

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제23권 제6호, 2018년 11월 (JBE Vol. 23, No. 6, November 2018)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2018.23.6.800>

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

가상현실 미디어 기술동향과 VR 멀미저감 방안

문 성 철^{a)}, 황 민 철^{b)}, 박 상 인^{c)}, 이 동 원^{d)}, 김 홍 익^{e)†}

Overview of VR Media Technology and Methods to Reduce Cybersickness

Sungchul Mun^{a)}, Mincheol Whang^{b)}, Sangin Park^{c)}, Dong Won Lee^{d)}, and Hong-Ik Kim^{e)†}

요 약

본 논문은 최신 가상현실 미디어 기술동향과 다양한 분야에서 시도해 온 VR 멀미저감 방안을 리뷰하여, 가상현실 사용자의 인지적 수용성을 높이는 방안에 대해 논의하였다. 이를 통해 최신 미디어 기술의 사용자 가치제안 방식을 분석하고 Social VR 플랫폼의 인지적 수용성을 개선하는 효율적 방안을 제안하였다. 생체신호 모니터링, VR 콘텐츠 적합도 분석, 멀미 메커니즘 조절, 신체동요측정 기반 멀미예측 등 다양한 멀미저감 방식 중 개발 비용과 사용자 수용성 측면에서 가장 효율적인 신체동요측정 기반 멀미예측 기술의 테스트 결과를 기술하고 적용 방안을 구체화하였다. 가상현실 체험 전 미세한 신체동요가 많은 사용자일수록 VR 멀미 민감도가 크게 증가하는 것을 확인하였다. 개인의 멀미 민감도를 반영하는 본 측정 결과를 다양한 가상현실 환경에서 테스트하고 개인특성에 따른 VR 멀미 데이터베이스를 구축한다면 AI 기반의 멀미 예측기술을 구현하는데 크게 기여할 것으로 예상된다.

Abstract

In this study, we reviewed recent trends for enhancing human cognitive accessibility to social VR platform. We also proposed a practical method to predict VR sickness and improve the cognitive accessibility. In doing so, we investigated subtle changes in human body sway unconsciously made before, during, and after being exposed to extreme VR experience. The scientific assumption that VR sickness would be correlated with the subtle changes in body sway was validated. We found that participants who showed sensitive changes in the body sway before VR experience, felt more severe VR sickness than others. The findings can be practically applied in predicting susceptibility to VR sickness prior to VR experiences.

Keyword : Social VR, VRChat, VR Interaction, VR Sickness, Body Sway

a) CJ헬로 Future Engine Lab(Future Engine Lab, CJ Hello)

b) 상명대학교 휴먼지능정보공학부(Department of Intelligent Engineering Information for Human, Sangmyung University)

c) 상명대학교 산학협력단(Industry-Academy Cooperation Foundation, Sangmyung University)

d) 상명대학교 감성공학과(Department of Emotion Engineering, Sangmyung University)

e) CJ헬로 기술담당(Chief Technology Officer, CJ Hello)

† Corresponding Author : 김홍익(Hong-Ik Kim)

E-mail: hongik.kim@cj.net

Tel: +82-70-8130-1067

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2631-764X>

※ 이 논문의 연구결과 중 일부는 “한국방송·미디어공학회 2018년 하계학술대회”에서 발표한 바 있음.

· Manuscript received September 7, 2018; Revised October 16, 2018; Accepted October 16, 2018.

1. 서론

현재 가상현실 시장은 장소기반(Location Based Entertainment, LBE) VR 산업의 확장으로 인터랙션 기술, 콘텐츠, 공간이 융합되어 역동하는 시장으로 빠르게 진화하고 있다. 비교적 짧은 시간 안에 사용자에게 강렬한 쾌감과 체험을 제공해야 하는 테마파크 특성상 익스트림 라이드 어트랙션과 고실감형 프리로밍(Free-roaming) 멀티플레이 콘텐츠가 주를 이루고 있다. 그러나 최근 무선 Standalone HMD기기, Social VR Platform(VRChat, High Fidelity, Sansar, Sinespace, vTIME 등)의 등장과 산업전반(교육, 의료, 엔터테인먼트, 광고, 쇼핑, 부동산, 건설, 제조, 군사, 관광 등)에서 가상현실 활용도가 높아짐에 따라 장시간 사용할 수 있는 실감형 미디어 가상현실 플랫폼과 인터랙션 방식에 대한 중요성이 다시 강조되고 있다^[1,2].

사용자 인터페이스 플랫폼은 과급력이 큰 새로운 기술이 개발되어 사용자 잠재 니즈(Unmet Needs)를 충족시킬 수 있는 가치가 제공(Value Proposition)되고, High-tech 기술의 인지적 수용성이 특정 그룹의 대다수 사용자에게 적합할 때 변화될 수 있다. 전술한 두 가지 요인을 충족시킨 과거 사용자 IT 플랫폼의 변화 기간을 대략적으로 살펴보면, 애플 개인용 컴퓨터가 처음 나온 이래로 개인 PC가 대중화되기까지 20년, 전화선 모뎀(Dial-up)이 초고속 인터넷으로 대중화되기까지 7년, 아이폰의 등장 이래 스마트폰이 대중화되기까지 3년이라는 시간이 걸린 것으로 추정된다. 현재까지 사용자 IT 플랫폼은 크게 세 번의 변화가 있었으며, 각 변화의 주기는 점점 짧아지고 사용자 라이프 스타일에 혁신적 변화를 주는 정도가 점차 확대되고 있다. 이러한 플랫폼 변화 트렌드와 빠르게 진화하는 글로벌 ICT 생태계를 고려할 때, 향후 네 번째 사용자 IT 플랫폼 변화는 현재의 모바일 사용환경이 IoT (Input), 5G (Networking), AI(Processing) 기술과 융합되어 점진적으로 VR/AR/MR/XR(Output) 플랫폼 형태로 진화될 것으로 예상된다.

이러한 ICT 융합 기술 트렌드에 중추적인 역할을 하는 소셜 VR 플랫폼은 경험한 것을 단순히 생성하고 공유하는 것에 초점이 맞추어진 기존 소셜 미디어 플랫폼보다 현재 경험하고 있는 것을 네츄럴 컨버세이션과 가상공간에서 공

감의 가치를 지닌 영상이나 환경을 통해 실시간으로 공유하는 것이 특징이다^[3]. 이에 더불어 나와 사회적 성향이 비슷한 (80년대 레트로 바를 선호하거나 VR 버스킹 등의 공연을 선호하는) 타인과의 사회적 관계가 형성되어 오프라인에서 경험하는 사회적 현존감이 온라인으로 전이되는 가치까지 제공된다면 소셜 VR 플랫폼은 현실과는 다른 강력한 경험의 가치를 창출할 것으로 기대된다. 현재 다양한 소셜 VR 플랫폼들이 사용자가 직접 만든 온라인 동영상이나 여행, 스포츠 실황, 공연, 영화, 뷰티 관련 콘텐츠를 (HMD 속에서 대형화면으로) 아는 지인, 친구와 함께 보며 보이스 채팅을 통해 실시간으로 그 경험에 대한 가치를 공유하는 형태로 발전하고 있다^[4,5]. 이러한 트렌드는 VR 온라인 스트리밍 공유에서 발생하는 대용량 데이터 트래픽을 5G의 등장으로 해결할 수 있게 됨으로서 가속화되고 있다. 그러나 제한적인 HMD의 시장 보급률과 멀미 이슈, 유튜브, 페이스북, 인스타그램을 주로 사용하는 10~20대 고객의 낮은 지불 능력, 30~40대를 타겟팅한 차별화된 콘텐츠/서비스의 부재로 아직은 초기 시장 개화 이전의 파일럿 단계에 머물고 있는 수준이다. 즉 제한적인 HMD의 보급률, VR 소셜플랫폼 맞춤형 서비스 부재 및 VR 멀미의 원천적인 한계로 인해 Web이나 모바일로 접속하거나 스트리밍이 가능한 트랜스 미디어적 속성을 지닌 플랫폼에 머물고 있다. 따라서 장시간 사용할 수 있는 사용자 친화적 소셜 VR 플랫폼 구축을 위해 VR 멀미 저감/방지에 대한 실질적인 연구와 검증이 시급한 시점이다. 가상현실에 대한 인지적 수용성을 높이기 위한 실질적 관점의 연구개발과 저감기술 개발을 통해 사용자, 콘텐츠 사업자, 서비스 플랫폼 사업자 모두에게 선순환적인 VR 소셜 플랫폼(장시간 VR 플랫폼 사용으로 인한 광고수익, 아바타/공간 콘텐츠 가치 상승 등)이 구축되어야 한다. 이러한 과정 없이 소셜 VR이 모든 미디어 콘텐츠를 아우르는 메타미디어적인 속성을 지닌 미래의 XR 플랫폼 형태로 진화하는 것은 어려운 일이라 판단된다.

