

전신 움직임을 요구하는 컨트롤러가 가상현실 디바이스에서 시지각과 가상현실 멀미에 끼치는 영향

김성호¹ · 신동희^{2*}¹성균관대학교 인터랙션사이언스학과^{2*}중앙대학교 미디어커뮤니케이션학부

Effects of whole body movements in using virtual reality headsets on visually induced motion sickness

Sung-ho Kim¹ · Dong-Hee Shin^{2*}¹ Department of Interaction Science, Sungkyunkwan University, Seoul 110-745, Korea^{2*}School of Media and Communication, Chung-Ang University, Seoul 06794, Korea

[요약]

가상현실 경험에서 높은 감각적 몰입으로 시각으로 지각되는 정보와 전정기관, 체성감각 등 감각기가 지각하는 정보 간에 불일치가 생기면서 가상현실 멀미가 일어나 기기의 보급에 장애가 되고 있다. 본 연구는 기존의 감각의 충돌 이론에 착안하여 모션 컨트롤러로 대표되는 새로운 전반적인 신체의 움직임이 각성 정도와 현존감에 영향을 끼치며, 가상현실 멀미를 촉발할 수 있고 각성 정도는 감각적 몰입, 현존감과 깊은 관계가 있다는 가설을 세우고 실험을 통해 검증하였다. 특히 컨트롤을 위한 전체적인 신체의 움직임에 집중하여, 몸-머리 움직임과 대조하여 연구하였다. 실험의 결과로 신체 움직임과 각성 정도 간에 유의한 상관관계를 확인할 수 있었고, 현존감에 대해서도 일정 정도 유의한 상관 관계가 있음을 확인할 수 있었다. 또, 신체의 움직임이 있을 때, 안경의 착용 유무가 관측되는 가상현실 멀미에 증재변수로 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다.

[Abstract]

Though new body movement based input system immersed in Virtual Reality (VR), VR still has a visually induced motion sickness (VIMS) problem to be accepted for users. VIMS are caused by changes in visually perceived movement that discord with vestibular system's sense of movement. Not only Head-body movements, but also hand gestures to make commands and torso movement can affect visual movement perception by enhancing immersion and its psychological product; presence. The question arises does whole body movement and hand gesture to make commands are more dominant to arousal, presence, and VIMS? To address this question, we conducted "2 (IV1; head-body movements only vs. whole body movements) * 1" between subject design experiment. The results showed that significant effect on whole body movements and arousal, marginally significant effect on presence. Eyewear usage was a moderator between hand gesture and presence relationship.

색인어 : 시지각 유도 멀미, 신체 움직임, 현존감, 각성, 실험 연구

Key word : Visually induced motion sickness, Body movement, Presence, Arousal, Experiment method

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2017.18.2.283>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 01 April 2017; Revised 16 April 2017

Accepted 25 April 2017

*Corresponding Author; Dong-Hee Shin

Tel: +82-02-820-5483

E-mail: dshin1030@cau.ac.kr

I. 서론

2015년 가트너의 보고서[1]에 따르면 가상현실(VR)은 5년 내에 원년을 맞을 것으로 예상되었다. 하지만 2017년 주요 업체인 오클러스가 체험공간의 40%를 폐쇄하기로 결정하는 등 [2], 가상현실 시장의 전망은 하향 조정되고 기기의 보급도 미뤄지고 있다.

가상현실 이용자들은 주로 기어 VR 등 보급형 헤드마운트 디스플레이를 사용하고 있는데, 가상현실 경험이 기대하는 것만큼 실제 같은 상호작용을 제공하고 있지 않다고 하였고[3], 이에 따라 HTC VIVE의 컨트롤러를 시작으로 오클러스 터치, 삼성 기어 VR의 컨트롤러 제공 등 더 현실 같은 가상현실 경험을 제공하기 위해 신체 움직임을 기반으로 하는 입력장치의 개발이 이루어졌고 보급을 앞두고 있다.

또 하나의 중요한 점은 가상현실이 여전히 멀미를 일으킨다는 점이다[4]. 디스플레이와 그래픽 기술의 발달로 화면 잔상 멀미는 거의 없어졌지만 가상현실 기기를 통해서 지각되는 시각 정보와 전정기관, 근육과 인대에 위치하는 고유감각 수용기에서 지각하는 정보 간의 불일치에서 일어나는 가상현실 멀미는 장시간 이용을 저해하는 구조적인 문제로 인식되고 있다 [5]. 특히 기술이 발달하여 생생한 화질과 감각적 몰입으로 현존감이 높아질수록 감각기 불일치 정도와 가능성도 커지기 때문에 가상현실 멀미는 여전히 중요한 문제로 남아있다.

본 연구는 새롭게 도입될 신체 움직임 기반 입력장치가 가상현실 멀미에 끼칠 영향을 파악하기 위해 현존감과, 혹은 현존감이 아니더라도 가상현실 기기를 사용했을 때 일어날 수 있는 신체 각성 정도와의 연관성을 실험을 통해 탐구하였다.

본 연구는 한국 HCI 학술대회에 포스터 발표로 제출하였던 “effects of body movements in using virtual reality headsets” [6]의 후속 연구 결과물이다.

II. 관련연구

2-1 가상현실 멀미에 대한 연구

가상현실 멀미에 대한 연구는 미 공군과 해군이 주로 수행한 병사들을 위한 시뮬레이터 멀미에 대한 연구에서 파생되었고, 그 이론적 배경을 motion sickness (멀미)에 대한 연구에 두고 있다. 2001년의 정리논문 [7]에 따르면 가상현실 멀미는 스스로의 움직임을 감지하는 것과 전정기관과 시각기간에 인한 것일 가능성이 높고 각각의 가상현실 멀미의 현상들은 이런 기관들과 밀접하게 연관되어 있다.

