

GIST, 손가락 착용형 햅틱 기술로 VR 속 '무게·관성' 실제처럼 구현

- AI융합학과 김승준 교수 연구팀, 손가락 착용형 소형 장치가 금속 막대 위치 실시간 조절해 가상 도구의 무게중심과 휘두르는 저항감 재현... VR 몰입감·현실감·조작감 향상
- 인지 증폭 기술로 현실감 극대화해 게임·교육 등 차세대 XR 환경 적용 기대
- 'GIST-MIT 피지컬 AI 상호작용 연구센터' 중심 차세대 XR·피지컬 AI 인터페이스 가능성 제시
- 인간-컴퓨터 상호작용(HCI) 분야 최고 권위 학술대회'ACM CHI 2026'발표



▲ (왼쪽부터) 신세무 석사, 김광빈 박사과정생, 강성준 박사과정생, 김승준 교수, 박정주 석사 (오른쪽 위 왼쪽부터) 엄주원 박사과정생, 김보천 석사, 박찬영 학생

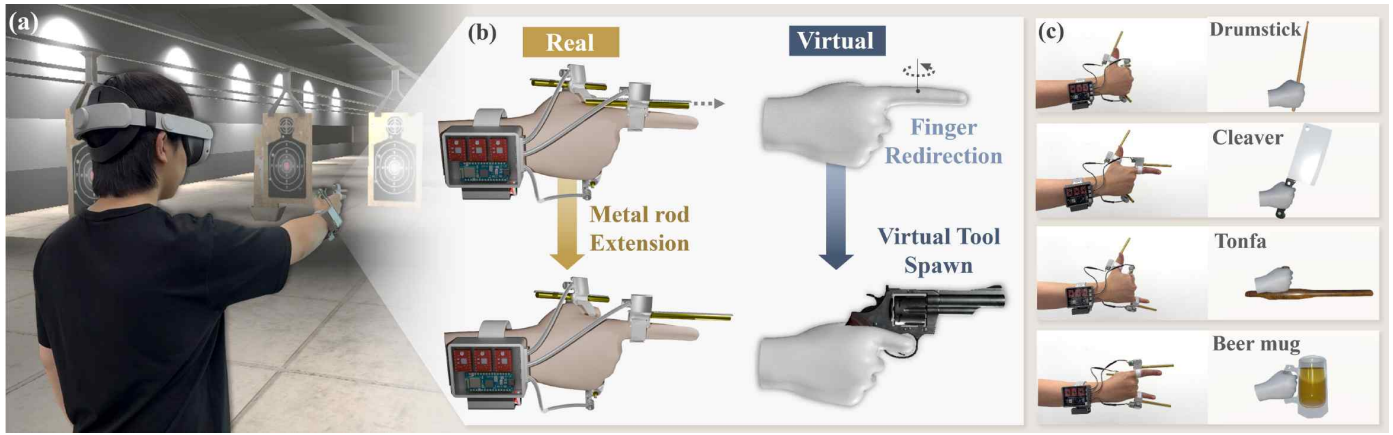
광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 AI융합학과 김승준 교수 연구팀이 가상현실(VR) 속 다양한 도구의 무게감과 휘두르는 느낌을 실제처럼 구현할 수 있는 손가락 착용형 햅틱 시스템(Finger-Mounted Extending Rod)을 개발했다고 밝혔다.

이 기술은 손가락에 착용한 소형 장치만으로 가상 도구의 물리적 특성을 정교하게 전달해, 차세대 XR(확장현실) 환경에서 사용자 몰입감을 크게 높일 수 있을 것으로 기대된다.

최근 VR 기술은 시각적 표현 측면에서는 빠르게 발전했지만, 사용자가 가상 물체를 실제처럼 '손에 쥐고 다루는 감각'을 구현하는 데에는 한계가 있었다.

특히 망치나 검처럼 무게중심이 다른 도구를 휘두를 때 느껴지는 묵직함, 저항감, 관성 같은 물리 감각은 기존 단일 컨트롤러만으로는 자연스럽게 전달하기 어려웠다.

연구팀은 이러한 문제를 해결하기 위해 손가락에 착용하는 소형 장치를 활용해 손 자체를 하나의 '가상 도구 인터페이스'로 확장하는 방식을 제시했다.

