

Study on Changes in Fatigue and Immersion between Glasses and Contact Lens Wearers when Using Virtual Reality Games

Hyungoo Kang^{1,a}, Yeonho Kim^{2,b}, Yoochan Park^{2,c}, and Hyungki Hong^{3,d,*}

¹Dept. of Optometry, Catholic Kwandong University, Professor, Gangneung 25601, Korea

²Dept. of Optometry, Seoul National Univ. of Science and Technology, Student, Seoul 01811, Korea

³Dept. of Optometry, Seoul National Univ. of Science and Technology, Professor, Seoul 01811, Korea

(Received September 6, 2022: Revised September 14, 2022: Accepted September 15, 2022)

Purpose: In this study, we compared the difference in fatigue and immersion when playing a game with a virtual reality (VR) device while wearing glasses and contact lenses. **Methods:** The experiment was conducted on 32 people aged 19–27 years who did not have any objection to using VR. Fatigue due to wearing glasses and contact lenses was investigated using a simulator sickness questionnaire. After the experiment was conducted with the same subject wearing glasses and contact lenses, a corresponding sample analysis was performed. **Results:** In the fatigue analysis, all items showed higher values when wearing glasses than when wearing contact lenses, and seven out of 16 items were significant. In terms of immersion, there was a significant difference in ten out of 26 items in the questionnaire, and most of the items showed a high tendency to feel immersed while wearing contact lenses. **Conclusions:** It is inevitable that when people with ametropia use vision correction glasses or contact lenses to experience VR, fatigue increases and immersion decreases. In certain results, wearing contact lenses was more satisfactory than wearing glasses, but discomfort factors, such as dry and stiff eyes, sometimes occurred.

Key words: Virtual Reality, Glasses, Contact lenses, Fatigue, Immersion

서 론

가상현실(virtual reality, VR)이란, 주변이 차단된 상황에서 가상현실 구현기와 소프트웨어 등을 통해 가상으로 만들어지는 환경, 상황들을 사용자에게 현실인 것처럼 느끼게 해주는 인터페이스로 사용자는 가상현실 세계에서 시각 및 청각 정보 등을 통해 VR 기기와 상호작용하여 현실감과 몰입감을 느낄 수 있다.^[1] 이때 VR 기기의 양 화면에는 사람의 양안시차만큼 다른 각도로 촬영된 영상이 재생되면 일반 디스플레이에서 영상을 보는 것과 달리 입체감이 느껴진다. 또한, 사람이 바라보는 방향에 따라 영상을 바꾸기 위해서 움직임 추적 센서(motion tracking sensor)가 사용되며, 사용자의 시청 방향에 따라 화면도 360°로 구현되기 때문에, 일반 모니터보다 넓은 시야각을 제공하여 가상현실의 몰입감과 실재감을 극대화할 수 있다.^[2-3]

VR의 보급에 가장 핵심적인 요소 중 하나는 몰입감이다. 몰입이란 인체의 모든 감각이 어떠한 상태나 상황에 깊이 개입되고 빠져드는 것으로 다른 외부 자극의 어떠한 방해도 없이 모든 감각이 한 곳으로 집중되는 상태나 그

러한 느낌이라고 한다. 헝가리 심리학자 칙센트미하이의 몰입이론에 따르면 몰입은 어떠한 특정한 일에 집중했을 때 마치 물 흐르는 듯이 빠져든다는 말로 플로우(flow)라고 정의한다. 이는 현실 감각의 경험을 바탕으로 스스로 최적의 상태를 경험했을 때, 그 경험을 좋게 평가하여 만족을 느낀다는 것이다.^[4-5] VR 사용 시의 몰입감은 사용자가 가상현실 속에서 얼마나 현실감을 말하며 몰입감이 높을수록 VR 이용 시 만족감도 올라가게 된다. 가상현실에서 몰입감을 최대화하기 위해서는 인체 감각기관인 오감이 필요하며, 특히 시각을 통해 대부분의 정보를 획득하므로 몰입감 중 시각이 미치는 영향은 매우 크다. VR 이용 시 몰입감에 영향을 끼치는 요소에는 디스플레이 해상도 및 주사율, 사용자와 기기 간의 움직임 추적을 통한 상호작용, 디스플레이의 시야각, 디스플레이와 눈의 불편함을 줄이기 위한 초점일치 등이다.^[6-9]

하지만 만족감이 높을수록 부작용도 발생할 수 있고, 대표적으로 VR 시청으로 인한 멀미가 그 예이다. VR의 보급률이 높아짐에 따라 VR 멀미의 감소도 갈수록 늘어나고 있으며 이는 이용자의 만족감 변화에 직접적인 요인으

*Corresponding author: Hyungki Hong, TEL: +82-2-970-6232, E-mail: hyungki.hong@snut.ac.kr

Authors ORCID: ^ahttps://orcid.org/0000-0002-1200-9913, ^bhttps://orcid.org/0000-0002-1822-8332, ^chttps://orcid.org/0000-0003-1831-6137, ^dhttps://orcid.org/0000-0001-5249-9243

로 작용하고 있다. 이와 같은 이유로 VR 기기나 콘텐츠 자체에서 VR 멀미의 감소를 위한 연구가 다수 진행되고 있다. VR 멀미란 VR 환경에 노출되면서 발생하는 불쾌한 증상의 집합으로 정의된다. 보통 눈에 대한 스트레스를 비롯한 두통 및 어지러움, 메스꺼움, 현기증, 구토감, 방향감각 상실 등을 동반한다.^[10] 이러한 VR 멀미의 원인은 개인적 요소와 기술적 요소로 구분한다. VR 멀미의 개인적 요소로는 나이, 건강상태, 가상현실 경험 등이다. 연령대가 낮을수록 VR기기에 자주 노출될수록 VR 멀미에 강하다는 보고가 있었으며, 건강상태가 나쁘거나 VR을 처음 경험해 보는 사람들의 경우 VR 멀미가 비약적으로 높게 나타났다.^[10] 기술적 요소로는 움직임 추적 에러, 조작방법의 익숙함 정도, 잘못된 PD 설정 등이 있다.^[8] 움직임 추적 에러는 움직임 추적 센서가 사용자의 움직임과는 다른 방향으로 정보를 제공하거나 딜레이가 있을 경우 사용자가 혼란을 느껴 멀미를 느낀다고 알려져 있다. 잘못된 PD의 경우 개인의 PD와 HMD(head-mounted display)의 렌즈 간 거리가 맞지 않으면 폭주(convergence)나 개산(divergence)의 강요로 VR 사용자에게 안구운동 부담을 주게 된다.