신체의 움직임을 감지하는 전정기관은 내이의 세반고리관과 구형낭 (sacculle), 그리고 난형낭 (utricle) 로 구성되어 있다. 각각의 기관은 사람의 움직임이 일어날 수 있는 3차원 공간에

서의 수평, 수직 가속도, 회전 운동을 감지한다. 구형낭은 서고 앉은 수직, 난형낭은 앞과 뒤 등 수평 움직임, 그리고 세반고리관은 회전 운동을 감지한다. 이 구형낭과 난형낭 안에는 젤라틴 물질에 감싸인 이석이 있는데, 이 젤라틴 안의 이석이 움직이며 세포를 자극하여 중력과 등가속도를 감지한다. 내이의 세반고리관은 공간에서 머리의 방향과 움직임을 감지하는데, 각각의 반고리관은 사람의 움직임이 일어날 수 있는 3차원 공간에서의 한 축을 나타낸다. 각각의 반고리관 안에는 내림프액이 차 있고, 머리카락 형태의 세포인 “cupla”가 뇌의 전정기관과 관련된 부분에 정보를 전달한다. 보통의 상황에서는 신체가 특정 방향으로 움직일 때, 왼쪽과 오른쪽 귀의 세반고리관은 한 쪽이 움직이는 방향을 향해 이석과 젤라틴 물질인 큐프라가 중력의 압력을 받으며 자극되면 다른 쪽의 반고리관은 반대 방향으로 당겨지며 자극되지 않는다. 만약 양쪽의 세반고리관이 동시에 자극이 되면 어지럼증의 원인이 될 수 있다. 또, 내이의 균형에 문제가 있는 농아 (labyrinthine defectives; L.D.)의 경우에는 뱃멀미는 물론, 시각적 움직임에 대한 멀미(Visually induced motion sickness) 가 전혀 관측되지 않았다. 반면 장님들의 경우에는 보이지 않지만 구토 증세를 보이기도 하였다 [8][9][10].

시각기관은 때로 움직임이 없어도 움직임이 있다고 느끼는 전이성 착각 (vection) 을 일으킬 수 있는데, VR 기기 사용에서 처럼 95도 105도 사이의 넓은 시야각과, 스스로 움직이고 있다고 느낄 수 있는 최적화된 시각 패턴 (optimal flow pattern)이 그 주된 원인이다. 정지된 차에서 움직이는 옆차를 볼 때, 내 차가 움직이는 것처럼 느끼는 것을 전이성 착각의 예로 들 수 있다.

시각 정보는 전정 기관의 정보와 합쳐지는데, 전이성 착각에서는 있어야 하는 전정기관의 정보가 없거나 시각 기관에 영향을 받는데 이 현상이 감각의 충돌이론의 기반이 된다. 특히 시야각이 많은 영향을 끼치는 것으로 밝혀졌는데, 더 넓은 시야각이 망막 주변부에도 자극을 주기 때문에 더 강하게 인식이 되기 때문이다. 또, 지표면에서 눈에 이르는 높이에서 최적화된 시각 패턴을 통해 지각되는 속도가 빠를수록 전이성 착각이 강하게 나타날 수 있다는 연구결과도 있었다. 전이성 착각의 결과로는 의 피로, 방향 상실 등이 관찰되었다.

가상현실 멀미를 설명하는 가장 대표적인 이론은 감각 갈등 이론 [11]인데, 시각 기관이 어느 방향으로 움직이고 있다는 것을 포함한 정보를 제공하는데, 실제로는 가상현실을 보고 있는 상황이어서 전혀 신체의 움직임이 없을 때, 예측되는 것과 달리 전정기관에서 제공되는 정보가 시각기관과 달라서 충돌을 일으키고 몸의 움직임을 결정할 수 없어서 가상현실 멀미를 일으킨다는 주장이다. 즉 감각들 간의 신체 방향과 움직임에 대한 정보가 불일치할 때, 몸은 감각의 갈등에 의해서 다음 움직임을 결정하지 못한다는 것이다. 실제 상황에서는 시각적으로 움직임이 있을 때, 전정기관에서 전해오는 정보도 몸을 움직이거나 혹은 차량에 타고 움직이는 경우에도 전정기관의 정보와 이러한 시각적 정보가 등가속운동, 회전 움직임 등에서 전정기관에서 받아들이는 정보와 상충하기 때문에 가상현실 멀미가 발생하지 않는 것으로 알려져 있다.

가상현실 멀미에 대한 다른 주장은 독 이론[12]이 있는데, 시각기관과 전정기관 등 다양한 감각기에서 받아들이는 정보가 일치되지 않을 때 진화적 관점에서 신체가 중독되었다고 판단하여 독성 물질을 경고하고 위에서 제거하여 신체를 보호하기 위해 구토를 일으킨다는 주장이다.

마지막으로 자세의 불안정성 이론[13]이 있다. 자연계에서 인간은 안정적인 자세를 유지하려고 하는데, 걷다가 얼음 위에서 미끄러지는 것처럼 주변 환경으로 인하여 안정적인 자세를 취하려는 행동이 통제되지 않는 것으로 인식될 때 신체의 안정성을 회복하려고 한다는 주장이다. 가상현실 환경에서는 안정성을 유지하기 위한 신체의 통제를 잃었다고 지각하게 되며 단기간 지속적으로 불안정한 상태에 놓인 신체가 가상현실 멀미에 선행하며, 원인이 된다는 주장이다. 이 이론에 따르면 신체에 대한 통제를 일정 시간이 아니라 장기간 완전히 잃을 경우에는 사건이 아니라 새로운 환경으로 인식하여 가상현실 멀미가 일어나지 않는다. 이 주장은 후속 연구를 통해서 불안정한 자세가 가상현실 멀미 혹은 시각적 움직임에 대한 멀미(Visually induced motion sickness)에 선행한다는 것을 밝혀냈고[14], 해당 연구는 현존감을 자기 보고 방법 이외의 방법으로 측정하는 시도의 바탕이 되었다. 신체의 통제와 멀미가 관련성이 있다는 것은 자동차 운전자와 비행사와 같이 스스로의 움직임을 통제하는 경우에 일반 승객보다 멀미를 덜 겪는다는 후속연구를 통해 밝혀지기도 하였다[15][16].

가상현실 멀미에 영향을 끼치는 다른 변수로는 화면의 깜빡거림, 화면 지연 현상, 피험자의 성별, 나이, 지병 유무 등이 연구를 통해 밝혀졌다.