따라서 본고에서는 현재 사용자 잠재 니즈를 충족시킬 수 있는 융합 가상현실 미디어 기술을 리뷰하고 인지 수용성 측면을 충족시키기 위해 필요한 VR 멀미 저감방안에 대해 논의하고자 한다. 가상현실 플랫폼의 인지 수용성을 높이기 위해 필수적인 VR 멀미 저감방식에 대한 관련 기술

을 소개하고, 실제 산업현장에서 활용될 수 있는 가능성이 높은 방식에 가설을 수립하여 그 가능성을 검증하고자 한다.

II. VR 멀미 저감 방안에 대한 선행연구 분석

1. VR 미디어 기술 및 플랫폼 연구

최근 페이스북 개발자 컨퍼런스인 ‘F8 2018’에서 발표된 ‘Half Dome’이라 불리는 프로토타입 HMD의 Flexible 포커스 기술이 주목받고 있다. 이 기술은 그림 1에서 보는 바와 같이, 기존 HMD의 FOV(Field of View)와 DOF(Depth of Focus) 한계로 가상현실 오브젝트를 픽업하여 시야로 가져왔을 때 실제와 다르게 사물의 세부 정보확인이 어려웠던 점을 광학적 메커니즘 개선을 통해 해결하였다. 광학



그림 1. 오쿨러스가 개발 중인 HMD ‘Half Dome’ 가변초점 기능 (그림 출처: <https://www.oculus.com>)

Fig. 1. Varifocal function of the Half Dome HMD Oculus has been developing

적으로 개선된 프레넬 렌즈 적용과 빌트인 아이트래킹 기술을 활용하여 내부 광학시스템의 초점을 물리적으로 변화시키는 방식을 적용하였다^[7]. 이와 더불어 듀얼카메라 스마트폰으로 찍은 파노라마 영상이나 2D 비디오를 가상현실 공간으로 재구성해주는 AI Point Cloud Reconstruction 기반의 ‘VR memories’ 기술도 함께 주목받고 있다 (그림 2). 이 기술이 실제 상용화된다면, 과거 어린 시절 거주공간, 결혼식, 기념일 등의 특별한 날에 촬영한 비디오를 VR 공간에서 재구성하고 지인과 함께 탐색할 수 있게 되어 다양한 사용자 가치 모델을 창출할 수 있을 것으로 기대된다^[8]. Xiao^[9] 등은 홀로렌즈 내부에 빌트인 방식으로 MRTouch 인터랙션 기술을 구현하였다. 별도의 추가적인 트래킹 시스템 설치 없이 RANSAC(Random Sample Consensus) 알고리즘^[10]을 개선하여 자연스러운 손가락 움직임까지 센싱하는 공간터치 인터랙션(In-Air Interaction)을 가능케 하였다 (그림 3). 혼합현실의 이러한 (정확도가 크게 개선

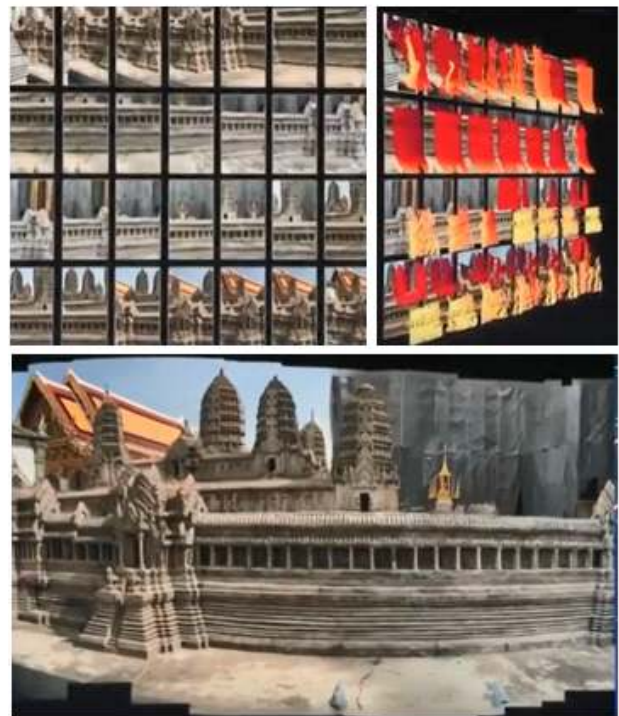


그림 2. 페이스북 F8 2018에서 발표된 AI 포인트 클라우드 기반 VR 메모리 솔루션 (그림 출처: <https://www.oculus.com>)

Fig. 2. AI point cloud-based VR Memories announced at Facebook F8 2018

된) 인에어 인터랙션 방식은 현재 다양한 VR, MR HMD 인터페이스 방식에 시사하는 바가 크다. 예를 들면, Positional Tracking을 지원하는 대부분의 6DOF VR/MR HMD 컨트롤러가 유발할 수 있는 피지컬 로드를 원천적으로 예방할 수 있다는 장점과 직관적인 인터페이스(Natural User Interface, NUI) 방식을 제공할 수 있다는 점을 들 수 있다. HMD 컨트롤러가 실제 물건을 조작하는 방식(Spatial User Interface, SUI)과 다르게 어색한 신체 포지셔닝을 유도하여 장시간 사용 시 사용자의 팔에 피지컬 로드를 유발(Gorilla Arm Effect)할 수 있다는 기존의 우려를 원천적으로 불식시킬 수 있다.

