

3D 디스플레이: 깊이에 따른 대상의 크기지각 예측함수 개발 및 타당화

신 윤 호^{a)}, 이 형 철^{a)†}, 김 신 우^{a)}

3D Displays: Development and Validation of Prediction Function of Object Size Perception as a Function of Depth

Yoon-Ho Shin^{a)}, Hyung-Chul O. Li^{a)†}, and Shin-Woo Kim^{a)}

요 약

최근 3D 영화를 시작으로 TV, 휴대전화, PC 게임 등 다양한 분야에서 3D 영상을 접할 수 있다. 3D 영상은 기존의 2D 영상에서 볼 수 없었던 깊이감이라는 새로운 정보를 제공하여 영상의 실감을 극대화 할 수 있지만, 시각피로 혹은 영상의 왜곡과 같은 단점도 가지고 있다. 본 연구는 3D 디스플레이에서 대상의 깊이에 따라 달라지는 크기지각의 예측함수를 개발하였다. 실험 1에서 참가자들은 물리적으로 고정된 크기의 3D 사각형을 관찰하면서, 그 크기와 동일하게 2D 사각형의 크기를 조절하는 과제를 수행하였다. 반대로, 실험 2에서 참가자들은 물리적으로 고정된 크기의 2D 사각형을 관찰하면서, 3D 사각형의 크기를 조절하는 과제를 수행하였다. 실험 1과 2에서 모두 3D 사각형의 깊이에 따라 크기지각이 선형적으로 변화함을 관찰하였으며, 두 실험에서 획득한 깊이와 크기지각의 선형함수는 동일하였다. 본 연구에서 획득한 예측함수는 깊이에 따라 대상의 크기가 어떻게 지각되는지를 미리 예측할 수 있으므로 3D 영상제작에서 매우 유용할 것이다.

Abstract

In recent years, 3D displays are used in many media including 3D movies, TV, mobile phones, and PC games. Although 3D displays provide realistic viewing experience as compared with 2D displays, they also carry issues such as visual fatigue or size distortion. Focusing on the latter, we developed prediction function of object size perception as a function of object depth in 3D display. In Experiment 1, subjects observed 3D square of a fixed size of varying depth, and manipulated 2D square to make it as large as the 3D square. Conversely, in Experiment 2, subjects observed 2D square of a fixed size, and manipulated 3D square of varying depth to make it as large as the 2D square. In both Experiments 1 and 2, we found that size perception of 3D square linearly changed depending on depth of the square, and the linear relationship between depth and size was identical in both experiments. The predictive regression function, which predicts object size perception based on object depth, obtained in this research will be very useful in the creation of 3D media contents.

Keyword : 3D System, Size distortion, Revise Function

a) 광운대학교

Kwangwoon University

† 교신저자 : 이형철 (hyung@kw.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업[인재안전성을 위한 3D 기기/장비 중심의 휴먼팩터 연구]과 광운대학교 2011년도 교내연구비 사업의 일환으로 수행하였음

· 접수일(2011년12월26일), 수정일(2012년2월23), 게재확정일(2012년2월23일)

1. 서론

3D라는 단어는 우리에게 더 이상 낯설지 않은 용어가 되었다. 2009년 영화 아바타 이후에 극장가에서는 우리가 원하는 3D 영화를 손쉽게 선택해서 볼 수 있게 되었고, 3D

TV의 보급으로 안방에서 누구나 3D 영상을 접할 수 있게 되었다. 이제는 PC나 휴대전화에서도 3D를 경험할 수 있게 되어서 그야말로 3D의 시대가 열렸다고 해도 과언이 아닐 것이다. 3D 영상은 기존의 영상이 제공하지 못하는 깊이정보를 제공함으로써 많은 사람들에게 매력적인 차세대 영상 기술로 자리매김 하였다. 사람이 외부 세계를 3차원 공간으로 지각하고 그 안에서 깊이를 느낄 수 있는 것은 두 개의 눈이 있기 때문이다. 사람의 눈은 일반적으로 6~7cm 가량 떨어져 있기 때문에 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 들어오는 영상은 약간의 차이를 가진다. 이와 같은 두 눈의 영상 차이, 즉 양안시차를 통해 우리는 외부 세계를 깊이 있는 3차원 공간으로 지각할 수 있는 것이다. 3D 영상에서는 마치 사람의 두 눈이 다른 영상을 보는 것과 같이 두 개의 서로 다른 영상을 특정한 방식으로 두 눈에 각각 제시함으로써 양안시차를 유발하여 깊이를 느끼게 한다. 3D 영상은 영화나 게임, TV방송 등의 분야뿐만 아니라 나아가 상업, 의학 분야 등 다양한 분야에서 폭넓은 발전 가능성을 가지고 있다.

하지만 3D 영상은 장점과 더불어 시각피로, 영상의 왜곡과 같은 문제점들도 함께 가지고 있다. 시각피로는 3D 영상을 시청할 때 발생하는 현기증 혹은 어지러움으로 알려져 있는데, 수렴과 조절의 불일치가 주요한 원인으로 알려져 있다^[1]. 수렴 (convergence)은 대상의 거리에 따라 두 눈의 수정체 각도가 달라짐을 지칭하는 현상으로, 먼 대상을 바라볼 때는 눈이 나란히 평행을 이루게 되고 가까운 대상을 바라볼 때는 대상을 향해 모이게 되어 각도가 작아지게 된다. 조절 (accommodation)은 대상의 거리에 따라 수정체의 두께가 달라짐을 지칭하는 현상으로, 먼 대상을 바라볼 때는 수정체가 얇아지고 가까운 대상을 바라볼 때는 수정체가 두꺼워져 빛의 굴절률을 높임으로써 망막에 선명한 상을 맺히도록 한다^[2]. 일상적인 상황에서는 특정한 거리의 대상을 바라볼 때 수렴과 조절 운동이 일치하게 되지만, 3D 영상의 경우 실제로 대상은 화면상에 위치하지만 화면보다 가깝거나 멀게 지각하게 된다. 이때, 조절은 화면상의 거리에 맞추어 선명한 상을 유지하게 되지만 수렴은 대상의 지각된 깊이에 기반하게 됨으로써 수렴-조절 불일치가 발생하는데, 이는 3D 영상에 의한 시각피로의 주요한 원인으로 알려져 있다.

