

인간 공학적 접근 방식에 기반한 VR 경험의 디자인

인종과 성별에 따른 페이스 인터페이스 재설계

Designing VR Experiences through an Ergonomic Approach

Redesigning Facial Interfaces by Race and Gender

주 저 자 : 김소연 (Kim, Soyeon)	연세대학교 생활디자인학과 인간생애와 혁신적 디자인 박사과정
공 동 저 자 : 유혜진 (Yu, Hyejin)	연세대학교 통합디자인학과 석사과정
공 동 저 자 : 박수빈 (Park, Subin)	연세대학교 통합디자인학과 석사과정
교 신 저 자 : 이상원 (Lee, Sangwon)	연세대학교 통합디자인학과 교수 sangwon.lee@yonsei.ac.kr

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2025.3.644>

접수일 2025. 08. 18. / 심사완료일 2025. 09. 12. / 게재확정일 2025. 09. 15. / 게재일 2025. 09. 30.

Abstract

This study investigates how racial and gender differences affect virtual reality head-mount display's user experience, especially in immersion, presence, and simulator sickness. Applying Hsiao's six-step anthropometric design paradigm, four interfaces were developed: (1) Small, Medium, and Large models scaled from the Oculus Quest 2 pattern by standard deviation ranges, and (2) a "Best Fit" model reflecting average Korean craniofacial features with re-proportioned forehead and nasal regions. Eighty participants in their 20s and 30s (41 Korean, 39 Caucasian) were recruited, and craniofacial measurements (head circumference, length, breadth, and bizygomatic breadth) were collected. Each participant experienced the same VR game using both the existing and newly designed interfaces, followed by immersion, presence, and SSQ questionnaires and semi-structured interviews. Results showed significant racial and gender differences in immersion and presence with the new interfaces, highlighting the need for customized designs. Notably, modifications to cheekbone width and head length improved immersion and presence while reducing simulator sickness. These findings underscore the importance of ergonomic, demographically informed design for VR HMD face interfaces and provide baseline data for user-centered device development.

Keyword

Virtual Reality (가상현실), Anthropometry (인체 계측), Ergonomics (인간공학)

요약

본 연구는 가상현실(Virtual Reality, VR) 헤드 마운트 디스플레이(HMD) 경험에서 인종과 성별의 차이가 페이스 인터페이스 디자인과 사용자 경험(몰입감·현존감·시뮬레이터 멀미)에 미치는 영향을 규명하고, 이에 기반한 맞춤형 설계 지침을 제시하는 것을 목적으로 한다. 특히, 아시아인의 인체 계측을 반영한 새로운 인터페이스를 기존 디자인과 비교하기 위해 Hsiao의 인체측정 설계 6단계 절차를 적용하여 네 가지 인터페이스를 설계·제작하였다. 새롭게 설계된 인터페이스는 (1) 기존 Oculus Quest 2 패턴을 평균 대비 표준편차 범위를 반영해 스케일링한 Small/Medium/Large 모델과 (2) 한국인 평균 두상 특성을 고려해 이마와 코 부분을 재비례화한 'Best Fit' 모델을 포함한다. 실험에는 20-30대 한국인 41명(남 19, 여 22)과 caucasian (백인 혈통) 39명(남 20, 여 19) 등 총 80 명이 참여하였으며, 사전에 얼굴 치수(머리 둘레·길이·너비·광대뼈 간 거리)를 계측하였다. 참가자들은 기존 인터페이스와 새롭게 설계된 인터페이스를 각각 착용해 동일한 가상현실 게임을 체험하였고, 각 체험 종료 후 몰입감·현존감·시뮬레이터 멀미(SSQ) 설문과 반구조화 인터뷰를 수행하였다. 연구 결과, 인종과 성별에 따라 새로운 인터페이스 착용 시 몰입감과 현존감 점수에서 유의한 차이가 확인되었으며, 이를 통해 맞춤형 페이스 인터페이스의 필요성이 뚜렷하게 제시되었다. 특히, 광대뼈 너비와 머리 길이를 조정한 압력 분산 구조는 몰입감과 현존감을 향상시키고 시뮬레이터 멀미를 완화할 가능성을 보여주었다. 본 연구는 다양한 인종 및 성별의 특성을 반영한 맞춤형 페이스 인터페이스 디자인의 중요성을 강조하며, 향후 VR 기기 개발 과정에서 사용자 경험에 최적화된 인체공학적 데이터를 체계적으로 활용할 수 있는 기초 자료를 제공한다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구의 배경
- 1-2. 연구의 목적 및 방법

2. 이론적 배경

- 2-1. 인종별 인체 측정 기반 디자인
- 2-2. 가상현실, 가상환경과 시뮬레이션 경험
- 2-3. 가상현실과 Break-In Presence 예방의 중요성

3. 실험 방법

4. 결과

- 4-1. 얼굴 골격 형태의 비교
- 4-2. 인종 및 성별 차이에 따른 몰입감 및 현존감 차이
- 4-3. 얼굴 골격 측정 데이터와 현존감 점수간의 회귀 분석

1. 서론

1-1. 연구의 배경

가상현실(VR)은 컴퓨터 그래픽 기술을 통해 실제와 유사한 세계를 시뮬레이션하는 기술로, 사용자에게 몰입감과 현존감을 제공하는 것이 VR 경험의 핵심 요소로 인식된다.¹⁾ 가상현실 기기를 착용한 가상현실 경험은 효율적인 방법으로 사용자에게 몰입감과 현존감을 줄 수 있고, 게임, 직업 체험 등의 체험에 다양하게 활용된다. 여기서 몰입감(Immersion)은 사용자가 가상 환경에 깊게 빠져드는 정도를, 현존감(Presence)은 사용자가 가상 공간 내에서 자신의 존재를 실체처럼 인식하는 정도를 의미한다. 이러한 요소들이 충분히 유지되지 않는다면, 사용자는 VR 환경에서 의도치 않은 외부 자극이나 내적 불안정성으로 인해 주의가 분산되는 Break-In Presence(BIP) 현상을 경험하게 된다.²⁾ BIP에 관한 선행 연구에서는 외부 및 내부 간섭, 일관성이 결여된 중재, 모순되거나 정제되지 않은 중재 등 다양한 요인이 3D 시뮬레이션 경험에 부정적인 영향을 미친다는 점이 확인되었다.³⁾ 이는 VR 기기 설계 시, 기기와 사용자 간의 밀착감 및 안정성을 확보하는 것이 몰입감과 현존감을 유지하는 데 필수적임을 시사한다.

최근 급속하게 발전하는 3D VR 애플리케이션의 등장과 함께, 편안하고 자연스러운 Head-Mounted Display(HMD)의 사용은 BIP를 효과적으로 방지하고 사용자가 더욱 몰입할 수 있는 환경을 제공하기 위한

5. 논의

6. 결론 및 추가논의 사항

참고문헌

필수 요건으로 대두되었다.⁴⁾ 그러나 기존의 많은 VR HMD 기기는 사용자의 얼굴형의 차이를 고려하지 않고 설계되어, 기기 착용 시 발생하는 압박감, 착용 불편, 심지어 시뮬레이터 멀미와 같은 부작용을 야기하는 사례가 보고되고 있다.^{5),6)} 본 연구는 이런 사례들이 보고되는 건 현재 가상현실 기기 제품들이 다양한 인종 및 성별의 사용자를 위한 맞춤형 설계 미흡으로 인함으로 보았다. 얼굴 형태에 따른 차이를 반영하지 않은 기기는 인종별 상이한 얼굴 윤곽 및 두상 특징으로 인해 착용감에서 차이를 보일 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 최근에는 기기의 커스터마이징을 위한 추가 액세서리나, 얼굴형을 고려한 HMD 인터페이스가 일부 등장하고 있으나, 이들 대부분은 과학적·인구통계학적 근거에 기반하지 않아 많은 사용자들은 불편을 토로하고 있다.⁷⁾

인류학 및 인체공학 분야에서는 오랜 기간 동안 인체측정(Anthropometry)을 통해 신체 치수와 형태에 따른 기능적·생리학적 차이를 규명해왔으며, 이를 바탕으로 헬멧 및 보호 장비 등 다양한 착용 기기의 설계에 중요한 기여를 해왔다.^{8),9),10),11)} 이러한 연구 성

1) Burdea, G. C., & Coiffet, P., 『Virtual Reality Technology』, John Wiley & Sons, 2003, pp.2-3.