멀미에 대한 일반적인 연구에서는 시각기관과 전정기관 외에도 체성감각이 주목되었는데, 체성감각 연구자들은 피부가 수용하는 피부감각 외에도 발바닥이다 다리관절, 근육 인대 등 각종 고유기관들이 수용하는 심부 감각도 진동을 감지하여 신체의 방향과 움직임에 대한 정보를 제공한다고 주장하였고 이 주장이 수용되어서 크게 세 가지 감각이 멀미에 영향을 끼치는 것이 정설이 되었다 [17]. 1998년 시뮬레이터 상황의 가상현실에서 인대와 관절의 위치와 근육의 긴장이 수집한 신체의 방향과 움직임에 대한 정보와 가상현실 환경에서 시각적으로 지각된 신체의 정보와 다른 데에서 불편함과 시뮬레이터 멀미가 발생한다는 연구가 피부와 고유 감각기에서 수집되는 정보도 감각의 충돌에 영향을 끼칠 수 있다는 것을 증명한다. 슈세페 리바는 1998년 논문에서 이러한 이론을 바탕으로 가상현실에서 편중된 정보 프로세싱이 자동적으로 일어나며, 피험자가 인식하지 못하는 가운데 영향을 끼쳐, 이러한 왜곡된 신체 이미지가 관찰이 되고, 이러한 신체 이미지에 대해 교정하는 것이 매우 어렵다는 것을 입증 하였다 [18].

선행연구를 통해서 헤드 마운트 디스플레이를 이용해 가상현실 경험을 할 때에 95도 이상의 넓은 시야각에서 지속적으로 시각 정보가 제공되고, 또 시각 정보들이 전이성 착각을 일으킬 수 있는 최적화된 시각 패턴의 형태를 취하기 때문에 가상현실 멀미가 더 심할 가능성이 있다는 것을 유추할 수 있었고, 후속

연구를 통해 변수로써 디스플레이 시야각이 가상현실 멀미에 끼치는 영향을 확인할 수 있었다

가상현실에서의 감각적 몰입 수준은 보통 가상 환경에 영향을 받는 감각기관과 운동 기관의 수와 범주에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 즉, 감각적 몰입 수준은 가상현실 경험을 통해 일어나는 감각적 자극과 운동 자극의 정도와 범주에 따라 정해진다. 비오카 교수는 2014년도 논문 [19]에서 가상공간에서 디스플레이 시야각의 증가, 움직이는 신체를 따라오며 울리는 3D 입체 사운드, 감각 자극의 변화가 머리, 손 등의 신체 움직임에 자연스럽게 반응하는 감각운동결합을 가능하게 하는 인터페이스의 사용이 감각운동기관의 실제성을 증진시켜 결과적으로 감각적 몰입을 증대시킬 수 있다고 밝혔다. 또 같은 논문에서 현존감은 감각적 몰입수준의 심리학적 결과물로 제시되었다. 아울러 가상현실 경험에서 다른 감각에 해당하는 큐(cue)들을 통합하여 하나의 경험으로 지각되는 큰 스케일의 경험을 만드는 것이 가상현실에서 중요한 경험을 묶는 문제(binding problem)가 된다는 것도 밝혔다.

초기 시뮬레이터 연구에서부터 가상현실 시각 자극의 해상도가 증가하여 생생할수록 가상현실 멀미를 강하게 느끼는 것을 고려했을 때 [20] 적어도 시각에서는 감각적 몰입 수준의 증가가 가상현실 멀미와 높은 상관 관계를 가지는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 가상현실 경험에서 시각에서만뿐만 아니라 전정기관과 체성 감각에서 모두 감각적 몰입도가 높을수록 감각기관을 통해 제공되는 정보가 서로 충돌될 가능성이 높다고 가정하였다. 세반고리관에서 안구신경으로 이어지는 신경 사이에 연결된 통로의 존재가 확인되고, 시각기관과 전정기관, 체성기관 각각에서 보내진 정보들이 뇌의 전정신경핵과 소뇌에서 통합되는 것이 선행연구들을 통해 검증되었기 때문이다. 아울러 뱃멀미가 장남에게서도 나타날 수 있음이 확인된 것처럼 시각 외의 감각에서 수용되는 정보도 서로 충돌할 수 가능성에 대해서도 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 가상현실 경험에서 조작성을 위한 신체의 움직임 중에서 기존 연구를 통해 밝혀진 머리와 몸의 움직임 외에, 조작성을 위한 손의 움직임, 다리 근육의 긴장 등 체성감각에 수용되는 정보와 연관된 움직임과, 조작성을 위해 몸을 회전하고 상반신을 기울이는 등 전정기관의 정보에 영향을 끼치는 움직임이 가상현실 멀미에 어떤 영향을 끼치는지 연구하였다. 또 이러한 정보들이 감각의 충돌에 영향을 끼치는 감각적 몰입과 그 심리학적 결과물인 현존감에 어떤 영향을 끼치는지 실험을 통해 밝히고자 하였다.

2-2 현존감과 가상 공간에서의 머리-몸 움직임에 대한 연구

가상공간에서의 신체 움직임 연구는 주관적 현존감과 자극에 대한 반응을 연결하기 위한 시도에서 주로 유래되었다. 초기 연구들에서 현존감 측정은 주관적 자기보고 방법과, 자극에 대한 무의식적인 반응의 두 가지 다른 현상에 대해 측정하는 것으로 이루어졌다. 슬레이터의 1998년 논문 [21]은 신체 움직임과

과제의 난이도, 그리고 현존감과의 연관성을 알아보고, 특히 주관적 자기 보고 측정과 자극에 대한 무의식적인 반응의 연관관계를 파악하기 위해 수행되었다.

이 연구에서 피험자들은 눈높이 위에 위치하고 있는 건강한 나무와 눈높이 아래에 위치하고 있는 병들어 잎이 갈색인 나무들을 관찰하고 병든 나무의 수를 세거나, 건강한 나무의 수를 세거나, 혹은 두 개의 수를 모두 세는 복합적인 태스크를 수행하였고 실험 후에 피험자의 현존감과 머리가 움직인 각도가 측정되었다. 몸을 숙였다가 일어서서 펴는 정도도 손의 높이를 통해 측정되었지만, 장치의 한계로 손은 3D 마우스를 쥐고 버튼을 누르는 것 이외의 다른 영향을 가상 환경에 끼칠 수 없었다.

실험의 결과로 태스크의 난이도와 현존감은 큰 상관 없이, 오브젝트의 높이와 관련하여 머리-몸의 움직임의 정도가 증가할수록 주관적 현존감에 긍정적인 영향이 있다는 결과가 도출되었다. 주관적 현존감과 머리-몸 움직임 간의 긍정적인 상관관계는 머리-몸의 움직임을 입력에 사용하는 디바이스 연구에서도 나타났다 [22][42]. 보다 구체적으로는 해당 연구에서는 좌우로의 머리 움직임과 현존감이 양의 상관관계를 가졌고, 손의 높이를 통해 간접적으로 측정한 수직으로의 움직임은 현존감과 음의 상관관계를 갖는 것으로 드러났다.