여기에 더하여 안경착용자의 경우 안경의 무게, 시야각의 제한, 주변부 왜곡 등으로 멀미가 증가한다.^[2,11] 따라서 본 연구에서는 VR로 20분간 게임을 진행할 때, 동일한 피실험자를 대상으로 시뮬레이터 멀미 설문지(simulator sickness questionnaire, SSQ)와 몰입감 관련 설문을 통하여 안경과 콘택트렌즈를 착용했을 때의 피로도와 몰입감의 차이를 비교해 보고자 한다.

대상 및 방법

1. 실험대상

본 실험에는 안경과 콘택트렌즈를 둘 다 사용하고 안질 환이나 정신질환 및 전신질환이 없고, VR 사용에 거부감이 없는 19~27세(남: 15 여: 17명, 평균나이: 21.94±2.14세)의 성인 32명을 실험대상으로 하였다. 실험 전, 시력검사를 실시하여 교정시력이 0.8 이상 되는 피실험자만 선별하였고, 시력교정 도구 착용이 실험 결과에 주는 영향을 최소화하기 위하여 안경이나 렌즈가 익숙하지 않은 피실험자도 배제하였다. 실험 대상자 중에 VR경험이 있는 참가자는 32명중 14명이었고, 평상시에 안경 착용을 선호하는 사람은 14명, 콘택트렌즈 착용을 선호하는 사람은 18명이었다(Table 1).

2. 실험기기

본 실험은 VR기기(VIVE PRO Enterprise, HTC corporation, Taiwan)를 사용하였다(Fig. 1. A). 제품의 사양으로는 두

Table 1. Classification of participants (N = 32)

VR experience	N	Preferred vision correction method	N
Yes	14	Glasses	14
No	18	Contact lenses	18
Total (N)	32		32



Fig. 1. HTC-Vive virtual reality device (A) and Beat Saber game screen shot (B).

일 AMOLED 3.5 인치 화면을 사용하였고 해상도는 2880 × 1600 pixel, 화면 주사율은 90 Hz이다. 개개인의 PD에 따라 좌우 렌즈사이 거리 조절이 가능하고 110°의 시야각을 제공하며, Steam VR 트래킹 2.0 컨트롤러를 양손에 사용하였다.^[12] 사용된 애플리케이션은 현재 사용자가 가장 많고 사용자의 96% 이상에서 긍정적인 평가가 나온 Steam사의 'Beat Saber' 게임을 선정하였으며,^[13] 전신운동을 포함한 안구운동을 통해 실험을 진행하였다(Fig. 1. B).

3. 피로도 및 몰입감 설문

3.1. 피로도 설문

본 연구에서는 보완된 SSQ 설문지의 3가지 범주, 16개 평가항목을 사용하여 평가하였다. 보완된 SSQ 설문지는 MSQ(pensacola motion sickness questionnaire)에서 발전된 방법으로 Kennedy 등에 의해 개발되어 시뮬레이터 멀미의 증상을 측정하고 평가하는 여러 방법들 가운데 현재 가장 널리 이용되는 설문지이다. 멀미(nausea), 안구운동(oculomotor), 방향감각(disorientation)의 3가지의 범주로

평가요소를 나누어 각 요소의 세부 항목들을 평가하고자 했으며, 모든 항목의 정도는 최소 1점 무증상에서 7점 매우 심각한 증상으로 7점 척도로 게임 전, 후 피검자가 응답하여 증상 변화를 평가하였다.^[11,14]

3.2. 몰입감 설문

몰입감 설문은 Nam 등^[7]의 연구를 바탕으로 기존 몰입감에 관련된 설문내용 중 게임 내용과 기기를 평가하는 항목을 제외하고, 인지된 특성과 현존감에 해당하는 설문내용을 사용하였다. 설문은 7가지 범주, 26개 세부 항목으로 1점 ‘전혀 느껴지지 않았다’에서 7점 ‘매우 잘 느껴졌다’의 7점 척도로 게임 후 피검자가 응답하여 몰입감을 평가하였다.

4. 실험방법

실험의 순서는 다음과 같이 실시하였다(Table 2).

각각 안경과 콘택트렌즈를 착용하고 게임 전과 후로 피로도 설문작성, 게임 후 몰입감 설문작성을 하여 비교한 뒤 그 변화 값을 측정하고 안경과 콘택트렌즈에서의 측정 값을 비교 분석하였다.

안경을 착용하고 게임을 하는 경우와 콘택트렌즈를 착용하고 게임을 하는 경우를 비교하기 위해 게임의 종류는 같고 시력교정 방법만 다르게 하여 같은 순서대로 반복하여 실험을 진행하였다. 사용된 콘텐츠는 리듬액션게임인 ‘Beat Saber’를 20분간 플레이했으며 실험 순서, 안경과 콘택트렌즈 착용에 따른 영향을 최소화하기 위해 실험대상 32명 중 16명은 안경을 먼저 착용하고 게임 진행 후 콘택트렌즈를 착용하고 게임을 진행하였고 나머지 16명은 콘택트렌즈를 먼저 착용하고 게임 진행 후 안경을 착용하고 게임을 진행하였다. 첫 번째 게임과 두 번째 게임 사이 일주일 정도의 휴식 기간을 두고 실험하도록 했다.

