

“현실 공간의 제약 없이 넓은 가상 세계를 걷는다”

GIST, 가상현실 보행 한계 극복한

‘레드 슈즈’ 개발

- AI융합학과 김승준 교수팀, 발바닥 촉각 피드백과 VR 보행 유도 기술(리다이렉티드 워킹) 결합... 현실 공간이 좁아도 넓은 가상 공간을 자유롭게 걸을 수 있는 경험 제공
- 발바닥 기울임으로 몰입감·안정성 높이고 어지럼증·불편감은 최소화해 게임, 군 훈련, 재활 치료 등 다양한 산업 분야 활용 기대... 국제학술지 《Virtual Reality》 게재



▲ (왼쪽부터 순서대로) GIST AI융합학과 김승준 교수, Aya Ataya 연구원, Ahmed Elsharkawy 박사후 연구원, 이지은 연구원, 황석현 연구원, 성민우 박사과정생

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 AI융합학과 김승준 교수 연구팀이 가상현실(VR) 환경에서 사용자가 실제보다 훨씬 넓은 공간을 자연스럽게 걸을 수 있도록 돕는 로봇틱 보행 인터페이스 ‘레드 슈즈(ReD Shoes)’를 개발했다고 밝혔다.

‘레드 슈즈’라는 이름은 1948년 영국 영화 <분홍신(The Red Shoes)>에서 따왔다. 영화 속 주인공은 붉은 신을 신는 순간, 신발이 이끄는 대로 새로운 세계로 무한히 달려 들어가는 듯한 몰입 경험을 하게 된다. 연구팀은 이 상징적 장면에서 착안해, 사용자가 현실 공간의 한계를 의식하지 않고 가상 공간 속으로 자연스럽게 빠져들도록 돕는 인터페이스라는 의미를 ‘레드 슈즈’라는 이름에 담았다.

VR 기술은 교육·훈련·게임 등 다양한 분야에서 활용되고 있지만, 실제 공간이 좁으면 사용자가 마음껏 걷기 어렵다는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 개발된 기술이 ‘리다이렉티드 워킹(Redirected Walking, RDW*)’으로, 가상 환경의 시각 정보를 미세하게 조작해 사용자의 보행 경로를 유도한다.

그러나 기존 RDW 기술은 시각과 몸의 균형감각이 어긋나면서 멀미와 이질감을 유발해, 몰입감과 보행 안정성이 모두 떨어지는 한계를 안고 있었다.

* **Redirected Walking(RDW, 재방향 보행):** 사용자가 제한된 현실 공간에서도 훨씬 넓은 가상 공간을 자유롭게 탐험할 수 있도록 실제 보행 방향을 눈에 띄지 않게 조작하는 기술이다. VR 시스템이 사용자의 시선과 움직임을 추적하여 미세한 회전이나 곡선 보행을 적용함으로써, 사용자는 가상 공간에서 직진하는 것처럼 느끼지만 실제로는 제한된 공간 내에서 안전하게 이동하게 된다.

연구팀은 이러한 문제를 해결하기 위해 발바닥에 전달되는 '기울기 촉각 피드백'을 활용해 감각 불일치를 줄이는 보행 인터페이스 '레드 슈즈'를 개발했다.

이를 통해 VR 보행 중 시각·전정·고유 감각을 정밀하게 맞춰, 좁은 현실 공간에서도 넓은 가상 공간을 걷는 듯한 자연스럽게 안정적인 체험을 구현했다.