2) Chertoff et al., 'Improving Presence Theory Through Experiential Design', Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 2008, 8, 17(4), pp. 367-373.

3) Ibid.

4) Lee et al., 'A Study on Immersion and VR Sickness in Walking Interaction for Immersive Virtual Reality Applications', Symmetry, 2017, 5, 9(5), p.94.

5) Ibid.

6) Meta Community Forums, Oculus Quest 2 Uncomfortable, 2025.06.12, communityforums.atmeta.com/t5/Get-Help/bad-fit-quest-2/td-p/882697

7) Reddit, Oculus Quest 2 Uncomfortable, 2025.06.12, www.reddit.com/r/OculusQuest/comments/spqez4/quest_2_is_painfully_uncomfortable_to_wear_am_i

과는 VR HMD와 같이 얼굴과 직접 접촉하는 기기의 디자인에도 응용될 수 있으며, 사용자의 생체적 특성을 면밀히 반영한 맞춤형 인터페이스 설계가 필요함을 강하게 시사한다.

따라서 본 연구는 다양한 인종 및 성별, 특히 한국인을 기준으로 집단 간의 얼굴형 및 두상 치수 차이를 정밀하게 측정하고, 이러한 차이가 VR HMD의 착용감과 몰입 경험에 미치는 영향을 실증적으로 분석하고자 한다.

1-2. 연구의 목적 및 방법

본 연구는 다양한 인종과 성별에 따른 맞춤형 VR HMD 설계를 위한 기초 데이터를 제공하고, 실질적인 디자인 사례를 제시하는 것을 목적으로 한다. 구체적으로, 본 연구의 방법은 다음과 같다. 첫째, 인종 및 성별에 따른 얼굴 치수 차이 분석을 진행하였다. 기존 문헌을 기반으로 한국인과 백인 혈통(이하 caucasian)간의 얼굴 형태의 차이를 분석하였으며, 이를 위해, 인체측정 설계 6단계 패러다임¹²⁾을 적용하여 새로운 페이스 인터페이스 네 종을 디자인하였다. 실험 피험자로 모집된 한국인과 caucasian 참가자를 대상으로 얼굴 형태(머리 둘레, 머리 길이, 광대뼈 사이의 거리 등)를 측정하여, 각 집단 간의 인체학적 차이를 분석한다. 두번째, 몰입

감, 현존감과 시뮬레이터 멀미로 선정된 VR 경험 지표의 차이를 실증 분석한다. 동일 인터페이스를 착용한 상태에서 각 집단이 경험하는 몰입감과 현존감의 차이를 설문 및 인터뷰를 통해 정량적, 정성적 방법으로 혼합하여 분석하였다. 셋째, 얼굴 치수에 따라 사이즈를 다르게 제작한 VR HMD에 따른 VR 경험의 몰입감과 현존감 정도의 차이에 대한 상관관계를 분석하였다. 다중 선행 회귀분석을 통해 특정 얼굴 치수(예: 머리 길이, 광대뼈 사이의 거리)가 VR HMD 사용 시 몰입감 및 현존감에 미치는 영향을 통계적으로 확인한다.

최종적으로 본 연구는 위와 같은 분석 결과를 토대로, 인종 및 성별로 군집되는 사용자들의 두상 차이를 반영한 맞춤형 HMD 페이스 인터페이스 디자인 예시를 제시하며, 향후 VR 기기 설계 시 인체공학적인 데이터를 체계적으로 적용할 수 있는 실질적인 가이드라인 마련에 기여하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 실험을 진행하였고, 실험 대상은 20~30대 남녀 총 80명을 대상으로 실험을 진행하였다.

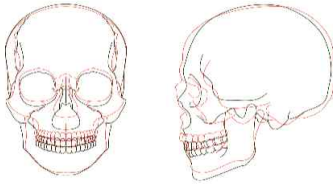
2. 이론적 배경

2-1. 인종별 인체 측정 기반 디자인

기존 선행 연구들은 얼굴 구조와 두개골 모양에 초점을 맞춰 인종 간 인체학적 차이를 탐구해 왔다. 이러한 연구들은 다양한 인종적 배경을 가진 개인의 요구를 반영한 제품 및 환경 디자인의 필요성을 제시하며, 실제로 아시아 인의 해부학적 특성이 caucasian과는 미세하지만 분명한 차이를 보인다는 결과를 도출하였다.^{13),14)} 예를 들어, Liew (2016)은 아시아 인의 두개골 윤곽이 보다 둥글고 조밀한 반면, caucasian의 경우에는 길고 타원형의 윤곽을 보인다는 점을 그래픽 자료로 제시하였다 (그림 1).¹⁵⁾ 이러한 차이는 제품 디자인, 특히 헬멧이나 보호 장비와 같이 얼굴 및 두상에 밀접하게 접촉하는 기기의 착용감과 안전성에 큰 영향을 미친다.

- 8) Liu et al. "Positive affect and natural landscape in virtual reality: A systematic review comparing interventions, measures, and outcomes." *Journal of Environmental Psychology*, 2023, 06, Vol. 88, 102011, pp.1-9.
- 9) Choi et al., "Anthropometric Analyses of Head and Face Shape to Design Protective Headgear for US Army Personnel.", *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, Cham: Springer International Publishing, 2019, 06, pp. 533-545.
- 10) Wijerathna et al., "A Sizing System Using Anthropometric Measurements for Headgear.", *Recent Advances in Manufacturing Engineering and Processes: Proceedings of ICMEP 2021*, 2022, 10, pp. 117-126
- 11) Yokota, M., "Head and Facial Anthropometry of Mixed-Race US Army Male Soldiers for Military Design and Sizing: A Pilot Study.", *Applied Ergonomics*, 2005, 05, Vol. 36, No.3, pp. 379-383.
- 12) Hsiao, H., 'Anthropometric Procedures for Protective Equipment Sizing and Design', *Hum Factors*, 2013, 02, 55(1), pp. 43-56.

- 13) Tilley, A. R., 『The Measure of Man and Woman: Human Factors in Design』, John Wiley & Sons, 2001, pp.26-27.
- 14) 고기석 등, 한국 성인 머리너비지수의 시대적 변화. *해부·생물인류학*, 2000, 09, 14(3), 177-185.
- 15) Liew et al., "Consensus on Changing Trends, Attitudes, and Concepts of Asian Beauty.", *Aesthetic Plast Surg*, 2016, 04, 40(2), pp. 193-201.



[그림 1] 아시아인(검정색) 두개골 윤곽선과 caucasian(빨간색)의 두개골 윤곽선 차이(Liew et al., 2016)

특히, 군사적 및 보호 장비 설계에서는 다양한 머리 및 얼굴 모양을 수용하기 위해 인체측정 데이터를 통합하는 노력이 지속되어 왔으며^{16), 17), 18)} Ball, Roger M., "Sizechina: A 3D Anthropometric Survey of the Chinese Head.", 2011.은 인종적 다양성과 착용감의 차이를 고려한 헤드기어 및 안면 보호구 설계가 편안함과 기능성 향상에 결정적임을 강조하였다.¹⁹⁾

그러나 VR 안면 인터페이스와 같이 얼굴과 직접 맞닿는 기기에 관한 연구는 여전히 부족한 실정이다. 인구통계학적인 변화가 카파르게 진행되며 인종적 다양성이 공존하는 현 시점에서, 최신 인체측정 데이터를 기반으로 아시아 인과 한국인 등 다양한 집단의 특성을 반영한 맞춤형 디자인 접근법이 요구된다.^{20), 21)} 이러한 데이터 업데이트 없이는 제품 설계의 부정확성이 발생할 수 있으며, 전반적인 사용자 경험이 저하될 위험이 있다.