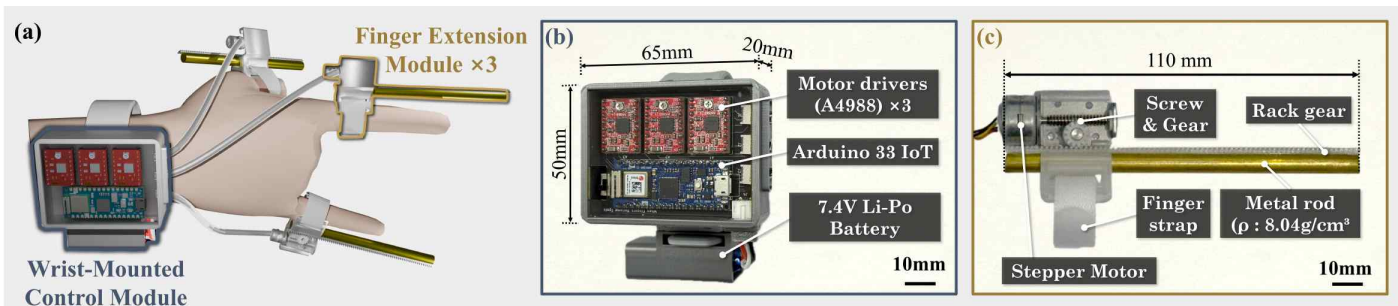


▲ **Finger-Mounted Extending Rod 시스템 개요.** 손 자세에 따라 금속 로드를 구동해 가상 도구의 회전 관성을 구현하고, VR에서는 자연스러운 파지 자세를 시각적으로 제시하는 착용형 인터페이스이다.

이 시스템은 사용자의 손가락에 부착된 소형 장치가 금속 막대를 앞뒤로 움직이며 무게 분포를 실시간으로 조절한다.

예를 들어 막대가 길어지면 무게중심이 손끝 쪽으로 이동하면서, 긴 막대나 둔기를 휘두를 때처럼 손목에 더 큰 저항감과 묵직함이 전달된다.

반대로 막대가 짧아지면 보다 가볍고 민첩한 도구를 다루는 느낌을 구현할 수 있다.



▲ **Finger-Mounted Extending Rod 장치 구성.** 손목에 착용하는 제어 모듈과 손에 부착되는 확장 모듈로 이루어져 있으며, 제어 모듈은 배터리와 제어회로를, 확장 모듈은 스텝퍼 모터와 기어 구동부, 금속 로드를 포함해 가상 도구의 관성을 구현한다.

연구팀은 이러한 물리적 변화를 가상 환경 속 도구의 움직임과 실시간으로 연동해, 사용자가 눈으로 보는 장면과 손으로 느끼는 감각이 자연스럽게 일치하도록 설계했다.

특히 연구팀은 실제 사용자 실험을 통해 사람이 느끼는 관성이 실제 물리량보다 훨씬 크게 증폭돼 인식된다는 점을 확인했다.

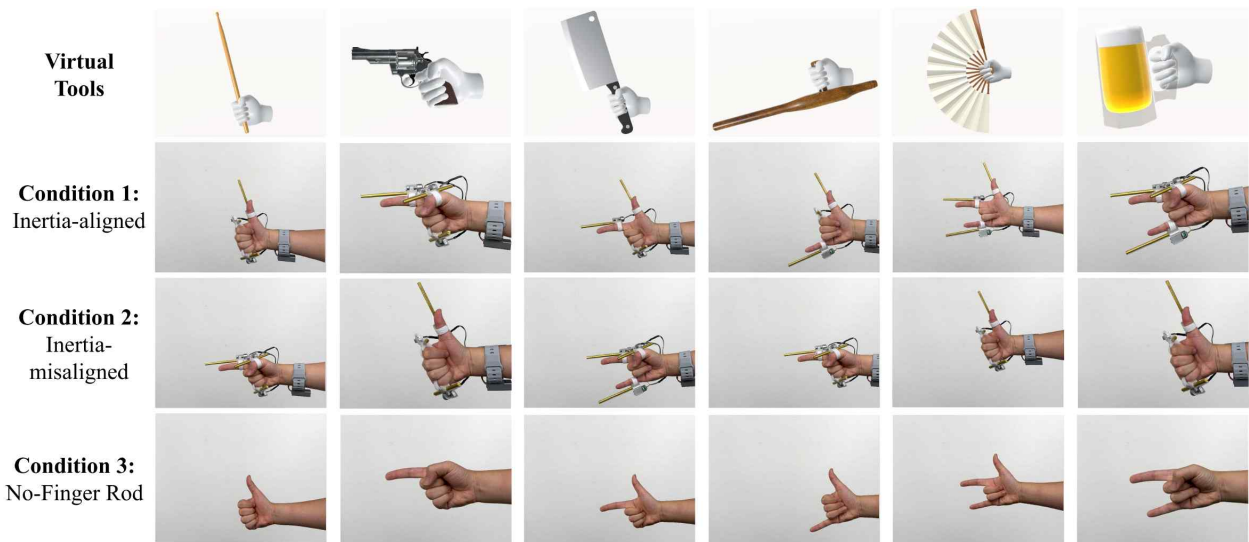
사용자가 서로 다른 무게감과 저항감을 동일하다고 느끼는 지점(PSE*)을 측정한 결

과, 사용자가 체감한 관성은 실제 이론값 대비 약 4.19배에서 최대 10.45배까지 크게 인식되는 것으로 나타났다.