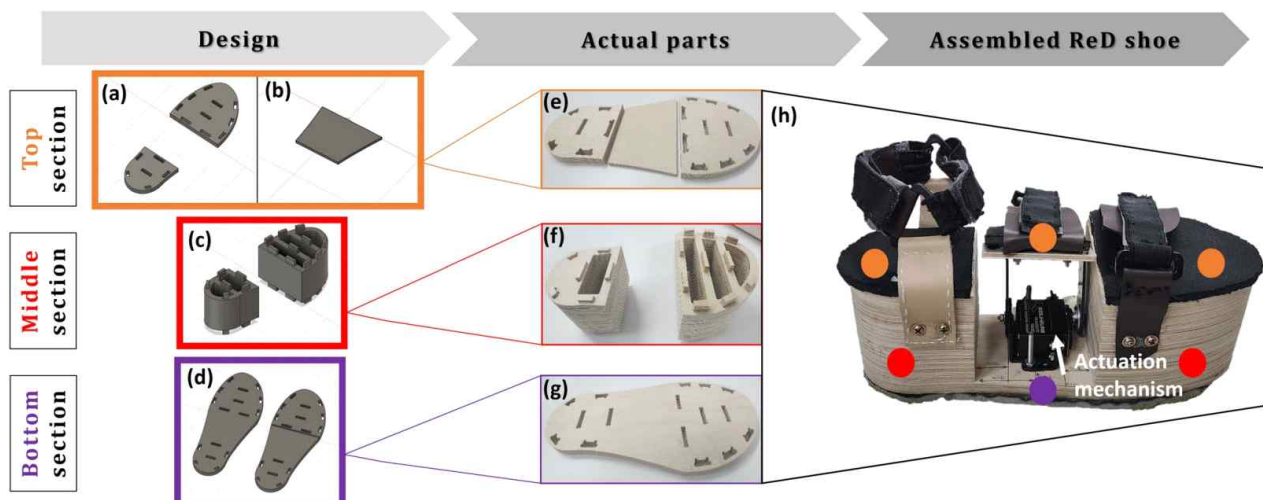


▲ **ReD Shoes 개념도**. 신발 하부가 미세하게 기울어지며 시각, 촉각, 전정 감각을 정합해, 사용자가 직선으로 걷는 동안에도 실제로는 곡선으로 이동하고 있다는 사실을 인지하지 못하게 한다.

신발의 핵심 장치는 발의 아치 부분에 배치된 소형 기울임 모듈로, 신발 밑창을 좌우로 최대 1.5cm 기울여 사용자의 진행 방향을 자연스럽게 유도한다. 이 과정에서 촉각과 전정 감각*을 함께 조율해 몰입감과 보행 안정성을 동시에 향상시킨다.

'레드 슈즈'는 상단·중간·하단이 분리되는 모듈식으로 제작됐으며, 목재 기반 구조에도 불구하고 0.9kg의 경량화를 이뤘다. 장시간 착용해도 부담이 적고, 유지 관리도 용이하다.

* **전정 감각** : 귀 속의 전정기관(vestibular system)에서 감지되는 감각으로, 몸의 자세와 움직임, 공간에서의 방향을 인식하는 기능을 말한다. 이를 통해 사람은 걷거나 달릴 때 균형을 유지하고, 머리를 돌리거나 몸을 움직일 때도 안정적으로 자세를 조절할 수 있다. 흔히 균형 감각 또는 평형 감각이라고도 불린다.



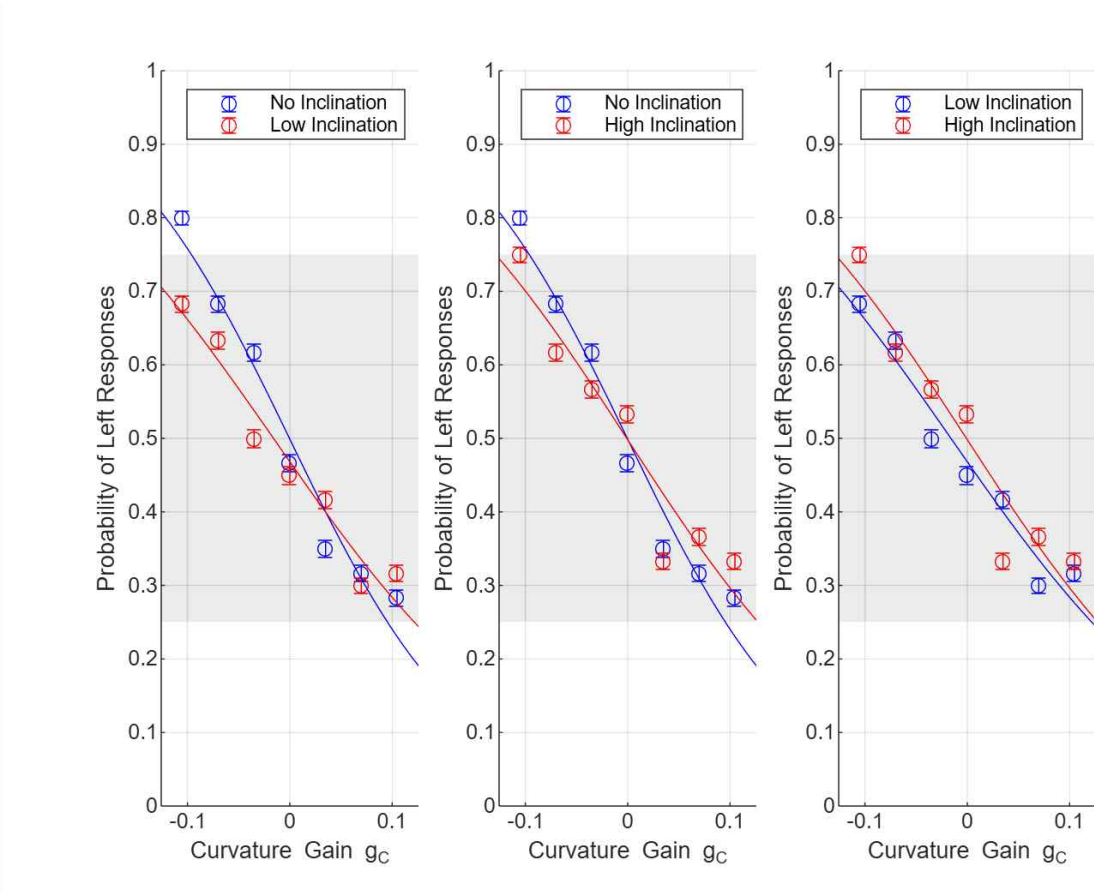
▲ **ReD Shoes의 구조**. 발 중족부를 기울이는 1자유도(1-DOF) 모듈로 설계되어 안정적인 경량화를 구현했다.