2-2. 가상현실, 가상환경과 시뮬레이션 경험

1990년대 후반부터 가상 환경 (Virtual Environments, VE)을 인체공학에 통합하는 것에 대한 학계의 관심이 높아지면서 몰입형 기술이 인식되고 활용되는 방식에 큰 변화가 일어났다. 사용자가 가상 환

경 내에서 몰입감을 느끼는 방식을 의미하는 몰입은 청각, 촉각 등의 피드백을 통합하여 실제 상호 작용을 시뮬레이션하는 데 중점을 두면서²²⁾ 핵심적인 요소로 부상하였다²³⁾. 몰입을 이해하는 것은 사용자의 주의를 사로잡고 진정한 감정적 반응을 이끌어내는 VR 경험을 설계하는 데 필수적이며, 따라서 가상 환경 내 인체공학 연구의 기본 요소로 자리 잡았다.

몰입의 개념은 이 현상을 정량화한 연구²⁴⁾ 이후 상당한 개념적 발전을 거쳤다. Bowman은 최적의 몰입 수준을 결정하는 방법에 대해 더욱 심도 있게 다루었으며 가상 환경이 공포증 치료, 군사 훈련, 엔터테인먼트 등에서 성공한 사례를 들며 VR 컨텍스트 내에서 사용자 경험을 형성하는 데 있어 상호작용의 중요성을 강조하였다.²⁵⁾ 이후 정신적 몰입과 신체적 몰입의 차이에 대해 논의하며 궁극적으로 이러한 개념을 실재라는 개념과 연결시킨 연구가 등장하였다²⁶⁾.

최근에는 몰입감과 현실감을 활용하여 VR 애플리케이션에 대한 이해를 높이려는 노력을 기울이고 있다. 예를 들어, 물리 치료를 위한 VR 애플리케이션 설계에 초점을 맞춘 연구는 현실감을 위한 자기 구현과 몰입감을 위한 현실감을 강조하여 가상 환경에서의 시뮬레이션 경험을 풍부하게 하였다. ²⁷⁾ VR 기술의 발전으로 이제 많은 애플리케이션이 사용자 간의 실시간 커뮤니케이션을 촉진하고 있으며, 소셜VR 환경에서 다양한 참여 수준과 학생들 간의 서로 다른 존재 인식을 통해 언어 학습을 향상시키는 "고몰입 VR" 연구가 있

22) Pausch et al., "Quantifying Immersion in Virtual Reality.", Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1997, 08, pp. 13-18.

23) Bowman & McMahan, 'Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough?', Computer, 2007, 07, 40(7), pp. 36-43.

24) Pausch et al., Op. cit., 1997, 08, pp. 13-18.

25) Bowman & McMahan, Op. cit., 2007, 07, 40(7), pp. 36-43.

26) Sherman, W. R., & Craig, A. B., 『Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design』, Morgan Kaufmann, 2018.

27) Fayed, Samia., "A Hypermedia-Supported Program and Its Effect on Developing Historical Reasoning Skills Among First Year Secondary School Students.", International Journal of Instructional Technology and Educational Studies, 2024, 04, 5(2), pp. 19-31.

16) Liu et al., Op. cit., 2023, 06, Vol. 88, 102011

17) Choi et al., Op. cit., 2019, 06, pp. 533-545

18) Wijerathna et al., Op. cit., 2022, 10, pp. 117-126

19) Ball, Roger M., "Sizechina: A 3D Anthropometric Survey of the Chinese Head.", TU Delft Ph.D. Thesis, 2011.

20) Yokota, M., Op. cit., 2005, 05, Vol. 36, No.3, pp. 379-383.

21) Tilley, A. R., Op. cit., 2001, pp.26-27.

다.²⁸⁾ 이러한 애플리케이션의 효과에도 불구하고 기술적 결함이나 시스템 지연은 몰입을 방해할 수 있는데, 불안전함이 시뮬레이션 환경 내에서 비판적 성찰과 감정 처리를 유도하기 때문이다.²⁹⁾

많은 연구자들이 몰입감과 현실감 외에도 VR HMD의 사용자 적합성을 나타내는 시뮬레이터 멀미에 대하여 조사하였는데, 현실감과 시뮬레이터 멀미가 VR 주의력 과제 수행에 미치는 영향을 조사하여 몰입감과 현실감에 직접적인 영향을 미치는 과제에서 이러한 요소를 고려하는 것이 중요하다는 점을 강조하였다.³⁰⁾

2-3. 가상현실과 Break-In Presence 예방의 중요성

가상 환경에서의 Break-In Presence (BIP) 는 '현존감 결여'로 정의되며, 사용자가 매개 환경이 아닌 자연 환경으로 주의를 돌리는 경우를 지칭하는 개념으로 처음 개념화되었다.³¹⁾ BIP는 사용자가 가상 환경의 의도된 메시지를 방해하는 자극을 접할 때 발생하며, 주로 자연 환경의 자극이 가상 환경에 침입하여 사용자의 경험을 방해하는 외부 간섭에 초점을 맞추고 있다.³²⁾ 외부 간섭의 예로는 외부 대화가 들리는 시끄러운 환경에서 가상 환경을 경험하여 몰입감이 떨어뜨리는 경우가 있으며, 이에 대한 해결책으로는 VR 체험을 위한 조용한 환경 조성 등이 있다.

Slater(2009)는 VR에서의 몰입감이 사용자의 현존감 유지 여부에 따라 크게 좌우된다고 보았다. 몰입이 갑작스럽게 깨지고 사용자가 현실 물리 세계에 있음을 자각하는 순간, 즉 Break in Presence (BIP)는 사용자 경험의 연속성을 방해하는 핵심 요인으로 지목된다.³³⁾

Slater(2009)는 이러한 BIP 현상을 분석하기 위해 Place Illusion (PI)과 Plausibility Illusion (Psi)라는 두 가지 구분된 개념을 제시하였다. PI는 사용자가 자신이 '그곳에 실제로 존재한다'는 감각을 경험하는 것이며, Psi는 그 가상 환경에서 벌어지는 사건들이 '현실적으로 개연성 있다고 받아들여지는 정도를 의미한다. Slater는 이 두 요인이 함께 작동할 때, 사용자가 보다 자연스럽게 현실적인 행동을 하게 된다고 설명하였다. 그 중 사용자의 신체 구현은 이러한 환영을 지탱하는 중요한 매개체 중 하나이며, 사용자가 가상 공간 내에서 자신의 몸을 인식할 수 있을 때 PI가 보다 강력하게 유도된다.³⁴⁾ 예컨대 가상 환경에서 팔이나 손이 제대로 구현되지 않거나 외부에서 사용자에게 물리적인 자극(예: 어깨를 툭 치는 행위)이 주어질 경우, 이는 PI와 Psi를 동시에 손상시켜 몰입감을 저해하는 대표적인 BIP 요인으로 작용할 수 있다.^{35), 36)} 따라서 VR 시스템 설계 시 BIP의 발생 가능성을 최소화하는 것이 중요하며, 이는 사용자의 몰입도, 현실감, 상호작용 성과를 유지하는 데 핵심적인 역할을 한다.

최근 Break-In Environment (BIE)으로 확장된 BIP의 발전은 뇌파 검사 (EEG)를 사용하여 인간의 뇌가 BIP에 어떻게 반응하는지를 보여주었다. Porssut의 2023년 연구에서는 뇌파를 사용하여 BIE에 대한 뇌의 반응을 모니터링 하였다.³⁷⁾ 실험 참여자는 자신의 모습이 아바타로 구현되거나 구현되지 않은 상태로 실험에 참여했으며, 경우에 따라 자신의 손이 가만히 있는 동안 아바타의 손이 움직이는 것을 관찰하였다. 이런 환경은 실험 참여자의 뇌파에서 오류를 발생시켰고, 비구현 조건에 따른 반응이 증가하여 오류가 누적되고 구현 기대치(embodiment expectation)에도 영향을 미친 것으로 나타났다.

