감성과학
제26권 4호, 2023
<연구논문>

pISSN 1226-8593
eISSN 2383-613X
Sci. Emot. Sensib.,
Vol.26, No.4, pp.103-114, 2023
https://doi.org/10.14695/KJSOS.2023.26.4.103

증강현실에서의 가상현실 콘텐츠 시청 경험과 사이버 멀미

Cybersickness and Experience of Viewing VR Contents in Augmented Reality

오지영[1] · 진민성[2] · 박시온[3] · 송세윤[4] · 전수빈[5] · 이유정[6] · 신혜지[7] · 김채연[8†]

Jiyoung Oh[1] · Minseong Jin[2] · Zion Park[3] · Seyoon Song[4] · Subin Jeon[5] · Yoojung Lee[6] · Haeji Shin[7] · Chai-Youn Kim[8†]

Abstract

Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) differ fundamentally, with AR overlaying computer-generated information onto the real world in a nonimmersive way. Despite extensive research on cybersickness in VR, its occurrence in AR has received less attention (Vovk et al., 2018). This study examines cybersickness and discomfort associated with AR usage, focusing on the impact of content intensity and exposure time. Participants viewed 30-minute racing simulation game clips through AR equipment, varying in racing speed to alter content intensity. Cybersickness was assessed subjectively using the Simulator sickness questionnaire (SSQ; Kennedy et al., 1993). Findings revealed a progressive increase in cybersickness with longer exposure, persisting even after removing the AR equipment. Contrarily, content intensity did not significantly influence cybersickness levels. Analysis of the SSQ subscales revealed higher oculomotor (O) scores compared to nausea (N) and disorientation (D), suggesting that discomfort primarily stemmed from oculomotor strain. The study highlights distinct differences in user experience between AR and VR, specifically in subjective responses.

Key words: Augmented Reality, Cybersickness, Virtual Reality, Virtual Environments, Speed Perception

요 약

증강현실은 가상현실과는 구별되는 개념으로, 실제 세계와 가상 세계의 요소가 혼합된 상호작용 환경이다. 본 연구는 가상현실 또는 일상에서 노출될 수 있는 일반적인 콘텐츠를 활용하여, 증강현실이 사용자 경험에 미치는 영향을 검증하였다. 본 연구에서는 증강현실 사이버 멀미를 유발하기 위해서 조건에 따라 증강현실 노출 시간과 콘텐츠의 움직임 속도를 조작하였다. 실험 과정에서 참가자는 증강현실 기기를 120분 동안 착용하고 30분씩 시뮬레이션 레이싱 게임을 시청하며 색 변화 탐지 과제를 수행하였고, 그로 인해 유발된 주관적인 불편감을 SSQ 설문지를 이용해 보고하였다. 실험 결과, 증강현실 노출 시간이 길어질수록 사이버 멀미는 점진적으로 증가하였으며 기기를 해제한 후에도 사이버 멀미는 지속되었다. 하지만, 움직임 속도는 사이버 멀미에 미미한 영향을 미쳤다. 특히, 메스꺼움 증상과 방향 감각 상실 증상이 높게 유발되는 가상현실과는 다르게 증강현실은 안구 운동 불편감에 대한 보고가 높

※ 이 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20016186).

[1] 오지영: 고려대학교 심리학부(행동인지신경과학전공) 석사수료
[2] 진민성: 고려대학교 심리학부(행동인지신경과학전공) 석사
[3] 박시온: 고려대학교 심리학부(행동인지신경과학전공) 석박사통합수료
[4] 송세윤: 고려대학교 심리학부(행동인지신경과학전공) 석사과정
[5] 전수빈: 고려대학교 심리학부(행동인지신경과학전공) 석사과정
[6] 이유정: 고려대학교 심리학부 학사
[7] 신혜지: 고려대학교 심리학부(행동인지신경과학전공) 석사
[8] †(교신저자) 김채연: 고려대학교 심리학부 교수 / E-mail: chaikim@korea.ac.kr / TEL: 02-3290-2866

게 관찰되었다. 본 연구는 증강현실 경험이 가상현실 경험과는 구별됨을 보여주며, 증강현실 경험으로 유발될 수 있는 인체 영향성을 다면적으로 측정했다는 점에서 의의가 있다.

주제어: 증강현실, 사이버 멀미, 가상현실, 인체 영향성, 속도 지각

1. 서론

증강현실(augmented reality, AR)이란 실제 세계에 가상적인 디지털 요소를 합쳐서 만든 인간-기계 간 상호작용 환경으로, 현실 세계로부터 경험자를 차단하는 가상 환경을 활용하는 가상현실(virtual reality, VR)과는 구별되는 개념이다(Dargan et al., 2022). 가상 환경과 실제 환경이 혼재되어 있다는 점에서 증강현실은 미술, 철학 그리고 미디어 등의 여러 분야에서 학제 간 연구의 대상이 되어 왔다(Choi et al., 2017; Kong & Han, 2019). 대표적으로, 영화 분야에서는 디지털 기술이 발전하면서 '현실' 개념의 변화가 논의되어 왔고, 특히 독일의 영화 이론가 지그프리트 크라카우어는 자신의 책 <The Film Theory: The Redemption of Physical Reality>에서 디지털 이미징 기술이 우리가 생각하는 현실을 어떻게 바꿔놓을 수 있는지 논하였다(Kracauer, 1997). 이러한 논의를 바탕으로 미국의 영화 비평가 스티븐 프린스는 현실주의가 더 이상 물리적인 문제가 아니라 지각적인 문제라고 제안했는데(Prince, 1996), 이는 가상과 현실의 경계가 변화하고 모호해지면서, 지각하는 것이 곧 현실이라는 새로운 맥락에서의 '현실' 개념이 등장했다고 볼 수 있다(Ma & Choi, 2007). 증강현실은 영화관 스크린이나 모니터를 넘어서서 물리적인 현실에 덧붙인 형태로 지각적인 현실을 실현할 수 있다는 점에서 중요한 의미를 갖는다. 즉, 증강현실은 단순 경험뿐 아니라, 가상과 실재의 개념 그 자체도 변화시킬 수 있는 기술인 것이다. 이처럼 증강현실의 사회적, 산업적 의의는 여러 분야에서 주목받고 있으나, 그 기술과 활용의 측면에 비해 증강현실의 사용자 측면에서의 인체 영향성을 다룬 연구들은 아직 많이 진행되고 있지 않다(Vovk et al., 2018).

가상현실을 경험한 후에 야기되는 인체 영향성의 후유증이 사이버 멀미(cybersickness)라는 명칭으로 언급되면서, 수십 년간 사이버 멀미가 유발되는 원인과 사이버 멀미로 인한 증상들이 연구되어 왔다(Stanney, 1995; Kim et al., 2003; Mazloumi et al., 2017; Mittelstaedt et al., 2019; Jeon et al., 2015). 이에 따라 가상현실에 대한 안전한 사용법들이 제안되었으나, 증강현실의 경우는 아직 그 연구 수가 매우 부족한 실정이다. 특히 가상현실과 증강현실로 유발된 사이버 멀미 증상은 서로 다른 양상을 띠는 것이 보고되고 있기 때문에 증강현실에 중점을 둔 인체 영향성 연구는 더욱 필요하다. 일례로, Hughes와 연구진들의 2020년 연구에서는 사이버 멀미를 측정하는 대표적인 설문지 SSQ (Simulator Sickness Questionnaire; Kennedy et al, 1993)를 통해 증강현실과 가상현실에서의 세부 증상 프로파일 N(Nausea, 메스꺼움), O(Oculomotor, 안구 운동 불편), D(Disorientation, 방향 감각 상실)을 확인하였다. 가상현실의 세부 증상 프로파일이 D, N, O 순의 심각성을 보이나, 증강현실에서는 O, D, N 순의 증상 프로파일이 관찰되어 증강현실이 가상현실에 비해 안구 피로감 등의 안구 운동 불편감을 더 많이 유발함을 관찰하였다. 더 나아가, 안구 운동 불편감은 메스꺼움과 같은 고강도 멀미 증상과 달리 스스로 기기 사용을 중단하기 어렵게 만들기 때문에 중장기적 노출에 따른 위험도가 가상현실 기기보다 증강현실 기기에서 더 크다고 강조하였다.