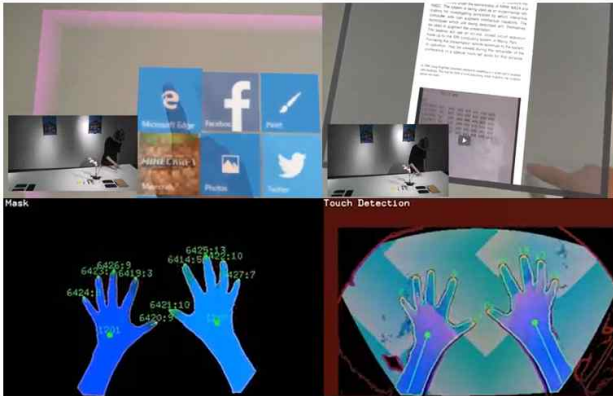


그림 3. 홀로렌즈용 MRTouch 인터랙션 기술 (그림 출처: <https://www.microsoft.com/en-us/research>)
 Fig. 3. MRTouch interaction developed for Microsoft HoloLens

현재 가상현실 소셜 플랫폼은 웹 VR 형태가 주를 이루고 있으며, 주요 소셜 VR 플랫폼은 VRChat, High Fidelity, Sansar, Sinespace, vTIME 등이 있다. 최근 가상공간에 대한 분권화된 소유권을 특징으로 하는 블록체인 기반의 VR 소셜 플랫폼(Virtual Universe, Decentraland 등)도 소개되고 있다. 이 중 VRChat은 전세계적으로 400만 이상의 다운로드를 기록할 정도로 인기를 얻고 있다. VRChat은 유니티 SDK 패키지를 통해 다양한 아바타나 자신만의 가상공간을 창조하고 다양한 사람과 실시간으로 배움과 소통의 장을 제공한다는 점에서 특히 주목받고 있다. 접속 시 PC 모드와 VR 모드 중 선택이 가능해 HMD를 보유하지 못한 유저들의 접근성도 고려하고 있다. 데이터 전송망

의 한계로 다른 가상현실 공간으로 이동 시 지연 로딩과 공간 렌더링 지연 현상 등이 5G 상용화로 해결되고, 2019 상반기 발매가 예정되어 있는 6DOF 오클러스 퀘스트 HMD가 출시된다면 Social VR 플랫폼 기술과 관련 시장은 크게 성장할 것으로 예상된다. 실제 하이엔드 PC급의 스탠드얼론 HMD를 구현한 것은 아니지만 오클러스 퀘스트가 VR에 대한 대중의 인식 확장과 기기 보급률 확대에는 어느 정도 기여를 할 것으로 추정 된다. 향후 가상현실 소셜 VR 플랫폼이 대중화되는 시기가 오면, 아바타간 감정전이(Emotional Contagion) 이슈나 가상 아바타를 인간과 유사하게 구현하는 과정에서 너무 인간과 다르게 구현하면 몰입이 저하되고 지나치게 유사하게 구현하여 기계 인간처럼 만들 경우, 사용자가 급격하게 호감도를 잃는 현상인 언캐니 효과(Uncanny Effect) 등도 고려할 필요가 있다. 이는 현재 VR 소셜 플랫폼마다 다른 아바타 형태(카툰 렌더링 타입-페이스북 스페이스, 캐주얼 CG 타입-마이크로소프트 알트스페이스, Sansar, vTIME-포토리얼리스트 타입, VRChat-자유로운 (형이상학적) 캐릭터 커스터마이징)를 도입하고 있어 적절한 몰입도와 호감도를 유지하는 아바타 타입에 대한 구체적인 사용자 경험 모델링이 필요하다.

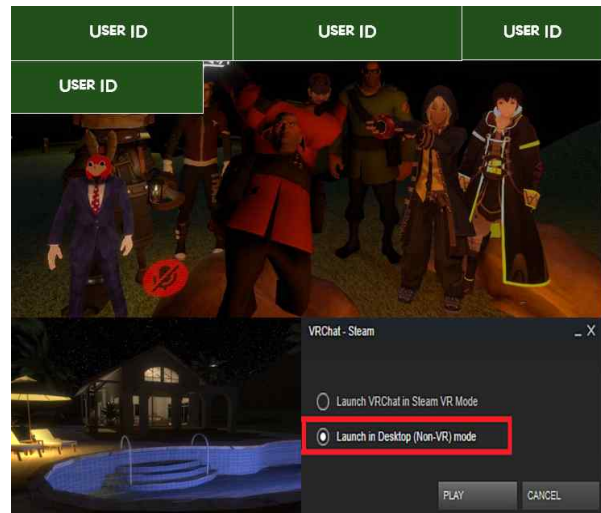


그림 4. 가상현실 소셜 플랫폼 VRChat (그림 출처: <https://vrchat.net>)
 Fig. 4. VR social platform of VRChat

2. VR 멀미 저감 관련 선행 연구

기존 어트랙션 탑승 시 사용자는 어트랙션 탑승 회전을 따라 HMD를 지속적으로 사용하지 않아 휴먼팩터 이슈에 대한 논의가 시장에서 주목받지 못하였다. 그러나 최근 VR 소셜 플랫폼의 등장으로 (인적·물적 시스템에 의해 사용자가 모니터링 되지 못하는 상황에서) 장시간 HMD 착용에 대한 우려가 일각에서 대두되고 있다. 따라서 본 고에서는 그림 5에서 보는 바와 같이, 기존 선행연구 결과를 리뷰하여 현재 고려할 수 있는 VR 멀미 저감 방안에 대해 논의하고자 한다.

Looxid Labs^[11]는 전두엽 자발뇌파(Background EEG)의 Asymmetry 현상^[12]과 시각기능 분석을 복합적으로 모델링하여 VR 사용자의 감성 상태나 멀미를 진단할 수 있는 Portable 시스템을 개발하였다. 이를 모듈화 방식으로 HMD에 Built-in하고 뇌파 측정 편의성을 개선하여 VR 체험 시의 사용자 감성평가를 가능케 하였다. 유사한 형태의 생체신호 측정 기술로 Park^[13]이 제안한 비접촉식 심박 측정 기술을 들 수 있다. 동공 크기의 미세한 변화를 실시간으로 심박 변화와 매핑하여, 간단한 카메라 기반 영상처리만으로 심박을 추정하는 기술을 개발하였다. 이러한 방식들은 HMD 사용 시 실시간으로 뇌파 및 심박의 변화를 모델

링하여 사용자가 느끼는 VR 멀미나 몰입감을 정량화할 수 있다. 이를 통해 사용자에게 다양한 방식으로 피드백을 제공하여 심한 멀미 증상(매스꺼움, 구토 등)이 나타나기 직전에 HMD 사용을 중단케 하거나 일시적인 FOV(Field of View) 조절을 통해 멀미를 완화할 수 있다. 또한 최적의 VR 콘텐츠 구성요소와 시점 등을 규명하는 데에도 활용될 수 있다^[14].

Lee^[15]는 VR 콘텐츠의 멀미 유발요인(초당 프레임 수 적절성, 급격한 화면 변화, 오브젝트 증첩도 등)을 분석하여 VR 콘텐츠의 멀미 정도를 정량화하고 VR 콘텐츠 제작자에게 개선안을 가이드하는 VR 멀미 저감 솔루션을 제안하였다. 과거 광 과민성 발작(Photosensitive Seizure) 유발 콘텐츠를 사전에 스크리닝하기 위해 고안된 Harding FPA (Flash and Pattern Analyzer)와 유사한 가이드라인 체계와 플랫폼을 지향하여^[16,17] 국내 VR 멀미 저감기술 관련 시장 확장을 시도하고 있다. 이외에도 VR 멀미 유발요인에 대한 많은 휴먼팩터 연구들이 존재한다. 과거 VR 멀미를 유발하는 주요 요인으로 디바이스 요인(블러링, Motion-to-Photon Latency, 화면주사율, 해상도, 보정오차 허용범위 등), 콘텐츠 요인(오브젝트 이동패턴, 화면시차, 선명도, 색 재현성 등), 환경 요인(기기 사용시간, 자세 및 주변 환경 등), 개인 요인(부동시 여부, 양안 거리, 멀미 민감도, 나이, 성별, 기