28) Gruber et al., 'Exploring the Use of Social Virtual Reality for Virtual Exchange', ReCALL, 2023, 8, 35(3), pp. 259-276.

29) Bengtsson and Couvering, 'Stretching Immersion in Virtual Reality: How Glitches Reveal Aspects of Presence, Interactivity and Plausibility', Convergence, 2023, 03, 29(2), pp. 365-382.

30) Voinescu et al., "Presence and Simulator Sickness Predict the Usability of a Virtual Reality Attention Task.", Virtual Reality, 2023, 03, 27(3), pp. 1967-1983.

31) Slater, M., 'Presence and the Sixth Sense', Presence, 2002, 08, 11(4), pp. 435-439.

32) Chertoff et al., Op. cit., 2008, 8, 17(4), pp. 367-373.

33) Slater, M., 'Place Illusion and Plausibility Can

Lead to Realistic Behaviour in Immersive Virtual Environments', Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2009, 12, 364(1535), pp. 3549-3557.

34) Ibid.

35) Ibid

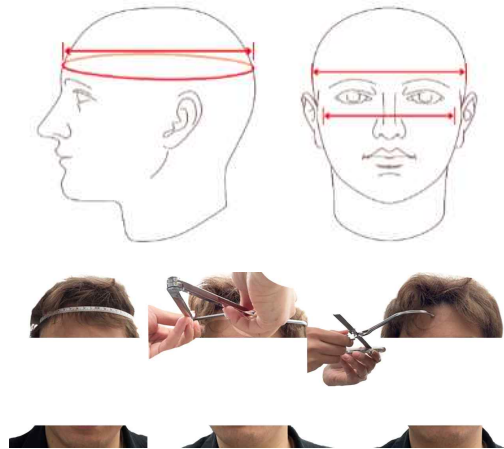
36) Gottsacker et al. "Diegetic representations for seamless cross-reality interruptions." 2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). IEEE, 2021, 10, pp. 310-319.

37) Porssut, Thibault, et al., "EEG Signature of Breaks in Embodiment in VR.", Plos One, 2023, 05, 18(5), e0282967.

3. 실험 방법

본 연구는 인체측정 설계를 위한 6단계 패러다임³⁸⁾을 참조하여, VR HMD 페이스 인터페이스 디자인에 필요한 인체공학적 데이터를 확보하고 이를 실증 사례로 제시 한다. Hsiao & Halperin의 6단계 패러다임은 (1) 필수적으로 고려해야 할 신체 치수를 결정하고, (2) 고려할 대상 집단을 결정하고, (3) 수용할 인구 비율 선정 후, (4) 적절한 통계치를 산출하기 위한 데이터 확보, (5) 구체적인 치수 계산, (6) 기타 장비로 인한 변화를 반영하여 조정 으로 이루어져있다 (Hsiao, H., ‘Anthropometric Procedures for Protective Equipment Sizing and Design’, Hum Factors, Feb, 55(1), pp. 43-56, 2013.). 이를 위해 우선, VR HMD의 주 타겟층인 20~30대 남녀를 대상으로 실험 대상을 선정하였다. 연구 참가자는 총 80명으로 구성되었으며, 한국인 41명 (남자 19, 여자 22)과 caucasian 39명 (남자 20, 여자 19)가 참여하였다.

외국인 참가자는 한국에 거주하는 성인을 대상으로 공개모집 절차를 거쳐 선발하였다. 모집은 카카오톡 기반의 외국인 커뮤니티 그룹 채팅방 및 학내 외국인 학생 커뮤니티 게시판 등을 통해 공지되었으며, 참가 희망자는 구글 폼을 통해 자발적으로 연구자에게 참여 의사를 제출하였다. 이후 연구자는 지원자에게 개별 연락을 취해 대면 혹은 온라인 화상 미팅을 진행하였으며, 한국어 또는 영어로 연구 목적, 절차, 위험 및 권리에 대해 구두 설명을 제공하였다. 모든 지원자는 이를 충분히 이해한 후 연구 참여 서면 동의서에 서명하였으며, 이후 반구조화 인터뷰를 통해 인류학적 및 인구통계학적 기본 정보를 수집하였다. 또한 인종 분류는 참가자 자기보고(self-report)에 기반하여 친부모의 인종 정보를 확인하는 방식으로 진행하였다. caucasian 집단의 경우, Bhopal과 Donaldson(1998)의 분류 기준을 준용하여 부모 양계 중 caucasian 혈통이 3/4 이상인 경우에만 ‘caucasian’으로 분류하였다. 경계 사례 처리의 일관성을 확보하기 위해 다음과 같은 운영 규칙을 적용하였다 (표 1).



[그림 2] 본 연구에서 측정한 인체 계측 방법 예시.
좌측부터 머리둘레, 머리 너비, 머리 길이.

[표 1] 본 연구에서 적용한 caucasian 인종 분류 기준

부모 1	부모 2	분류 기준	비고
Caucasian	Caucasian	Caucasian	Caucasian 혈통
Caucasian	Non-Caucasian	제외	Caucasian 혈통 50% 이하
Caucasian	Caucasian 50% 이하	Caucasian	Caucasian 혈통 3/4 충족
Non-Caucasian	Non-Caucasian	제외	해당 없음

실험에서는 줄자로 머리 둘레를, 인체 측정 나침반을 활용하여 너비, 높이, 광대간 거리를 측정하였다 (그림 2) 모든 측정은 인체 측정의 기준이 되는 프랑크 푸르트 수평면과 바닥이 평행하게 머리를 위치한 상태에서 진행되었으며, 주요 측정 변수로는 머리 둘레, 머리 길이(수평 및 수직), 그리고 광대뼈 사이의 거리가 포함되었다. 측정된 각 치수는 모집단의 -1SD, 평균, +1SD, +2SD 값을 기준으로 모듈화되었으며, 이를 통해 남녀별 백분위수 (평균 50%, 68% (1SD), 95% (2SD))에 따른 세분화된 데이터를 확보하였다. 또한, 도출된 측정치를 바탕으로 해부학적 landmark 기반의 안면 측정식을 적용하여 코의 전방 및 후방 측정값과 비구 개구부 측정값을 산출하였으며, 이 데이터를 통해 VR HMD 페이스 인터페이스 설계에 필요한 기초 치수를 확보할 수 있었다.

본 연구에서는 VR HMD 페이스 인터페이스 디자인

38) Hsiao, H., Op. cit., 2013, 02, 55(1), pp. 43-56.

과 관련하여 네 가지 타입의 디자인을 진행하였다. 우선 기존 Oculus Quest 2 인터페이스를 기준으로 하여, 측정값의 -1SD, +1SD, +2SD를 적용한 Small, Medium, Large 버전을 제작하였다 (표 2). 마지막 타입은 평균값을 활용하여 한국인의 얼굴 특성을 최대한 반영한 최적의 착용감을 목표로 한 맞춤형 Best Fit 버전이다. 네가지 방식 모두 높은 광대뼈와 낮은 코 높이를 반영하는 공통점을 가지고 있으나, Small, Medium, Large 타입은 기존 인터페이스 패턴에서의 단순 비율 조정인 반면, Best Fit 버전은 기존 인터페이스와 비율적으로 차별화된 디자인을 보였다. (표 3, 그림 3) 디자인에 따른 수치를 기반으로 3D 모델링을 실시한 후, 3D 프린터를 통해 출력하였으며, 출력된 인터페이스의 얼굴과 직접 맞닿는 부분에는 3cm 두께의 스펀지를 부착하고, 이를 0.2cm 두께의 라텍스 커버로 덮어 편안한 착용감을 제공하도록 제작하였다.

