 깊이 7조건 (0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8) 을 교차하여 3회 반복 수행하여 총 42 시행이었다. 각 시행

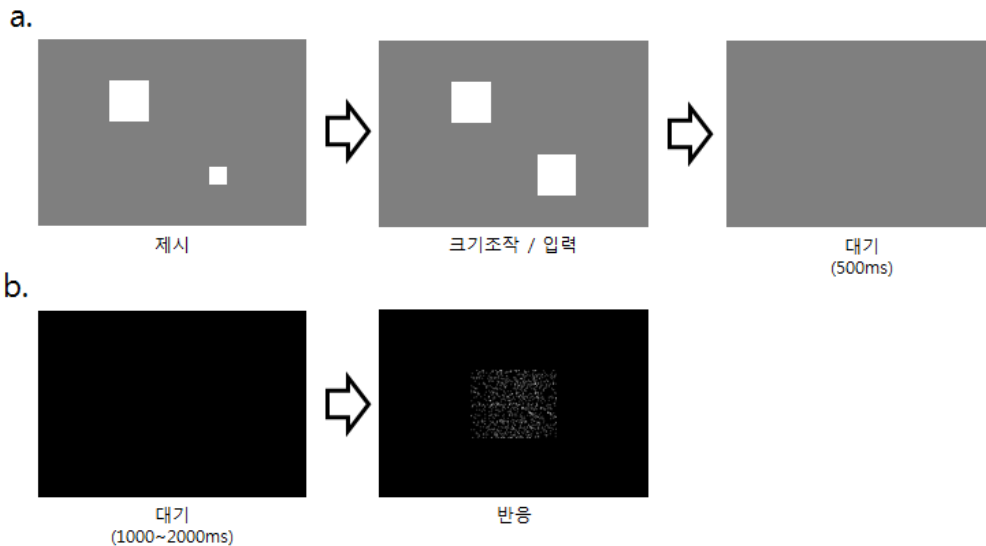


그림 2. 크기맞추기 과제 (a)와 깊이변별과제 (b)의 진행절차
 Fig. 2. Procedure for size matching task (a) and depth discrimination task (b)

에서 초기 크기 및 깊이는 무선적으로 제시되었고 반응 시간 제한은 없었다. 참가자들이 한 세션을 끝내면 피로 누적을 방지하기 위하여 3분의 휴식 시간을 주었다. 휴식하는 동안 디스플레이에 검은색 화면이 제시되었으며 3D 안경을 벗은 상태로 휴식하였다.

참가자들은 첫 번째 과제를 마치고 입체시 정확도를 측정하기 위한 깊이 변별 과제를 수행하였다. 참가자들은 화면에 제시된 무선 점으로 구성된 사각형이 화면에 제시되었는지 아니면 화면보다 나오거나 들어가 있는지 가능한 한 빨리 판단하여 반응하도록 요청받았다. 화면 시차는 매 시행마다 무선적으로 제시되었다. 또한 참가자가 다음 자극이 나오는 시간을 예측하지 못하게 하기 위하여 각 시행 사이에 1~2초의 간격을 두었다 (그림 2b). 이 과제는 자극 3개를 한 블럭으로 총 20번 반복하였으며 앞선 10회의 시행은 연습 시행으로 결과 분석에서 제외하고 나머지 10회의 시행만 분석에 사용하였다.

4. 결과 및 논의

수집된 자료의 타당성과 신뢰성을 검토한 결과 전체 참가자 27명 중 10명의 자료만 분석에 사용되었다. 수집된 자료의 검증은 두 단계로 수행되었다. 첫째, 자료의 타당성을 검증하기 위하여 깊이 변별 과제 결과를 사용하여 3D 자극에서 깊이를 적절하게 지각하지 못하는 참가자의 자료를