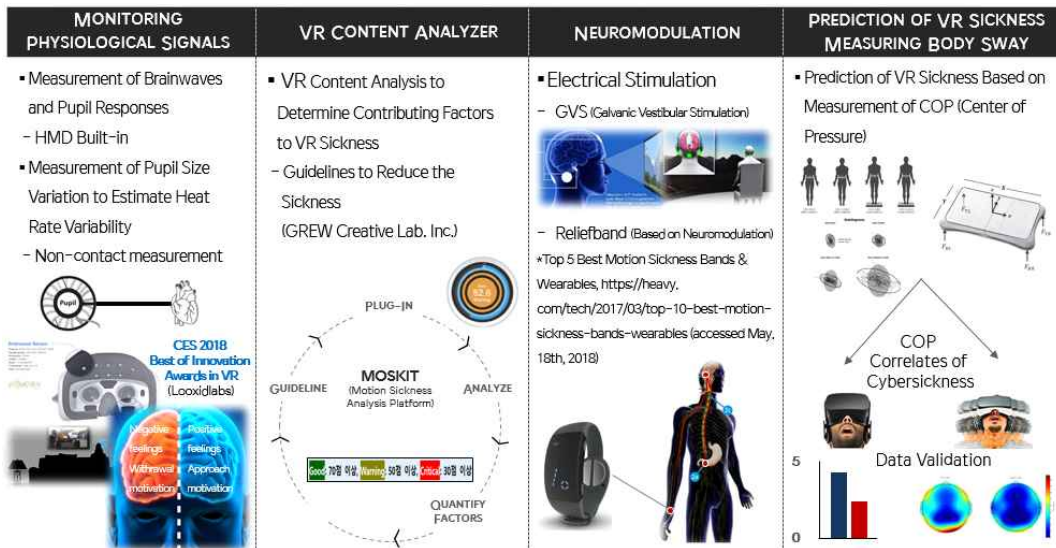


그림 5. VR 멀미 저감 방법
Fig. 5. Methods to reduce VR sickness

저질환 여부 등)이 언급되어 왔으며, 많은 연구들이 이러한 휴먼팩터 요인들과 멀미정도간 상관성에 대한 연구에 치중해 왔다. Nalivaiko^[18]는 VR 콘텐츠의 빠른 오브젝트 이동 패턴이 피부온도와 인지기능 변화에 미치는 영향을 조사하여, 콘텐츠 오브젝트 구성이 복잡하고 갑작스런 패턴변화가 존재할 경우 멀미가 유발되어 심박이 증가한다는 것을 증명하였다. 또한 VR 멀미가 유발되는 구간에서 피부온도의 일시적인 Cooling과 Re-warming 현상이 발생함을 보고하였다. Dorado^[19]는 VR 환경에서 계단을 오르내릴 때의 구조적 변인과 속도조작 변인이 VR 멀미에 미치는 영향을 조사하여, 경사면이 계단에 비해 Vection을 줄이는 효과가 있고 계단을 오르거나 내릴 때 그 속도를 구간에 따라 다르게 하는 Smoothed constant 방식은 멀미에 특히 취약한 점을 추가적으로 보고하였다.

Cevette^[20]는 기존의 전정기관을 자극하여 균형 감각을 제어하는 GVS(Galvanic Vestibular Stimulation) 방식을 확장하여(6DOF) 미세전류 기반의 멀미 저감 방안을 제안하였다. VR 멀미 주요 원인인 감각불일치(Sensory Conflict) 현상을 전정기관과 대뇌피질의 운동영역(Motor Cortex)에 미세전류 자극을 주어 체성감각을 시각정보와 일치시키는 방식으로 최소화하고자 하였다. 손목밴드 착용 지점인 내관부위(Pericardium 6, P6)를 압력으로 자극^[21]하거나 미세전류를 흘려 정중신경(Median Nerve)을 통해 뇌의 멀미조절센터(Dorsal Vagal Complex, DVC)를 통제하여 위의 생리적 변화를 차단하는 방식^[22]도 소개되고 있다. 이러한 방식은 개인의 생리적 메커니즘의 미세한 차이에 따라 혹은 과거 멀미이력 등에 따라 효과의 정도가 다른 것으로 알려져 있다.

3. 신체 동요 측정기반 멀미 예측 제안

전술한 생체신호 측정기반 모니터링 방식, VR 콘텐츠 분석, 휴먼팩터 요인 분석, 전기자극 방식 등은 사용자 센서 착용 불편감, 장시간의 측정과 분석시간, 실시간 현장 적용의 어려움 및 미세전류 방식에 대한 대중의 낮은 (인지적) 수용도 등으로 인해 실제 VR 산업현장에서 적용되기 어려운 한계점이 존재한다. 따라서 본 실험에서는 실제 간단한 사전 측정으로 멀미 정도를 예측할 수 있는 방식을 검증하고자 하였다. 실험 타당성에 근거가 되는 주요 연구 이론은 다음과

같다. 인간의 시각체계와 뇌의 주요 감각/운동영역과 인지로드 관점에서 밀접한 뉴럴 메커니즘이 존재하여, 시각정보로 유발된 인지로드는 뇌의 감각/운동영역에서의 미세한 변화와 유의미한 상관성이 있다는 것을 규명한 많은 실증 연구에 근거한다^[23-28]. 따라서, 뇌의 운동감각 영역과 깊은 연관이 있는 인간의 미세한 고유 신체동요(Body Sway) 정도와 시각 정보에 의해 유발되는 인지로드의 한 종류인 VR 멀미간 상관성이 존재함을 실험적으로 규명하고자 하였다.

III. 실험 방법

1. 실험참가자 및 실험 방법

수립된 가설을 검증하기 위해 심혈관계, 중추신경계, 시각 및 전정계 병력이 없고 안경을 착용하지 않는 시력 0.8 이상의 상명대학교 재학생 15명(남 7, 여 8, 평균나이 25±1.96)을 대상으로 그림 6과 같은 절차를 따르는 검증실험을 진행하였다. 인간의 고유 생체바이오리듬의 변화가 잠재변인으로 결과에 미치는 영향을 방지하기 위해, 피험자 모두 평일 오후 동일한 시간에 정해진 장소에서 실험을 수행하게 하였다.

그림 6에서 보는 바와 같이, 본 실험 시작 전 VR 멀미에 지나치게 민감한 피험자를 스크리닝하기 위해 사전 멀미 평가 실험을 수행하였다. 사전 실험에서는 학습효과와 자극에 대한 반복 노출 효과를 방지하기 위해 본 실험 VR 콘텐츠(NoLimits 2 Roller Coaster Simulation, Ole Lange 2014)와 다른 콘텐츠(Ultimate Booster Experience, GexagonVR 2016)를 사용하였다. 뇌인지반응을 측정하기 위한 뇌파측정 캡(Mitsar-EEG 202, 31채널)과 HMD(Oculus Rift CV1)를 착용한 후 5분간 VR 콘텐츠를 체험하게 함으로써 사전 멀미 민감도 테스트를 수행하게 하였다. 사전 테스트를 통해, 중도에 심한 멀미감을 보고하며 실험 중단을 희망하거나 생리적 멀미 증상의 전조가 나타나는 피험자가 없음을 확인하였다. 사전 테스트 후 전 실험의 이월효과 방지를 위해 20분간 편안한 자세로 휴식을 취하게 하였다. VR 롤러코스터 체험 전, 중, 후의 미세 움직임 변화를 측정하기 위해 사용자 의자에 Force Platform의 일종인 밸런스 보드