수렴-조절 불일치와 더불어 영상의 왜곡도 3D 영상의 중요한 문제 중 하나이다. 3D 화면으로 축구 등과 같은 스포츠 경기를 시청하게 되면, 선수들이 유난히 작게 느껴지거나 공이 납작하게 보이는 경우가 종종 있다. 대상의 깊이가 축소되어 부피감이 줄어드는 현상은 납작한 카드를 보는 것과 같다고 하여 카드보드 효과라고 부르며^[3], 대상이 실제 사물의 크기보다 작아 보이는 현상은 마치 인형극을 보는 것과 같다고 하여 인형극장 효과라고 한다^[4]. 이러한 현상은 카메라 렌즈의 초점거리, 촬영하는 두 카메라간의 거리, 두 카메라가 형성하는 수렴 점까지의 거리에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 더불어 시청거리 또한 영상의 왜곡에 영향을 주는 것으로 알려져 있다^[5].

3D 영상에서의 왜곡을 해결하기 위해 다양한 연구가 이루어져 왔다. Woods 등^[6]은 카메라의 수렴 거리, 카메라간 거리, 관찰 거리 등 3D 영상의 촬영 및 관찰 과정에 따라 지각되는 3D 영상의 크기와 깊이 왜곡에 대한 수식을 개발하였고, Masaoka 등^[7]은 계산적인 방법을 통해서 촬영 조건, 화면 조건, 관찰 조건에 따른 카드보드 효과 예측 시스템을 개발하였다. 이러한 연구들은 인간의 지각과정을 경험적으로 측정된 것이 아니라, 기하학적인 방법으로 고안한 예측함수이기 때문에 실제로 시청자들이 그들이 제안한 방식으로 3D 영상을 지각하는지는 알 수 없다. Yamanoue 등^[8]은 카드보드 효과에 대한 경험적 연구를 실시하였다. 그들은 관찰자로 하여금 다섯 단계로 나누어진 문항에 반응을 하도록 하여 대상의 깊이왜곡을 측정하였는데, 이러한 방법으로는 왜곡의 경향성은 파악할 수 있지만 왜곡의 정확한 양은 측정할 수 없었다.

본 논문에서는 3D 영상을 시청할 때 대상의 깊이와 그 대상에 대한 크기지각의 관계에 대해 연구하였다. 즉, 어떤 대상이 3D 디스플레이에 의해 유발되는 양안시차에 따라 깊이가 달라질 때, 관찰자들이 그 대상의 크기를 어떻게 지각하는지를 연구하였다. 앞서 언급한 연구들 ([6], [7])이 채택한 기하학적인 방법은 3D 영상 왜곡연구의 기초를 제공한다. 측면에서는 의미가 있지만, 경험적 데이터가 부재한 상황에서 사람들이 과연 그들이 제안한 대로 3D 영상을 지각하는지는 알 수 없다. 어떤 대상이 망막에 차지하는 크기가 동일할 경우, 그 대상이 관찰자로부터 멀어질수록 더

크게 지각되고 가까워질수록 작게 지각된다는 것은 잘 알려진 사실이다. Gregory는 이러한 관계를 크기-거리 척도화(size-distance scaling)로 기술 하였는데, 이에 따르면 대상의 지각된 크기는 그 대상이 망막에 차지하는 크기와 거리의 곱에 정비례 한다 (지각된 크기 = 망막에서의 크기 x 거리)^[9]. 이러한 관계식은 실제로 존재하는 대상을 바라볼 때뿐만 아니라 대상의 잔상에 대해서도 마찬가지로 작용한다. Emmert 법칙에 따르면, 잔상이 망막에 차지하는 크기가 동일할 때 잔상이 멀어질수록 그 대상이 더 크게 지각된다^[10].

대상의 거리와 크기지각의 관계는 잘 확립되어 있으나, 앞서 기술한 비례관계가 3D 영상에서도 동일하게 적용되는지에 대해서는 알려진 바가 없다. 3D 영상에서 인형극장 효과 및 카드보드 효과 등의 영상왜곡이 발생하는 것을 고려해 볼 때, 대상의 거리에 따른 크기지각의 일반원리가 3D 영상에도 동일하게 작동되는지 검증하는 것은 중요한 연구 문제이다. 만약 3D 영상에서도 마찬가지로 대상의 깊이에 따라 크기지각이 체계적으로 변한다면, 또한 그것이 구체적으로 어떤 패턴을 보이는지 확인하는 것도 중요한 연구 문제이다.

본 연구는 3D 영상에서 화면시차에 의해 대상의 깊이가 체계적으로 변화할 때의 깊이지각을 연구하였다. 실험 1에서는 참가자들이 물리적으로 고정된 크기의 3D 사각형을 관찰하면서 그 크기와 동일하게 2D 사각형의 크기를 조절하는 과제를 수행하였다. 3D 사각형은 고정된 크기의 두 개의 사각형으로 구현하였는데 각각은 왼쪽 혹은 오른쪽 눈으로만 볼 수 있었으며, 두 사각형의 화면시차를 통해 깊이를 조작하였다. 같은 화면에 제시된 2D 사각형은 화면시차 없이 하나의 사각형으로 구성하였다. 반대로, 실험 2에서는 참가자들이 물리적으로 고정된 크기의 2D 사각형을 관찰하면서 그 크기와 동일하게 되도록 (서로 다른 화면시차로 제시되는) 3D 사각형의 크기를 조절하는 과제를 수행하였다. 실험 1과 2 모두에서 3D 사각형의 깊이에 따라 크기지각이 체계적으로 변화함을 발견하였다. 즉, 물리적으로 같은 크기의 3D 사각형이라도 멀리 있을수록 더 크게 지각하였고, 가까이 있을수록 더 작게 지각하였다. 이 결과는 화면시차만을 통해 깊이를 조작했을 때에도 지각된 거

리에 따라 대상의 크기지각이 달라지는 항상성의 기제가 작동함을 시사한다. 실험 1과 2 각각에서 획득한 대상의 깊이와 크기지각에 관한 함수는 동일하였으며 이 함수는 3D 영상에서 깊이를 조작할 때 사물의 지각된 크기를 미리 예측하고 보정하여 영상의 왜곡을 방지하는데 매우 유용할 것이다.

II. 실험 1

1. 참가자

광운대학교 학생 및 대학원생 5명이 실험에 참가하였다. 모든 참가자들은 정상시력 혹은 교정된 정상시력을 보유하고 있으며 양안 시차에 의한 입체 지각에 문제가 없었다.