반면 전체 실험집단의 수가 20명이고, 현존감에 영향을 끼칠 수 있는 화면의 선명함이나, 반응지연과 같은 기술적 요소들이 미비하였고 실험 자극이 길을 가면서 만나는 삼각형으로 구성된 나무들을 판별하는 단순한 것이어서 더 상호작용이 일어나는 가상현실 1 경우로 일반화시키기에는 어려움이 있었다. 또, 신체의 움직임을 세분화하기보다 움직임 전체를 하나로 보는 (whole body movement) 관점에서 실험이 이루어졌다는 한계도 있다.

가상 환경에서의 햅틱기술에 대한 2004년 논문 [23]도 현존감과 신체의 움직임 간에 양의 상관관계의 가능성이 높다고 주장하였다. 저자에 따르면 플레이어들은 실제 상황에서 테니스를 칠 때 움직이는 공을 따라가며 원하는 곳에 공을 보내기 위해 라켓에 원하는 만큼의 힘을 주어 공을 보내며 다음 공이 올 위치로 다리를 움직이는 과정에서, 감정적으로, 인지적으로, 물리적으로 테니스 치는 환경에 감각적으로 몰입한다. 가상현실에서, 플레이어는 감각기를 통해 수용된 정보와, 이 정보를 통해 활성화된 과거의 신체 경험에서 추상화된 정보가 싱크로하는 정도인 “공명”이 높으면 높을수록 환경과 직접 감각기로 상호작용하고 있다고 느끼는 신체화된 현존감을 더 많이 느낄 수 있다고 이론적으로 연구를 뒷받침하였다. 이 이론은 아바타의 신체 맵핑의 유연성에 대한 2015년 연구 [24]에서 현존감의 또 다른 측정방법인 반응에 대한 무의식적인 자극의 측정으로 간접적으로 뒷받침된다. 아바타의 부위와 실제 움직이는 사람의 부위의 맵핑이 일치할 때(팔을 움직이면 아바타의 팔이 움직일 때 등)에는 손이 발보다 더 가상의 풍선이 등장하면 터뜨려서 나오는 점수가 높았는데, 맵핑이 일치하지 않을 때(팔을 움직이면 다리가 움직일 때)에는 정확도와 점수 모두 낮아졌다. 또 실제 손 또는 발의 길이보다 아바타의 손과 발 길이가 확장되었

을 때도 맵핑이 일반적일 때보다 점수와 정확도가 모두 낮았다.

반면, 군사 교육을 위한 시뮬레이터에서는 신체의 움직임이 현존감에 큰 상관을 나타내지 않는다는 결과가 나타났다. 2010년에 수행된 군사 목적을 위한 4인 건물 소개(building clearing) 가상훈련 실험 [25]에서는, 건물 내의 적을 확인하기 위해 상반신의 회전을 포함한 전체 몸의 움직임이 이루어졌을 때, 가상현실 멀미가 꼭 머리-몸 전체 움직임의 정도와 높은 상관관계를 갖지는 않았다. 실험에 따르면 가상 공간에서의 머리-몸 움직임은 실제 상황에서 훈련할 때보다 더 움직임이 적었다. 이에 대해 저자는 실험상황이 피험자가 총 모형을 들고 건물 밖에서 건물 내로 진입하여 시각에 있는 적을 수색하는 팀 트레이닝 상황이었기 때문에, 전신을 움직여 벽의 모서리를 돌면서도 시선은 노리쇠 사이에 고정되어 있는 상황에 국한된 것이 영향을 끼쳤을 가능성에 대해 시사했다. 또 이 실험에서 컨트롤에 영향을 주는 손의 움직임은 포함되어 있지 않은 부분도 생각해볼 부분이다. 연구자는 적을 수색하는 것과 같은 특수한 상황이 신체의 움직임이 현존감과, 가상현실 멀미, 그리고 각성 상태와 연관이 있을 수 있으며 일반적인 가상현실 상황에서는 다른 결과가 나올 수 있다고 논의하였다.

선행 연구를 바탕으로 머리와 몸의 움직임의 기존 영향을 전제로 하여, 여기에 더해 컨트롤을 위한 손의 감각, 신체 상반신의 움직임, 머리와 몸의 움직임 등 조작을 위해 이뤄지는 전체 움직임이 이루어질 때, 높은 현존감과 각성 정도가 나타나고, 시각, 체성 감각, 전정기관에서 받아들여진 생생한 정보가 감각의 불일치 정도를 높여서 결과적으로 가상현실 멀미를 피험자들이 강하게 느낄 수 있다는 가설을 세웠다.

2-3 가상 공간에서의 조작을 위한 손의 움직임에 관한 연구

햅틱 (Haptic system)에 대한 2004년 논문에서는 가상현실에서 플레이어는 테니스장에 내가 실제로 “있다”는 현존감과, 환경과 실제로 상호작용하고 있다는 신체화된 현존감을 느낄 수 있다고 주장한다. 특히 손과 같은 감각기관에서 환경과 상호작용하고 있다는 현존감은 더 잘 나타날 수 있다.

인간의 햅틱 시스템은 감각기를 통해 정보를 수집하여 행동에 이 정보를 활용하는데, 특히 손은 정보를 받아들이며 동시에 행동도 할 수 있어서 이러한 신체화된 현존감이 강하다. 비오키아는 이러한 신체화된 현존감에 대해 물리적 신체와 가상의 신체 사이의 맵핑이 사용자의 바디 스키마(body schema) 또는 신체 이미지(body image)에 영향을 준다고 밝혔다.

감각운동 자극은 가상 환경의 사물이 실제와 유사하고, 자극 방식이 실제 감각 운동 자극과 유사할수록 감각적 몰입과 현존감이 높은 것으로 연구되었다. 하지만 닌텐도 Wii (Wii)의 컨트롤러를 이용한 실험 [26]에서 실제와 유사한 감각운동 자극이 항상 현존감에 꼭 긍정적인 영향을 끼치는 것은 아니라는 결과도 도출되었다.