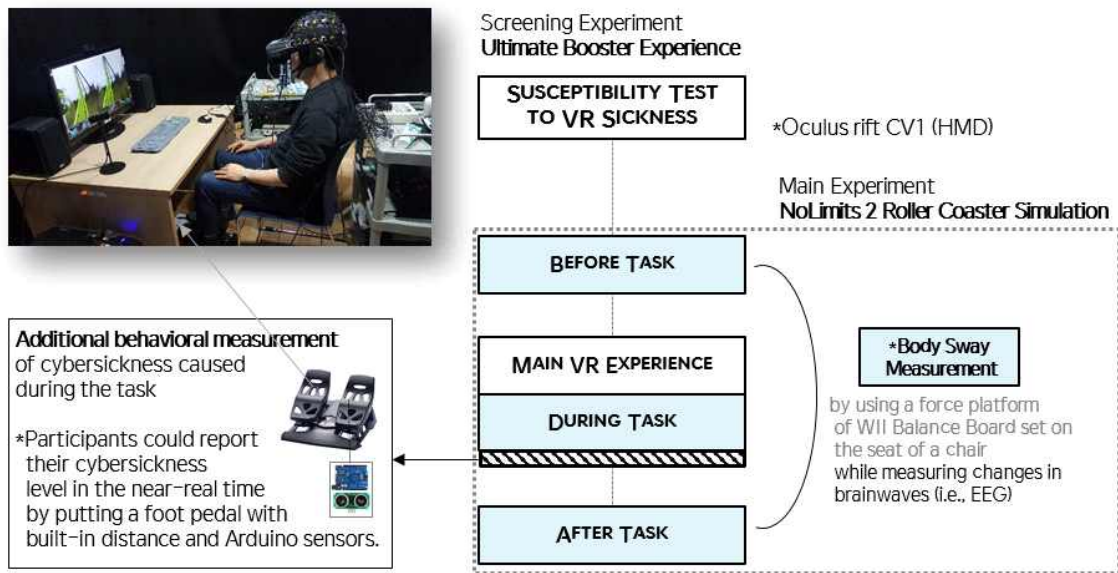


그림 6. 신체 동요 기반 멀미 측정 검증 실험 절차
 Fig. 6. Experimental procedure to validate body sway correlates of VR sickness

(Wii Balance Board, Nintendo, Japan)를 설치하여 사용자 신체동요 정도를 COP(Center of Pressure) 기준으로 기록하였다. 인간 고유의 미세한 움직임 변화와 VR 멀미간 상관관계를 규명하기 위해, VR 콘텐츠를 체험하기 직전과 직후의 신체 동요 정도를 눈을 감은 채로 움직이지 말라고 요청한 뒤 (평상시 미세움직임 측정) 5분간 측정하였다. VR 체험 전, 중, 후의 미세움직임 변화를 최대한 정량적으로 비교하기 위해 VR 체험 중에도 몸을 움직이지 말라는 요청을 추가적으로 하였다. 또한 실험 중 멀미정도를 추가적으로 정량화하기 위해, 거리센서 (US-016, SMG China)와 아두이노 센서 (Arduino Uno R3, Arduino Italy)가 빌트인된 페달 (T.Flight Rudder Pedal, Thrustmaster USA)을 피험자 오른쪽 발 아래 설치하여 실시간으로 주관적 멀미감을 보고하게 하였다. VR 체험 중 멀미감을 느끼는 정도에 따라 (심하게 느낄수록) 오른쪽 페달을 앞으로 밀도록 요청하고, 페달을 움직인 정도를 실시간으로 측정하여 (피험자간 정량적 평가를 위해) 0에서 1점 사이로 정규화하였다. VR 롤러코스터 체험은 멀미 전조증상이나 약한 정도의 멀미 발생 시 생리적/행동적 변화를 분석하기 위해 15분으로 설정하였다.

IV. 실험 결과

그림 7, 8에서 보는 바와 같이, COP 변화 정도는 Wii Balance Board가 제공하는 정량적 수치를 2차원 평면상에 표시한 후 그 전체 면적을 계산하였다. 태스크 수행 전, 중, 후의 COP 데이터 변화 정도를 통계적으로 검정하기 위해 일원 반복측정 분산분석을 수행하였다.

그림 9에서 보는 바와 같이, VR 체험 전 COP 이동이 큰 그룹이 멀미를 느끼는 정도가 큰 것으로 나타났다. 멀미를 상대적으로 심하게 느낀 피로 그룹 (FG)의 경우 태스크 구분에 따라 COP 변화 정도가 유의미하게 증가(전<중<후)하는 것이 통계적으로 확인되었다 ($F[2, 12] = 20.54, p < 0.001$). 유의미한 차이가 존재하는 세션을 상세하게 분석하기 위해 Tukey's HSD test 사후 검정을 수행하였다 (태스크 전-태스크 중, $p = 0.034$), (태스크 중-태스크 후, $p = 0.011$), (태스크 전-태스크 후, $p < 0.001$). 또한 그 변화량 차이의 정도도 비피로 그룹(UFG)과 비교하여 훨씬 더 큰 것 (실질적 유의성이 큰 것)으로 나타났다. 비피로 그룹의 경우 일원 반복측정 분산분석을 수행하기 위해 충족되어야 하는 Mauchly의 구형성 조건이 충족되지 않아 Greenhouse-Geisser 입실린 값을 자유도에 곱해 모델을 보정하였다.

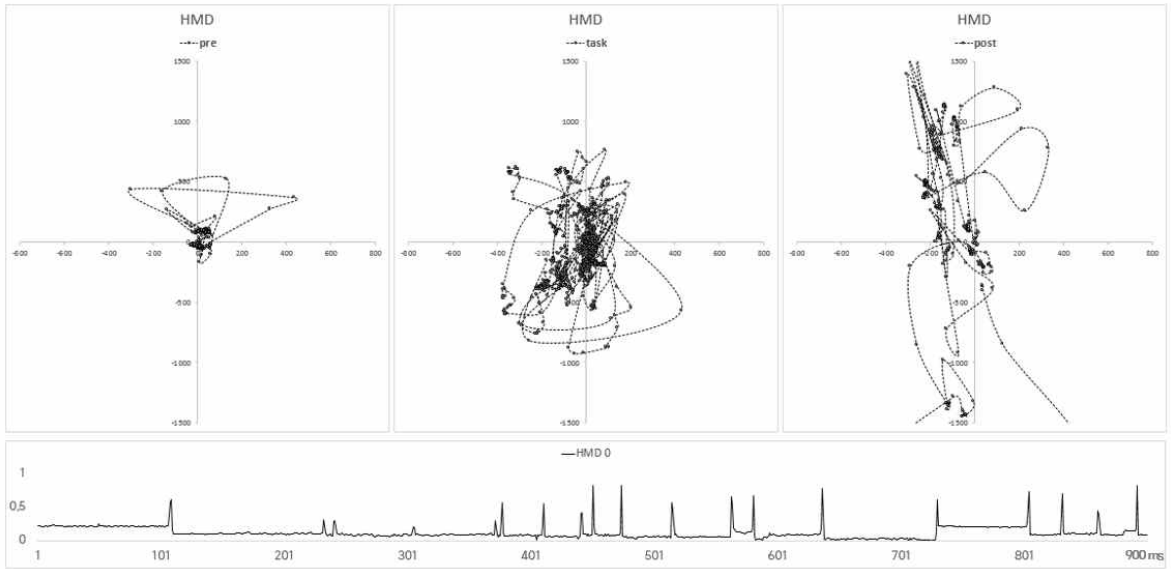


그림 7. 멀미 그룹 (FG)에 속한 피험자의 VR 롤러코스터 체험 전, 중, 후에 따른 신체 동요(Center of Pressure, COP) 변화 정도 시각화(위), 페달을 통해 VR 체험 중 (15분간) 보고받은 주관 멀미도 시각화(아래)

Fig. 7. Visualization of changes in COP data for a representative FG subject before, during, and after being exposed to VR roller coaster content (top) and that of the subjective data reported by putting a foot pedal during VR experience (15 min.) (bottom)