제거하였다. 크기 맞추기 과제는 참가자의 깊이 지각 능력이 정상일 때 그 결과를 신뢰할 수 있기 때문이다. 참가자의 깊이 지각 능력을 변별하기 위하여 두 번째 과제인 깊이 변별 과제에서 우연 수준 (33.3%)보다 높은 기준 (50%)의 정답률을 보인 참가자의 자료만 분석에 사용하였다. 그 결과 참가자 8명이 50%보다 낮은 평균 정답률을 보여 그 자료를 제거하였다. 둘째, 수집된 자료의 신뢰성을 검증하기 위하여 상대적 깊이 조건에 따라 측정된 크기가 체계적으로 변화하는지 검증하였다. Emmert의 법칙과 앞선 연구^[5]에 따르면 지각된 크기는 시차에 따라서 체계적으로 변화된다. 즉 지각된 크기는 상대적 깊이 조건에 따라 평균 차이를 가져야 하고, 그 차이는 체계적으로 변화하여야 한다. 따라서 참가자가 과제를 성실하게 수행하였는지 확인하기 위하여 각 참가자마다 상대적 깊이 조건에 따른 측정된 크기의 평균 차이를 반복측정 분산분석으로 검증하였고, 그 변화가 체계적인지 확인하기 위하여 선형 회귀 분석의 기울기가 통계적으로 유의미한지 검증하였다. 그 결과 상대적 깊이 조건에 따른 평균 차이를 보이지 않았거나 그 차이가 체계적이지 않은 참가자 9명의 자료를 추가로 제외하여 총 10명의 자료를 분석에 사용하였다.

Emmert의 법칙과 앞선 연구에 따르면 삼차원 디스플레이를 통해 제시된 양안시차는 거리 단서로 사용되어 지각된 크기를 변화시킨다^{[4][5]}. 교차 시차를 가지는 자극은 크기가 같고 시차가 없는 자극에 비하여 더 가까운 거리에 있는

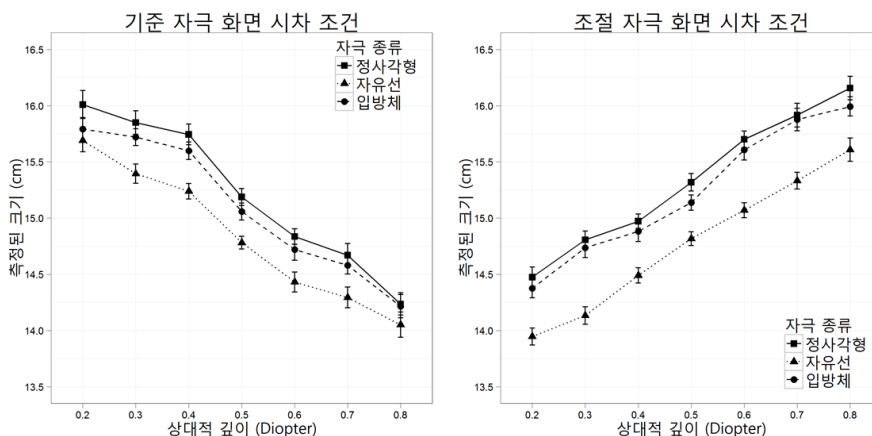


그림 3. 상대적 깊이에 따른 측정된 도형 크기
 Fig. 3. Measured size of stimuli as a function of relative depth

표 1. 시차 조건, 도형 종류에 따른 조절자극 크기 평균 및 표준 편차

Table 1. Mean size (SD) of the object being manipulated as a function of screen disparity, type of stimuli