2. 장치 및 자극

3D 자극을 제시하기 위해 1920x1080의 해상도와 60Hz의 재생비율을 지원하는 현대IT 주식회사의 3D 모니터 (S465D)를 사용하였다 (크기: 101.8cm x 57.3cm). 이 모니터는 편광방식으로 편광안경을 착용하고 시청하면, 1080개의 세로 열 중 짝수 열 (540개)에 나타나는 영상은 왼쪽 눈에 입력되고 홀수 열 (540개)에 나타나는 영상은 오른쪽 눈에 입력된다. 이 방법을 통해 두 눈에 서로 다른 영상을 제시함으로써 화면시차에 따라 3D 깊이감이 지각되도록 하는 방식이다.

자극은 MATLAB 7.0.4를 사용하여 제시하였다. 진한 회색배경 (RGB: 127, 127, 127)에 옅은 회색사각형 (RGB: 175, 175, 175) 두 개를 각각 3D와 2D로 제시하였다 (그림 1). 배경과 전경사이의 대비가 높으면 한쪽 눈에 들어가야 하는 영상이 반대쪽 눈으로 들어가는 크로스톡 (crosstalk)이 발생하기 때문에 전경과 배경의 대비는 낮게 설정하였다. 3D를 구현하기 위한 두 개의 사각형은 15 x 15cm로 물리적인 크기가 고정되어 있었으나, 화면시차를 이용하여 관찰자로부터 1.0, 0.7, 0.5, 0.4, 0.3 디오퍼터의 깊이로 제시하였다. 디오퍼터는 3D 영상에서 대상이 화면으로부터 튀어

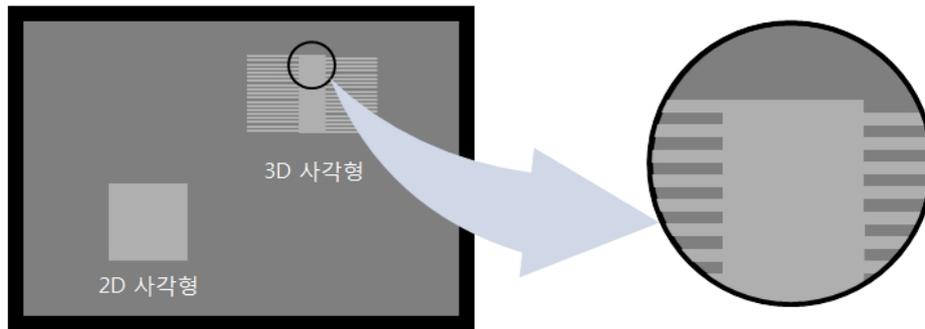


그림 1. 3D 디스플레이에서 자극의 제시. 3D 사각형은 15 x 15cm로 물리적인 크기는 고정되었지만, 화면시차를 통해 깊이를 조작하였다. 2D 정사각형은 한변의 길이가 10~20cm의 범위에서 무선적으로 제시하였다.

Fig. 1. Stimuli presentation in 3D display. The size of 3D rectangle was fixed to 15 x 15 cm but its depth varied via screen disparity. 2D rectangle was presented with randomly varying size of 10~20cm

나오거나 들어간 정도를 표현하는 단위로 관찰거리의 역수이다. 3D 영상은 2D와 달리 관찰하는 거리에 따라 영상의 지각된 깊이가 달라지기 때문에 영상의 깊이를 표현할 때에 디오퍼 단위 사용함으로써 관찰 거리에 따라 달라지는 영상의 깊이를 표현하는 것이 일반적이다. 본 실험에서 참가자들은 화면으로부터 2m 떨어진 위치에서 대상을 관찰하였는데, 이때 화면 위에 있는 것으로 지각되는 자극은 (즉, 화면시차가 없는 자극은) 거리의 역수인 0.5디오퍼가 된다. 화면에서 1m 튀어나와 보이도록 제시되는 자극은 관찰자로부터의 거리가 1m이기 때문에 1디오퍼가 되며, 화면에서 1m 들어가 보이도록 제시되는 자극은 관찰거리가 3m이기 때문에 0.33디오퍼가 된다. 본 실험에서 사용한 1.0, 0.7, 0.5, 0.4, 0.3 디오퍼를 거리로 환산하면 각각 관찰자로부터 1, 1.43, 2, 2.5, 3.33m 떨어진 자극이 된다.

3D 사각형은 141개의 짝수 열과 141개의 홀수 열로 이루어진 두 개의 사각형으로 구성하였다 (그림 1). 두 개의 사각형이 화면시차 없이 제시되면 화면위에 놓인 것으로 지각된다. 사각형을 화면으로부터 튀어나오게 하려면, 왼쪽 눈에 입력되는 사각형을 오른쪽에, 오른쪽 눈에 입력되는 사각형을 왼쪽에 제시한다. 이 경우 왼쪽 눈은 오른쪽의 사각형을 보게 되고, 오른쪽 눈은 왼쪽의 사각형을 보게 되어, 교차시차 (crossed disparity)가 발생한다. 두 개의 사각형을 위와 반대방향으로 움직이면 비교차시차 (uncrossed disparity)가 발생하고, 3D 사각형은 화면으로부터 들어가 보

이게 된다. 교차-비교차 시차 모두에서 화면시차가 클수록, 즉 두 사각형을 거리가 멀어질수록 3D 사각형은 화면에서 더 튀어나오거나 들어간 것으로 지각된다. 본 연구에서 1.0, 0.7, 0.5, 0.4, 0.3 디오퍼의 거리에 위치한 3D 사각형은 각각 12.7, 5, 0, 2.6, 5.2 cm 떨어진 두 개의 사각형으로 구현하였다.

2D로 제시되는 정사각형은 한 변의 길이가 10cm에서 20cm의 범위에서 무선적으로 제시하였다.

3. 절차

참가자들은 모니터로부터 2m 떨어진 거리에서 서로 다른 깊이로 제시되는 15x15cm의 3D 사각형을 관찰하면서, 이와 같은 크기로 지각되도록 위, 아래 화살표를 이용하여 2D 사각형의 크기를 조절하는 과제를 수행하였다.