실험 시작 전 안경과 콘택트렌즈 도수 확인과 두 가지 시력교정 방법 중 어느 방법을 더 선호하는지, VR 게임 경험은 있는지, 있다면 얼마나 있는지에 대한 영향을 판단하기 위해 사전 설문을 작성하였고, 조작방법을 숙지하기 위하여 10분 정도의 튜토리얼과 연습게임을 통하여 게

임 조작을 능숙하게 하였다. 본 게임 전 안경을 쓴 상태와 콘택트렌즈를 착용한 상태에서의 시력 차이를 알아보기 위해 시력검사를 시행하였으며, 당시의 피로도 상태를 측정하는 설문지를 작성하였다. 또한, 각자의 PD로 인한 피로도에 대한 영향을 최소화하기 위하여 PD를 측정하여 VR기기의 렌즈 사이거리를 사용자에게 맞게 설정 후 게임을 진행하였다. 게임 후 피로도와 게임에 얼마나 몰입할 수 있었는지를 측정하는 설문지를 작성하였다. 피로도 설문작성은 게임 전 작성했던 것을 기본으로 하여 변화의 정도를 나타내었으며, 몰입도의 경험은 실험 후에만 작성하였다.

5. 통계 분석

VR 영상 시청 후 안경과 콘택트렌즈간의 피로도 및 몰입감의 차이는 같은 수의 동일한 두 표본 집단 간의 차이를 SPSS for Windows(Ver 19.0)를 이용하여 paired t-test를 사용하여 분석하였으며, 모든 통계적 유의확률은 0.05 이하일 때로 하였다.

결과 및 고찰

1. 피로도

다음은 16가지 세부 항목의 SSQ 설문지에 대한 안경 착용 상태에서의 VR 게임 이용과 콘택트렌즈 착용 상태에서의 VR 게임 이용 간의 전후 차이의 평균값과 *p*-value 값을 나타내었다. *p*-value 값이 0.05 이하인 경우 유의한 차이가 나타난 것이며 *로 표시하였다. 16가지 세부 항목을 3가지 범주로 분류하여 실험 전, 후의 차이의 평균값을 통해 안경 착용과 콘택트렌즈 착용 시의 피로도 변화 값에 어떤 차이가 나타났는지, 어떤 항목에서 피로도에 변화가 더 크게 나타났는지 알아보고자 하였다(Table 3).

16가지 세부 항목을 멀미(nausea), 안구운동(oculomotor), 방향감각(disorientation)의 3가지 범주로 구분하였다. 실험 전·후 차이 결과 값의 평균을 통해 3가지 범주 모두 콘택트렌즈를 착용한 실험군보다 안경을 착용한 실험군에서의 피로도 변화가 크다는 것을 알 수 있다. 이 중 비교적 안구운동에서 0.57로 멀미 0.28, 방향감각 0.41 보다 더 많은 차이가 나타났다. 아래에서는 이 3가지의 범주의 세부 항목들로 나누어 살펴보았다(Fig. 2).

멀미(nausea) 범주에서는 안경과 콘택트렌즈 착용 시 VR 게임 전·후 피로도 변화에서 일반적인 불편함, 침 분비량 증가, 발한, 메스꺼움, 집중하기 어려움, 속 울렁거림, 트림 7개의 평가항목 중에서 7개 항목 모두 콘택트렌즈 착용 시보다 안경 착용 시에서 피로도 변화량이 더 큰 것을 볼 수 있으며 침 분비량 증가($p=0.042$)와 속 울렁거림

Table 2. Experiment sequence

1. Preliminary questionnaire
2. Glasses and contact lenses optical power, pupillary distance measurement
3. Corrected visual acuity test
4. Pre-experiment simulator sickness questionnaire
5. Explanation to game controls and experimentation
6. Post-experiment simulator sickness and immersiveness

Table 3. Difference in visual fatigue survey results between glasses and contact lens wearers

Examination	Category	Glasses (mean±SD)	Contact lenses (mean±SD)	p-value
General discomfort	N, O	0.94±1.27	0.84±1.19	0.301
Fatigue	O	1.69±1.35	0.78±1.16	0.001*
Headache	O	1.06±1.39	0.53±0.95	0.044*
Eyestrain	O	1.53±1.39	0.88±1.50	0.037*
Difficulty focusing	O, D	1.31±1.49	0.56±0.91	0.004*
Increased salivation	N	0.81±1.38	0.38±0.75	0.042*
Sweating	N	1.69±1.65	1.56±1.63	0.326
Nausea	N, D	0.88±1.26	0.66±1.29	0.193
Difficulty concentrating	N, O	0.75±0.69	0.38±0.87	0.074
Fullness of head	D	0.69±1.12	0.38±0.87	0.072
Blurred vision	O, D	1.09±1.53	0.44±1.11	0.022*
Dizzy (eyes open)	D	0.88±1.58	0.63±1.10	0.233
Dizzy (eyes closed)	D	1.03±1.20	0.66±1.10	0.057
Vertigo	D	1.06±1.19	0.78±1.10	0.139
Stomach awareness	N	0.53±1.24	0.06±0.44	0.019*
Burping	N	0.25±0.76	0.03±0.31	0.064

N: nausea, O: oculomotor, D: disorientation

*p < 0.05

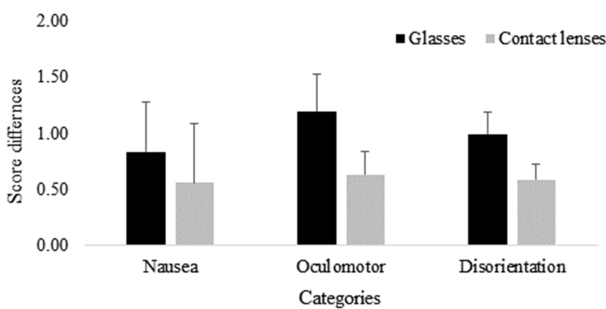


Fig. 2. Difference in fatigue before and after VR experiences within the nausea, oculomotor, and disorientation categories.