시차 조건	도형종류	상대적 깊이						
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
조절 자극에 시차 적용	입방체	14.32 (0.6)	14.69 (0.64)	14.81 (0.59)	15.19 (0.52)	15.58 (0.64)	15.83 (0.66)	15.93 (0.6)
	자유선	13.91 (0.58)	14.14 (0.58)	14.48 (0.47)	14.79 (0.45)	15.07 (0.49)	15.26 (0.54)	15.6 (0.7)
	정사각형	14.3 (0.67)	14.64 (0.6)	14.8 (0.49)	15.22 (0.52)	15.62 (0.49)	15.94 (0.78)	16.07 (0.76)
기준 자극에 시차 적용	입방체	15.69 (0.65)	15.64 (0.5)	15.46 (0.55)	15.01 (0.56)	14.68 (0.65)	14.58 (0.57)	14.21 (0.69)
	자유선	15.57 (0.76)	15.32 (0.57)	15.15 (0.58)	14.7 (0.49)	14.38 (0.59)	14.22 (0.63)	14.02 (0.75)
	정사각형	16.01 (0.86)	15.76 (0.9)	15.67 (0.64)	15.09 (0.54)	14.77 (0.52)	14.61 (0.68)	14.21 (0.66)

것으로 지각되어 상대적으로 작은 크기로 지각된다. 반면에 비교차 시차를 가진 자극은 더 먼 거리에 있는 것으로 지각되어 크기가 같고 시차가 없는 자극에 비하여 더 크게 지각된다. 이런 경향은 본 연구에서도 반복되어 나타났다 (표 1 및 그림 3). 즉 조절 자극 시차 조건을 기준으로, 조절 자극에 교차 시차가 적용된 경우 참가자들은 조절 자극의 크기를 기준자극에 비하여 작게 지각하여 15cm인 기준 자극과 동일한 크기로 지각되도록 하기 위하여 조절 자극을 더 크게 조작하였다. 반면에 조절 자극에 비교차 시차가 적용된 경우 그 크기를 기준자극에 비하여 더 크게 지각하여 기준 자극보다 더 작은 크기를 동일한 크기로 지각하는 경향을 보였다. 또한 이런 차이는 통계적으로 유의미하게 나

타났으며 기준 자극 조건에서도 정확히 반대 경향을 보였다 (기준 자극 시차 조건, $F(6, 54) = 67.51, p < 0.001$, 조절 자극 시차 조건, $F(6, 54) = 57.37, p < 0.001$).

본 연구의 목표는 양안 시차에 의하여 나타난 크기 지각 변화의 크기와 변화량이 양안시차가 아닌 다른 요인에 의하여 영향 받는지 검증하는 것이다. 자극 종류에 따라 지각된 크기가 변화하는 정도가 달라지는지 확인하기 위하여 상대적 깊이로 측정된 크기를 예측하는 회귀 함수의 기울기가 자극 종류에 따라 차이를 보이는지 반복측정 분산분석을 사용하여 검증하였다 (그림 4). 그 결과 기준 자극 시차 조건은 $F(2, 18) = 1.547, p = .24$, 조절 자극 시차 조건은 $F(2, 18) = 1.097, p = .36$ 으로 자극 종류가 달라도 지각된