실험이 시작되어 Enter 키를 누르면 진한 회색배경이 제시되었고, 다시 Space 키를 누르면 화면의 우측상단에는 3D 사각형이 등장하고 좌측하단에는 2D 사각형이 제시되었다 (그림 1). 두 사각형을 수평 혹은 수직선상에 나란히 제시할 경우 참가자들이 대응점을 통해 2D 사각형의 크기를 조절할 수 있기 때문에 두 사각형을 대각선에 위치시켰다. 참가자들은 3D 사각형을 관찰하면서 2D 사각형을 동일한 크기로 조절하는 과제를 수행하였다. 참가자들이 위 화살표(↑)를 누르면 2D 사각형의 가로와 세로의 길이가

0.01cm씩 커졌고 아래 화살표(↓)를 누르면 0.01cm씩 작아졌다. 2D 사각형의 크기를 3D 사각형의 크기와 동일하게 일치시켰다고 판단되는 경우 참가자들은 Space 키를 눌러 반응하였고 이때의 2D 사각형의 크기가 cm 단위로 저장되었다. 다시 Enter 키를 누르면 새로운 시행이 시작되었다.

3D 사각형은 다섯 개의 깊이조건 당 10회씩 반복하여 총 50번의 시행이 무선적으로 실시되었다. 2D로 제시되는 정사각형은 한 번의 길이가 10cm에서 20cm의 범위에서 각 시행마다 무선적으로 제시하였다.

4. 결과 및 논의

표 1. 3D 사각형의 깊이 (디옵터)에 따른 2D 사각형의 크기
Table 1. Size of 2D rectangle as a function of 3D rectangle depth (dioppter)

디옵터	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0
평균cm (표준편차)	16.56 (0.88)	16 (0.78)	15.28 (0.51)	14.18 (0.71)	12.97 (1.17)

표 1은 3D 사각형의 깊이에 따른 지각된 크기 (즉 2D 사각형의 크기)를 보여준다. 3D 사각형이 0.5 디옵터에 제시될 때는 자극이 관찰자로부터 2m 떨어진 곳에 제시되는 것으로 양안시차가 없기 때문에 화면상에 위치하는 것이다. 이때 참가자들은 2D 사각형을 15.28cm로 입력하여 양안시차 없는 3D 자극은 2D 자극과 동일하게 지각되었다는 것을 알 수 있다. 그러나 3D 자극이 관찰자로부터 2m 보다 멀어져 화면으로부터 들어가 보인 경우 (0.3, 0.4 디옵터)에는 3D 자극의 물리적인 크기인 15cm보다 더 크게 지각되었고, 반대로 관찰자로부터 2m 보다 가까이 제시되어 화면으로부터 튀어나와 보인 경우 (0.7, 1.0 디옵터)에는 15cm 보다 작게 지각되었다. 이 결과는 대상의 거리와 크기지각의 일반원리가 3D 영상에서도 그대로 보존됨을 보여준다.

3D 사각형의 깊이에 따른 크기지각을 분석하기 위해 단순 선형회귀분석을 실시하였다. 단순 회귀분석이란 두 변인간의 선형적인 관계 (즉 한 변인의 변화에 따른 다른 변인의 변화)를 예측하기 위한 통계 기법으로 본 연구에서는 깊이의 변화에 따른 크기지각의 변화를 예측하기 위해 이 방법을 사용하였다. 단순 회귀분석을 통해 두 변인의 관계

를 가장 잘 기술하는 일차함수를 도출할 수 있는데 (예를 들어, $Y = aX + b$) 이 함수가 실제 데이터를 얼마나 잘 설명하는지는 R2라는 통계치를 통해 알 수 있다. R2는 [0 1]의 범위를 가지는데 1에 가까울수록 한 변인(X)가 다른 변인(Y)의 변화를 더 잘 예측하는 것이다.

디옵터 (즉, 3D 사각형의 깊이)를 예측변인으로 하고 입력한 크기를 준거변인으로 했을 때 그림 2와 같은 회귀선을 획득하였다: $R2 = .70$, 입력한 크기 = $17.99 - 5.17 * \text{디옵터}$. 회귀방정식은 3D 사각형이 화면시차가 없이 제시될 경우 (0.5 디옵터) 15.4cm로 지각된다는 것을 예측하는데, 이는 3D 사각형의 물리적인 크기와 매우 유사하다. 회귀방정식은 음(-)의 기울기를 보여, 3D 사각형이 관찰자로부터 멀어질수록 더 크게 지각되고 가까워질수록 더 작게 지각됨을 예측한다. 이러한 결과의 양상은 실험 참가자들 사이에서 모두 공통적으로 나타났으며, 참가자들 사이의 표준편차가 크지 않고, 새롭게 획득한 함수의 설명력이 높게 나타났기 때문에 실험 참가자를 추가로 모집하지 않았다.

언급하였듯이, 이 결과는 3D 영상에서도 대상의 거리와 크기지각의 일반원리가 그대로 보존됨을 보여준다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 3D 영상에서도 대상의 거리와 크기지각은 선형적인 형태를 지니는데, 실험 1은 이 둘 간의 관계를 경험적으로 검증하고 구체적인 예측함수를 제시하였다는 점에서 중요한 함의가 있다. 어떤 대상을 3D 영상에서 특정한 깊이로 제시할 때 지각되는 크기를 미리 예측함으로써 영상의 왜곡 (예를 들어, 인형극장 효과)을 보정할 수 있을 것이다.

III. 실험 2

실험 1에서 참가자들은 고정된 크기의 3D 사각형을 관찰하면서 그것과 동일하게 2D 사각형의 크기를 조절하는 과제를 수행하였다. 실험결과 3D 사각형은 관찰자로부터 멀어질수록 더 크게 지각되었고 가까워질수록 더 작게 지각되었다. 실험 1에서는 3D 사각형을 기준자극으로 제시하고 2D 사각형을 조절하는 과제를 사용하였으나, 실험 2에서는 동일한 관찰자들에게 2D 사각형을 기준자극으로 제시하고