(p=0.019) 항목에서는 유의한 차이를 보였다.

안구운동 (oculomotor) 범주에서는 안경과 콘택트렌즈

착용 시 VR 게임 전·후 피로도 변화량에서 일반적인 불편함, 피로, 두통, 안정피로, 초점 맞추기 어려움, 집중하기 어려움, 흐려 보임의 7개의 평가 항목 중 7개 항목 모두 콘택트렌즈 착용 시에 비해 안경 착용 시에서 피로도 변화량이 더 큰 것을 볼 수 있다. 7개 항목들 중 5개의 피로 (p=0.001), 두통(p=0.044), 안정피로(p=0.037), 초점 맞추기 어려움(p=0.004), 흐려 보임(p=0.022) 항목에서 유의한 차이를 보였다. 안구운동과 관련된 범주의 항목들이 비교적 멀미와 방향감각 보다 더 큰 차이를 나타냄을 볼 수 있다.

방향감각 (disorientation) 범주에서는 안경과 콘택트렌즈 착용 시 VR 게임 전·후 피로도 변화에서 초점 맞추기 어려움, 멀미, 머리가 짝 찬 느낌, 흐려 보임, 눈떴을 때 어

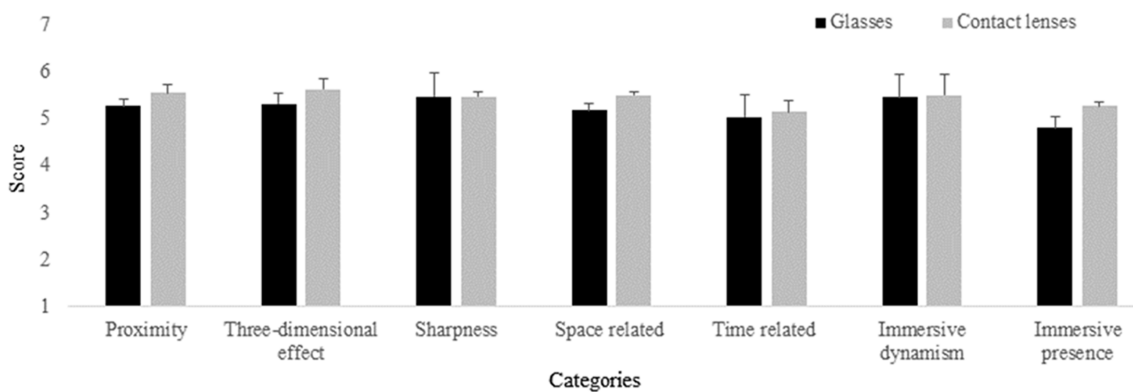


Fig. 3. Immersiveness score in the proximity, three-dimensional effect, sharpness, space related, time related, immersive dynamism, and immersive presence categories.

지러움, 눈 감았을 때 어지러움, 어지럼증 7개의 평가항목 중에서 7개 항목 모두 콘택트렌즈 착용 시에 비해 안경 착용 시에서 피로도 변화량이 더 큰 것을 볼 수 있으며, 안구운동 범주에서 유의한 차이를 보였던 초점 맞추기 어려움($p=0.004$), 흐려 보임($p=0.022$) 항목이 유의하게 차이는 나타났습니다.

피로도 검사 결과에서는 총 16가지 평가 항목 중 7가지 항목에서 VR 게임 후 유의한 변화를 보였다. 각 범주 별로 안경 착용 시와 콘택트렌즈 착용 시 실험 전·후 차이 결과 값의 평균을 나타낸 Fig. 5를 살펴보면 안경 착용 시와 콘택트렌즈 착용 두 경우 모두 모든 항목에서 피로도가 증가하였는데, 안경 착용 시의 변화량이 더 크다는 것을 알 수 있다. 그 중 안구운동 범주에서 가장 큰 차이를 보였고, 세부 항목 중 특히 피로감(fatigue), 초점 맞추기 어려움(difficulty focusing), 안정 피로(eyestrain), 흐려 보임(blurred vision)에서 피로도 변화 차이가 컸다. 모두 안구운동 범주에 포함된 세부 항목들이다.

실험 전 예상은 안경이 HMD 착용 시 코 눌림, 거치적 거림과 같은 단순한 불편한 착용감 때문에 피로에 더 많은 영향을 줄 것으로 예상하였다. 결과적으로 모든 값에서 콘택트렌즈보다 안경에서 더 큰 변화를 보였고, 특히 멀미, 방향감각에서의 변화보다는 안구운동 범주의 변화가 두드러졌다고 볼 수 있다. 그 첫 번째 요인은 콘택트렌즈보다 안경 착용 시 주변부 왜곡이 더 크다는 점이다. 예를 들어 안경 직경이 50 mm일 때, 안경 렌즈와 안구 회전점으로부터의 거리를 25 mm로 가정한다면 시야각은 대략 90°이다. 기기의 시야각이 110°인 점을 고려하면 주변부의 경우 안경 프레임 밖의 시야로 보일 수 있다. 즉, 안경테의 림이 가상현실 영상 주변부 시청에 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 두 번째 요인으로는 사용자의 동공간거리와 HMD의 렌즈사이거리, 그리고 스크린사이 거리 모두 적절하게 조정되지 않아 이질감이 발생하게 된 경우이다.^[6] 세 번째 원인으로서는 사용자의 안경렌즈에서 발생하는 왜곡과 HMD 기기의 렌즈로 인해서 발생하는 왜곡이 합쳐져서 보다 복잡한 형태의 왜곡이 발생하게 된다는 것이 사용자에게 시각적인 인지나 안구운동 기능에 부조화를 일으키게 하는 원인이 될 수 있다고 생각한다.^[15] 마지막으로 안경이 흘러내리는 현상으로 인한 불편함이다.^[2] 게임을 진행하다 보면 HMD의 무게로 인해 VR기기 속의 안경이 계속 흘러내리는 현상이 발생하게 되고, 처음 조절했던 초점에서 이탈하여 잘 보이지 않는 현상이 발생할 수 있으며, 이에 따라 VR 시청 시 불편함을 가져왔다는 사용자의 의견도 있었다.