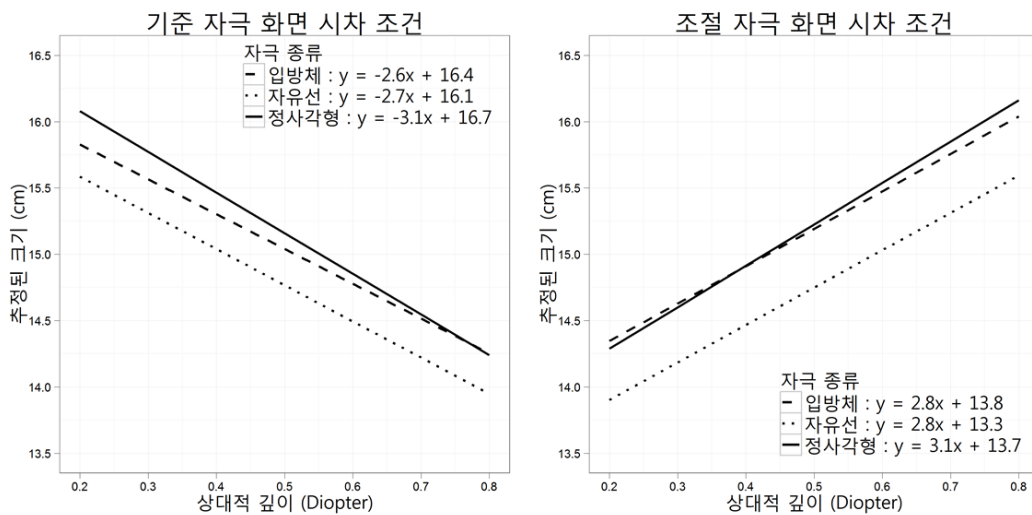


그림 4. 상대적 깊이로 지각된 도형 크기를 추정하는 선형 회귀 분석 결과
 Fig. 4. Results of regression analysis for size perception as a function of relative depth of three types of stimuli

크기가 변화하는 정도는 차이가 없었다. 또한 자극 종류가 지각된 크기에 미치는 영향을 확인하기 위하여 전체적인 측정 결과의 차이를 확인하는 것 또한 필요하다. 세 자극 조건 중 어느 한 조건이라도 15cm보다 과소 또는 과대 추정되었는지 확인하기 위하여 각 실험 조건에서 얻은 측정치 평균을 비교하였다. 이를 검증하기 위하여 조건 사이의 평균 차이에 대한 반복측정 일변량 분산분석을 수행하였다. 그 결과 기준 자극 시차 조건은 경계 수준에서 유의미한 차이($F(2, 18) = 3.47, p = .05$)가, 조절 자극 시차 조건에서는 통계적으로 유의미한 차이($F(2, 18) = 7.94, p < .001$)가 나타나 자극 종류에 따라 지각되는 크기는 달라지지만 양안 시차에 의하여 크기가 변화하는 정도에 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있었다.

자극 종류가 크기 지각에 준 영향을 확인하기 위하여 양안 시차가 없는 조건, 즉 상대적 깊이가 0.5인 조건에서 지각된 크기가 15cm와 같은지 단일 표본 T 검증으로 확인하였다. 그 결과 정 사각형 조건과 입방체 조건에서는 차이가 나타나지 않았으나 자유 선 조건은 시차 없는 조건 측정치의 평균이 15cm와 유의미한 통계적 차이를 보였다 (정사각형 조건, $t(9) = 1.19, p = 0.26$. 자유 선 조건, $t(9) = -3.20, p < 0.05$ 입방체 조건, $t(9) = 0.83, p = 0.43$). 따라서 참가자들은 자유선 자극에 화면 시차가 없는 조건에서도 일관적으로 그 크기를 작게 맞추었음을 알 수 있다.

5. 크기 지각 예측 함수 개발

선형 회귀 분석 결과에 따르면 지각된 자극 크기는 고주파 성분이 포함된 자유 선 조건에서는 일관적으로 작게 나타나지만, 화면 시차에 따른 크기 지각 변화 차이는 통계적으로 유의미하지 않았다. 즉 자극 종류와 무관하게 지각된 크기는 화면 시차에 비례하여 선형적으로 변화하였다. 따라서 이 관계를 역으로 이용하면 어떤 자극이 일정한 화면 시차를 가지고 있을 때 시차에 대응하도록 크기를 조작하여 화면 시차에 의한 크기 왜곡이 느껴지지 않거나 또는 줄어들도록 조작할 수 있다.