그렇다면 우리는 증강현실 경험이 유발하는 사이버 멀미를 어떻게 조절할 수 있을까? 여러 연구에서 다양한 자극을 활용하여 사이버 멀미를 확인해 온 가상현실과는 달리, 증강현실에서는 자극의 조작도 매우 한정적이다(Chang et al., 2020). 특히, 사이버 멀미 유발 원인이라고 볼 수 있는 콘텐츠 자극은 실험적으로 조작 가능한 다양한 요소들을 포함하고 있기 때문에 실험 상황에서의 여러 연구 가능성을 제공하고 있다. 본 연구에서는 체계적으로 조작 가능한 콘텐츠 요인 중 콘텐츠에 대한 노출 시간, 그리고 움직임 속도 요인에 대한 관심에서 출발하였다.

가상현실의 경우, 두 요인에 대한 연구들이 진행되어 왔고 다양한 보고들이 이루어진 바 있다. 일반적으로, 가상현실 경험에서의 콘텐츠 노출 시간이 길어질수

록, 그리고 움직임 속도가 증가할수록 사이버 멀미가 증가했다(시간 관련: Stanney et al., 2003; Kennedy et al., 2000; 속도 관련: So & Ho, 2001). 하지만 두 요인 모두 일정 시간의 노출이나 특정 움직임 속도 이상의 수준에서는 사이버 멀미가 유지하거나 감소하는 경향성을 보였다. 이러한 콘텐츠 요인과 사이버 멀미 간의 관계성은 가상현실 기기가 미치는 인체 영향성을 잘 반영하고 있다. 그러나, 콘텐츠 노출 시간 및 움직임 속도 요인 모두 증강현실 자극에 대해서는 아직 연구가 미비한 실정이다. 증강현실은 추후 산업, 교육, 마케팅, 군사 현장 등에서 활발히 사용될 것이 기대되고 있으며, 특히 일상생활에서의 다방면적인 활용이 예상되는 만큼 증강현실 자극에서의 장시간 사용이 인체에 어떤 영향을 미칠 것인지는 중요한 주제이다. 마찬가지로, 확장된 분야에서의 활용 가능성을 확보하기 위해서는 증강현실을 통해 정적이고 통제된 자극뿐 아니라 역동적인 자극을 제시하였을 때의 인체 영향성 역시 연구가 필요하다. 일례로, 1998부터 2002년까지 NASA에서는 비행체 운전 시, 지도 정보를 덧입혀서 제공하는 식으로 증강현실 기술을 활용한 바 있다(Dargan et al., 2022). 해당 예시와 같은 활용 목적에서 움직임이 포함된 증강현실 자극은 필수적일 것이다.

따라서 본 연구에서는 증강현실 노출 시간과 콘텐츠의 움직임 속도를 조절하여 이에 따른 사이버 멀미, 즉 멀미감 및 불편감의 변화를 관찰하고자 한다. 증강현실 자극으로는 레이싱 게임 영상 3개를 제시했으며, 1개의 자극당 30분으로 총 90분의 노출 시간을 설정하였다. 움직임 속도 요인은 레이싱 게임 내 평균 주행 속도를 자극마다 다르게 설정하는 방식으로 조절하였다. 멀미감 및 불편감은 가상현실 기기 연구에서 인체 영향성을 확인하기 위해 가장 많이 사용된 SSQ를 활용하여 측정하였다. 각 자극을 시청한 이후의 SSQ 응답을 통해 노출 시간의 누적, 그리고 움직임 속도 차이에 따른 멀미감 및 불편감 차이를 관찰할 수 있었다. 추가적으로, 실험 전반의 과정 동안 증강현실 기기를 착용한 시간에 따른 불편감 역시 확인할 수 있도록 전체 자극 시청이 끝난 후에도 사후 SSQ 설문을 진행하였으며, 이때 다양한 인체 영향성 관련 설문지를 부가적으로 제시하여 종합적인 불편감 및 멀미감을 확인하였다.

연구 가설을 정리하면 다음과 같다. 가설 1. 증강현실 경험에 대한 노출 시간이 길어질수록 사이버 멀미가 증가할 것이다. 가설 2. 증강현실 기기를 통해 시청한 콘텐츠의 움직임 속도가 증가할수록 사이버 멀미가 증가할 것이다. 이와 같은 두 가설의 검증을 위하여 실시한 실험의 구체적인 내용에 대해 아래에서 기술하겠다.

2. 방법

2.1. 참가자

본 연구에는 46명이 참여하였다. 이 중 장비 문제로 5명, 불성실 응답으로 2명, 심한 멀미감으로 인해 끝까지 실험을 진행하지 못한 참가자 3명이 제외되었다. 따라서, 최종적으로 총 36명에 대한 자료 분석을 진행하였다. 분석에 포함된 36명의 참가자는 남성 19명, 여성 17명으로 구성되어 있었으며, 평균 연령은 23.86세였다(SD=3.77). 평균 시력은 양안 1.11D (SD=.27), 우안 0.97D (SD=.26), 좌안 0.97D (SD=.32)였으며, 참가자들의 평균 동공 간 거리(interpupillary distance, IPD)는 6.47cm였다. 36명 중 10명은 안경을 착용한 상태로 실험에 참여하였다. 본 실험은 2022년 8월부터 ~ 9월까지 두 달 간 참가자 모집 및 데이터 수집이 진행되었다. 모든 실험 참가자는 참가 전 실험 참여 동의서를 제출하였으며, 본 연구의 모든 절차는 고려대학교 생명윤리위원회의 승인을 받아 규정에 따라 진행되었다(KUIRB-2022-0150-01).

2.2. 실험 환경 및 장비

실험은 외부 소리가 차단된 독립적인 공간에서 진행되었으나, 실험실 내부에 배치된 컴퓨터와 키보드 등 실

Fig. 1. A subject wearing the AR equipment and participating in the experiment

제 환경 요소가 가상현실 자극과 혼재되어 있었다(Fig. 1). 자극 제시와 응답 수집은 Matlab 2022a (MathWorks, 2005)와 Psychophysics Toolbox 3.0.18 (Brainard, 1997; Pelli, 1997)을 이용하였다. 자극을 경험하는 증강현실 기기는 엔리얼 라이트(XReal Inc.)를 사용하였다. 해당 장비의 FOV는 52°이며, 무게는 106g이다. 해당 장비의 크기는 사용 시 146mm x 175mm x 44mm, 보관 시 156mm x 52mm x 44mm이다. 안경을 착용한 참가자는 안경을 쓴 상태로 안경 위에 장비를 착용하였다. 소리 자극이 제시된 집단의 경우 증강현실 기기에 내장된 스피커를 통해 소리가 재생되었다.

2.3. 자극

본 연구에서는 증강현실 기기를 통해 제시하는 시각 자극을 통해 요인 1. 노출 시간(이하 시간)과 요인 2. 움직임 속도(이하 속도)에 따른 사이버 멀미를 알아보고자 하였다. 이에 플레이그라운드 게임즈 사의 포르자 호라이즌 5를 이용해 제작한 시뮬레이션 레이싱 게임의 영상을 시각 자극으로 제시하였다. 해당 시각 자극은 건물, 산과 다리, 터널 등이 제시되는 동일한 주행 도로를 자동차로 주행하는 영상이었다.