결국, 안경을 착용함으로써 발생하게 되는 렌즈 간의 거리 불일치, 안경렌즈 왜곡, HMD 렌즈의 주변부 왜곡, 안

경의 흘러내림 등이 무리한 안구운동 등으로 콘택트렌즈 착용의 경우보다 더 큰 피로를 유발했다고 유추해볼 수 있다.

한편 콘택트렌즈 착용에서는 안경보다는 낮은 피로도 변화 값을 보였지만 피로도가 증가하는 경향을 보였으며, 일부 실험참가자는 건조감을 호소하였다. 이를 통해 비정시가 VR을 체험하는데 콘택트렌즈 착용을 원하는 것은 완벽한 대안이 되지 않음을 나타낸다.

2. 몰입감

다음은 몰입감 설문지의 26개 세부 항목에 대한 안경 착용 상태에서의 VR 게임 이용과 콘택트렌즈 착용 상태에서의 VR 게임 이용 시 몰입감에 대한 평균값과 p -value 값을 나타내었다. 26개 세부 항목을 7가지 범주로 분류하여 게임 후 몰입감을 평가한 평균값을 통해 안경 착용과 콘택트렌즈 착용 시의 몰입감에는 어떤 차이가 나타났는지, 어떤 항목에서 몰입감에 더 큰 영향을 주었는지 알아보고자 하였다(Table 4).

26가지 세부 항목을 근접감, 입체감, 선명감, 공간관여, 시간관여, 몰입 역동감, 몰입 실재감의 7가지 범주로 나타낼 수 있다. 다음은 실험 후 결과의 평균으로 그래프의 높이를 통해 7가지 범주 모두 안경을 착용한 실험군보다 콘택트렌즈를 착용한 실험군에서의 몰입감이 크다는 것을 알 수 있다. 이 중 비교적 몰입 실재감에서 0.47의 차이로 가장 많은 차이가 나타났고, 그 뒤를 이어 공간관여에서 0.33, 입체감에서 0.32, 근접감에서 0.28의 차이를 나타내었다.

각 항목별로 살펴보면 근접감 범주에서는 ‘원근감이 잘 느껴졌다’, ‘배경과 사물이 잘 구분되었다’, ‘사물의 속도감이 잘 느껴졌다’, ‘사물이 손에 잡힐 듯 느껴졌다’ 4개의 평가항목 중에서 4개 항목 모두 안경 착용 시보다 콘택트렌즈 착용 시에서 몰입감이 더 높은 것을 볼 수 있으며, ‘사물이 손에 잡힐 듯 느껴졌다’ 항목에서는 유의한 차이를 보이지는 않았지만, 같은 범주의 다른 항목들보다 비교적 큰 차이를 보였으며, 몰입감에 일부 영향을 주었음을 알 수 있다.

입체감 범주에서는 ‘(게임에 있는)물체나 빛이 실제 부딪치는 것처럼 느꼈다’, ‘(게임에 있는)물체가 내 주변을 지나는 것처럼 느꼈다’, ‘(게임에 있는)물체가 튀어나오는 것처럼 느꼈다’ 3개의 평가항목 중에서 3개 항목 모두 안경 착용 시보다 콘택트렌즈 착용 시에서 몰입감이 더 높은 것을 볼 수 있으며, ‘(게임에 있는)물체가 튀어나오는 것처럼 느꼈다’ 항목에서는 유의한 차이를 보였다($p=0.031$).

선명감 범주에서는 ‘화질이 선명하였다’, ‘화면의 해상

Table 4. Difference in immersiveness between glasses and contact lens wearers

Category	Examination	Glasses (mean±std)	Contact lenses (mean±std)	p-value
Proximity	The sense of perspective was good.	5.06±1.39	5.28±1.30	0.193
	The background and objects are well separated.	5.38±1.39	5.66±1.29	0.216
	I could feel the speed of things.	5.38±1.58	5.66±1.00	0.150
	It felt like something was being held in my hand.	5.25±1.37	5.59±1.10	0.063
Three-dimension	(in the game) It felt as if an object or light was actually hitting it.	5.38±1.41	5.41±1.36	0.453
	(in the game) It felt like an object was passing me around.	5.50±1.24	5.81±1.23	0.129
	(in the game) It felt like an object was popping out.	5.03±1.58	5.66±1.31	0.031*
Sharpness	The picture quality was clear.	4.97±1.75	5.38±1.48	0.116
	The screen resolution was high.	5.97±1.67	5.47±1.44	0.068
	The color was clear.	5.47±1.54	5.56±1.44	0.356
Space related	It felt like I was in a VR game.	5.28±1.49	5.56±1.46	0.160
	It felt as if I was real in the space within the game.	5.19±1.53	5.53±1.41	0.074
	It felt like it was moving in the background of a VR game.	5.22±1.45	5.56±1.22	0.085
	It felt like I was experiencing a different world.	4.94±1.68	5.41±1.39	0.004*
Time related	It felt like a virtual world.	5.22±1.48	5.41±1.36	0.182
	I didn't know time was passing.	5.34±1.49	5.44±1.46	0.338
	I forgot about myself and was completely absorbed.	4.53±1.52	5.00±1.63	0.025*
	It felt like time passed faster than I thought.	5.50±1.48	5.22±1.52	0.156
Immersive dynamism	I couldn't think of anything else.	4.72±1.44	4.91±1.53	0.176
	I felt like I had to move my body.	5.84±1.25	5.75±1.22	0.351
	It seems that my body moved left and right.	5.72±1.35	5.78±1.36	0.402
	It felt like it was going to hit the light or object from the screen.	5.47±1.24	5.63±1.36	0.265
Immersive presence	There was a strong sense of collision between objects.	4.75±1.55	4.84±1.59	0.366
	It felt as if the image in the VR game was real.	4.88±1.60	5.22±1.36	0.059
	It felt like I was participating in the actual (game) scene.	4.97±1.58	5.34±1.38	0.055
	It felt as if the screen existed in reality.	4.53±1.54	5.22±1.39	0.001*