그러나 본 연구에서 사용된 실험 자극의 크기와 화면 시차는 시청 환경과 실험 조건에 의하여 결정되어 있기 때문

에 앞서 제시한 회귀 공식을 그대로 사용하는 것은 쉽지 않다. 이를 극복하기 위하여 본 연구에서 사용한 시청 거리나 화면 시차 변인과 무관하게 회귀 식을 바로 적용할 수 있도록 시각도 단위의 화면 시차에 따른 대상의 크기 비율의 함수를 추정하였다 (그림 5). 앞서 언급한 바와 같이 자극 종류에 따른 기울기 차이는 존재하지 않았기 때문에 자극 종류에 따른 구분 없이 모든 자료를 합쳐 사용하였다. 결과 함수의 세로축은 측정값의 비율로 그 값의 평균은 1이며 기울기는 -0.05 였다. 즉 자극의 시각도 1도가 커지면 지각된 크기가 5% 작아짐을 의미한다. 따라서 시각도 1도의 화면시차 당 자극의 크기를 5% 더 크게 제시하면 크기 왜곡 효과를 상쇄할 수 있다. 여기서 사용한 단위인 시각도는 거리와 무관하게 일정한 망막 상 크기를 가지는 길이를 정의하기 위하여 사용하는 단위로, 이 단위를 사용하면 시청 거리에 따라 물리적 자극의 길이가 달라진다. 이 단위를 다양한 조건에서 변환 없이 바로 적용시키기 위하여 상대적으로 친숙한 단위인 cm로 변환하여 표 2에 제시하였다. 앞서 언급한 바와 같이 시각도를 절대적 거리 척도로 변환하려면 시청 거리가 필요하다. 여기서는 주로 3D 디스플레이를 사용하는 환경을 크게 네 종류로 가정하였다 (휴대 기

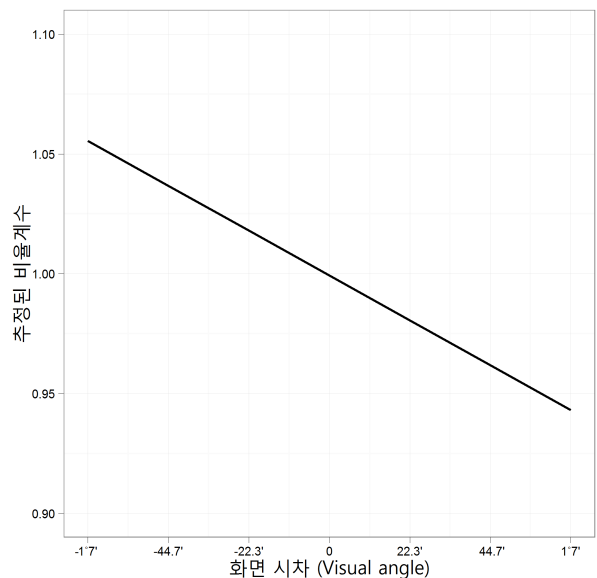


그림 5. 시청거리가 2m일 때 화면 시차에 따른 비율 계수
 Fig. 5. Ratio coefficient of size at viewing distance of 2m

가: 30 cm, 책상: 50 cm, TV: 3 m, 영화관 시청: 15 m 거리).

표 2. 일반적 시청거리에 따른 시각도-센티미터 변환 표
 Table 2. Visual angle-centimeter conversion table at typical viewing distances

사용 환경	시청 거리 (cm)	1 시각도 (cm)
휴대 기기	30	0.524
책상	50	0.873
TV	300	5.24
영화관	1500	26.2

III. 논의

양안 시차는 대상이 특정한 공간적 깊이에 존재하는 것으로 지각하도록 만드는 거리 단서 중 하나다. 지각된 거리는 Emmert의 법칙에 따라서 크기 지각에 영향을 주며 이는 3차원 입체 디스플레이에서 양안 시차를 제시한 자극에서도 나타나는 현상이며, 그 결과 크기 지각 왜곡이 발생한다^{[4][5]}. 본 연구에서는 앞선 연구를 확장하여 양안 시차 뿐 아니라 자극 종류가 지각된 크기에 미치는 영향을 확인하였다. 그 결과 자극 종류에 무관하게 화면 시차에 따라 지각된 크기가 동일한 경향성을 가지는 것을 확인하였다. 즉 일반적으로 같은 크기의 자극이라도 화면 시차가 교차 시차일 때 작게, 비교차 시차일 때 크게 지각되었다.