시간 요인은 자극 제시 및 증강현실 기기 착용 시간을 통해 조절하였다. 1개의 자극은 30분씩 제시되었으며, 각 참가자는 3개의 자극을 차례로 시청하였다. 이러한 실험 절차를 통해, 참가자마다 총 90분의 시청 경험을 형성시켜 시청 시간이 축적됨에 따라 달라지는 사이버 멀미의 정도를 알아볼 수 있었으며 120분 내외의 전체 실험 과정 동안 증강현실 기기를 착용하며 느낀 전반적인 사이버 멀미 간의 상관을 확인할 수 있었다.

속도 요인은 레이싱 게임 내에서의 평균 주행 속도로 조절하고자 하였다. 이에 3개의 다른 주행 속도로 달리는 영상 자극의 속도감이 적절히 지각되는지 본 실험 이전에 자극 검증을 위한 예비 실험을 진행하였다. 예비 실험에서는 약 120km/h, 200km/h, 그리고 290km/h의 레이싱 게임 주행 영상을 제시하였다. 그 결과, 예비 실험 참가자 10명 중 8명이 속도감의 순서를 정확하게 보고했으며, 이러한 결과는 시뮬레이션 레이싱 게임 경험에 무관하게 유지되었다(레이싱 게임 경험자 5명 중 4명, 레이싱 게임 미경험자 5명 중 4명이 정확하게 보고). 따라서 해당 레이싱 게임을 활용하여 본 실험에서 사용할 속도가 체계적으로 조작된 자극을 마련하였다.

본 실험에서는 게임 내에서의 주행 속도에 따라 총 3개의 자극이 제시되었으며, 각각 평균 속도 약 110km/h의 느린 자극, 평균 속도 약 200km/h의 중간 자극, 그리고 평균 속도 약 290km/h의 빠른 자극이었다. 속도 외에 트랙의 종류, UI 설정, 밝기 등의 조건은 모두 동일했다. 예비 실험 결과 중 특이점으로, 참가자 10명 중 7명이 사후 인터뷰에서 속도감을 판단한 요인 중 하나로 엔진 소리 등 청각 자극의 차이를 지적했다. 따라서 본 실험에서는 3개 자극 간 엔진 소리가 유사한 차량을 사용하여, 청각 자극보다 시각 자극의 속도감 차이를 강화하는 방향으로 자극을 제작하였다. 그 결과, 가장 느린 속도의 자극으로 평균 속도 120km/h의 자극 대신 평균 속도 110km/h의 소리 자극을 본 실험에 사용하였다.

또한, 레이싱 게임 주행 영상을 자극으로 채택한 해당 연구의 목적은 속도 요인을 시각적으로 제시하여 그로 인한 사이버 멀미 정도를 확인하는 것이었으므로, 청각 자극이 속도감 지각에 주는 영향을 최소화하고자 참가자 중 절반은 영상 시청 중 소리를 함께 제시하고 나머지 절반은 소리를 제시하지 않았다.

2.4. 실험 절차

본 연구의 목적인 사이버 멀미 측정을 위해서 주관적 지표인 SSQ를 사용했다(Chang et al., 2020). SSQ는 총 16항목으로 구성된 4점 척도 문항이며, 점수가 높을수록 심각한 불편감을 경험했음을 나타낸다. 특히, SSQ의 세부 증상 프로파일인 N, O, D 중 어느 요인이 주로 영향을 주었는지 측정할 수 있는 도구이다. 본 연구에서는 Kennedy(1993)의 SSQ 설문지 측정 및 평가 방법을 활용하여 참가자의 불편감 및 멀미감을 측정하였다. 더 나아가, 구체적인 사용자 평가를 위해서 둘 이상의 주관적 지표를 측정한 선행연구들을 바탕으로 (Kim et al., 2008; Rebenitsch & Owen, 2014; Zhou et al., 2019; Jang et al., 2022), 본 연구에서도 부가적인 지표로 가상현실 증상 설문지(Ames et al., 2005), PQ (Presence Questionnaire; Witmer et al., 2005), VIMSSQ (Visually Induced Motion Sickness Susceptibility Questionnaire; Golding et al., 2021), MSSQ (Motion Sickness Susceptibility

Questionnaire; Golding, 1998), 하드웨어 불편감 설문지(Kim et al., 2021)를 참가자들에게 종합적으로 제시하였다. 이때, 기존의 PQ 문항들은 모두 가상현실 시스템에 대한 경험만 대상으로 하고 있었기 때문에 본 연구에서는 가상현실을 지칭하는 단어를 모두 증강현실을 지칭하는 단어로 적절하게 치환하여 사용하였고, VIMSSQ의 지문 중 이전에 증강현실 기기로 인한 불편감을 경험한 적이 있는지 알아보기 위해서 다양한 시각 디스플레이 및 엔터테인먼트 기기의 예시에 증강현실 기기를 추가하여 참가자들에게 제시했다.

본 연구는 120분 내외로 진행되었다. 절차는 크게 3단계로 실험 안내 및 사전 설문 단계, 본 실험 및 설문 단계, 사후 설문 단계 및 인터뷰로 이루어졌다(Fig. 2).

실험 안내 및 사전 설문 단계에서 참가자들은 실험에 대한 안내를 받고 실험 참가 동의서를 작성하였다. 또한, 안정된 상태에서의 사이버 멀미를 확인하기 위해서 실험실에 입장한 후에 증강현실 기기를 착용하고 5분간 편안한 상태를 유지한 뒤, SSQ 설문지를 작성하였다[pretest].

본 실험 및 설문 단계에서는 증강현실을 경험한 후 각 자극에 대한 사이버 멀미를 확인하고자 하였다. 자극은 일정 시간 동안 흑백으로 전환되는 구간을 포함한 시뮬레이션 레이싱 게임 주행 영상이었으며, 참가자들은 영상을 시청하며 흑백 구간이 제시될 때 키보드 버튼을 눌러 응답하는 탐지 과제를 수행하였다. 1개 자극에 대한 30분의 시청을 완료한 뒤 참가자는 SSQ 설문을 통해 현재 상태에 대해 응답하였고, 원하는 만큼 휴식을 취한 뒤 다음 자극을 시청하였다. 영상은 총 3번 제시되었으며, 각각의 영상은 빠른 속도, 중간 속도 또는 느린 속도로 제시되었다[slow, middle, fast]. 속도감이 다른 3개의 영상은 참가자마다 무작위 순서로 제시되었다. 본 논문에서는 제시된 순서에 따라 각 영상을 첫 번째 자극[stim1], 두 번째 자극[stim2], 세 번째 자극[stim3]라고 지칭하겠다.

영상 자극 3개의 시청이 모두 끝난 후 진행된 사후 설문 단계에서는 총 90분의 전반적인 시청 경험에 대해 설문지를 통해 종합적으로 응답받았다. 우선 영상 시청이 모두 끝난 직후 증강현실 기기를 착용한 상태로 SSQ를 응답하도록 하였으며[post-test], 이후 가상현실 증상 설문지, PQ, VIMSSQ, MSSQ, 그리고 하드웨어 불편감 설문지를 응답하도록 하였다. 마지막으로 증강현실 기기를 벗도록 한 후, SSQ 응답을 받았다[post-removal]. 모든 사후 설문의 응답이 끝난 직후 참가자에게 인터뷰 문항을 제공하였다. 인터뷰에서는 실험 과정 중 느꼈던 전반적인 경험에 대한 문항을 제시하였다. 불편감 및 멀미감으로 인해 실험을 중단한 참가자들 중 2명은 영상 시청을 중단한 뒤 회복될 때까지 충분한 휴식을 취한 뒤 영상 경험에 대해 짧은 버전의 인터뷰를 구두로 진행하였다.