실험 절차는 먼저 모든 참가자가 독립형 VR HMD인 Oculus Quest 2를 착용한 상태에서 시작되었다 (그림 4) 실험 중 참가자에게는 총 네 가지 인터페이스 (기존 Small, Medium, Large 버전과 Best Fit 버전)가 모두 제공되었으며, 각 참가자는 자신의 얼굴에 각 인터페이스를 테스트한 후, 가장 적합하다고 판단되는 인터페이스를 선택하였다. 선택된 인터페이스를 사용하여, 참가자들은 Eleven VR 게임을 두 차례 무작위 순서로 플레이하였으며, 게임 플레이는 동일한 조건하에서 진행되어 기기의 착용감과 사용자 경험에 따른 차이를 비교 분석할 수 있도록 설계되었다. Eleven VR은 가상환경에서 탁구 경기를 할 수 있는 스포츠 시뮬레이션 게임으로, 현실감 있는 물리 엔진 구현으로 호평 받았으며, 탁구 게임의 특성상 좌우 움직임이 잦아 VR HMD 사용성 평가에 탁월하여 선정되었다. 게임 플레이 종료 후에는 참가자들에게 몰입감, 현존감, 그리고 시뮬레이터 질병과 관련된 설문조사가 실시되었다. 몰입감 평가를 위해 Lee et al. (2017)의 설문 문항이, 현존감 평가는 So (2016) 및 Schubert et al. (2001)의 문항이, 그리고 Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)는 Kennedy et al. (1993)이 제시한 설문지가 각각 활용되었다. 또한, 각 실험 세션이 종료된 후 반구조화 인터뷰를 통해 인터페이스 착용감, 압박감, 그리고 기기와 얼굴 간의 밀착도 등 정성적 데이터를 추가적으로 수집하였다.

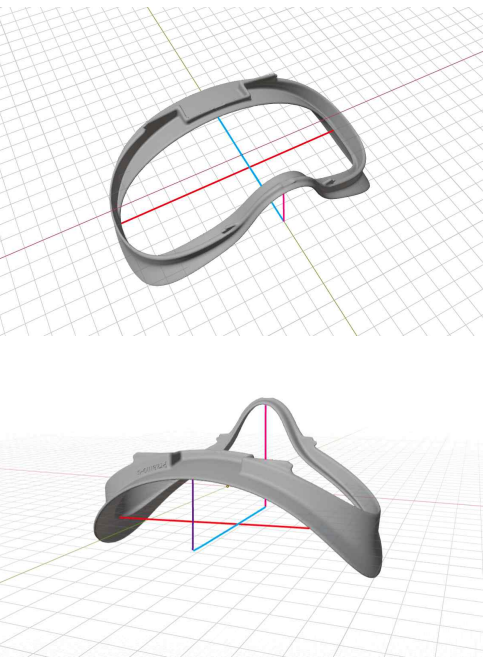
[표 2] 본 연구에서 사용한 Yun et al. (2002)의 인체 측정 데이터

측정 데이터	성별	-1 SD	Mean	+1 SD	+2 SD
--------	----	-------	------	-------	-------

Maximum Head Height	M	228.3	237.2	246.1	255.0
	F	217.4	225.0	232.6	240.2
Maximum Head Length	M	180.5	186.7	192.9	199.1
	F	171.9	177.5	183.1	188.7
Cranial Head Height	M	73.1	85.6	98.1	110.6
	F	70.3	81.0	91.7	102.4
Glabella Height	M	142.4	151.6	160.8	170.0
	F	134.8	144.1	153.4	162.7

[표 3] 본 연구에서 제작된 페이스 인터페이스 측정값

측정 데이터	Small	Medium	Large	Best Fit
너비	16.15	16.13	16.20	16.00
길이	9.09	9.09	9.09	9.09
높이 (이마)	5.19	5.32	5.65	4.00
높이 (코)	8.50	9.00	7.70	6.08



[그림 3] 페이스 인터페이스 측정값이 계측된 위치. Red: 너비, Blue: 길이, Purple: 높이 (이마), Pink: 높이 (코)

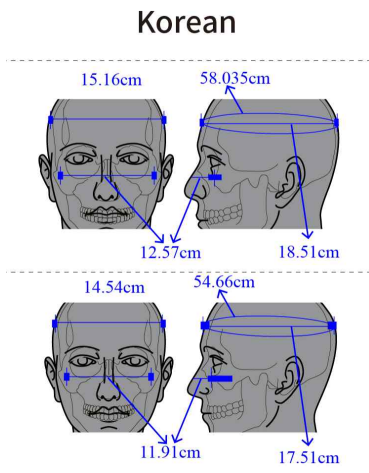


[그림 4] 한국인, Caucasian 여성 실험 참가자 실험 모습

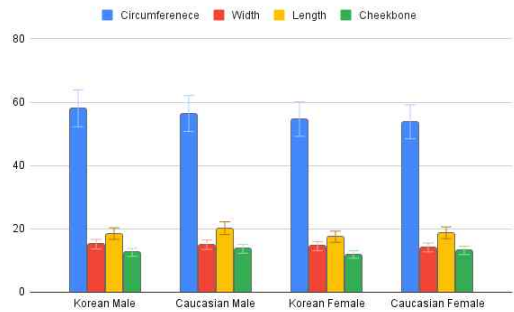
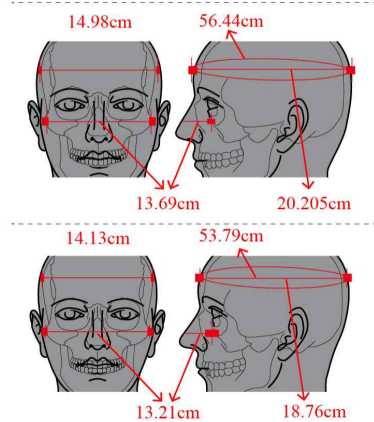
4. 결과

4-1. 얼굴 골격 형태의 비교

실험 데이터는 성별과 인종별로 두개골 크기 및 얼굴 치수 측정값 실험 데이터를 3D 그래프로 시각화하였다 (그림 5). 분석 결과, 여성 참가자의 두개골 크기는 전반적으로 작고 상대적으로 균일한 분포를 보인 반면, 남성 참가자는 평균 크기가 더 클 뿐만 아니라, 매우 큰 값부터 매우 작은 값까지 폭넓은 분산 범위를 나타냈다. 이는 남성 집단 내 크기 변동성이 여성보다 유의미하게 크다는 점을 시사한다. 성별을 공변량으로 고려한 공분산 분석 (ANCOVA) 결과, 머리 둘레, 머리 너비, 머리 길이, 그리고 광대뼈 사이의 거리를 포함한 모든 얼굴 측정치에서 유의미한 차이가 나타났으며 ($p < .05$), 이는 성별에 따른 두상 및 얼굴 구조의 차이를 통계적으로 확인할 수 있음을 보여준다.