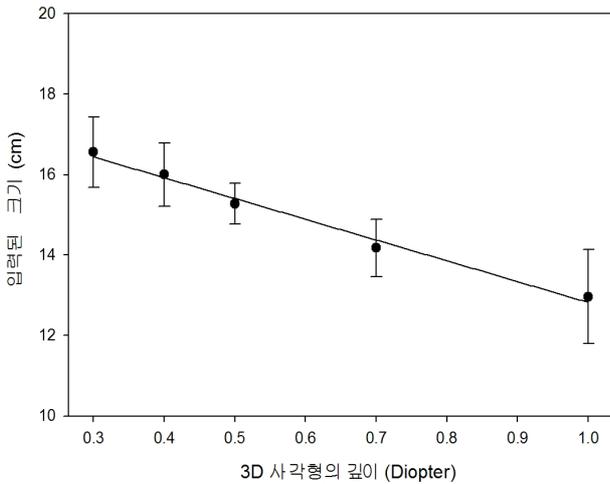


그림 2 . 3D 사각형의 깊이에 따른 2D 사각형의 크기. 3D 사각형의 깊이에 따라 크기지각이 선형적으로 변화함을 보여준다.
 Fig. 2. Size of 2D rectangle as a function of 3D rectangle depth (diopter). Perception of size linearly changes as a function of 3D rectangle depth

3D 사각형의 크기를 조절하는 반대 과제를 수행하도록 하였다. 실험 1과 2에서 동일한 결과를 획득한다면 3D 영상에서 크기지각에 관한 일관된 경험적 결과를 보여줄 수 있을 것이다.

1. 참가자

실험 1과 동일한 피험자들 (n=5)이 참여하였다.

2. 장치 및 자극

실험 1과 동일한 장치와 자극을 사용하였다. 다만 이번에는 2D 사각형의 크기는 고정되어 제시되었고 3D 사각형의 크기를 조절할 수 있도록 설계하였다. 3D 사각형의 깊이는 실험 1의 결과와 직접적인 비교를 위해 1.0, 0.7, 0.5, 0.4, 0.3의 디오퍼를 사용하였다.

3. 절차

참가자들은 모니터로부터 2m 떨어진 거리에서 15x15cm

의 2D 사각형을 관찰하면서, 이와 같은 크기로 지각되도록 위, 아래 화살표를 이용하여 3D 사각형의 크기를 조절하는 과제를 수행하였다.

실험이 시작되어 Enter 키를 누르면 진한 회색배경이 제시되었고, 다시 Space 키를 누르면 화면의 우측상단에는 3D 사각형이 등장하고 좌측하단에는 2D 사각형이 제시되었다 (그림 1). 참가자들은 2D 사각형을 관찰하면서 3D 사각형을 동일한 크기로 조절하는 과제를 수행하였다. 참가자들이 위 화살표(↑)를 누르면 3D 사각형의 가로와 세로의 길이가 0.01cm씩 커졌고 아래 화살표(↓)를 누르면 0.01cm씩 작아졌다. 이때 3D 사각형은 크기만 변할 뿐 두 사각형의 중심거리를 변하지 않아 지각되는 깊이는 일정했다. 3D 사각형의 크기를 2D 사각형의 크기와 동일하게 일치시켰다고 판단되는 경우 참가자들은 Space 키를 눌러 반응하였고 이때의 3D 사각형의 크기가 cm 단위로 저장되었다. 다시 Enter 키를 누르면 새로운 시행이 시작되었다.

2D 사각형의 크기는 15 x 15cm으로 고정되어 있었으나, 함께 제시되는 3D 사각형은 다섯 개의 깊이조건 당 10회씩 반복하여 총 50번의 시행이 무선적으로 실시되었다. 3D 사각형을 구성하는 두 개의 정사각형은 한 번의 길이가 10cm에서 20cm의 범위에서 각 시행마다 무선적으로 제시하였다.

4. 결과 및 논의

표 2는 서로 다른 깊이로 제시된 3D 사각형이 2D 사각형의 크기인 15x15cm로 지각되었을 때의 크기를 보여준다. 3D 사각형이 0.5 디오퍼에 제시될 때는 자극이 관찰자로부터 2m 떨어진 곳에 제시되는 것으로 양안시차가 없기 때문에 화면상에 위치하는 것이다. 이때 참가자들은 (양안시차 없는) 3D 사각형을 14.74cm로 조절하여 2D 사각형과 동일한 크기로 지각했다는 것을 알 수 있다. 그러나 3D 자극이 관찰자로부터 떨어져 화면으로부터 들어가 보인 경우 (0.3, 0.4 디오퍼)에는 더 멀어질수록 3D 사각형을 15cm 보다 더 작게 조절했음을 알 수 있다. 이는 대상이 멀어질수록 크게 지각되기 때문에, 3D 사각형도 마찬가지로 멀게 지각될수록 그만큼 크기를 15cm 보다 더 작게 조작하여 지각된 크

표 2. 15cm로 고정된 2D 사각형의 크기와 동일한 크기로 지각되는 3D 사각형의 크기
 Table 2. Size of 3D rectangle perceived as large as 2D square of 15cm

디오퍼	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0
평균cm (표준편차)	13.89 (0.69)	14.04 (0.57)	14.74 (0.52)	15.96 (0.57)	17.27 (1.43)

기를 보정한 결과로 해석할 수 있다. 반대로 관찰자로부터 2m보다 가까이 제시되어 화면으로부터 튀어나와 보인 경우 (0.7, 1.0 디오퍼)에는 더 가까워질수록 3D 사각형을 15cm보다 더 크게 조절했음을 알 수 있다. 이는 대상이 가까워질수록 작게 지각되기 때문에, 3D 사각형도 마찬가지로 가깝게 지각될수록 그 만큼 크기를 15cm 보다 더 크게 조작하여 지각된 크기를 보정한 결과로 해석할 수 있다. 이 결과는 실험 1의 결과와 일치하는 것으로, 대상의 거리와 크기지각의 일반원리가 3D 영상에서도 그대로 보존됨을 보여준다.

3D 사각형의 깊이에 따른 크기지각을 분석하기 위해 선형회귀분석을 실시하였다. 3D 사각형의 깊이 (즉, 디오퍼)를 예측변인으로 하고 이를 15x15cm의 2D 사각형과 동일한 크기로 조절했을 때의 크기를 준거변인으로 했을 때, 그림 3과 같은 회귀선을 획득하였다: $R^2 = .70$, 입력한 크기 = $12.22 + 5.11 * \text{디오퍼}$. 회귀방정식은 3D 사각형이 화면시차 없이 제시될 경우 (0.5 디오퍼) 관찰자들은 한 변의 길이를 14.78cm로 조절할 것이라는 것을 예측하는데, 이는 2D 사각형의 물리적인 크기와 매우 유사하다. 회귀방정식은 양(+)의 기울기를 보여, 3D 사각형이 관찰자로부터 가까워질수록 이를 더 크게 조절하고 3D 사각형이 관찰자로부터 멀어질수록 더 작게 조절하여, 15x15cm의 2D 사각형의 크기와 일치시킬 것이라는 것을 예측한다.