2.5. 흑백 구간 탐지 과제

본 연구에서는 자극 제시 시간 동안 참가자들이 시각 자극에 주의를 기울이도록 간단한 과제를 제시하였다. 해당 과제는 자극 영상이 컬러에서 흑백으로 변하는 구간이 나타났을 때 키보드의 스페이스바를 눌러

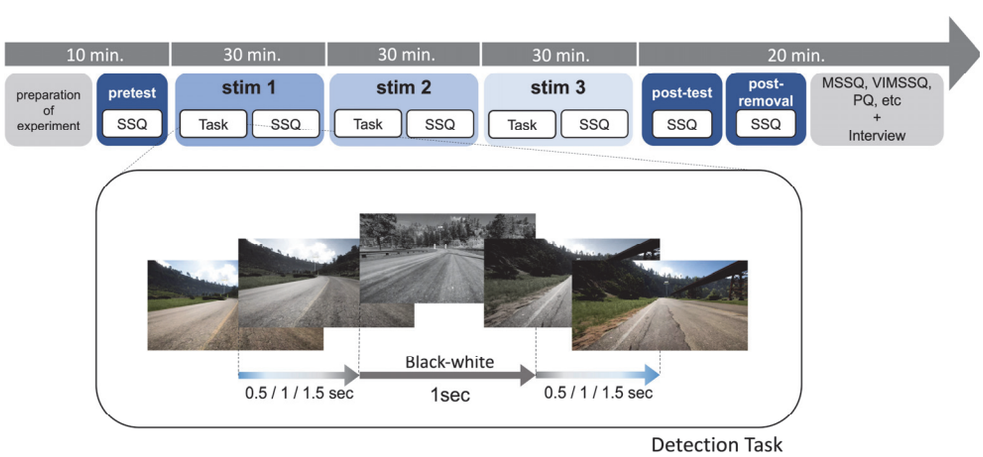

Fig. 2. Schematic procedures and example of detection task of the experiment

응답하는 탐지 과제였다. 참가자들은 흑백 구간이 시작되었음을 인지한 순간부터 스페이스바를 누르기 시작하여, 다시 원래 컬러 영상으로 완전히 돌아왔다고 인지한 순간에 스페이스바에서 손을 떼도록 지시받았다.

흑백 구간은 0.5초, 1초, 1.5초 중 무작위 시간 간격 동안 서서히 흑백으로 전환되고, 완전한 흑백이 1초 동안 유지되다가, 흑백으로 전환되는 구간과 동일한 시간 간격 동안 서서히 색이 돌아오는 순서로 진행되었다. 흑백 구간은 1개 자극의 시청 시간 30분 중 무작위의 시간대에, 총 30번 제시되었다.

3. 실험 결과

3.1. 흑백 구간 탐지 과제 결과

시간과 속도에 따라서 과제를 얼마나 정확하게 수행했는지, 흑백 구간에 대해 얼마나 빠르게 반응했는지를 확인하기 위해서 각각 일원 반복측정 분산분석(one-way repeated measure ANOVA)을 사용하였다. 흑백 구간 탐지 과제의 정확도는 전체 흑백 구간 동안의 참가자의 반응 여부를 확인하여 비율로 계산하였고, 반응시간은 흑백 구간이 시작된 시점으로부터 응답하기까지 걸린 시간으로 정의하였다. 또한, 소리 제시 여부에 따른 속도감 지각 차이가 없었기 때문에 이후 분석은 소리 제시 여부와 관계없이 모든 참가자들을 대상으로 분석을 진행하였다.

3.1.1. 시청 시간에 따른 정확도와 반응시간의 변화

과제에 대한 정확도는 시간에 따라 증가하는 경향성을 보였다[$F(2, 35)=8.87$, $p<.00$]. 참가자들은 첫 번째 자극($M=92.96$)보다 두 번째 자극($M=99.81$)과 세 번째 자극($M=100$)에서 나타난 흑백 구간을 더욱 정확하게 탐지하였다(Fig. 3a). 반응시간은 시간이 지남에 따라 증가하는 양상을 보였고, 특히 첫 번째 자극 이후에 두 번째 자극부터 반응시간이 지연되었다[$F(2,35)=7.69$, $p<.01$](Fig. 3b).

3.1.2. 자극 속도에 따른 정확도와 반응시간의 변화

속도에 따른 정확도의 차이가 나타났는데, 느린 속도의 자극에서는 정확도가 평균 94.54%로 빠른 속도의 자극($M=99.72$)보다 유의미하게 정확도가 낮았다[$F(2,35)= 3.57$, $p<.05$](Fig. 4a). 또한, 속도에 따른 반응시간도 유의미한

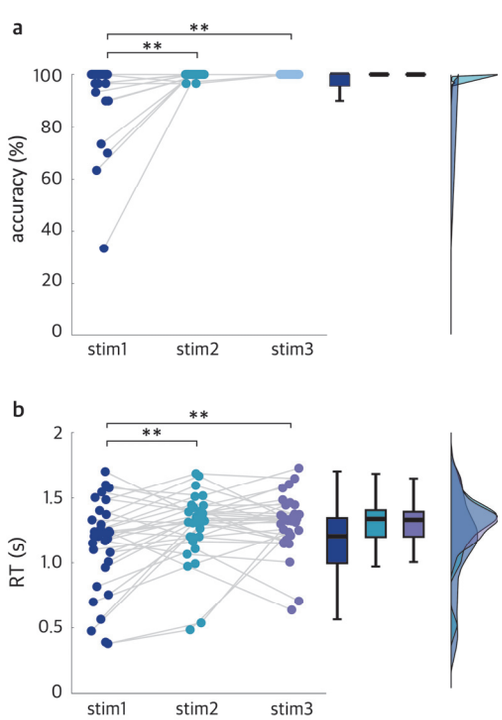

Fig. 3. Accuracy and RTs for the three viewing time conditions. *p < .05, **p < .01, ***p <.001

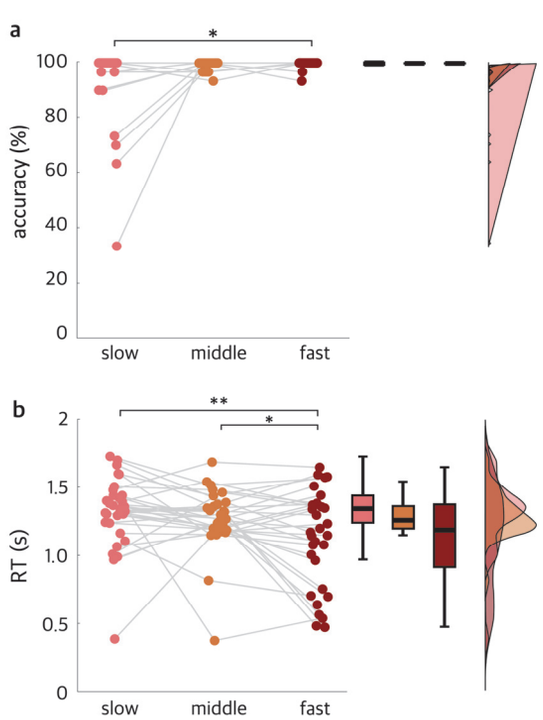

Fig. 4. Accuracy and RTs for the three stimulus motion speed conditions. *p < .05, **p < .01, ***p <.001

차이를 보였다[$F(2,35)=6.91$, $p<.01$]. 빠른 속도($M=1.34$)와 중간 속도($M=1.26$)의 자극에 비해서 느린 속도($M=1.14$)의 자극을 시청할 때 반응속도가 감소하였다(Fig. 4b).