Caucasian

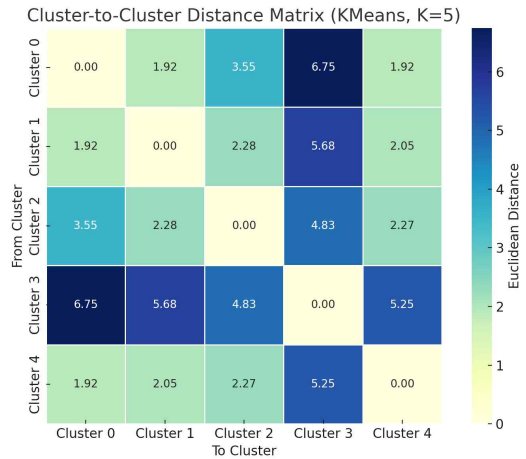
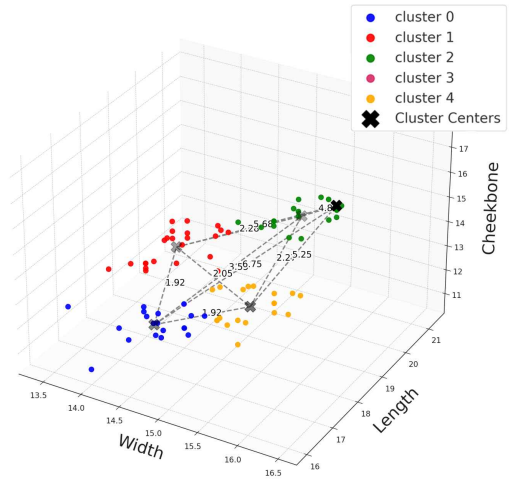
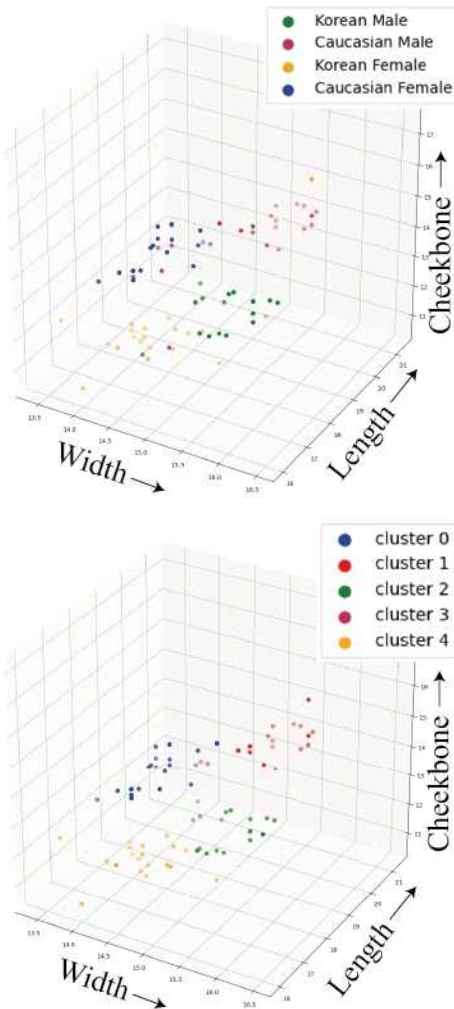


[그림 5] 성별, 인종별 두개골 및 얼굴 치수 측정값. 각 범위별 표준편차 시각화는 끝점에 표기.

또한, 인종별 비교에서는 한국인 피험자의 머리 둘레, 머리 너비, 머리 길이의 평균치가 caucasian 참가자에 비해 유의하게 큰 것으로 나타났으나, 광대뼈 사이의 거리는 오히려 caucasian 참가자가 더 큰 경향을 보였다.

머리 측정값을 기반으로 한 군집분석에서는 너비, 길이, 그리고 각 광대뼈의 최고 지점 사이의 거리를 이용하여 최적의 군집 수 (K)를 결정하였으며, Elbow method와 실루엣 점수를 사용하였다. Elbow method는 클러스터 수에 따른 응집도 (Within-Cluster Sum of Squares)의 감소율을 관찰하여 급격한 변화가 완화되는 지점을 최적의 K로 판단하는 기법이다. 그 결과 이상값(한국인 여성 카테고리 한 명)을 제외한 결과 K=4가 최적 군집 수의 변곡점으로 도출되었다 (그림 6). 이 중 네 개의 군집은 성별 및 인종별 그룹에 해당하였으며, 첫 번째 군집 (군집 0, n=21)은 주로 caucasian 여성으로, 두 번째 군집 (군집 1, n=19)은

주로 caucasian 남성으로 구성되었다. 세 번째 군집 (군집 2, n=19)은 대부분 한국인 남성이 포함되었고, 마지막 군집 (군집 4, n=20)은 주로 한국인 여성으로 구성되었다 (그림 6). 이와 같은 군집 분석 결과는 성별과 인종을 식별하는 데 있어 특히 머리 길이가 중요한 역할을 하며, 머리 둘레와 너비, 그리고 광대뼈 사이의 거리가 각 집단 간의 특성을 구분하는 데 유의미한 변별력을 지닌다는 것을 보여준다 ($p < .05$). caucasian 남성 그룹의 이상값을 제외한 경우, 한국인 여성과 caucasian 남성 간의 군집 간 거리가 3.92로 나타나, 모든 측정 변수에 걸쳐 가장 뚜렷한 차이가 존재함을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 헬멧 형태의 디바이스를 디자인할 때 머리 길이와 둘레 등의 치수를 세심하게 고려할 필요가 있음을 시사한다.



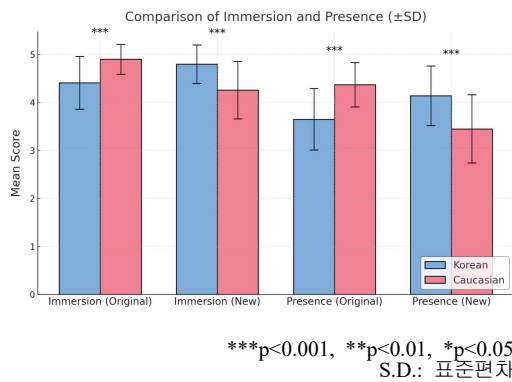
[그림 6] 머리 측정값을 기반으로 한 K-Means 군집분석 시각화 결과

4-2. 인종 및 성별 차이에 따른 몰입감 및 현존감 차이

본 연구에서는 설문조사를 통해 측정한 몰입감과 현존감 점수를 인종 및 성별로 비교 분석하였다. t-검정 결과, 인종별로 페이스 인터페이스 유형에 따라 몰입감과 현존감에서 통계적으로 유의미한 차이가 관찰되었다. (그림 7) 본 실험을 위해 제작된 새로운 인터페이스 네 타입중 한가지를 착용한 경우, caucasian 참가자의 평균 몰입감 점수는 4.26점으로 나타난 반면 ($p < .001$), 한국인 참가자의 평균 점수는 4.80점으로 유의하게 높게 나타났다 ($p < .001$). 반면, 기존 Oculus 2 인터페이스를 사용한 경우에는 이와 반대의 경향이 확인되었다. 특히, 여성 참가자 그룹에서는 이러한 차이가 두드러지게 나타났는데, 한국인 여성의 평균 몰입

감 점수는 4.76점인 반면, caucasian 여성의 경우 평균 3.95점을 기록하여, caucasian 여성의 경우 새로운 인터페이스에서 상대적으로 낮은 몰입감을 경험한 것으로 나타났다.

현존감의 경우에도 유사한 패턴이 관찰되었으며, caucasian 참가자의 평균 현존감 점수는 3.46점으로, 한국인 참가자의 평균 4.14점에 비해 낮게 나타났다. 특히, caucasian 여성의 경우 새로운 인터페이스에서 한국인 여성과 유사하게 약 3.31점으로 가장 낮은 현존감 점수를 기록하였다. 위 결과는 인종 및 성별에 따른 얼굴 형태의 차이가 VR HMD 사용 시 경험하는 몰입감과 현존감에 중요한 영향을 미침을 통계적으로 입증하였다.



[그림 7] 인종별 몰입감, 현존감 점수 비교분석

4-3. 얼굴 골격 측정 데이터와 현존감 점수간의 회귀 분석

[표 3] 얼굴 골격 측정 데이터 다중 선형 회귀분석 결과

독립변수	B	SE.	β	t	p	VIF
(상수)	7.257	1.269		5.718	0.000**	
넓이 - 광대거리	0.259	0.079	0.352	3.289	0.002**	1.265
길이	-0.208	0.064	-0.0350	-3.277	0.002**	1.265

F=19.872 (p<0.001), =0.359, = 0.341, D-W=1.882

*종속변수: 사용자만족

얼굴 측정값이 본 실험을 위해 새로 제작된 네 가지 타입의 인터페이스를 착용함에 있어 경험한 현존감과 몰입감에 미치는 영향을 분석하기 위해, 머리 둘레, 머

리 너비, 머리 길이, 그리고 광대뼈 사이의 거리를 포함한 다양한 얼굴 골격 측정 데이터를 다중 선형 회귀 분석에 적용하였고, 그 중 유의미 하지 않은 변수는 제거하였다 (표 3). 합산 현존감 몰입감 계수는 기존 설문 문항의 점수가 합산된 결과로, 몰입감 문항 점수와 현존감 문항 11개의 평균값, SSQ 16개 문항의 합계 점수의 합을 계산한 후 문항수로 나누어 총 합 (total mean) 을 산출하여 분석되었다. 최적의 회귀선의 정확성과 신뢰성을 보장하기 위해, 평균에서 ± 1.5 표준 편차를 초과하는 데이터 포인트를 이상값으로 정의하고 분석에서 6개의 데이터 포인트를 제거하였다. 이러한 이상값 제거를 통해 결과 회귀 모델은 기본 데이터 패턴을 보다 정확하게 포착하였으며, 모델의 설명력은 35.9%(adj R 제곱: 34.1%, R 제곱: 0.359)로 나타났다, F-검정 결과 F=19.872, p<.001로 통계적으로 유의미하였다.