비오키아 교수는 논문에서 컨트롤러 조작을 위한 손의 움직임을 크게 자연적인 것과 추상적인 것으로 구분하였는데, Wii 실

험에서는 실제 손의 위치를 센서로 감지하고 강도와 각도를 모사하여 반영하는 Wii 컨트롤러보다 추상적인 소니 플레이스테이션 2 (Playstation 2) 게임패드를 사용했을 때 더 감각적 몰입과 현존감이 높게 나타났다. 저자는 Wii 컨트롤러가 센서 기술의 한계로 인식되는 범주가 제한적이어서 실제와 달랐고, 손가락 및 손목의 움직임 등 실제 손의 감각이 작동하는 방식을 일부만 반영할 수 있어서 실제 손의 움직임을 충분히 반영하지 못했기 때문에, 가설과 다르게 사용에 익숙했던 게임패드에서 더 현존감이 높게 나타난 것 같다고 후술하였다.

현재 나와 있는 최신의 HTC Vive의 컨트롤러나, 오쿨러스 터치 (Oculus touch)는 물론 렙모션 (Leap motion) 등 더 자연스러운 손의 움직임을 표방하는 컨트롤러도, 기존의 Wii 컨트롤러에 비해서는 발전되었지만 여전히 인식하는 공간의 한계와 손가락, 손목 등 손의 실제 움직임을 정교하게 반영할 수 없는 기술적 한계를 갖고 있어 추상적인 것과 실제 손의 움직임의 중간에 위치하고 있다. 그래서 본 실험에서는 이러한 접근 가능한 기술의 한계를 고려하여, 컨트롤러 조작을 위한 손의 움직임 중에서도 “조작을 위한 추상적인 손의 움직임”이 전정기관과 체성 감각에 끼치는 영향에 대해서만 가설을 세우고 실험을 통해 검증하였다.

체성감각에 영향을 끼칠 수 있는 신체의 움직임에 대한 연구는 Wii 컨트롤러 등 조작을 위한 손의 움직임과 구분되지 않고 다뤄지거나, 현행 기술에서는 손 없이 신체의 움직임만으로 조작하는 상황에서의 현존감과 가상현실 멀미에 대한 선행 연구는 발견하지 못하였다. 그래서 전반적인 신체의 움직임이 현존감과 가상현실 멀미에 끼치는 영향은 손의 움직임과 연계하여 실험하였다.

2-4 현존감, 가상현실 멀미에 대한 연구

현존감은 가상현실 경험과 다른 미디어 경험을 차별화하는 주요한 요소입니다. 초기 현존감은 사용자가 다른 장소에 있는 것처럼 느끼는 원격 현존감 (Telepresence)으로 정의되었고 [27][28], 이후 이관민 교수에 의해 “가상의 사물이 감각적 혹은 비 감각적인 방법에서 실제의 사물로 인지되는 심리적 상태”로 다시 정의 되었다 [29].

가상현실 기기가 제공하는 시각, 청각, 신체의 움직임 등 다양한 감각자극은 감각적 몰입을 제공하며 화면 속 가상의 사물이 마치 실제 내 눈 앞에 있는 사물처럼 인지됩니다. 현존감은 크게 물리적, 사회적, 자아 현존감의 세 가지로 구분되지만 본 실험에서는 실험환경 내에서 경험이 유사진성을 갖는 사물에 한정되어 있고 분리되지 않기 때문에 물리적 현존감, 유사진성을 갖는 사물에 대한 사회적 현존감, 자아 현존감을 통합하여 현존감을 측정하였다.

기존 연구에서 가상현실 경험에서 촉발되는 현존감은 공포와 불안과 같은 부정적 감정에 매개효과를 가지며, 이 부정적 감정들은 각성도를 높이는 것으로 밝혀졌다 [30][31]. 또 시야각에 대한 실험 [32]을 통해 가상현실에서 높은 현존감이 높은

가상현실 멀미 정도와 연결된다는 가설은 유의한 것으로 드러났다.

III. 연구 방법

3-1 실험 디자인

실험은 2X1 비교군 실험디자인(2 by 1 between subjects design)으로 서울 소재 대학교의 VR 경험이 없거나 적은[33] 학부생 및 대학원 재학생 55인 (남성 35명, 여성 20명)을 대상으로, 조작을 위한 손의 움직임과 몸의 움직임이 있는 실험군과 머리와 몸의 움직임만 있는 통제집단으로 무작위로 나누어 진행되었다. 실험 기기는 일반 소비자들이 쉽게 접할 수 있는 보급형 헤드 마운트 디스플레이 기기 (ZATA 爆風魔鏡2)를 사용하였으며, 스마트폰은 5인치 스크린의 갤럭시 S5를 사용하고 조이스틱은 줄이 걸리지 않고 실제 게임패드와 동일한 구조를 갖는 블루투스 패드(Joytron EX M AIR)를 사용하였다.

실험 소프트웨어는 지연이나 끊김현상 없이 온전하게 가상현실 경험에 집중하도록 하기 위해서 샌드박스형의, 바다속을 자유롭게 상하좌우로 이동할 수 있는 게임 (Shark VR, LAKENTO)을 이용하여 고래, 불가사리 등 숨겨진 요소들을 상하좌우에서 찾아보라고 태스크를 주었다. 실험 조건에는 놀람 등 부정적 감정을 인위적으로 자극할 수 있는 위험요소 (상어 등 위험한 생물의 공격, 플레이어의 죽음, 점수 등 게이지의 감소나 차등)는 제외하였다.

가상현실 환경으로 바다를 고른 것은 이전 연구 [36]에서 바다 조건이 가상현실 멀미를 구성하는 어지럼증 (Nausea), 안구피로 (Oculomotor), 방향성 상실 (Disorientation) 모두에서 중간 정도의 결과값을 보였기 때문에 선택했다. 실험 공간은 35 x 14인치 정도의 빈 공간으로 피험자가 자유롭게 걸어 다닐 수 있게 실험 기자재 이외에는 아무 것도 두지 않고 바다도 평평하게 하였다.

3-2 실험

실험에 앞서 참가자들은 VR 사용 경험과 인적사항에 대한 간단한 설문을 작성하고, 조작된 실험의 목적인, VR 게임과 기기의 사용성 평가에 대해 브리핑을 받고 30초 정도 기기의 사용에 익숙해지는 시간을 가졌다. 이후 피험자는 실험조건에 맞추어 실험 집단은 블루투스 게임패드로 조작하면서 원하는 방향으로 걸어다니면 게임에도 반영이 된다는 실험 조건을 위한 거트 브리핑을 받았고, 통제집단의 경우 실험공간 가운데에 있는 받침대를 잡고 발을 움직이지 않고 가만히 서 있도록 하고 패드를 주지 않았다. 두 집단 모두 고개를 돌리다보면 고래나 불가사리 등 숨겨진 요소들이 있으니 찾아보라는 가이드를 받았다. 실험시간은 약 7분 정도로 동일하였고, 실험시간이 가상현실 멀미에 영향을 끼칠 수 있다는 선행연구[36]를 고려하였다.