3.2. SSQ 결과

3.2.1. 시청 시간에 따른 SSQ 점수의 변화

실험 시간에 따른 SSQ 총점의 변화가 있는지 확인해 보기 위해서, 실험 절차에 따라서 수집된 SSQ 총점(TS)에 대해서 일원 반복측정 분산분석을 진행하였다. 그 결과 시간에 대한 주효과[$F(5,39)=15.96$, $p<.001$]가 나타났으며, 본 실험 및 설문 단계에서 측정한 첫 번째 자극, 두 번째 자극, 세 번째 자극 SSQ 총점과 사후 설문 단계에서 측정한 SSQ 총점이 사전 설문 단계에서 측정한 SSQ 총점에 비해서 큰 값을 보였다(Fig. 5a; Table 1). 이는 증강현실 기기를 통한 시청 시간이 길어지면서 시청 경험으로 유발된 사이버 멀미 정도가 점차 누적된 결과이다. 특히, 사전 점수보다 첫 번째 자극 점수가 유의미하게 크고 첫 번째, 두 번째, 세 번째 자극 SSQ 점수 간의 차이가 없는 결과를 통해서 증강현실 기기를 30분 착용하는 것만으로도 유의미하게 사이버 멀미 정도가 증가했으며, 그 불편감 수준이 시청이 지속될 동안 유지되었음을 확인할 수 있다. 또한, 세 차례 영상을 시청한 후 측정했을 때보다 기기를 해제하고 측정했을 때 SSQ 총점이 유의미하게 감소하는 경향을 볼 수 있었다($p<.05$). 이러한 결과는 증강현실 기기를 벗었을 때 기존에 지속되었던 사이버 멀미 증상이 유의미하게 감소했음을 보여준다.

시간에 따라 증가하는 불편감에 어느 세부 요인이 관여했는지를 알아보기 위해서 순서와 세부 증상 프로파일(NOD)에 대해 이원 반복측정 분산분석(two-way repeated measure ANOVA)을 진행했다. 그 결과, 순서와 NOD 요인에 대한 주효과가 나타났고 둘의 상호작용효과는 보이지 않았다. NOD 점수는 SSQ 총점과 유사한 경향성이 나타났는데, 그 중에서도 O요인에 대한 SSQ 점수가 다른 두 요인의 점수에 비해서 큰 값을 보였다(Fig. 5b; Table 1; $p<.01$). 즉, SSQ의 주관적 불편감을 구성하는 세 가지 요소 중 안구와 관련된 불편감이 증강현실 기기로 인해서 가장 많이 유발되어 사이버 멀미 정도에 크게 관여했을 수 있다.

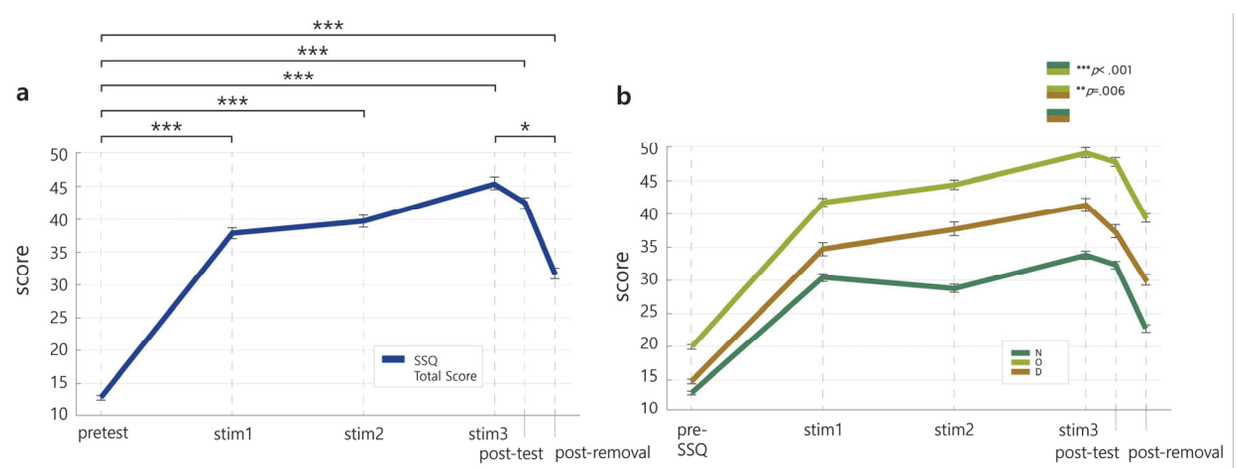

Fig. 5. Comparison of the mean SSQ total scores and mean SSQ subscores across the viewing time conditions. *p < .05, **p < .01, ***p <.001

Table 1. Mean value of SSQ total scores(TS) and SSQ subscores across the viewing time conditions. The values within the parentheses represent the standard error

	Pretest	Stim1	Stim2	Stim3	Post-test	Post-Removal
TS	14.23 (2.34)	40.62 (5.35)	41.87 (6.02)	48.10 (6.39)	45.61 (5.40)	34.18 (5.63)
N	8.22 (1.94)	29.15 (4.58)	27.03 (4.66)	31.80 (4.76)	31.01 (4.29)	19.86 (4.15)
O	16.84 (2.47)	41.27 (4.30)	43.80 (5.18)	49.69 (5.66)	48.22 (4.47)	38.11 (4.97)
D	10.05 (2.75)	32.87 (6.95)	35.96 (7.71)	41.37 (7.71)	35.96 (7.26)	28.23 (6.83)

3.2.2. 자극 속도에 따른 SSQ의 변화

자극의 속도감에 따라서 SSQ의 변화가 있는지 확인해보려고 하였다. 속도에 따른 SSQ의 차이를 정확하게 비교하고자, SSQ 총점에 대해서 일원 반복측정 분산분석을 진행하였다. 그 결과 속도에 대한 주효과는 나타나지 않았다(Fig. 6; Table 2). 속도에 따른 NOD 점수의 차이가 있는지 확인하기 위해서 두 요인에 대한 이원 반복측정 분산분석를 진행하였다. NOD에 대한 주효과가 나타났고[$F(2,35)=23.64$, $p<.001$], 속도에 대한 주효과나 두 요인에 대한 상호작용 효과는 나타나지 않았다. NOD 점수에 대한 사후검증 분석을 진행한 결과, O가 D와 N에 비해서 높은 값을 보였고($p=.002$; $p.<001$), D가 N에 비해서 높은 값을 보였다($p=.005$). 즉, O, D, N 순서의 세부 증상 프로파일을 보였다. 이러한 결과를 통해서, 자극을 통해서 조절된 속도 요인이 사이버 멀미에 크게 영향을 미치지 않았다고 유추해볼 수 있다.

3.3. 사후 설문 결과

SSQ에서 측정된 참가자의 사이버 멀미가 개인의 특성으로 인해서 발생했을 가능성을 알아보기 위해서 SSQ 점수와 안경 착용 여부, 시력, IPD의 Pearson 상관을 확인해 보았다. 그 결과 SSQ 점수와 개인차 요인 간의 상관관계가 나타나지 않았다. 즉, 참가자 개개인이 갖고 있는 눈과 관련된 특성은 증강현실 기기로 인해 유발된 멀미감에 영향을 주지 않았다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 증강현실 기기를 통한 참가자들의 시청 경험을 구체적으로 확인하기 위해서 가상현실 증상 설문지, PQ, VIMSSQ, MSSQ, 그리고 하드웨어 설문 응답을 수집하였다. 또한, SSQ 문항에서 보고된 사이버 멀미 정도와 다른 설문 문항에서 보고된 인체 영향성 간의 상관관계를 확인하기 위해서 Pearson 상관분석을 실시하였다.