* means $p < 0.05$

도가 높았다', '색상이 선명하였다' 3개의 평가항목 중에서 '화면의 해상도가 높았다'는 콘택트렌즈 착용 시가 더 낮은 값을 보였으며, 이를 제외한 2가지 항목에서는 콘택트렌즈 착용의 경우가 더 높음을 볼 수 있었다. '화면의 해상도가 높았다' 항목에서 콘택트렌즈에서 낮은 값을 보인 원인을 살펴보면, 사전 설문조사에서 피검자들의 안경은 난시 교정이 잘 되어있는 반면, 콘택트렌즈의 경우 난시 교정용 콘택트렌즈를 착용하지 않고 등가구면굴절력을 이용해서 처방된 경우가 많았다. 따라서 안경 착용 시보다 콘택트렌즈 착용 시에 해상도가 더 낮음에 약간의 영향을 준 것으로 추론할 수 있었다.

공간관여 범주에서는 '내가 마치 VR 게임 안에 있었던 것처럼 느껴졌다', '내가 마치 게임 안의 공간에 실재하는 것처럼 느껴졌다', 'VR 게임의 배경에서 움직였던 것처럼 느껴졌다', '다른 세계를 경험한 것처럼 느껴졌다', '가상

세계를 경험한 것처럼 느껴졌다'의 5개의 평가항목 중에서 5개 항목 모두 콘택트렌즈 착용 시에서 몰입감이 더 높은 것을 볼 수 있으며, '가상세계를 경험한 것처럼 느껴졌다' 항목에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.004$).

시간관여 범주의 '시간 가는 줄 몰랐다', '내 자신을 잊고 완전히 빠져들었다', '생각보다 시간이 빨리 지나갔던 것같이 느껴졌다', '다른 일은 생각나지 않았다' 4개의 항목 중 '시간 가는 줄 몰랐다', '내 자신을 잊고 완전히 빠져들었다', '다른 일은 생각나지 않았다' 3개의 항목에서 안경 착용 시보다 콘택트렌즈 착용 시에서 몰입감이 더 높은 것을 볼 수 있으며, '다른 일은 생각나지 않았다' 항목에서는 안경 착용 시가 더 높았다.

몰입 역동감 범주에서는 '몸을 움직여야 할 것 같이 느껴졌다', '내 몸이 좌, 우로 움직였던 것 같다', '화면에서 나오는 빛이나 사물에 부딪힐 것같이 느껴졌다', '사물 간

의 충돌이 강하게 느껴졌다' 4개의 항목 모두 비슷한 수치를 보였고 유의한 결과도 나타나지 않았다.

몰입실재감 범주에서는 'VR 게임 안의 모습이 실제하고 있는 것 같이 느껴졌다', '실제(게임) 현장에 참여한 것 같이 느껴졌다', '화면이 현실에 존재하는 것 같이 느껴졌다' 3개의 항목 중 3개 항목 모두 안경 착용 시보다 콘택트렌즈 착용 시에서 몰입감이 더 높은 것을 볼 수 있으며, '화면이 현실에 존재하는 것 같이 느껴졌다' 항목에서 통계적 유의한 차이를 보였다($p=0.001$).

몰입감 검사에서는 VR 게임 후에 총 26가지 평가 항목 중 10가지 항목에서 유의한 차이를 보였다. Fig. 9는 각 범주 별로 안경 착용 시와 콘택트렌즈 착용 시 실험 결과 값의 평균을 나타낸 것으로 안경 착용 시와 콘택트렌즈 착용 시 몰입감의 차이를 알 수 있다. 안경 착용 시와 콘택트렌즈 착용 시가 비슷하게 측정된 몰입 역동감을 제외한 모든 범주에서 안경 착용 시보다 콘택트렌즈 착용 시가 몰입감이 높은 것으로 나타났다. 그중 공간관여와 몰입 실재감 범주에서 가장 큰 차이를 보였다. 이는 콘택트렌즈 착용 시에 안경 착용 시보다 공간관여 부분과 몰입 실재감 부분에서 훨씬 안정적이었다고 볼 수 있다.