회귀 계수 분석 결과 도출된 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{New Immersion} \times \text{Presence Score}' = & \\ & 0.259 \times (\text{width} - \text{cheekbone}) \\ & - 0.208 \times \text{length} + 7.257 \end{aligned}$$

이 모델에서 cheekbone 거리를 나타내는 변수의 회귀 계수는 $\beta = -.208$, $p < .05$ 로 나타났으며, 이는 두 독립변수 모두가 합산 현존감 몰입감 계수에 통계적으로 유의미한 영향을 미친다는 것을 의미한다. 특히, 얼굴 폭 대비 광대뼈 위치가 더 안쪽으로 들어간 구조일수록, 그리고 머리의 길이가 짧을수록 사용자의 몰입감과 현존감이 향상되는 경향이 확인되었다. 이는 곡선형 이마, 짧은 전후 길이, 광대뼈가 상대적으로 안으로 위치한 한국인의 두상 형태가 본 실험에서 새롭게 만들어진 VR 인터페이스 착용 시 밀착감을 높이는 데 구조적으로 유리하였고, 궁극적으로 더 높은 현존감과 몰입감을 제공하였음을 시사한다.

5. 논의

본 연구 결과, VR HMD를 사용하는 사용자의 페이스 인터페이스의 사이즈에 따라 VR HMD 디자인이 VR 경험의 몰입감과 현존감에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 반구조화 인터뷰를 통해 수집된 정성적 데이터와 일치하였는데 기존 인터페이스 사용 시 한국인 참가자들이 기기와 얼굴 사이에 간격이 발생하여 자신의 발이 보이는 등 시각적 불편을 호소한 반면, caucasian 참가자들은 새로 개발된 인터페이스 사용

시 광대뼈와 이마 사이에 과도한 압박감을 경험하였음을 보여주었다.³⁹⁾ 이러한 결과는 기존 디자인이 다양한 사용자 집단의 얼굴 형태와 생체적 특성을 충분히 반영하지 못하고 있음을 시사하며, 인터페이스 수정의 필요성을 강하게 부각시킨다.

특히, 설문 및 인터뷰 결과, 한국인 여성 참가자 7인이 기존 인터페이스 사용 시 시뮬레이터 멀미가 심하게 발생하였음이 주목된다 (n=7). 이는 기기의 폭과 착용감이 개인의 얼굴 치수와 맞지 않아 좌우 흔들림 및 불안정한 착용감을 유발한 결과로 분석되며, 신규 인터페이스를 착용한 상태에선 많이 호전된 경향을 보였다 (n=4).^{40), 41)} 이는 상대적으로 작은 머리 치수를 지닌 한국인 여성들에게 나타나는 문제였으며, 더 작고 안정적으로 착용할 수 있는 신규 인터페이스에선 호전된 것으로 보아 언젠 인터페이스만으로도 개선될 수 있음을 확인하였다.

본 연구의 결과를 토대로, VR HMD 인터페이스 디자인 개선을 위한 몇 가지 시사점을 도출할 수 있다. 첫째, 모든 인종과 성별뿐만 아니라 다양한 연령층 및 체형의 사용자들을 고려하는 포괄적인 디자인 접근법이 필요하다. 전통적으로 VR HMD 기기는 획일적인 디자인을 채택해 왔으나, 최근 의류 업계에서 딱 맞는 착용감이 중요하게 여겨지는 선글라스, 신발 및 레깅스, 수영복 등 의 스포츠 의류에서 '아시안 핏'과 같이 세분화된 사이즈를 반영하는 사례가 늘어나는 점을 감안할 때, 기기를 외부에서 조절하는 손잡이나 벨크로 스트랩 등 조절 메커니즘을 도입하는 것만으로는 한계가 있음을 알 수 있다.

둘째, 인터페이스의 구조적 안정성과 무게 분산에 대한 개선이 시급하다. 본 연구에 사용된 Oculus Quest 2는 기본적으로 약 503g의 무게를 가지며, 엘리트 스트랩 등의 추가 액세서리 장착 시 더 무거워진다. 이로 인해 장시간 착용 시 불편감이 가중되며, 사용자 경험을 저해할 수 있다. 따라서 하드웨어 구조를 근본적으로 변경하지 않더라도, 압력 분산을 위한 스펀지 두께 조절이나 완충 기능 강화 등 착용감을 개선할 수 있는 설계적 보완이 필요하다.⁴²⁾ 실제 인터뷰 결과, 전체 참가자 중 22명이 기기 무게로 인한 불편함을

을 직접 언급하였으며, 이는 한국인과 caucasian 사용자 모두에게서 공통적으로 나타난 문제였다. 특히 한국인 여성 참가자(KRW11)는 착용 후 얼굴이 기기의 무게로 인해 압박을 받아 붉어진 것을 보고 "화장을 하거나 외부 일정이 있는 날엔 절대 착용하고 싶지 않다"고 응답하며, 기기 무게가 신체, 피부에 가할 수 있는 부담이 기기 사용 여부에까지 영향을 미칠 수 있음을 시사하였다. 결국 기기의 인체공학적 설계가 아무리 우수하더라도, 무게 부담이 크면 이러한 장점이 상쇄될 수 있다. 따라서 인터페이스 디자인에서 착용 안정성과 무게 분산의 균형을 고려하는 것이 필수적이다.

셋째, 인터페이스 디자인은 사용자 맞춤형 모드 제공을 통해 다양한 얼굴 치수의 차이를 반영할 수 있어야 한다. 본 연구의 회귀 분석 결과, 광대뼈 간 거리와 머리 길이가 현존감에 유의한 영향을 미치는 핵심 변수로 나타났으며, 이는 향후 인터페이스의 최적 형태 및 버전 수를 정량적으로 도출할 수 있는 설계적 근거를 제공한다. 이러한 결과는 VR HMD 기기 설계에 있어 보다 정밀한 인체 계측 데이터 기반의 사용자 맞춤형 인터페이스 개발이 필요함을 강하게 시사한다. 실제로 VR 기기 사용자 커뮤니티^{43), 44)}에서는 기기 내부를 직접 뒹개거나, 개인의 얼굴 형태에 맞게 3D 모델링을 진행한 후 커스터마이징하여 사용하는 사례가 다수 보고되고 있다. 이는 기기의 기본 형태가 여전히 평균 사용자에게는 불편하거나 비효율적일 수 있으며, VR 팬들이 여러 시행착오 끝에 '초개인화'된 형태로 겨우 착용이 가능하다는 현실을 보여준다. 결국, 인터페이스의 맞춤형 설계는 마니아층을 위한 옵션이 아니라, 일반 사용자도 부담 없이 착용하고 몰입할 수 있도록 하는 최소 조건으로 간주되어야 한다.

마지막으로, 본 연구는 Oculus Quest 2 모델을 중심으로 진행되었으나, 최근 시장에는 Quest3, Quest Pro, Apple Vision Pro 등 다양한 모델이 출시되고 있다. 따라서 향후 연구에서는 다양한 기기 모델을 대상으로, 인종 및 성별, 연령에 따른 인터페이스의 착용감과 사용 경험을 비교 분석하는 연구가 필요하다. 특히, 어린이와 같이 신체가 완전히 발달하지 않은 사용자들을 위한 별도의 디자인 전략도 마련되어야 할 것이다.