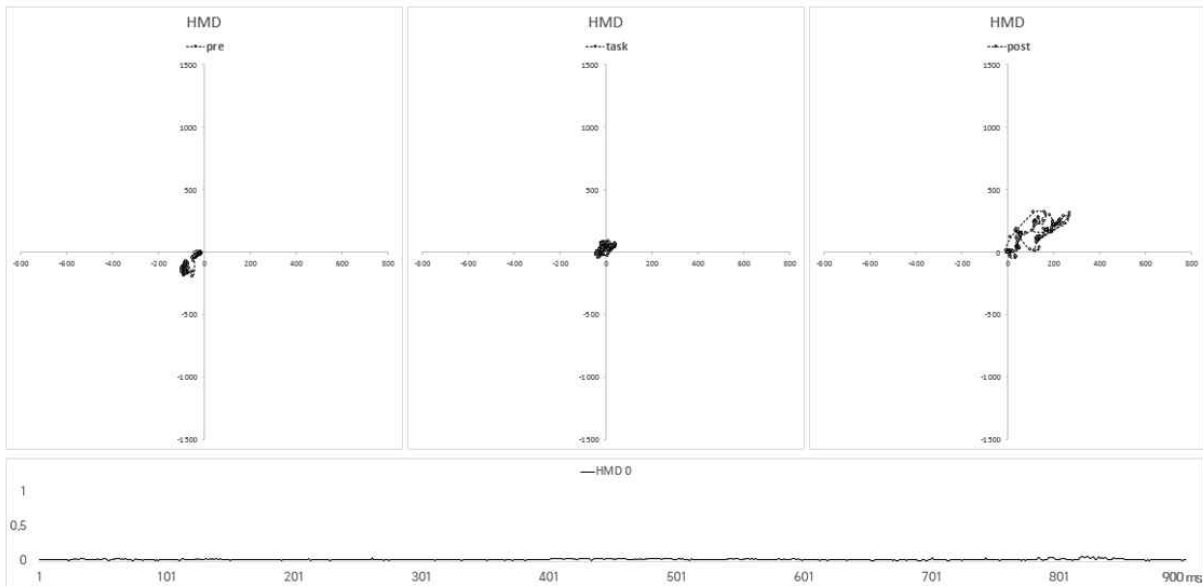


그림 8. 비멀미 그룹 (UFG)에 속한 피험자의 VR 롤러코스터 체험 전, 중, 후에 따른 신체 동요(Center of Pressure, COP) 변화 정도 시각화(위), 페달을 통해 VR 체험 중 (15분간) 보고받은 주관 멀미도 시각화(아래)

Fig. 8. Visualization of changes in COP data for a representative UFG subject before, during, and after being exposed to VR roller coaster content (top) and that of the subjective data reported by putting a foot pedal during VR experience (15 min.) (bottom)

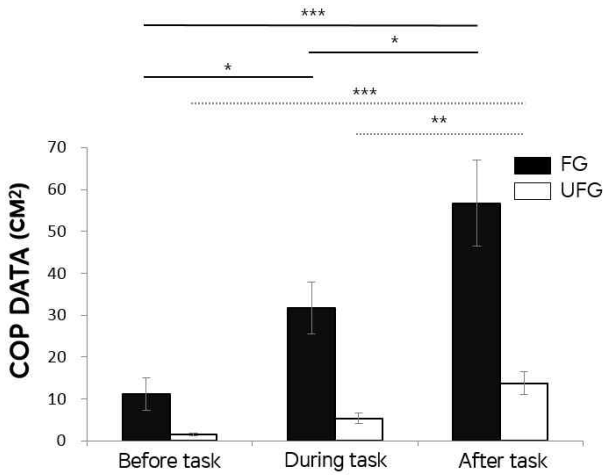


그림 9. VR 롤러코스터 체험 전, 중, 후에 따른 신체 동요(Center of Pressure, COP) 평균 변화 정도 비교: VR 멀미를 심하게 보고한 그룹 (Fatigued Group, FG)과 그렇지 않은 그룹(Unfatigued Group, UFG)
 Fig. 9. Change in COP data across subjects for each group as a function of task sections (before, during, and after being exposed to VR roller coaster content): Comparison between FG and UFG

태스크 전과 태스크 중의 COP 정도는 유의미한 차이가 없었으나 태스크 전과 태스크 후, 태스크 중과 태스크 후에 (실질적 유의성은 미미하나) 통계적으로 유의한 차이가 관측되었다 ($F[1.17, 8.18] = 17.44, p = 0.002$, Greenhouse-Geisser $\epsilon = 0.58$), Post-hoc Tukey's HSD test: (태스크 전-태스크 중, $p = 0.186$), (태스크 중-태스크 후, $p = 0.004$),

(태스크 전-태스크 후, $p < 0.001$). 이는 VR 멀미에 민감하지 않은 사람들을 대상으로 인위적으로 멀미를 심하게 느끼는 상황을 유발하기 위해 타콘텐츠에 비해 VR 멀미 유발 정도가 훨씬 큰 롤러코스터 자극을 15분간 사용했기 때문으로 추정된다. 15분간의 롤러코스터 VR 체험이 전정기관에 영향을 미쳐 체험 후에도 일시적으로 미미한 영향이 피험자 전체에 전반적으로 나타나 통계적 유의성으로 이어진 것으로 판단된다. 그러나, 태스크 구분에 따른 COP 변화 정도가 미미하여 통계적 유의성은 있으나 실질적 유의성 측면에서는 큰 의미가 없는 것으로 볼 수 있다.

그림 10에서 보는 바와 같이, 두 그룹 간 페달을 통해 보고 받은 주관 멀미 정도를 정량적으로 비교하기 위해, 0에서 1 사이로 정규화된 값 중 0.5 이상을 (일시적으로 심한 멀미감으로 정의) 기준으로 0.5 이상의 멀미감을 최초로 보고한 시점과 15분간 그러한 심한 멀미감이 보고된 상대비율을 산출하여 Mann-Whitney U test를 수행하였다. 분석 결과, 최초 멀미감 보고 시점은 비멀미 그룹이 멀미 그룹보다 오히려 조금 빠른 것으로 나타났으나 두 그룹 간 유의미한 차이는 없었다. 그러나 심한 멀미감을 보고한 빈도는 멀미 그룹이 비멀미 그룹보다 월등하게 많았으며, 그 차이에서도 통계적인 유의성이 확인되었다.

이러한 COP 변화와 주관멀미도 변화가 VR 멀미에 의한 것인지를 객관적으로 추가 검증하기 위해 VR 체험 전, 중,

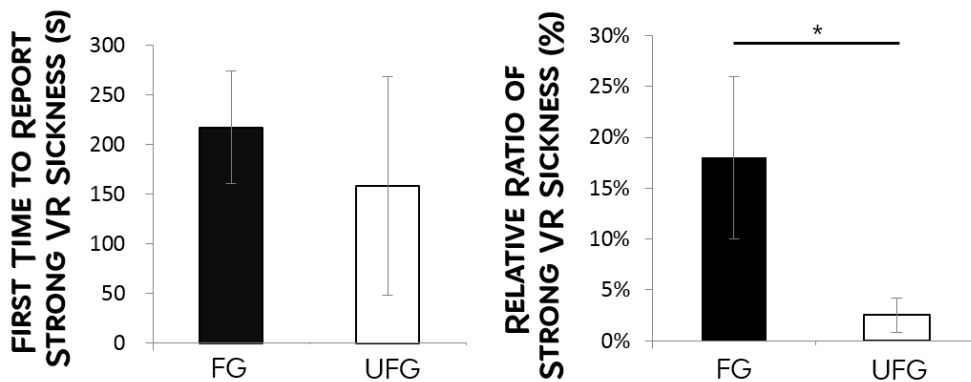


그림 10. 멀미 그룹(FG)과 비멀미 그룹(UFG)에 따른 VR 롤러코스터 체험 중 측정된 주관 멀미도 비교: 일시적으로 심한 멀미감을 보고한 최초 시점 비교(좌), 일시적으로 심한 멀미감이 보고된 상대비율 비교(우)