이와 같은 결과는 앞서 검사한 피로도에서부터 생각해 볼 수 있다. 시각적 요인으로 안경을 착용함으로써 발생하는 주변부 시력 저하로 인한 더 심한 피로도 증가가 있었다. 몰입감 측면에서 오감 중 시각이 가장 큰 영향을 준다는 점과 시야각이 넓을수록 공간지각 능력이 증가하여 실재감을 증폭시켜 준다는 점을 보았을 때, 안경 착용 시 주변부 왜곡으로 인하여 시각정보를 크게 떨어트리고, 시야각 또한 제한되어 사용자는 몰입감을 방해받을 수밖에 없다. 콘택트렌즈 착용 시에도 눈의 건조함, 뻣뻣함 등의 이유로 피로도가 증가하는 것 같다는 사용자의 의견이 있었지만, 안경 착용의 문제점인 주변부 왜곡이나 시야각의 제한 같은 요소의 영향이 더 크기 때문에 안경보다 더 나은 몰입감을 얻을 수 있었다고 생각한다. 또한, 외부적 요인으로 피로도 증가에도 영향을 주었던 안경 착용 시 초점 맞추기 어려움 등은 정확한 시각 정보가 제공되지 않아 피로를 증가시키고 몰입감을 저해하는 영향을 끼쳤다고 생각 할 수 있다.^[16-17]

피실험자들의 의견 역시 콘택트렌즈 착용이 안경 착용 시보다 불편감이 적었고 게임의 지속이용 의도 또한 높았다.

결 론

본 연구에서는 VR 이용 시 안경 착용과 콘택트렌즈 착용 간의 피로도와 몰입감을 비교하기 위해 VR 사용에 익숙한 20대 실험참가자 32명을 대상으로, 짧은 시간에 활

동량이 많은 리듬 액션 게임인 'Beat Saber'를 체험하여 실험 전·후 설문지를 작성하여, 큰 범주와 세부 항목으로 나누어 분석해보았다.

피로도 분석결과 안경 착용 시가 콘택트렌즈 착용 시보다 모든 항목에서 큰 피로도를 보였고, 16개의 항목 중 7개의 항목에서 유의한 차이를 보였다. 또한, SSQ 설문을 3가지 범주로 나누어 분석해보았을 때도 안경 착용 시가 더 높은 피로도를 보였다. 그중에서도 안구운동 항목에서 가장 큰 차이를 보였다. 이는 VR 사용 시 안경 착용으로 인한 물리적 불편함과 함께 안경렌즈의 주변부 왜곡으로 인한 안정 피로도가 가장 큰 요인이라고 생각 할 수 있었다.

몰입감에서는 설문 26개 항목 중 10개의 항목에서 유의한 차이를 보였고 대부분 항목에서 콘택트렌즈 착용에서 몰입감이 높은 경향을 보였다. 7가지의 큰 범주로 분석했을 때도 콘택트렌즈의 몰입감이 더 높거나 비슷한 부분을 볼 수 있었다. 특히 공간관여, 몰입 실재감 항목에서 큰 차이를 보였다. 피로도 부분과 연관 지어 생각해보면 안경 착용 시 주변부 왜곡으로 인해 주변 시야에 문제가 발생되며, 몰입감을 저하시킨다. 또한, 안경 착용 시에 콘택트렌즈 착용 경우보다 안경테로 인한 시야각이 제한되어 몰입을 방해하기 때문에 콘택트렌즈 착용 시에 더 나은 몰입감을 느낄 수 있었다고 생각된다. 따라서 피로도 부분에서는 안경 착용 시가 더 큰 증가를 보였고, 몰입감 부분에서는 콘택트렌즈 착용 시가 더 좋았으므로 안경 착용으로 인한 피로도의 증가는 가상현실 몰입에 부정적인 영향을 끼칠 수 있음을 알 수 있다.

결국, 비정시가 가상현실영상을 체험하기 위해서 시력 교정용 기구를 사용했을 때 피로도가 높아지고 몰입감 역시 낮아지게 되는 것은 불가피하지만, 만족감을 더욱 높이기 위해서 안경 착용보다는 콘택트렌즈 착용을 권할 수 있다. 하지만 VR 이용 시 콘택트렌즈 착용으로 인한 눈의 건조함, 뻣뻣함과 같은 요인들이 작용하기 때문에 콘택트렌즈 착용이 완벽한 대체 방안은 될 수 없다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2022RIS-005)

References

- [1] Jang HJ, Kim KH. Study on the influence of VR characteristics on user satisfaction and intention to use continuously -focusing on VR presence, user characteristics, and VR sickness. The Journal of the Korea Contents Association.

- tion. 2018;18(5):420-431. DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2018.18.05.420>
- [2] Roh JH, Cho JD. Analysis of the causes of VR sickness for users wearing glasses when wearing HMD. *Proceedings of HCIK 2019*. 2019;81-86.
- [3] Park J, Choi E. Study on influence of VR visual cognitive factors on VR contents cognition and presence. *J Korea Inst Inf Commun Eng*. 2018;22(7):985-992. DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.7.985>
- [4] Lee JH. VR system environment technologies and user input elements. *Journal of the Korean Society of Design Culture*. 2018;24(2):109-135. DOI: <https://doi.org/10.18208/ksdc.2018.24.2.585>
- [5] Lee J, Park JH. Effect of flow factors on the continuing use of VR video contents and HMD. *J Korea Inst Inf Commun Eng*. 2019;23(7):793-800. DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.7.793>
- [6] Kang H, Hong H. Effective selection of the optimal virtual reality (VR) lens interval of VR devices using the test patterns of the different shapes for the left and right eyes. *J Soc Inf Display*. 2021;29(10):793-800. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsid.1066>
- [7] Nam S, Yu HS, Shin D. User experience in virtual reality games: the effect of presence on enjoyment. *Korea Telecommunications Policy Review*. 2017;24(3):85-125.
- [8] Kang H, Yoo I, Lee JH, et al. Effect of application type on fatigue and visual function in viewing virtual reality (VR) device of Google cardboard type. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2017;22(3):221-228. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2017.22.3.221>
- [9] Teixeira J, Palmisano S. Effects of dynamic field-of-view restriction on cybersickness and presence in HMD-based virtual reality. *Virtual Real*. 2021;25(4):433-445. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00466-2>
- [10] LaViola JJ. A discussion of cybersickness in virtual environments. *ACM SIGCHI Bulletin*. 2000;32(1):47-56. DOI: <https://doi.org/10.1145/333329.333344>
- [11] Qiao R, Han D. A study on the virtual reality sickness measurement of HMD-based contents using SSQ. *Journal of Korea Game Society*. 2018;18(4):15-32. DOI: <https://doi.org/10.7583/JKGS.2018.18.4.15>
- [12] Vive Business. Vive Pro Office, 2022. [https://business.vive.com/us/product/vive-pro/\(09 May 2022\)](https://business.vive.com/us/product/vive-pro/(09 May 2022)).
- [13] Valve. Beat Saber, 2022. [https://store.steampowered.com/app/620980/Beat_Saber/\(09 May 2022\)](https://store.steampowered.com/app/620980/Beat_Saber/(09 May 2022)).
- [14] Kuze J, Ukai K. Subjective evaluation of visual fatigue caused by motion images. *Displays*. 2008;29(2):159-166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.007>
- [15] Davis S, Nesbitt K, Nalivaiko E. A systematic review of cybersickness. *Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment*. 2014;1-9. DOI: <https://doi.org/10.1145/2677758.2677780>
- [16] Kim KY, Lee JH. Differences of fun and immersion according to game viewpoint in VR environment. *Proceedings of HCI Korea 2018*. 2018;929-932.
- [17] Lee JS, Kim JY. A study on spatial characteristics of immersion and reality in cases of VR and AR technology and contents. *Journal of the Korean Institute of Interior Design*. 2019;28(3):13-16. DOI: <https://doi.org/10.14774/JKIID.2019.28.3.013>