연구팀은 30명을 대상으로 실험을 진행한 결과, 1cm 기울기 조건에서 가장 높은 몰입감과 보행 안정성이 나타났다. 이 조건은 기존보다 약 43.6% 넓은 보행 가능 범위를 제공하면서도 불편감과 멀미를 최소화했다.

반대로 1.5cm 이상의 높은 기울기 자극은 오히려 보행 안정성을 떨어뜨려 멀미를 유발했으며, VR 보행 인터페이스에서 자극 강도를 정교하게 조절하는 ‘최적 자극* 설정’이 얼마나 중요한지를 보여주는 결과였다.

* **검출 임계값(Detection Threshold, DT)**: 감각 자극을 인식할 수 있는 최소 강도나 변화량을 나타내는 값으로, 시각, 청각, 촉각 등 다양한 감각 실험에서 사용된다. 예를 들어 촉각 연구에서는 손바닥에 가해지는 진동이나 압력의 최소 강도를 DT로 측정하며, 이를 통해 감각 민감도나 장치 성능, 자극의 인지 가능성을 평가할 수 있다. DT가 낮을수록 감각이 민감함을 의미하고, 높을수록 자극을 감지하기 어렵다는 것을 의미한다.

* **최적 자극**: 사용자가 VR 환경에서 가장 몰입감 있고 편안하게 체험할 수 있도록 설정된 물리적 또는 감각적 자극을 말한다.



▲ **사용자 연구 결과**. Low Inclination 조건에서 탐지 임계치(Detection Threshold)가 가장 크게 확장되었으며, 가장 높은 몰입감과 안정성을 제공했다.

연구팀은 앞으로 발 형태에 맞춰 조절 가능한 프레임과, 발바닥 압력 분포를 보정하는 맞춤형 인솔(신발 내부 깔창)을 적용하며, 사용자의 보행 패턴을 실시간으로 분석해 최적의 기울기를 제공하는 AI 기반 적응형 인터페이스로 발전시킬 계획이다.

김승준 교수는 "'레드 슈즈'는 단순한 VR 보행 보조 도구가 아니라 **인간의 감각 체계와 로봇틱스 제어가 결합된 새로운 형태의 보행 인터페이스의 가능성을 보여준다**"며, "향후 **경량화와 맞춤형 설계를 더해 게임과 메타버스는 물론, 군·의료 훈련이나 재활 치료 등 다양한 산업에서 활용될 수 있을 것**"이라고 말했다.

이번 연구는 AI융합학과 김승준 교수의 지도로 인간중심지능시스템 연구실 아야 아타야(Aya Ataya) 연구원, 아흐메드 엘샤르카위(Ahmed Elsharkawy) 박사후연구원, 이지은 연구원, 황석현 연구원, 성민우 박사과정생이 수행했으며, 한국연구재단(NRF) 학술연구지원사업(Post-Doc. 성장형 공동연구), 중견연구자지원사업, 해외우수연구기관 협력허브 구축사업의 지원을 받았다.

연구 결과는 국제학술지 《버추얼 리얼리티(Virtual Reality)》에 2025년 9월 18일 온라인으로 게재되었다.

한편 GIST는 이번 연구 성과가 학술적 의의와 함께 산업적 응용 가능성까지 고려한 것으로, 기술이전 관련 협의는 기술사업화센터(hgmoon@gist.ac.kr)를 통해 진행할 수 있다고 밝혔다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 학술지명: Virtual Reality
- 논문명: ReD Shoes: actuated footwear for multisensory redirected walking in virtual reality
- 저자 정보: Aya Ataya 연구원(제1저자, AI융합학과), Ahmed Elsharkawy 연구원(제1저자, AI융합학과), 이지은 연구원, 황석현 연구원, 성민우 박사과정생, 김승준 교수(교신저자, AI융합학과)