Fig. 10. Comparison of subjective VR sickness level measured by putting a foot pedal during being exposed to VR rollercoaster for FG and UFG: First time to report strong VR sickness (left) and relative ratio of strong VR sickness (right)

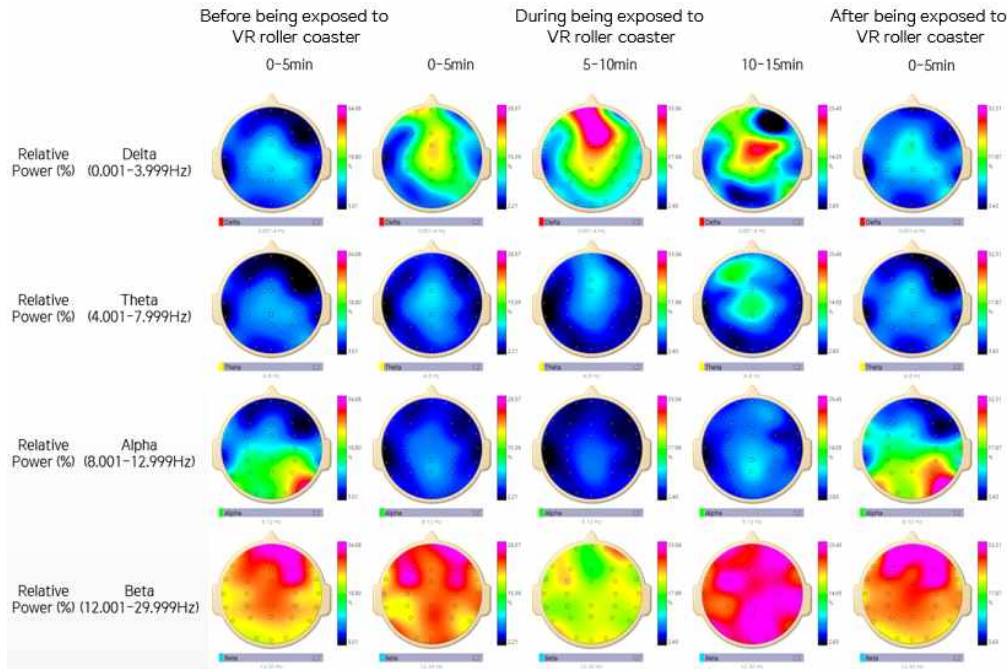


그림 11. 멀미 그룹 (FG)에 속한 피험자의 VR 롤러코스터 체험 전, 중, 후에 따른 뇌파 시각화. 인지로드의 바이오마커인 전두엽(이마 부분) 세타파 증가와 두정엽(정수리 뒷부분) 알파파 감소 패턴이 나타남

Fig. 11. Visualization of changes in EEG spectrum data for a representative FG subject before, during, and after being exposed to VR roller coaster content: Note that theta power at frontal sites increases and alpha power decreases at parietal sites with increasing cognitive load caused by accumulated visual load and the same pattern was observed in our experiment

후의 뇌파 변화를 분석하였다. 그 결과 그림 11에서 보는 바와 같이, 인지적으로 피로할 때 전형적으로 나타나는 배경 뇌파의 변화 (전두엽 세타파 증가와 두정엽 알파파 감소)가 관측되었다. 그림 11은 낮은 차원의 인지적 기능을 반영하는 배경 뇌파의 활성화 정도를 파란색(활성화 정도 낮음)에서 분홍색(활성화 정도 높음)으로 구분하여 시각화 하였다. 세타파 변화를 예로 들면(두 번째 열), VR 콘텐츠 체험 전(진한 남색), 체험 중(파란색-하늘색-연두색), 체험 후(다시 진한 남색)에 따라 전술한 전두엽 세타파 증가 패턴을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 고에서는 향후 차세대 미디어 플랫폼 구축에 기여할 수 있는 최신 가상현실 미디어 기술을 리뷰하고, 가상현실

의 인지적 수용성을 높이기 위한 VR 멀미 저감방안에 대해 논의하였다. 본 연구에서 제안한 COP 변화와 VR 멀미간 매핑 방식은 사용자 VR 어트랙션에 적용할 수 있는 VR 멀미 예측 모델링의 가능성을 확인한 것이며, 이러한 결과는 데이터 수를 조금 더 확보하여 다중회귀식 등의 예측 모델로 확장하여 향후 다음과 같이 구체적으로 활용될 수 있다. VR 테마파크에서 VR 어트랙션을 체험하거나 가정 내 Social VR 체험 전에 1분 정도 인간의 미세한 신체 동요 반응을 밸런스 보드나 카메라 기반(또는 HMD 내부에 COP를 측정할 수 있는 장치 Built-in)으로 쿼크하게 측정하고 이미 확보된 휴먼팩터 학습데이터에서 멀미 가능성이 높은 COP 면적 및 이동패턴의 Feature를 Classifier화하여, 하나 이상의 룰 베이스로 설정할 수 있다. 이는 실시간으로 현장에서 수집되는 COP 데이터를 엡지 컴퓨팅과 클라우드 방식이 결합된 형태로 처리하여 유의미한 패턴을 보이는 데이터를 SVM, K-mean Clustering 등의 기본적인 데이터마