실험 후에 실험공간과 별도의 장소에서 설문지를 통해 가상 현실 멀미[34]와 현존감[35], 그리고 각성 정도[37]에 대해 응답하였다. 모든 피험자는 안경을 벗고 기기를 착용했다.

3-3 설문 문항

설문문항은 각성 정도 설문문항 (Cronbach's $\alpha = .85$)의 경우, 활기찬, 피곤한 등 인지되는 각성정도에 대한 15개 문항에 대해 “전혀 내가 전혀 내가 느끼는 것과 다르다”에서 “내가 느끼는 것과 정확히 같다”에 이르는 5점 리커트 척도로 측정하였다.

현존감 설문문항은 ITC-SOPI를 기반으로 VR 상황에 맞게 문항을 수정한 것으로, 이관민 교수의 사회적, 자아, 물리적 현존감 항목별로 각각 2개씩 6개 문항을 5점 척도로 측정하였다.

가상현실 멀미 문항 (Cronbach's $\alpha = .80$)은 군용 시뮬레이터 멀미 측정에 사용된 Nausea, Oculomotor, Disorientation에 대한 13개 문항을 VR 상황에 맞게 자체 수정한 것으로 “전혀 아니다”에서 “심각하다”에 이르는 5점 척도로 측정하였다.

3-4 연구 결과

일변량 분산 분석(One way ANOVA)을 통해 손의 움직임과 몸의 움직임이 있을 때 ($M = 3.05, SE = .09$)가 몸의 움직임만 있을 때 ($M = 2.84, SE = .09$)보다 각성 정도에 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있었다 ($F(1, 47) = 4.05, p < .05$). 또 손의 움직임과 몸의 움직임이 있을 때 ($M = 2.53, SE = .12$)에 그렇지 않을 때 ($M = 2.21, SE = .14$)보다 더 현존감이 높았다 ($F(1, 47) = 3.09, p < .1$). 가상현실 멀미와 신체의 움직임에 대한 가설의 유의성은 이 실험에서 확인되지 않았는데, 안경 착용의 유무가 중재변수로 가상현실 멀미에 영향을 끼친다는 것은 확인할 수 있었다 ($F(1, 47) = 4.05, p < .05$). 안경을 착용하지 않는 피험자가 안경을 착용한 피험자보다 가상현실 멀미의 정도가 더 높았다. 이외에도 손의 움직임과 몸의 움직임이 있는 경우와 안경 착용 유무 사이에 인덱션 효과가 있었다 ($F(1, 47) = 3.19, p = .08$). 안경을 착용하는 사용자의 경우에 손과 몸의 움직임 ($M = 3.70, SE = .14$)이 있을 때가, 머리와 몸의 움직임만 있을 때 ($M = 3.21, SE = .14$)보다 현존감에 더 큰 영향을 끼쳤다. 반면 안경을 착용하지 않는 경우, 머리와 몸의 움직임만 있는 경우가 손과 몸의 움직임이 있을 때보다 현존감이 조금 더 높았다.

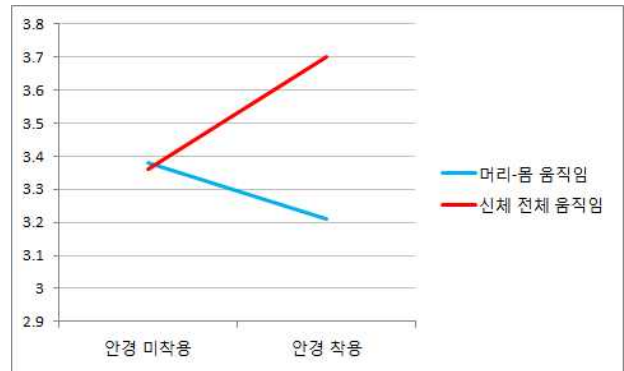


그림 1. 안경착용 유무의 손과 몸의 움직임이 있는 경우가 현존감에 끼치는 영향에 대한 매개효과

Fig. 1. Mediating Effects of Hands and Body Motions with/without Glass on Presence

IV. 결론

실험을 통해 가설 중에서 각성 정도 변수에서만 가설의 유의성을 검증할 수 있었다. 현존감에 대한 결과도 부분적으로 유의하였다. 선행 연구에서 상반되는 결과가 나왔던 것처럼, 가상현실 멀미는 신체의 움직임 자극이 다양하고 정도가 높을 때 꼭 높게 나타나지는 않았다. 이 결과로 보아 새로운 컨트롤러의 도입이 꼭 가상현실 멀미가 늘어나는 결과로 연결되지는 않을 것으로 추정할 수 있었다.

가상현실 멀미는 오히려 안경 착용의 유무와 연관되었는데, 기존의 헬리콥터 실험에서 화면과 눈 간의 거리가 다른 것이 시각의 피로와 연결되며, 에벤홀츠는 1988년에 헬리콥터 시뮬레이터에서 느끼는 시각의 피로가 가상현실 멀미에 영향을 끼치는 안구운동 장애와 연결될 수 있음을 밝혔다 [38]. 또 하나의 가능성은 인지적 구두쇠 이론 [39]에 기반하는데 우리 뇌는 익숙한 자극을 더 선호하기 때문에 눈 위에 다른 렌즈가 있는 것에 익숙한 사람들이 헤드 마운트 디스플레이를 착용하였을 때 렌즈가 눈 앞에 있는 상황에 대해 덜 새롭게 느껴서, 가상현실 멀미 정도가 평소와 안경을 착용하는 경우보다 더 낮게 측정되었을 가능성에 대해 생각해볼 수 있다. 이 가설을 채용하여 피험자가 안경을 착용하지 않는 경우의 인덱션 효과를 설명하면, 손과 몸의 움직임보다 안경에 대한 익숙함이 가상현실 멀미 정도에 영향을 주는 더 주요한 변수일 수 있는 가능성을 찾을 수 있는데, 이는 추후 실험을 통해 검증해야 할 부분이다.