언급하였듯이, 이 결과는 (실험 1의 결과와 더불어) 3D 영상에서도 대상의 거리와 크기지각의 일반원리가 그대로 보존됨을 보여준다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 대상이 멀어질수록 크게 지각되기 때문에 X축의 왼편으로 갈수록 참가자들은 3D 사각형을 작게 조절하여 2D 기준자극과 크기를 일치시켰다. 반면, 대상이 가까워질수록 더 작게 지각되기 때문에 X축의 오른편으로 갈수록 참가자들은 3D 사각형을

크게 조절하여 2D 기준자극과 크기를 일치시켰다. 이러한 결과는 인형극장 효과가 발생하는 원인과 해결책에 대한 중요한 함의를 제공한다. 대상이 화면으로부터 튀어나온 경우에는 작게 지각되기 때문에 인형극장효과가 발생하는 것이며, 이를 보정하기 위해서는 튀어나온 대상 즉 관찰자에게 가깝게 지각되는 대상은 더 크게 제작해야 한다는 것이다.

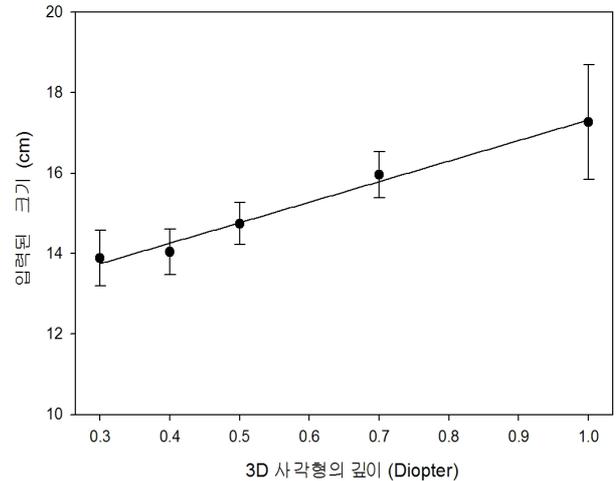


그림 3. 15cm로 고정된 2D 사각형의 크기와 동일한 크기로 지각되는 여러깊이의 3D 사각형의 크기

Fig. 3. Size of 3D rectangle of varying depth perceived as large as 2D square of 15cm

5. 실험1과 실험2의 결과비교

실험 1에서는 참가자들은 물리적으로 고정된 크기의 3D 사각형을 관찰하면서 2D 사각형의 크기를 조절하는 과제를 수행하였고, 실험 2에서는 고정된 크기의 2D 사각형을 관찰하면서 3D 사각형의 크기를 조절하는 과제를 수행하였다. 두 실험에서 모두 양안시차에 의해 3D 사각형이 관찰자로부터 멀어져 보일수록 더 크게 지각되고 가까워 보일수록 더 작게 지각된다는 일관된 결과를 획득하였다.

두 실험의 결과를 직접적으로 비교하기 위해, 실험 1과 2의 각 디오퍼에서 양안시차가 주어지지 않은 2D 사각형의 크기에서 3D 사각형의 크기를 차감하여 두 연구의 종속변

인을 동일한 척도로 변환하였다 (2D - 3D). 예를 들어, 실험 1에서는 3D 사각형의 물리적인 크기가 15cm로 고정되어 있었는데, 특정한 깊이에서 2D 사각형의 크기를 17cm로 조절했다면 3D 사각형을 2cm 더 크게 지각한 것이 된다 (차이 값은 2cm). 반대로 실험 2에서는 2D 사각형의 물리적인 크기가 15cm로 고정되어 있었는데, 특정한 깊이에서 3D 사각형의 크기를 17cm로 조절했다면 3D 사각형이 작게 지각되었기 때문에 그만큼 더 크게 조절한 것이 된다 (차이 값은 -2cm). 결과적으로, 2D - 3D의 차이 값은 양안시차가 없는 2D 사각형과 비교하여 (즉, 2D 사각형을 기준 자극으로 하였을 때), 양안시차에 의해 3D 사각형의 크기가 얼마나 크거나 혹은 작게 지각되는지를 보여준다. 이 차이 값이 양의 값 (+)을 나타내면 3D 사각형이 더 작음에도 불구하고 2D 사각형만큼 크게 보인 것으로 깊이정보가 3D 사각형을 더 크게 보이도록 했다는 결론을 내릴 수 있다. 반대로, 차이 값이 음의 값 (-)을 나타내면 3D 사각형이 더 큼에도 불구하고 2D 사각형만큼 작게 보인 것으로 깊이 정보가 3D 사각형을 더 작게 보이도록 했다는 결론을 내릴 수 있다.

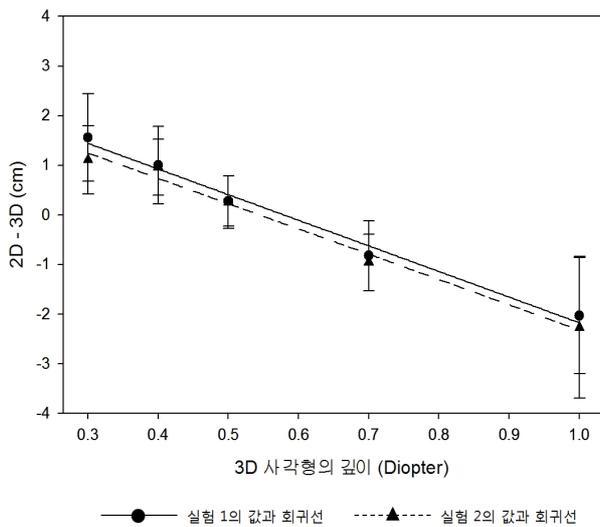


그림 4. 실험 1과 2의 결과비교 2D 사각형과 비교한 3D 사각형의 크기지각 (2D - 3D)은 두 실험에서 동일한 결과를 보였다
 Fig. 4. Comparison of results between Experiments 1 and 2. Size perception of 3D rectangle as compared to 2D (2D - 3D) was identical in the Experiments