가상현실(VR) 게임 이용 시 안경과 콘택트렌즈 간의 피로도 및 몰입감 변화에 관한 연구

강현구¹, 김연호², 박유찬², 홍형기^{3,*}

¹가톨릭관동대학교 안경광학과, 교수, 강릉 25601

²서울과학기술대학교 안경광학과, 학생, 서울 01811

³서울과학기술대학교 안경광학과, 교수, 서울 01811

투고일(2022년 9월 6일), 수정일(2022년 9월 14일), 게재확정일(2022년 9월 15일)

목적: 본 연구는 가상현실 기기로 게임을 할 때, 안경과 콘택트렌즈를 착용했을 때의 피로도와 몰입감의 차이를 비교해 보았다. **방법:** 실험은 VR 사용에 거부감이 없는 19~27세의 32명을 대상으로 하였다. SSQ(simulator sickness questionnaire)를 사용하여 안경과 콘택트렌즈 착용으로 인한 피로도를 조사하였으며, 몰입감 설문지를 통해 두 시력 보정 용구간의 차이를 보았다. 동일한 대상으로 안경과 콘택트렌즈 착용을 통해 실험을 진행한 후 대응표본 분석을 실시하였다. **결과:** 피로도 분석결과 안경 착용 시가 콘택트렌즈 착용 시 보다 모든 항목에서 큰 값들을 보였고, 16개의 항목 중 7개의 항목이 유의함을 보였다. 몰입감에서는 설문지의 26개 항목 중 10개의 항목에서 유의한 차이를 보였고 대부분 항목에서 콘택트렌즈 착용에서 몰입감이 높은 경향을 보였다. **결론:** 비정시가 가상현실을 체험할 때 시력교정용 안경 또는 콘택트렌즈를 사용하면 피로도가 증가하고, 몰입감이 떨어지는 것은 불가피하다. 일부 결과에서는 안경 착용보다는 콘택트렌즈 착용이 더 만족도가 높았지만, 눈의 건조함, 뻑뻑함과 같은 불편 요인들이 추가로 발생할 수 있다.

주제어: 가상 현실, 안경, 콘택트렌즈, 피로도, 몰입감

Appendix

Simulator sickness questionnaire[14]

평가 요소	항목	1	2	3	4	5	6	7
		증상 없음	이주 약간	조금 느낌	보통	조금 심함	심함	매우 심함
눈의 불편함	흐려 보이거나 번져 보임 (Blurry)							
	건조함/뻘뻘함 (Dry eyed)							
	피로함 (Eye strain)							
	이물감 (모래가 있는 것 같은 느낌) (Gritty)							
	안구의 통증 (Eyeache)							
	따가움/쓰라림 (바늘로 찌르는 듯한 느낌) (Sting)							
	눈의 줄음/몽롱함 Eyes heavy (Heavy eyes)							
	안개 낀 듯 희뿌옇게 보임 (Hazy)							
	안구의 발열 (Warm eyes)							
	자극을 받아 깜박임 (Flickering)							
눈물이 나는 (Watery eyes)								
전반적인 불편함	머리가 무거운 느낌 (Feeling heavy in the head)							
	몸이 무거운 느낌 (무기력함/축 처짐) (Feel heavy)							
	집중하기 어려움 (Difficulty concentrating)							
	어지럽고 핑 도는 느낌 (Dizzy)							
	어깨의 뻣근함 (Stiff shoulder)							
	목의 뻣근함 (Stiff neck)							
메스꺼움	졸림 (Sleepy)							
	구토 (Vomiting)							
	현기증/어지러움 (Vertigo)							
집중력	메스꺼움 (토할 것 같은 느낌) (Nausea)							
	한곳을 보기 어려움 (Difficulty focusing)							
	복시 (상이 두 개로 보임) (Double vision)							
	가까운 것이 잘 안보임 (Near vision difficulty)							
두통	먼 곳이 잘 안보임 (Far vision difficulty)							
	관자놀이 쪽 두통 (Pain in the temple)							
	이마나 머리 앞쪽 두통 (Pain in the middle of the forehead)							
	뒤통수 쪽 두통 (Pain in the back of the head)							