이닝 알고리즘이나 CNN, GAN 등의 AI 알고리즘을 적용하여 분석할 수 있음을 의미한다. 이는 평소에 멀미를 많이 느끼는 경우나 혹은 VR 체험 시 불쾌감이 심한 경우, 자신의 멀미 정도를 사전에 셀프측정하고 자신에게 적합한 체험시간이나 콘텐츠 종류에 대한 큐레이션이 제공되는 VR 서비스로 발전시킬 수 있음을 시사한다. 이러한 접근 방식은 차세대 미디어 플랫폼으로 각광받고 있는 Social VR 플랫폼의 인지적 수용성을 크게 개선하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 본 실험에서 확인된 사전 신체 동요 반응과 VR 멀미간 상관성을 실제 다양한 가상현실 사용환경에서 테스트하고 통계적 유의성과 실질적 타당성이 있는 멀미 예측 학습 데이터 베이스를 구축하여, 현장에서 적용될 수 있는 실질적인 VR 멀미 예측 솔루션개발 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] J. Lee, K. Suh, and S. Nam, "C-P-N-D Ecosystem-based Broadcasting/Media Virtual Reality (VR) Prospects," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol.23, No.1, pp. 19-25, 2018, <https://doi.org/10.5909/JBE.2018.23.1.19> (accessed Oct. 11, 2018).
- [2] E. Kim, J. Kim, E. Yoo, and T. Park, "Study on Virtual Reality (VR) Operating System Prototype," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol.22, No.1, pp. 87-94, 2017, <https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.1.87> (accessed Oct. 11, 2018).
- [3] H. Kwon and A. Hudson-Smith, "Redesigning Experience Consumption in Social VR Worlds: Decentralised Value Creation, Mobilisation, and Exchanges," *21st DMI: Academic Design Management Conference*, London, United Kingdom, pp. 1-17, 2018.
- [4] A. Yarramreddy, P. Gromkowski, and I. Baggili, "Forensic Analysis of Immersive Virtual Reality Social Applications: A Primary Accout," *2018 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW)*, San Francisco, United States of America, pp. 186-196, 2018.
- [5] L. Zhang, L. Sun, W. Wang, and J. Liu, "Unlocking the Door to Mobile Social VR: Architecture, Experiments and Challenges," *IEEE Network*, Vol.32, No.1, pp. 160-165, 2018, <https://doi.org/10.1109/MNET.2017.1700014> (accessed Oct. 15, 2018)
- [6] C. Zizza, et al., "Towards a Social Virtual Reality Learning Environment in High Fidelity," *2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, United States of America, pp. 1-4, 2018.
- [7] Facebook Demos Next-gen VR Plans, <https://www.cnet.com/news/apple-second-quarter-iphone-x-sales-show-wall-street-analysts-got-it-wrong> (accessed May 03, 2018).
- [8] Facebook can Reconstruct a 3D World from your Photos and Videos, <https://petapixel.com/2018/05/02/facebook-can-reconstruct-a-3d-world-from-your-photos-and-videos> (accessed May 04, 2018).
- [9] R. Xiao, et al., "MRTouch: Adding Touch Input to Head-Mounted Mixed Reality," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.24, No.4, pp.1653-1660, 2018, <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2794222> (accessed Sep. 3, 2018).
- [10] M. A. Fischler and R. C. Bolles, "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," *Communications of the ACM*, Vol.24, No.6, pp.381-395, 1981, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-051581-6.50070-2> (accessed Sep. 3, 2018).
- [11] Looxid Labs wins a CES 2018 Best of Innovation Awards in Virtual Reality, <http://looxidlabs.com> (accessed May 10, 2018).
- [12] J. A. Coan and J. J. B. Allen, "Frontal EEG Asymmetry as a Moderator and Mediator of Emotion," *Biological Psychology*, Vol.67, No.1, pp.7-50, 2004, <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.03.002> (accessed Sep. 3, 2018).
- [13] S. Park, et al., "Non-Contact Measurement of Heart Response Reflected in Human Eye," *International Journal of Psychophysiology*, Vol.123, pp.179-198, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.07.014> (accessed Sep. 3, 2018).
- [14] J.-Y. Jung, et al., "Causes of Cyber Sickness of VR Contents: An Experimental Study on the Viewpoint and Movement," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol.17, No.4, pp.200-208, April 2017.
- [15] S. Lee, A. Koo, and J. Jhung, Moskit: "Motion Sickness Analysis Platform for VR Games," *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, Las Vegas, United States of America, pp. 17-18, 2017.
- [16] H. G.F.A. and F. Fylan, "Two Visual Mechanisms of Photosensitivity," *Epilepsia*, Vol.40, No.10, pp.1446-1451, October 1999.
- [17] The Harding FPA is a Suite of Applications for Compliance with International Guidelines on Flashing and Spatial Patterns in Broadcast Video, <http://www.hardingfpa.com> (accessed May 16, 2018).
- [18] E. Nalivaiko, et al., "Cybersickness Provoked by Head-mounted Display Affects Cutaneous Vascular Tone, Heart Rate and Reaction Time," *Physiology & Behavior*, Vol.151, pp. 583-590, <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.08.043> (accessed Oct. 16, 2018).
- [19] J. L. Dorado and P. A. Figueroa, "Ramps are Better than Stairs to Reduce Cybersickness in Applications Based on a HMD and a Gamepad," *2014 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, Minneapolis, United States of America, pp. 47-50, 2014.
- [20] M. J. Cevette, et al., "Oculo-Vestibular Recoupling Using Galvanic Vestibular Stimulation to Mitigate Simulator Sickness," *Aviation Space and Environmental Medicine*, Vol.83, No.6, pp.549-555, June 2012.
- [21] Top 5 Best Motion Sickness Bands & Wearables, <https://heavy.com/tech/2017/03/top-10-best-motion-sickness-bands-wearables> (accessed May 18, 2018).
- [22] A new ave of VR Motion Sickness Solutions is here, <https://www.wearable.com/vr/new-wave-vr-motion-sickness-solutions> (accessed May

- 18, 2018).
- [23] S. Mun, et al., "SSVEP and ERP Measurement of Cognitive Fatigue Caused by Stereoscopic 3d," *Neuroscience Letters*, Vol.525, No.2, pp.89-94, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.07.049> (accessed Sep. 3, 2018).
- [24] S. Mun and M.-C. Park, "Affective Three-Dimensional Brain - Computer Interface Created Using a Prism Array-Based Display," *Optical Engineering*, Vol.53, No.12, pp.123105, 2014, <https://doi.org/10.1117/1.OE.53.12.123105> (accessed Sep. 3, 2018).
- [25] S. Mun, M.-C. Park, and S. Yano, "Performance Comparison of a SSVEP BCI Task by Individual Stereoscopic 3d Susceptibility," *International Journal of Human -Computer Interaction*," Vol.29, No.12, pp.789-797, 2013, <https://doi.org/10.1080/10447318.2013.765289> (accessed Sep. 3, 2018).
- [26] S. Mun, et al., "Effects of Mental Workload on Involuntary Attention: A Somatosensory ERP Study," *Neuropsychologia*, Vol.106, pp.7-20, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.08.021> (accessed Sep. 3, 2018).
- [27] S. Mun, E. S. Kim, and M. C. Park, "Effect of Mental Fatigue Caused by Mobile 3d Viewing on Selective Attention: An Erp Study," *International Journal of Psychophysiology*, Vol.94, No.3, pp.373-381, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.08.1389> (accessed Sep. 3, 2018).
- [28] S. Mun, M.-C. Park, and S. Yano, "Evaluation of Viewing Experiences Induced by a Curved Three-Dimensional Display," *Optical Engineering*, Vol.54, No.10, pp.103104, 2015, <https://doi.org/10.1117/1.OE.54.10.103104> (accessed Sep. 3, 2018).

저 자 소 개



문 성 철

- 2005년 8월 : 한성대학교 산업공학과 공학사
- 2012년 2월 : 상명대학교 감성공학과 공학석사
- 2015년 2월 : 한국과학기술연구원(UST) HCI & Robotics 공학박사
- 2007년 5월 ~ 2009년 12월 : Technical Translator
- 2015년 3월 ~ 2016년 11월 : 한국과학기술연구원 국가기반기술연구본부 박사후연구원
- 2016년 12월 ~ 2017년 6월 : 골프존뉴딘그룹 전략사업실 책임연구원
- 2017년 7월 ~ 현재 : CJ Hello Future Engine Lab. 부장
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4596-9889>
- 주관심분야 : VR/AR, AI, Human Factors, HCI, NUX



황 민 철

- 1983년 2월 : 인천대학교 의공학과 공학사
- 1990년 2월 : Georgia Institute of Technology 대학교 대학원 의공학 공학석사
- 1994년 2월 : Georgia Institute of Technology 대학교 대학원 의공학 공학박사
- 1998년 ~ 현재 : 상명대학교 휴먼지능정보공과 교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4301-9089>
- 주관심분야 : HCI, Human Factors, Emotion Engineering, BCI, Neurocardiology



박 상 인

- 2010년 2월 : 중부대학교 한방건강관리학과 이학사
- 2012년 8월 : 상명대학교 감성공학과 공학석사
- 2016년 2월 : 상명대학교 감성공학과 공학박사
- 2016년 4월 ~ 현재 : 상명대학교 산학협력단 특임교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2992-5122>
- 주관심분야 : Emotion Engineering, Social Emotion, Human Factors, 3D

저 자 소 개



이 동 원

- 2014년 2월 : 상명대학교 디지털미디어학과 이학사
- 2016년 2월 : 상명대학교 감성공학과 공학석사
- 2016년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 감성공학과 박사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-4952-7474>
- 주관심분야 : HCI, UX, Emotion Engineering



김 흥 익

- 1996년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 공학사
- 2003년 2월 : 한양대학교 전자전파공학과 공학석사
- 2007년 2월 : 한양대학교 전자전파공학과 공학박사
- 1996년 3월 ~ 2002년 8월 : 삼성항공 전산팀
- 2002년 6월 ~ 2002년 12월 : 한국전자통신연구원 무선인터넷보안팀 연구원
- 2007년 1월 ~ 현재 : CJ Hello 기술담당 상무
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2631-764X>
- 주관심분야 : VR/AR, Cloud Computing, Intelligence Broadcasting