손과 몸 등 전체적인 신체의 움직임이 있을 때 가상현실 멀미 정도가 더 높다는 가설이 검증되지 않은 것은, 위에서 제시한 것처럼 안경의 유무와 같은 다른 변수가 더 주요한 영향을 끼쳤거나, 아니면 실험 상황 구성에서 피험자에게 몸을 움직이면 화면에서 반영된다고 하였지만 실제로는 상호작용이 없어서 감각운동결합도가 낮은 것이 원인일 수 있다. 그리고 패드의 일부 버튼만이 실험상황과 상호작용을 하는 것 같은 실험의 한계도 감각운동결합을 떨어뜨리는 또 하나의 원인이었을 수 있다고 생각된다. 가상공간에서 조작을 위한 손의 움직임에서, 감

각적 몰입에는 자극의 수와 정도에 못지않게, 가상공간에서의 조작을 위한 피험자의 손의 움직임이 현실에서 손을 움직이는 것과 잘 매치가 되는가도 중요한데 실험상황에서는 신체를 직접 움직이는 것이 몸-머리도 기기에 모션 트래킹 기능이 없어서 정확하게 반영되지 않았고, 패드의 경우에도 특정 버튼은 반영되지 않거나 추상적인 조작에 그쳤다는 한계들이 있었다.

추후 HTC VIVE나 오클러스 등 롬 기반으로 신체의 움직임을 인식하거나 아니면 적어도 기어 VR을 통해 헤드모션 트래킹과 터치가 이루어지는 상황에서 실험이 이루어진다면 좀 더 면밀하게 가설을 검증할 수 있을 것이다.

또 하나의 이슈는 벽이 VR 헤드마운트 디스플레이에서 보이지 않아서 사용자들이 몸을 많이 움직이려고 하지 않았다는 점입니다. 위와 같은 원인들로 인해 시각으로 인지되는 몸의 운동 방향과 전정기관과 체성감각에서 받아들여진 방향, 움직임 정보에 피험자별로 큰 차이가 있었고, 그래서 개별 피험자가 실제 움직인 정도에서 차이가 발생하는 것을 통제하지 못한 것이 실험 결과에 영향을 끼쳤다고 보여진다. 또 서서 영상 콘텐츠를 체험한 피험자가 콘텐츠를 소비하는 방식이 몸을 움직이는 것보다 등을 기대고 시청하는 시청자에 가깝다면 현존감 여부에 상관없이 몸을 움직이는 미디어 경험 자체를 불편한 것으로 인식하여[40] 신체의 움직임이 있을 때, 더 어지럽고 피로하며, 방향성 상실되어서 빨리 앉고 싶은 것으로 응답할 가능성도 존재한다. 이외에도 실험 변수를 10점 척도가 아니라 5점 척도로 측정하였던 것도 각성 정도처럼 전체적으로 확연히 차이가 나지 않으면 종속 변인의 평균 차가 크게 나지 않아 주효과를 측정하기 어려운 부분이었다고 생각한다. 그리고 자발적인 참여자를 대상으로 랜덤한 조건으로 실험하였기 때문에 남녀 성비와 비율이 실험조건별로 정확하게 맞지 않았던 점도 후속 연구에서 보완되어야 하는 부분이다.

본 실험의 의의는 국내에서는 처음으로 손과 몸, 머리의 움직임을 포함한 조작을 위한 전체적인 신체의 움직임이 각성 정도, 현존감, 가상현실 멀미와 어떤 관계를 갖는지 가설을 세우고 실험을 통해 검증하려는 시도를 하였고, 분석을 통해 안경의 착용 유무라는 새로운 변수를 찾을 수 있었다는 점이다.

이러한 실험적인 연구를 시작으로 후속연구에서 더 면밀하게 변수 간의 관계를 검증한다면 우선 가상현실 경험에서 가상현실 멀미라는 것이 주로 어떤 원인으로 인해 일어나는지 이해할 수 있고, 이를 바탕으로 산업계에서 더 나은 가상현실 경험을 디자인하는데 필요한 매뉴얼을 만드는데 기여할 수 있을 것이라고 생각한다.

무엇보다도 이 연구는 가상현실 경험이 기존의 미디어 경험과 무엇이 다르냐는 질문에 대해 새로운 설명을 제시할 수 있는 가능성을 열었다. 즉, 기존의 미디어 경험과 달리 가상의 사물이 신체의 감각과 심리적 과정을 거쳐서 실제의 사물로 수용되는 데에서 차이가 있다는 기존의 설명에 더해 수용 후의 심리적 결과물인 현존감이 실제의 미디어 수용자의 신체에 영향을 끼칠 수 있는 가능성에 대해 실험을 통해 부분적으로 검증하였다.

감사의 글

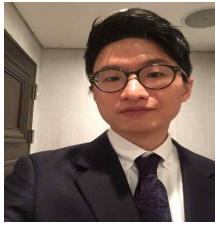
본 연구는 교육부의 “두뇌한국 21 플러스 사업”의 지원을 받아서 수행되었다.

V. 참고문헌

- [1] Gartner, Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor, 2014, available: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>
- [2] USATODAY, Oculus cuts price on virtual reality gear, 2017, available: <https://www.usatoday.com/story/tech/news/2017/03/01/oculus-cuts-price-rift-goggles-and-touch-controllers/98585806/>
- [3] Financial Times, VR industry faces reality check on sales growth, 2017, available: <https://www.ft.com/content/f7e231ee-fc84-11e6-96f8-3700c5664d30>
- [4] ScienceNews, Virtual reality raises real risk of motion sickness, Women more likely to feel nausea than men using gaming headset, 2016, available: <https://www.sciencenews.org/article/virtual-reality-raises-real-risk-motion-sickness>
- [5] Stanney, Kay M., Robert S. Kennedy, and Kelly S. Hale, "Virtual environment usage protocols", *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications, Second Edition*, CRC Press, 797-809, 2014. .
- [6] Kim, Sungho, et al, "Effects of Body Movements in Using Virtual Reality Headsets." *한국 HCI 학회 학술대회* 587-590, 2016.
- [7] LaViola Jr, Joseph J, "A discussion of cybersickness in virtual environments", *ACM SIGCHI Bulletin* 32.1, 47-56, 2000.
- [8] Cheung, B. S., I. P. Howard, and K. E. Money, "Visually-induced sickness in normal and bilaterally labyrinthine-defective subjects", *Aviation, space, and environmental medicine*, 1991.
- [9] Cheung, B. S. K., et al, "Circularvection about earth-horizontal axes in bilateral labyrinthine-defective subjects", *Acta oto-laryngologica* 108.5-6 336-344, 1989.
- [10] Johnson, Walter H., Fred A. Sunahara, and Jack P. Landolt, "Importance of the vestibular system in visually induced nausea and self-vection", *Journal of Vestibular Research* 9.2, 83-87 1999.
- [11] Reason, James T., and Joseph John Brand, *Motion sickness*.