그러나 앞선 연구 결과와 일치하지 않는 결과 역시 발견되었다. 가장 두드러진 차이는 화면 시차에 따라 지각된 크기가 변하는 양이 두 연구에서 다르게 나타났다는 것이다. 앞선 연구^[5]에서 나타난 회귀 함수의 기울기는 약 5로, 0.1 디오퍼, 즉 화면시차가 22.3Arc Min 변할 때 그에 따라 지각된 크기가 5mm의 변할 것을 예측한다. 그러나 본 연구에서 동일한 자극으로 측정된 결과는 22.3 Arc Min 당 약 3mm의 크기 변화였다. 두 연구는 자극 크기나 관찰거리가 같았고 측정 방법 역시 동일하였다. 따라서 이런 차이는 본 연구에서 사용된 참가자의 수가 더 많고, 회귀함수를 구할 때 사용한 범위가 좁고 일정하였기 때문에 무선적 오차가 감소된 것을 반영하였을 가능성이 있다.

또한 양안 시차에 의하여 지각된 크기가 변화하는 양은

자극 종류와 무관하게 일정하지만 지각된 크기 자체는 자극 종류에 따라 달라지는 것을 확인하였다. 이런 결과는 선으로 정의된 자유 선 자극에서만 나타났다. 그 원인은 정확하지 않으나 자유선 자극은 정사각형 및 입방체 자극과 다르게 밝기로 정의된 모서리 없이 복잡한 선 패턴, 즉 고주파 성분만으로 정의된 자극이기 때문에 나타난 현상일 가능성이 있다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 지각된 크기 차이에도 불구하고 양안 시차에 의하여 유발된 자극 크기 변화 경향성은 세 자극에서 모두 동일하게 나타났다. 이는 양안 시차에 의하여 유발되는 크기 지각 왜곡이 매우 안정적이고 일관적으로 나타난다는 것을 시사한다.

그러나 본 연구의 결과가 다양한 시청 거리 환경에서 나타나는 모든 크기 지각 왜곡 현상을 완전히 예측하기에는 제한적일 가능성이 있다. 물론 3D 디스플레이에서 나타나는 크기 지각 왜곡 역시 Emmert의 법칙을 따른다. 이 법칙에 따르면 대상의 크기는 지각된 거리와 망막 상의 크기에 의하여 결정된다. 본 연구에서 사용한 과제와 크기는 전부 동일하였기 때문에 망막 상 크기는 모두 동일하다고 가정할 수 있으며, 따라서 이 과제에서 나타난 크기 지각 왜곡 효과는 지각된 거리에 의한 영향이라고 할 수 있다. 즉 3D 디스플레이에서 나타나는 크기 지각 왜곡은 화면 시차에 의하여 지각된 자극 거리가 변화한 결과 유발되었다는 것을 시사한다. 이는 거리 지각에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인이 변화하게 된다면 3D 디스플레이에 제시된 자극의 크기 지각 왜곡의 효과가 달라질 가능성이 존재함을 보여준다. 즉 본 연구에서 측정된 크기 지각 왜곡이 오직 화면 시차에 의하여 일어나는지, 또는 일반적인 거리 지각 정보 전체가 영향을 주는지 확인할 필요가 있다.

또한 관찰 거리에 따라 적용 가능한 깊이 단서가 달라지기 때문에 좀 더 일반적인 측정 조건을 적용할 필요성이 존재한다. 본 연구에서 사용된 시청거리 조건은 2 m로 고정되었다. 그 때문에 시청거리에 따른 거리 단서의 효과를 확인할 수 없었다. 앞선 연구^[5]와 본 연구 모두 관찰 거리가 2 m로 수렴 및 조절이 안정적으로 절대적 거리 정보를 제공하는 범위를 벗어난다 (수렴 : 최소 80 cm 이내^[7], 조절 : 50 cm 이내^[8]). 이는 참가자들이 거리 정보를 제대로 사용하지 못하였거나 또는 거리 단서 자체가 왜곡될 가능성이

존재함을 시사한다. 만약 이런 추가적인 거리 정보가 크기 지각 왜곡에 영향을 미친다면 가까운 거리에서 3D 디스플레이를 사용하는 경우, 즉 모바일 장비나 컴퓨터를 사용하는 환경에서 경험하는 크기 왜곡과 TV나 영화관 등 먼 시청 거리를 가지는 디스플레이를 시청할 때 경험하는 크기 왜곡이 서로 다를 가능성이 있다.