가상현실 증상 설문지를 사용하여 가상현실 기기로부터 유발될 수 있는 인체 영향성을 일반적인 신체 증상과 눈과 관련된 증상으로 나누어 세부적으로 확인할 수 있었다. 일반적인 신체 증상 항목 중에는 졸림 증상을 측정하는 4번 항목을 제외한 나머지 항목에서 모두 SSQ 총점과의 상관이 존재했다($p<.05$). SSQ와 가상현실 증상 설문지에 중복되는 다른 항목들과 달리 졸림 증상의 경우 SSQ 설문지에는 포함되지 않은 증상으로, 참가자의 응답 신뢰도를 확인할 수 있는 요소가 아니었다. 즉, SSQ와 관련이 있는 일반적인 신체 증상 항목과 SSQ 총점 간의 정적 상관관계를 통해 참가자가 일관적으로 본인의 상태를 보고했음을 알 수 있었다. 눈과 관련된 증상을 측정하는 문항에서는 대부분 항목이 SSQ 총점과의 정적 상관관계를 보였다(Fig. 7). 이는 안구 운동 불편감이 증강현실 기기 사용 불편감에 반영되어 나타난 결과로 볼 수 있으며, SSQ의 세부 증상 프로파일 중 안구 운동 불편 증상이 가장 큰 점수를

Table 2. Mean value of SSQ total scores(TS) and SSQ subscores across the stimulus motion speed conditions. The values within the parentheses represent the standard error

	Slow	Middle	Fast
TS	42.28 (5.64)	42.49 (6.53)	45.82 (5.65)
N	20.94 (4.46)	20.94 (5.58)	21.47 (4.61)
O	27.37 (5.08)	26.11 (6.10)	30.74 (5.47)
D	23.59 (6.83)	26.68 (9.05)	29.77 (7.94)

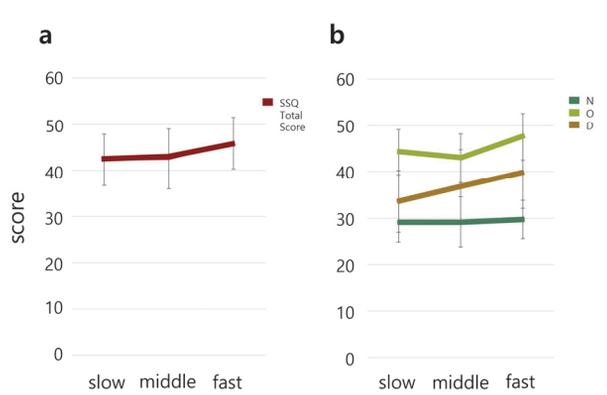

Fig. 6. Comparison of the mean SSQ total scores and mean SSQ subscores across the stimulus motion speed conditions

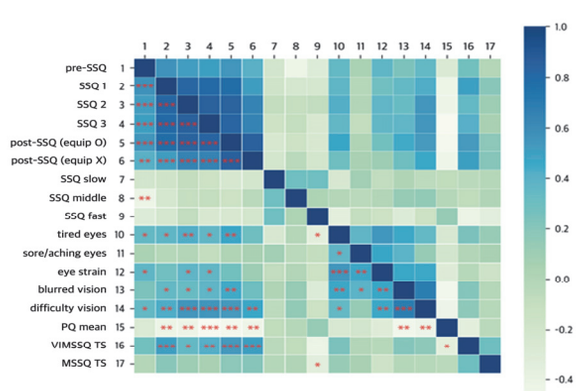

Fig. 7. Correlation matrix for the post-survey questionnaires. *p < .05, **p < .01, ***p <.001

보였던 선행연구 및 본 실험의 결과와 일치한다.

SSQ 총점 중 본 실험 및 설문 단계와 사후 설문 단계에서 보고된 점수와 PQ 점수가 부적 상관관계를 보였다(첫 번째 자극 점수 r=-.43, 두 번째 자극 점수 r=-.439, 세 번째 자극 점수 r=-.501, 사후 점수 r=-.478, 해제 후 점수 r=-.445; p<.01). 이를 통해, 참가자들이 자극을 시청하는 동안 사이버 멀미 정도는 증가하였으나 제시된 영상 자극에 대한 몰입감은 떨어졌음을 확인할 수 있었다. 또한, VIMSSQ 총점은 SSQ 총점 중 본 실험 및 설문 단계와 사후 설문 단계에서 보고된 점수와 정적 상관관계를 보였다(첫 번째 자극 점수 r=.509, 두 번째 자극 점수 r=.347, 세 번째 자극 점수 r=.414, 사후 점수 r=.535, 해제 후 점수 r=.506; p<.05). VIMSSQ는 다양한 시각 디스플레이 기기를 사용하면서 불편감을 경험한 적이 있는지를 보고하는 주관적 설문 문항이기 때문에, 이러한 결과는 다양한 종류의 시각 디스플레이 기기로 인한 불편감과 증강현실 기기로 인해 유발될 수 있는 사이버 멀미 간의 유사성이 있음을 시사한다. SSQ 총점과 MSSQ 총점 간의 상관은 유의하지 않았다(Fig. 7). 하드웨어 불편감 설문지를 통해서 기기를 통해 느꼈던 사이버 멀미 정도를 측정하였고 SSQ 총점과의 상관관계를 확인해본 결과, 세 번째 자극 SSQ 총점과 사후 SSQ 총점이 머리에 대한 압박감과 정적 상관관계를 보였다(r=.318, p=.05; r=.42, p=.007). 코나 귀에 대한 압박감, 기기의 미끄러짐, 기기로 인한 불편감, 그리고 기기의 무게감 항목과 SSQ 총점 간의 상관관계는 나타나지 않았다.

Fig. 7에 사전, 실험 중, 사후, 자극 종류에 따른 SSQ 총점 및 O 세부점수와 기타 사후 설문 점수 간의 상관관계를 일목요연하게 정리, 제시하였다.

4. 논의 및 결론

본 연구에서는 증강현실 노출 시간과 콘텐츠의 움직임 속도에 따른 사이버 멀미를 행동 실험 결과와 주관적 응답 방식인 설문지 등 다양한 척도를 활용하여 확인하였다. 실험 결과, 시간에 따라서 과제에 대한 반응시간이 점차 느려졌고 SSQ 총점은 증가하는 경향성이 나타났다. 반면, 속도에 따른 반응시간이나 SSQ 총점의 차이는 나타나지 않았다. 실험 결과를 통해서, 증강현실 경험 노출 시간이 길어질수록 사이버 멀미가 증가할 것이라는 첫 번째 가설을 채택할 수 있었고 콘텐츠의 움직임 속도가 증가할수록 사이버 멀미가 정비례하여 증가할 것이라는 두 번째 가설은 기각하게 되었다. 결론적으로, 본 실험의 결과는 증강현실 기기의 사용으로 인해 유발된 사이버 멀미는 콘텐츠의 움직임 속도보다 노출 시간에 의해서 크게 유발될 수 있다는 것을 보여주었다.

먼저, 증강현실 노출 시간이 증가함에 따라 흑백 구간 탐지 정확도와 반응시간, 그리고 SSQ 총점은 점차 증가하는 경향성을 보였다. 본 실험에서는 실험 과제의 난이도가 전반적으로 크게 높지 않았고 참가자들의 정확도도 평균 97% 이상의 높은 정확도를 보였기 때문에, 참가자들이 주어진 시각 정보에 주의를 잘 기울이면서 과제를 수행했음을 알 수 있었다. 즉, 증가하는 반응시간과 SSQ 총점은 실험을 진행하면서 점차 피로, 집중력 저하 등의 요인이 반영됨을 나타낸다. 특히 사전 점수에 비해서 높은 SSQ 총점은 기기를 해제한 후에도 지속되었기 때문에, 기기로 인해서 사이버 멀미 증상은 시간에 따라 지속되며 기기를 탈착하더라도 노출되기 전의 상태로 바로 회복되지 않음을 보여주었다. 이러한 결과는 증강현실 노출 시간이 사이버 멀미를 유발할 수 있는 주요인이며, 기기로 인해서 유발된 사이버 멀미를 해소하기 위해서는 충분한 휴식 시간이 필요함을 보여준다.