실험 1과 2의 결과를 비교하기 위해 각 참가자에 대하여 디옵터를 예측변인으로 하고 차이 값 (2D - 3D)을 준거변인으로 하는 선형회귀분석을 실시하였다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, 실험 1과 2의 결과를 차이 값으로 변환한 뒤의 회귀선은 매우 유사함을 알 수 있다 (실험 1: $Y = 2.99 - 5.17 * \text{디옵터}$; 실험 2: $Y = 2.78 - 5.11 * \text{디옵터}$). 3D 사각형의 화면시차가 존재하지 않는 0.5 디옵터의 경우, 두 회귀선 모두 차이 값 (2D-3D)이 0과 가까워짐을 예측한다 (실험 1: 0.41; 실험 2: 0.23cm). 두 회귀방정식이 모두 음(-)의 기울기를 보이는데, 이는 3D 사각형의 거리가 관찰자에게 가까워질수록 (디옵터가 커질수록), 3D 사각형이 더 작게 지각되기 때문에 물리적으로는 3D 사각형을 더 크게 조절해야 2D 사각형과 동일한 크기로 보일 것임을 의미한다.

실험 1과 2의 회귀계수가 동일한지 검증하기 위해 기울기와 Y-절편에 대한 대응표본 t 검증을 실시하였다. 기울기와 $[t(4)=.07, p=.95]$ 와 Y-절편 $[t(4)=.53, p=.63]$ 모두 유의미한 차이가 발견되지 않았으며, 따라서 실험 1과 2에서 동일한 결과를 얻었다고 결론지었다.

IV. 크기지각 예측함수의 일반화

깊이에 따른 자극의 크기지각을 검증하기 위해 물리적으로 고정된 크기의 기준자극을 제시하고 또 다른 자극의 크기를 조절하는 패러다임을 사용하였다. 실험 1에서는 기준 자극인 3D사각형을 15cm로 고정하였으며, 실험 2에서는 2D 사각형을 마찬가지로 15cm로 설정하였다. 본 연구에서 사용한 약 102x57cm의 3D 디스플레이를 고려할 때, 15x15cm인 정사각형 자극은 3D 영상에서 일반적인 대상의 크기를 잘 대표할 수는 있을 것이다. 그러나 실험 1과 2에서 획득한 깊이에 따른 크기지각 예측함수를 15cm가 아닌 다른 크기의 대상에도 적용할 수 있도록 일반화할 수 있다면 다양한 맥락에서 높은 활용도를 기대할 수 있을 것이다.

실험 1에서의 예측함수인 “입력한 크기 = $17.99 - 5.17 * \text{디옵터}$ ”의 공식에서 입력한 크기는 참가자들이 서로 다른 깊이에 제시된 3D 사각형을 관찰하면서 입력한 2D 사각형

의 크기를 cm단위로 표현한 것이다. 이때의 기준자극인 3D 사각형의 크기가 15cm 이었기 때문에 입력한 크기를 15로 나누면 각 디오퍼에서 지각된 크기변화율을 구할 수 있다. 예를 들어, 특정한 디오퍼에서 입력한 크기가 30cm 이었다면 이를 15cm로 나눔으로써 기준자극에 비해 두 배 더 크게 지각된 것임을 알 수 있고, 또 다른 디오퍼에서 입력한 크기가 10cm이었다면 기준자극의 2/3 크기로 지각되었음을 알 수 있다.

따라서 예측함수 “입력한 크기 = 17.99 - 5.17*디오퍼”에서 입력한 크기를 15로 나누어 “지각된 크기변화율”로 변환하면, 크기지각 예측함수는 “지각된 크기변화율 = [17.99 - 5.17*디오퍼]*1/15 = 1.20 - 0.345*디오퍼”로 변환할 수 있다. 이때 지각된 크기변화율은 특정한 디오퍼에서 어떤 크기의 3D 자극이 얼마나 크거나 혹은 작게 지각될지를 알려준다. 가령 1 디오퍼를 입력하면 0.855라는 지각된 크기변화율을 얻을 수 있는데, 이는 3D 자극이 1 디오퍼의 깊이에 존재하면 0.855배로 지각됨을 알려준다. 본 실험에서 3D 자극이 화면상에 위치하는 0.5 디오퍼를 입력하면 1.028라는 값을 얻을 수 있는데, 이는 3D 자극의 화면시차가 사라지면 원래 크기와 동일하게 지각됨을 보여준다.

V. 종합 논의

3D 영상에서 대상의 깊이에 따른 크기지각을 검증하기 위해 수행한 두 차례의 실험결과 크기지각은 대상의 깊이, 즉 관찰자로부터의 거리에 따라 선형적으로 변화한다는 것을 확인하였다. 2D 사각형과 비교하여 3D 사각형이 화면으로부터 튀어나올수록 더 작게 지각되었고, 들어가 보일수록 더 크게 지각된다는 사실을 경험적으로 검증하였고, 서로 다른 판단과제를 사용한 두 실험의 결과는 동일하였다. 특히, 화면에서 튀어나와 보이는 자극이 작게 지각된다는 사실은 인형극장 효과에서 크기왜곡이 발생하는 원인에 대한 중요한 함의를 가지고 있다.

본 연구 결과는 우리가 외부 세계를 바라보는 것과 같이 3D 영상에서도 크기 항상성의 기제가 작동한다는 것을 보여준다. 자연환경이나 2D 영상에서 크기 항상성이 유지된

다는 것은 널리 알려진 사실이며 이때 대상의 친숙성, 대상의 상대적 크기, 결 정보 등 다양한 정보가 크기 항상성 유지에 도움이 된다. 하지만 본 연구에서는 오로지 양안시차만을 이용하여 깊이정보를 제공하였는데 이 경우에도 망막에 맺히는 상의 크기가 동일한 경우 지각된 거리에 따라 대상의 크기가 달라지는 항상성의 원리가 작용한다는 사실을 확인하였다. 대상의 거리와 크기지각에 대한 기존의 연구들은, 지각된 거리와 대상의 크기가 선형적인 관계를 보인다는 것을 보고하는데 본 연구에서도 동일한 결과를 획득하였다. 그러나 엄밀한 의미에서의 크기 항상성은 대상의 고유한 크기를 지각하는 것이기 때문에 두 개 사각형의 화면시차를 이용하여 구현한 3D 자극은 그 자체로써 고유한 크기가 존재하는 것은 아니다. 따라서 3D 영상에서 대상의 지각된 거리와 크기지각은 항상성의 일반원리를 따르지만, 그럼에도 불구하고 3D 영상에서의 크기왜곡은 여전히 해결해야하는 문제이다.