이는 작은 물리 자극만으로도 사용자가 훨씬 큰 무게감과 도구의 존재감을 느낄 수 있음을 의미한다.

* 주관적 동등점(PSE, Point of Subjective Equality): 서로 다른 두 자극을 사람이 동일하다고 인식하는 지점을 의미하는 심리 물리학적 지표다. 본 연구에서는 사용자가 가상 도구의 무게감이나 휘둘 때의 저항감을 실제와 비슷하다고 느끼는 관성 수준을 측정하는 데 활용됐다.

사용자 경험 평가에서도 시각 정보와 촉각 정보가 일치할수록 몰입감과 현실감이 크게 향상되는 것으로 나타났다.



▲ VR 시나리오에 사용된 가상 도구와 세 가지 실험 조건. 관성이 정렬된 조건, 관성이 어긋난 조건, 그리고 장치 없이 손 자세만 제시한 조건을 비교해 보여준다.

실제 VR 시나리오 실험에서 사용자는 드럼 스틱, 권총, 식칼, 톤파, 맥주잔 등 다양한 가상 도구를 손에 쥐는 듯한 감각으로 인식했으며, 도구별 특성을 보다 쉽게 구분했다.

특히 가상 도구의 움직임과 손으로 느껴지는 관성감이 일치할 때 몰입감(Immersion), 현실감(Realism), 즐거움(Enjoyment)이 모두 높아졌다.

반면 장치 착용에 따른 불편감은 뚜렷하게 증가하지 않았으며, 비교적 간단한 장치만으로도 높은 수준의 물리 피드백 구현이 가능함을 확인했다.

이번 연구는 사용자의 손과 손가락 자체를 인터페이스의 일부로 활용해, 가상 물체를 단순히 '보는 경험'에서 실제처럼 '다루는 경험'으로 확장했다는 점에서 의미가 있다.

특히 게임 분야에서는 조작감과 몰입감을 높이고, 교육·훈련·원격 작업 환경에서는 실제와 유사한 물리 피드백을 제공하는 기술로 활용될 수 있을 전망이다.



▲ 가상현실(VR)에서 다양한 도구의 물리적 특성을 보다 실감나게 전달할 수 있는 손가락 착용형 햅틱 시스템(Finger-Mounted Extending Rod)

나아가 별도의 복잡한 장비 없이 손가락 끝에 착용하는 간단한 장치만으로 실제와 유사한 물리감을 구현할 수 있어, 가상과 현실의 경계를 줄이는 차세대 XR 인터페이스 기술로 기대된다.

김승준 교수는 “이번 연구는 손가락에 착용하는 작은 장치만으로도 가상 객체의 무게감과 관성 같은 물리적 특성을 효과적으로 재현할 수 있음을 보여준 사례”라며 “향후에는 더욱 가볍고 정교한 형태로 발전시켜 다양한 현실-가상 융합 환경에 적용할 계획”이라고 밝혔다.

GIST AI융합학과 김승준 교수가 지도하고 강성준 박사과정생이 제1저자로 참여한 이번 연구는 과학기술정보통신부·한국연구재단 중견연구지원사업 및 해외우수연구기관 협력허브 구축사업, 과학기술정보통신부·정보통신기획평가원 대학ICT연구센터 육성지원사업(ITRC)의 지원을 받았다.

연구 결과는 4월 13일부터 17일까지 스페인 바르셀로나에서 열린 인간-컴퓨터 상호작용(HCI) 분야 최고 권위 학술대회인 ‘ACM CHI 2026(Conference on Human Factors in Computing Systems)’에서 발표됐다.

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.

○ 논문명, 저자 정보

- 학회명 : Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)
 - * 세계 최고 인간-컴퓨터 상호작용 학회(2026년 기준 h5-index=129 in Human Computer Interaction, Top 1)이며, 한국정보과학회 기준 최우수 학술대회
- 논문명 : When Fingers Become Tools: Rendering Virtual Tool Inertia with a Finger-Mounted Extending Rod
- 저자 정보 : 강성준 박사과정생(제1저자, GIST AI융합학과),
김광빈 박사과정생(GIST AI융합학과),
김보천 석사(GIST AI융합학과),
박정주 석사(GIST AI융합학과),
엄주원 박사과정생(GIST AI융합학과),
신세무 석사(GIST AI융합학과),
박찬영 학사과정생 (GIST AI융합학과),
김승준 교수(교신저자, GIST AI융합학과)