- Academic press, 1975.
- [12] Treisman, Michel, "Motion sickness: an evolutionary hypothesis", *Science* 197.4302, 493-495 1977.
- [13] Riccio, Gary E., and Thomas A. Stoffregen, "An ecological theory of motion sickness and postural instability", *Ecological psychology* 3.3 195-240, 1991.
- [14] Smart Jr, L. James, Thomas A. Stoffregen, and Benoît G. Bardy, "Visually induced motion sickness predicted by postural instability", *Human Factors* 44.3 451-465, 2002
- [15] Rolnick, Arnon, and R. E. Lubow, "Why is the driver rarely motion sick? The role of controllability in motion sickness", *Ergonomics* 34.7 867-879, 1991
- [16] Bles, Willem, et al, "Motion sickness: only one provocative conflict?", *Brain research bulletin* 47.5 481-487, 1998
- [17] Sadowsky, John, and Robert W. Massof, "Sensory engineering" *Johns Hopkins APL Technical Digest* (Applied Physics Laboratory) 15.2 99-109, 1994.
- [18] Riva, Giuseppe, and Luca Melis, "Virtual reality for the treatment of body image disturbances", *Studies in health technology and informatics* 95-112, 1997
- [19] Bohil, Corey J., Bradley Alicea, and Frank A. Biocca, "Virtual reality in neuroscience research and therapy" , *Nature reviews neuroscience* 12.12 752-762, 2011
- [20] Crowley, John S, "Simulator sickness: a problem for Army aviation", *Aviation, space, and environmental medicine*, 1987.
- [21] Slater, Mel, John McCarthy, and Francesco Maringelli, "The influence of body movement on subjective presence in virtual environments." *Human Factors* 40.3 469-477, 1998
- [22] Terziman, Léo, et al, "Shake-your-head: Revisiting walking-in-place for desktop virtual reality", *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, ACM, 2010.
- [23] Reiner, Miriam, "The role of haptics in immersive telecommunication environments", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 14.3 392-401, 2004.
- [24] Won, Andrea Stevenson, et al, "Homuncular flexibility in virtual reality", *Journal of Computer-Mediated Communication* 20.3 241-259, 2015
- [25] Walker, Alexander D., et al, "Head movements and simulator sickness generated by a virtual environment", *Aviation, space, and environmental medicine* 81.10 929-934, 2010.
- [26] Limperos, Anthony M., et al, "Gaming across different consoles: exploring the influence of control scheme on game-player enjoyment", *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking* 14.6 345-350, 2011.
- [27] Steuer, Jonathan, "Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence", *Journal of communication* 42.4 73-93, 1992.
- [28] Lombard, Matthew, and Theresa Ditton, "At the heart of it all: The concept of presence", *Journal of Computer-Mediated Communication* 3.2 0-0, 1997.
- [29] Lee, Kwan Min, "Presence, explicated", *Communication theory* 14.1 27-50, 2004.
- [30] Parsons, Thomas D., and Albert A. Rizzo, "Initial validation of a virtual environment for assessment of memory functioning: virtual reality cognitive performance assessment test", *CyberPsychology & Behavior* 11.1 17-25, 2008.
- [31] Price, Matthew, et al, "Does engagement with exposure yield better outcomes? Components of presence as a predictor of treatment response for virtual reality exposure therapy for social phobia", *Journal of anxiety disorders* 25.6 763-770, 2011.
- [32] Lin, JJ-W., et al, "Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment", *Virtual Reality Proceedings IEEE*, 2002.
- [33] Stanney, Kay M., et al, "What to expect from immersive virtual environment exposure: Influences of gender, body mass index, and past experience", *Human Factors* 45.3 504-520, 2003.
- [34] Witmer, Bob G., and Michael J. Singer, "Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire", *Presence: Teleoperators and virtual environments* 7.3 225-240, 1998.
- [35] Kennedy, Robert S., et al, "Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness", *The international journal of aviation psychology* 3.3 203-220, 1993.
- [36] Kennedy, Robert S., et al, "Profile analysis of after-effects experienced during exposure to several virtual reality environments", *AGARD CONFERENCE PROCEEDINGS AGARD CP. AGARD*, 1994.
- [37] Anderson, Craig A., William E. Deuser, and Kristina M. DeNeve, "Hot temperatures, hostile affect, hostile cognition, and arousal: Tests of a general model of affective aggression", *Personality and Social Psychology Bulletin* 21.5 434-448, 1995
- [38] Ebenholtz, Sheldon, *Oculomotor systems and perception*, Cambridge University Press, 2001.
- [39] Fiske, Susan T., and Shelley E. Taylor, *Social cognition: From brains to culture*, Sage, 2013.
- [40] Lee, J., and Shin, D., "3D lattice information space for TV

contents based on spatial metaphor”, *Journal of Digital Contents Society* 15.5, 651-661, 2014.



김성호(Sung-ho Kim)

2017년 : 성균관대학교 소프트웨어대학 인터랙션 사이언스 학과 (석사 수료)

2015년~현재: 성균관대학교 소프트웨어대학 인터랙션 사이언스 학과

※관심분야 : 가상현실 경험(VR experience), 뉴미디어 저널리즘(new media journalism), 감각적 몰입 (Sensorimotor immersion), 감정(emotion) 등



신동희(Dong-Hee Shin)

성균관대학교 신문방송학과 학사

미국 서던 일리노이 대학교(Southern Illinois University) 석사

미국 시라큐스 대학교(Syracuse) 석사

미국 시라큐스 대학교(Syracuse) 박사

2004년~2009년: Penn State University, College of Info Science & Tech. 조교수

2009년~2013년: 교육부 세계수준의 연구중심대학육성사업 (World Class University) 해외 초빙학자

2013년~2016년: BK21 플러스 사업단장(UI/UX 글로벌사업단)

2010년~2016년: 성균관대학교 인터랙션 사이언스 연구소 연구소장

2016년~현재: 중앙대학교 미디어커뮤니케이션 학부 정교수

※관심분야 : 인간-컴퓨터 상호작용, 몰입, 가상현실, 정보통신정책, 디지털미디어정책