본 연구는 3D 영상에서의 크기왜곡에 대한 현실적인 해결책을 제시한다. 3D 영상이 실감을 극대화 하고 올바른 지각을 유도하기 위해서는 화면에 2D로 제시되는 영상을 그대로 사용해서는 안 되며 적절한 공식에 맞게 지각된 거리에 따라서 자극의 크기를 보정할 필요가 있다. 본 연구에서는 3D 영상에서 대상의 깊이에 따라 지각된 크기가 어떻게 변화하는지 계산할 수 있는 예측함수를 개발하였다. 이 함수를 활용하면, 3D 영상에서 크기의 왜곡 없이 지각되는 자극을 만들기 위해 3D를 구성하는 좌안, 우안 영상이 담고 있는 대상의 크기를 어떻게 제시해야 하는지 예측할 수 있다. 가령, 2m 관찰거리에서 0.6 디오퍼로 33cm 튀어나온 대상을 제시하고자 할 때, 그 대상의 한 변의 길이가 15cm로 보이게 하고 싶다면 실험 2의 회귀방정식을 이용할 수 있다: 입력한 크기 = 12.22 + 5.11*디오퍼 = 12.22 + 5.11*0.6 = 15.286. 이 결과에 따르면, 좌안과 우안의 영상에 나타나는 대상의 크기는 15.286cm으로 제시하여야 0.6 디오퍼에서 15cm로 지각될 것임을 예측한다. 뿐만 아니라 “IV. 크기지각 예측함수의 일반화”에서 언급한 일반화된 예측함수를 사용하면 어떤 크기의 자극이라도 3D영상에서 얼마나 더 크거나 작게 지각될지 예측할 수 있고, 역함수를 사용하면 시청자에게 특정한 크기로 보이게 하기 위해서는

자극을 얼마나 어떤 크기로 제시해야할지를 결정할 수 있다.

본 연구와 관련하여 추가적인 연구가 진행된다면 단순한 사각형 자극뿐만 아니라 더욱 복잡하고 다양한 자극에도 적용할 수 있을 것이다. 최근 3D 영상 기술이 발달하면서 이와 유사한 다양한 연구가 진행되어왔다. 하지만 지금까지 이루어진 연구들은 ([6], [7]) 3D 시스템과 관찰자 사이의 기하학적인 구조를 기반으로 수학적 방식을 통해 계산되었다. 기존의 연구에서 제안한 방식들은 관찰자의 경험적인 데이터가 포함되어있지 않기 때문에 제안한 방식이 정확한지 확인하기 위해서 실제 관찰자를 대상으로 한 추가적인 연구가 진행되어야 하며, 실제 관찰자를 대상으로 확인하기 전까지는 타당한 연구 결과라고 보기 어렵다는 한계를 지닌다. 반면 본 연구는 관찰자들이 실제로 지각한 결과를 토대로 함수를 도출해냈기 때문에 인간의 지각 과정에서 발생하는 정확한 왜곡의 양을 설명하는 함수라는 점에서 큰 의의가 있다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 기존의 연구들은 모두 카메라를 이용하여 직접 촬영한 3D 영상에 대한 왜곡을 계산한 반면 본 연구 결과는 3D 애니메이션과 같이 컴퓨터 그래픽으로 제작한 3D 영상에 대해서도 분석이 가능해졌다. 앞으로 3D 영상이 해결해야 할 문제는 비단 크기 왜곡뿐만이 아니다. 3D 영상의 깊이 왜곡이나 시각 피로 등 다양한 문제가 아직 해결되지 않았는데, 이러한 과정에서 단순히 수리적인 계산에 의존하는 것이 아닌, 실제 관찰자의 경험적인 연구가 반드시 이루어져야 한다. 3D

영상은 이제 막 도약의 단계에 있다고 할 수 있다. 앞으로 안정적인 3D 시스템이나 콘텐츠를 개발하기 위해서는 본 연구와 같이 관찰자의 경험적인 데이터를 활용한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008), Vergence - accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue, *Journal of Vision*, 8(3):33, 1 - 30
- [2] Palmer, S. E., *VisionScience:PhotonstoPhenomenology*, MA:MIT Press, 1999
- [3] Herman, S., Principles of binocular 3D displays with applications to television, *SMPTE Journal*, 80, 539-544, 1971
- [4] MacAdam, D. L., Stereoscopic perceptions of size shape distance and direction, *SMPTE Journal*, 62, 271-289, 1954
- [5] Meesters, L. M. J., IJsselsteijn, W. A. & Seuntjens, P. J. H., A survey of perceptual evaluations and requirements of three-dimensional TV, *IEEE Trans.CircuitsSyst.VideoTechnol.*, 14, 381-391, 2004
- [6] Woods, A., Docherty, T., & Koch, R., Image Distortions in Stereoscopic Video Systems, *Proceedings of SPIE Stereoscopic Displays and Applications'93*, 36- 48, San Jose, CA, USA., 1993
- [7] Masaoka, K., Hanazato, A., Emoto, M., Yamanoue, H., Nojiri, Y., & Okano, F., Spatial distortion prediction system for stereoscopic images, *Journal of Electronic Imaging*, 15, 1-12, 2006
- [8] Yamanoue, H., Okui, M., & Okano, F., Geometrical analysis of puppet-theater and cardboard effects in stereoscopic HDTV images, *IEEE Trans.CircuitsSyst.VideoTechnol.*, 16, 744-752, 2006
- [9] Gregory, R. L., *Will Seeing Machines Have Illusions?*, Edinburgh:Edinburgh University Press., pp.169-180, 1967
- [10] Emmert E., *Größenverhältnisse der Nachbilder*, *KlinMonatsbl Augenheilkd*, 19, 443 - 445, 1881

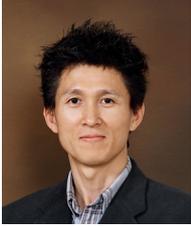
저 자 소 개



신 윤 호

- 2010년 : 광운대학교 전자공학과 학사
- 2012년 : 광운대학교 산업심리학과 석사
- 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