또한, SSQ 설문 문항을 N, O, D의 세부 증상 프로파일로 나누어 본 분석 결과, 모든 세부 증상 프로파일이 시간이 지남에 따라 증가하는 SSQ 총점의 경향과 동일했으며, 특히 안구 운동 불편감을 나타내는 O 요인의 점수가 가장 높게 보고되었다. 반면, 본 연구 결과 사이버 멀미는 참가자의 안경 착용 여부, 시력, IPD 등 개인의 특성에 따른 차이를 나타내지 않았다. 따라서, 사이버 멀미 증상의 주요인인 안구 운동 불편감은 개인차보다는 증강현실 기기의 시청 경험으로 인해 유발되었음을 알 수 있었다. 이는 많은 선행연구(Hughes et al., 2020; Hussain et al., 2021; Kaufeld et al., 2022; Nelson et al., Vovk et al., 2018)와 일치하는 결과로, 메스꺼움 증상(N)과 방향 감각 상실(D) 점수가 높게 보고되는 가상현실 경험과는 다르게 증강현실 경험에서는 안구 운동 불편감(O)이 사이버 멀미를 유발시키는 주요인임을 보여준다. 일상에서의 자연스러운 안구 운동과 달리 증강현실에서는 현실 장면과 가상 정보

에 모두 초점을 맺기 위한 안구 운동이 필요하다(Condino et al., 2020; Marklin et al., 2020). 특히, 본 연구에서 일반적으로 증강현실 경험에 활용되는 자극(기호, 문자, 도형 등)이 아닌 가상현실 경험과 유사한 콘텐츠를 활용했음에도 불구하고, 이전 연구들과 일치하는 불편감이 유발되었다는 점에서 콘텐츠의 특성보다도 증강현실 기기 자체가 사용자들에게 불편감을 유발했음을 추측할 수 있다. 다시 말해, 증강현실 기기로 인한 불편감은 가상현실 기기로 인한 불편감과 구분되며, 증강현실 기기는 그 자체로 사용자에게 독자적인 사용자 경험을 제공함을 의미한다.

본 실험에서 콘텐츠의 움직임 속도에 따라 흑백 구간 탐지 수행 정확도와 반응속도에서의 차이가 있었다. 본 연구에서 세 종류의 자극(느린 속도, 중간 속도, 빠른 속도)을 시청할 때 수행시킨 흑백 구간 탐지 과제는 동일한 길이의 흑백 구간으로 이루어져 있었기 때문에 세 조건 간의 차이는 자극 간 차이인 콘텐츠의 속도로부터 유발되었다고 볼 수 있다. 행동결과와는 다르게, 움직임 속도에 따른 SSQ 총점은 차이가 나지 않았는데 이러한 결과는 움직임 요소가 사이버 멀미 유발에 큰 영향을 주는 증강현실 경험과는 구별되며(So et al., 2001), 속도 요인이 불편감 혹은 멀미감에 어느 정도 영향을 줄 수 있으나, 사이버 멀미 유발에 관여하는 주된 요인은 아님을 짐작할 수 있다.

SSQ 총점과 다양한 인체 영향성 관련 설문과의 상관을 통해 증강현실 기기 사용자 경험을 다층적으로 이해할 수 있었다. 첫째로, PQ를 통해서 측정된 몰입감과 SSQ를 통해서 측정된 사이버 멀미 증상 간의 부적 상관관계를 확인할 수 있었다. 가상현실 경험에서의 몰입감과 사이버 멀미 간의 연관성을 다룬 연구들을 종합한 최근의 리뷰 논문(Weech et al., 2019)에 따르면 몰입감이 높을수록 가상현실 경험에서의 사이버 멀미 증상은 경감된다고 알려져 있으며, 본 연구에서의 PQ와 SSQ 점수 간의 부적 상관관계는 가상현실 관련 선행연구들과 일치하는 경향성을 보여준다. 이러한 효과는 몰입에 의해 멀미 유발 요인들로부터의 주의가 분산되는 것이 그 이유로 논의되어 왔다(Busscher et al., 2011; Cooper et al., 2016; Weech et al., 2019). 본 연구 결과는 증강현실에서 역시 몰입감이 사이버 멀미 및 사용자 경험에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 둘째, 여러 시각 디스플레이를 사용할 때 경험하는 멀미감을 확인하는 VIMSSQ는 SSQ 총점과 정적인 상관관계를 보였다. 이를 통해 시각 디스플레이를 통해 시청할 때 유발되는 멀미감이 증강현실 경험에 반영된다는 것을 알 수 있다. 즉, 평상시에 다른 시각 디스플레이 및 엔터테인먼트 기기를 사용할 때 멀미감을 느끼는 참가자들은 증강현실 경험 시 불편감이 유발될 수 있음을 유추할 수 있다. 또한, 기존의 VIMSSQ는 증강현실 기기를 조사 대상이 되는 시각 디스플레이로 포함하고 있지 않은 형태로 사용되었으나 본 연구에서 이를 증강현실 경험에 확대해 적용했다는 점에서 추가적인 의의가 있다. 마지막으로, MSSQ와 SSQ 사이에서는 유의미한 상관관계를 발견하지 못했다. 실제 몸의 움직임에 의해 유발된 멀미감과 몸의 움직임 없이 시각적인 콘텐츠를 시청하는 것만으로 유발된 멀미감은 그 특성이 확연히 다르나(Kim et al., 2005), 가상현실 경험을 대상으로 한 이전 연구들에서는 일반적인 움직임 상황에서 멀미를 많이 경험하는 사용자일수록 가상현실 경험에서 사이버 멀미를 많이 경험한다는 관련성 있는 결과를 보고하였다(Benzeroual & Allison, 2013; Chang et al., 2003; Llorach et al., 2014; Mazloumi et al., 2018; Stanney et al., 2003). 본 연구 결과 멀미 경험과 증강현실 기기의 사이버 멀미 간 상관관계는 관찰되지 않았다. 즉, 증강현실로 유발된 사이버 멀미는 실제 멀미 경험과 밀접한 관련이 있는 가상현실 상황과는 다른 결과를 보여준다. 하지만 본 연구 결과가 신체적인 움직임으로 인한 멀미 경험 경향과 증강현실에서의 사이버 멀미와 관련이 전무하다고 결론내기는 어렵다. 멀미감으로 인해 실험 참가를 중단 3명 중 2명의 참가자를 대상으로 진행한 인터뷰에 따르면, 중단 참가자 1의 경우 시청 시간 10분이 지난 후부터, 중단 참가자 2의 경우 약 15분이 지난 후부터 불편감 및 멀미감을 경험했다. 중단 참가자 1, 2 모두 평소에 자동차와 관련한 멀미 경험이 있음을 확인하였다. 두 중단 참가자 모두 움직이는 교통수단 안에서 전자기기 사용이나 텍스트 읽기 등의 행동이 멀미감을 증가시킨다고 응답하였으며, 이외에 중단 참가자 1은 게임을 하는 행위, 중단 참가자 2는 4DX 영화 시청을 통해서 각각 가벼운 피로감을 느낀 경험이 있다고 응답하였다. 이러한 결과는 주요 연구 결과에서 MSSQ 점수와 SSQ 점수가 유의미한 상관을 보이지 않았던 결과와 일치하지 않는다. 그렇기 때문에, 일부 개인에 대해 평소 다양

한 교통수단에 대한 개인적인 멀미 경험이 증강현실에서의 불편감 및 멀미감으로 연결될 수 있는 여지는 아직 존재하며, 따라서 추후 연구 혹은 증강현실 기기 개발 시에 이러한 개인차 요소들을 고려해볼 필요가 있다.