39) Chertoff et al., Op. cit., 2008, 8, 17(4), pp. 367-373.

40) Wijerathna et al., Op. cit., 2022, 10, pp. 117-126

41) Choi et al., Op. cit., 2019, 06, pp. 533-545

42) Lee et al., Op. cit., 2017, 5, 9(5), p.94.

43) Reddit, Op. Cit., 2025.06.12

44) Meta Community Forums, Op. cit., 2025.06.12

6. 결론 및 추가논의사항

본 연구는 인종 및 성별에 따른 VR HMD 사용 경험의 차이를 정량적·정성적으로 분석함으로써, 얼굴 골격 요소가 사용자 몰입감과 현존감에 미치는 영향을 실증적으로 규명하였다. 연구 결과, caucasian과 한국인 간의 VR HMD 경험에서 눈에 띄는 차이가 나타났으며, 이는 기기 착용 시 얼굴 폭, 광대뼈 구조, 머리 길이 및 머리 둘레와 같은 신체측정 지표가 사용자 편안함에 중요한 역할을 수행함을 시사한다. 특히, 화귀 분석 결과에서는 광대뼈 사이의 거리와 머리 길이가 현존감 점수에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이를 토대로 맞춤형 인터페이스 디자인의 필요성이 강조된다. 또한, 본 연구에서는 성별에 따른 차이 역시 두드러졌는데, 여성 참가자들, 특히 한국인 여성의 경우 기기의 착용감이 불안정하여 몰입감과 현존감이 남성에게 비해 낮게 나타나는 경향을 보였다. 인터뷰 결과에서도, 기기가 얼굴에 잘 맞지 않아 발생하는 압박감, 불편감 및 시뮬레이터 질병 증상이 이러한 차이에 기여하는 것으로 확인되었다.

본 연구의 주요 한계로는 첫째, 연구 대상이 caucasian과 한국인에 한정되어 있어, 인종 다양성을 충분히 반영하지 못했다는 점을 들 수 있다. 향후 연구에서는 보다 포괄적인 인구 집단을 대상으로 하여 다양한 인종 간의 차이를 심도 있게 분석할 필요가 있으며, 여러 인종이 섞인 다인종 사용자를 대상으로도 분석할 필요가 있다. 둘째, 본 연구는 Oculus Quest 2 모델에 국한하여 실험을 진행하였으므로, Apple, HTC, Pico 등 타 제조사의 VR HMD와의 비교 분석이 이루어지지 않은 점 역시 한계로 지적된다.

향후 연구에서는 다양한 연령대와 인종, 그리고 여러 기기 모델을 대상으로 사용자 맞춤형 인터페이스 디자인의 효과를 검증할 필요가 있으며, 특히 기기의 구조적 안정성과 무게 분산, 그리고 조절 가능한 디자인 메커니즘 도입을 통한 착용감 개선 방안에 대한 추가 연구가 요구된다. 이를 통해 VR HMD의 몰입감과 현존감을 극대화하고, 사용자 개인의 생체적 특성을 반영한 맞춤형 디자인 개발에 한 걸음 더 다가갈 수 있을 것이다. 본 연구는 다양한 인종과 성별의 특성을 반영한 맞춤형 페이스 인터페이스의 설계 필요성을 제시하며, 향후 VR 기기 개발에 있어 사용자 경험을 극대화할 수 있도록 인체공학적 데이터를 체계적으로 활용할 수 있는 기초 자료를 제공한다.

참고문헌

1. Burdea, G. C., & Coiffet, P., 『Virtual reality technology』, John Wiley & Sons, 2003.
2. Jerald, J., 『The VR book: Human-centered design for virtual reality』, Morgan & Claypool, 2015.
3. Sherman, W. R., & Craig, A. B., 『Understanding virtual reality: Interface, application, and design』, Morgan Kaufmann, 2018.
4. Tilley, A. R., 『The measure of man and woman: human factors in design』, John Wiley & Sons, 2001.
5. 고기석, 한승호, 송우철, 손현준, 백두진, 김희진, & 최병영, ‘한국 성인 머리너비지수의 시대적 변화’, 해부·생물인류학, 2001.
6. Bengtsson, L., & Van Couvering, E., ‘Stretching immersion in virtual reality: how glitches reveal aspects of presence, interactivity and plausibility’, Convergence, 2023.
7. Bhopal, R., & Donaldson, L., ‘White, European, Western, Caucasian, or what? Inappropriate labeling in research on race, ethnicity, and health’, American Journal of Public Health, 1998.
8. Bowman, D. A., & McMahan, R. P., ‘Virtual reality: how much immersion is enough?’, Computer, 2007.
9. Chen, Y., Wang, X., & Xu, H., ‘Human factors/ergonomics evaluation for virtual reality headsets: a review’, CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction, 2021.
10. Chertoff, D. B., Schatz, S. L., McDaniel, R., & Bowers, C. A., ‘Improving presence theory through experiential design’, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 2008.
11. Fayed, S., ‘A hypermedia-supported program

- and its effect on developing historical reasoning skills among first year secondary school students', *International Journal of Instructional Technology and Educational Studies*, 2024.
12. Garau, M., Friedman, D., Widenfeld, H. R., Antley, A., Brogni, A., & Slater, M., 'Temporal and spatial variations in presence: qualitative analysis of interviews from an experiment on breaks in presence', *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 2008.
 13. Gruber, A., Canto, S., & Jauregi-Ondarra, K., 'Exploring the use of social virtual reality for virtual exchange', *ReCALL*, 2023.
 14. Heeter, C., 'Being there: the subjective experience of presence', *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1992.
 15. Heo, J., & Sawides, M., 'Gender and ethnicity specific generic elastic models from a single 2D image for novel 2D pose face synthesis and recognition', *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2011.
 16. Hsiao, H., 'Anthropometric procedures for protective equipment sizing and design', *Human Factors*, 2013.
 17. Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G., 'Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness', *The International Journal of Aviation Psychology*, 1993.
 18. Lacko, D., Vleugels, J., Fransen, E., Huysmans, T., De Bruyne, G., Van Hulle, M. M., Sijbers, J., & Verwulgen, S., 'Ergonomic design of an EEG headset using 3D anthropometry', *Applied Ergonomics*, 2017.
 19. Lee, J., Kim, M., & Kim, J., 'A study on immersion and VR sickness in walking interaction for immersive virtual reality applications', *Symmetry*, 2017.
 20. Liew, S., Wu, W. T., Chan, H. H., Ho, W. W., Kim, H. J., Goodman, G. J., Peng, P. H., & Rogers, J. D., 'Consensus on changing trends, attitudes, and concepts of Asian beauty', *Aesthetic Plastic Surgery*, 2016.
 21. Liu, P., Liu, J., Fernandez, J., Zou, Q., McEachern, A. J., Rung, A. R. P., Gunn, K. E., Davis, J. D., Zhang, L., & Carrus, G., 'Positive affect and natural landscape in virtual reality: a systematic review comparing interventions, measures, and outcomes', *Journal of Environmental Psychology*, 2023.
 22. Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H., 'The experience of presence: factor analytic insights', *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 2001.
 23. Slater, M., 'Presence and the sixth sense', *Presence*, 2002.
 24. Slater, M., 'Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009.
 25. Voinescu, A., Petrini, K., & Stanton Fraser, D., 'Presence and simulator sickness predict the usability of a virtual reality attention task', *Virtual Reality*, 2023.
 26. Yokota, M., 'Head and facial anthropometry of mixed-race US Army male soldiers for military design and sizing: a pilot study', *Applied Ergonomics*, 2005.
 27. Ball, Roger M., "SizeChina: A 3D Anthropometric Survey of the Chinese Head.", *TU Delft Ph.D. Thesis*, 2011.
 28. communityforums.atmeta.com
 29. www.reddit.com