마지막으로 측정 과제가 오차를 포함할 가능성이 있다. 앞선 연구^[5]와 본 연구에서 사용한 크기 맞추기 과제는 화면 시차를 가진 자극과 가지지 않은 자극을 한 디스플레이에 표시하고 두 자극의 크기를 비교하는 과제인데, 이는 자극마다 서로 다른 수렴 각을 가진 상태에서 크기를 비교하도록 만든다. 그 과정에서 참가자가 수렴 눈 운동을 얼마나 잘 하는지, 그리고 자극의 크기를 비교할 때 어떤 전략을 사용하였는지에 따라서 자극 크기 지각이 달라질 가능성이 존재한다. 물론 이런 참가자의 개인적인 차이가 과제 수행을 결정적으로 방해하는 경우에는 자료의 타당성과 신뢰성을 검증하는 단계에서 걸러지게 된다. 그러나 그 차이가 작게 나타나는 경우, 자료의 변량을 크게 만들 가능성은 여전히 존재한다.

따라서 크기 지각 왜곡 효과의 원인을 확인하고 앞서 제안한 함수의 효과를 좀 더 일반적으로 확장하려면 두 가지 요인에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 크기 지각 왜곡이 오직 지각된 거리에 의하여 발생하는지, 아니면 3D 디스플레이가 제시하는 화면 시차 정보가 불완

전하거나 수렴이나 조절과 같은 절대적인 거리 단서가 가리키는 거리 정보가 명확하지 않기 때문에 나타나는 현상인지 확인할 수 있는 추가적인 연구가 필요하다. 둘째, 크기 맞추기 과제가 가지는 변량을 통제할 수 있는 다른 과제를 사용한 연구가 필요하다. 이는 좀 더 전통적인 정신 물리학적 측정 방법 등을 사용한 추가적인 연구가 필요함을 시사한다.

참 고 문 헌

- [1] Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., and Banks, M. S., Vergence - accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue, *Journal of Vision*, 8(3), 33, 1 - 30, 2008
- [2] Herman, S., Principles of binocular 3D displays with applications to television, *SMPTE Journal*, 80, 539-544, 1971
- [3] MacAdam, D. L., Stereoscopic perceptions of size shape distance and direction, *SMPTE Journal*, 62, 271-289, 1954
- [4] Emmert E., Größenverhältnisse der Nachbilder, *KlinMonatsbl Augenheilkd*, 19, 443 - 445, 1881
- [5] Shin, Y.H., Li, H. C. O., and Kim, S. W., 3D displays: Development and validation of prediction function of object size perception as a function of depth, *Journal of Broadcast Engineering of Korea*, 17(2), 400 - 410, 2012
- [6] Kleiner, M., Brainard, D. and Pelli, D., What's new in Psychtoolbox-3?, *Perception 36 ECVF Abstract Supplement*, 2007
- [7] Viguier A., Clément G., Trotter Y., Distance perception within near visual space. *Perception*, 30, 115 - 124, 2001
- [8] Fisher S. K., Ciuffreda K. J., Accommodation and apparent distance. *Perception*, 17, 609 - 621. 1988

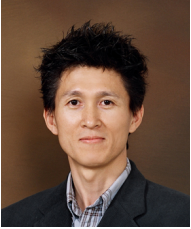
저 자 소 개



박 종 진

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

저 자 소 개



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 ~ 2011 : TTA, 3DTV PG, 품질안전규격 WG 의장
- 2010년 ~ 2011 : 3D 시청 안전성 협의회 의장
- 주관심분야 : 3D 휴먼팩터, 시지각, Brain-Computer Interface



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