정리하자면, 본 연구는 가상현실 연구에서 자주 사용되는 시뮬레이션 레이싱 게임 영상을 활용하여 증강현실 경험을 관찰하였다. 증강현실 경험으로 인해서 유발된 멀미감 및 불편감은 SSQ와 PQ, MSSQ, VIMSSQ 등 여러 주관적 설문지를 통해서 측정되었다. 연구 결과, 멀미감 및 불편감에 미치는 영향은 콘텐츠의 강도(속도)보다는 노출 시간에 의해서 조절되었으며, 특히 시간에 따라서 메스꺼움 증상, 방향 감각 상실보다는 안구 운동 불편감이 크게 증가하였다. 이러한 연구의 결과는 증강현실 경험이 가상현실 경험과 구별됨을 반영하는 결과이며, 증강현실 기기의 사용으로 인해 유발될 수 있는 인체 영향성의 다면적 접근이 필요함을 시사한다. 또한, 본 연구 결과는 안전하고 효율적인 증강현실 경험을 위한 표준화된 규정을 마련할 때 활용될 수 있으며, 아직 연구가 미비한 증강현실 분야에 대하여 종합적이고 체계적인 방식으로 인체 영향성을 확인하고자 했다는 점에서 그 의의를 갖는다.

REFERENCES

Ames, S. L., Wolffsohn, J. S., & Mcbrien, N. A. (2005). The development of a symptom questionnaire for assessing virtual reality viewing using a head-mounted display. *Optometry and Vision Science*, *82*(3), 168-176.

Brainard, D. H., & Vision, S. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, *10*(4), 433-436.

Chang, E., Kim, H. T., & Yoo, B. (2020). Virtual reality sickness: A review of causes and measurements. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *36*(17), 1658-1682.

Choi, S., Lee, W., Kim, H., Won, J., Lee, J., Lee, Y., & Kim, J. (2017). The effects of virtual competitiors on AR (Augmented Reality) hom training system: focusing on immersion, *Perceived Competition, and Learning Motivation. Science of Emotion and Sensibility, 20*(3), 119-130.

Dargan, S., Bansal, S., Kumar, M., Mittal, A., & Kumar, K. (2023). Augmented reality: a comprehensive review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, *30*(2), 1057-1080.

Golding, J. F. (1998). Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness. *Brain Research Bulletin*, *47*(5), 507-516.

Golding, J. F., Rafiq, A., & Keshavarz, B. (2021). Predicting individual susceptibility to visually induced motion sickness by questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality*, *2*, 576871.

Holmes, N. P. (2009). The principle of inverse effectiveness in multisensory integration: some statistical considerations. *Brain Topography*, 21, 168-176.

Hughes, C. L., Fidopiastis, C., Stanney, K. M., Bailey, P. S., & Ruiz, E. (2020). The psychometrics of cybersickness in augmented reality. *Frontiers in Virtual Reality*, *1*, 602954.

Jang, K. M., Kwon, M., Nam, S. G., Kim, D., & Lim, H. K. (2022). Estimating objective (EEG) and subjective (SSQ) cybersickness in people with susceptibility to motion sickness. *Applied Ergonomics*, *102*, 103731.

Jeon, H., Chang, E., Wendimagegn, T. W., Park, C. H., Jeong, J. W., & Kim, H. T. (2015). Deveolpment of vestibulo-ocular reflex measurement system for the study of cybersickness. *Science of Emotion and Sensibility, 18*(1), 27-38

Kracauer, S. (1997). Theory of film: The redemption of physical reality. Princeton University Press.

Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, *3*(3), 203-220.

Kennedy, R. S., Stanney, K. M., & Dunlap, W. P. (2000). Duration and exposure to virtual environments: Sickness curves during and across sessions. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, *9*(5), 463-472.

Kim, Y. M., Bahn, S., & Yun, M. H. (2021). Wearing comfort and perceived heaviness of smart glasses. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, *31*(5), 484-495.

Kim, Y. Y., Kim, H. J., Kim, E. N., Ko, H. D., & Kim, H. T. (2005). Characteristic changes in the physiological

components of cybersickness. *Psychophysiology*, *42*(5), 616-625.

Kim, Y., Kim, E., Ko, D., & Kim, H. (2003). The positive effect of motion platform in virtual navigation. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility, 6*(1), 11-16.

Kong, H. I., & Han, K. H. (2019). The influence of food image presentation on purchase intention with the use of augmented reality: the mediation effect of user engagement. *Science of Emotion and Sensibility, 22*(3), 65-76.

Mazloumi Gavgani, A., Hodgson, D. M., & Nalivaiko, E. (2017). Effects of visual flow direction on signs and symptoms of cybersickness. *PloS One*, *12*(8), e0182790.

Mazloumi Gavgani, A., Walker, F. R., Hodgson, D. M., & Nalivaiko, E. (2018). A comparative study of cybersickness during exposure to virtual reality and "classic" motion sickness: Are they different?. *Journal of Applied Physiology*, *125*(6), 1670-1680.

Meredith, M. A., & Stein, B. E. (1983). Interactions among converging sensory inputs in the superior colliculus. *Science*, *221*(4608), 389-391.

Ma, J. Y., & Choi, J. S. (2007). The virtuality and reality of augmented reality. *Journal of Multimedia*, *2*(1), 32-37.

Mittelstaedt, J. M., Wacker, J., & Stelling, D. (2019). VR aftereffect and the relation of cybersickness and cognitive performance. *Virtual Reality*, *23*, 143-154.

Pelli, D. G., & Vision, S. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, *10*, 437-442.

Prince, S. (1996). True lies: Perceptual realism, digital images, and film theory.

Prinzmetal, W., McCool, C., & Park, S. (2005). Attention: reaction time and accuracy reveal different mechanisms. *Journal of Experimental Psychology: General*, *134*(1), 73.

Rebenitsch, L., & Owen, C. (2014, October). Individual variation in susceptibility to cybersickness. In Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology (pp. 309-317).

So, R. H., Ho, A., & Lo, W. T. (2001). A metric to quantify virtual scene movement for the study of cybersickness: Definition, implementation, and verification. *Presence*, *10*(2), 193-215.

So, R. H., Lo, W. T., & Ho, A. T. (2001). Effects of navigation speed on motion sickness caused by an immersive virtual environment. *Human Factors*, *43*(3), 452-461.

Stanney, K. (1995, March). Realizing the full potential of virtual reality: Human factors issues that could stand in the way. In Proceedings Virtual Reality Annual International Symposium'95 (pp. 28-34). IEEE.

Stanney, K. M., Hale, K. S., Nahmens, I., & Kennedy, R. S. (2003). What to expect from immersive virtual environment exposure: Influences of gender, body mass index, and past experience. *Human Factors*, *45*(3), 504-520.

Vovk, A., Wild, F., Guest, W., & Kuula, T. (2018, April). Simulator sickness in augmented reality training using the Microsoft HoloLens. In Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems (pp. 1-9).

Weech, S., Kenny, S., & Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. *Frontiers in Psychology*, *10*, 158.

Witmer, B. G., Jerome, C. J., & Singer, M. J. (2005). The factor structure of the presence questionnaire. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, *14*(3), 298-312.

Zhou, C., Bryan, C. L., Wang, E., Artan, N. S., & Dong, Z. (2019, November). Cognitive distraction to improve cybersickness in virtual reality environment. In 2019 IEEE 16th international conference on mobile ad hoc and sensor systems workshops (MASSW) (pp. 72-76). IEEE.

원고접수: 2023.08.28
수정접수: 2023.10.26
게재확정: 2023.11.01.

ⓒ 2023 (by) the authors. This open access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original work is properly cited.