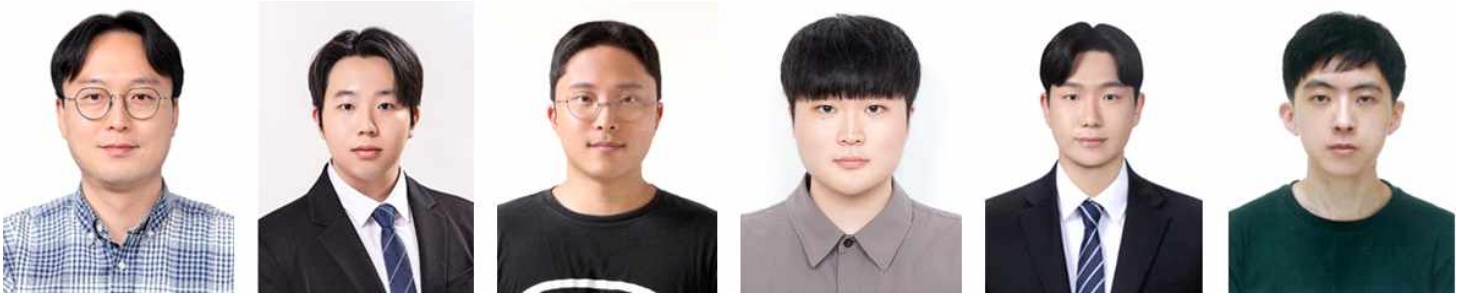


“실제로 바닷속에 있는 듯하다”

GIST, 고막이 느끼는 압력을 VR로 재현하는 압력 피드백 기술 세계 최초 개발

- AI융합학과 김승준 교수팀, VR 헤드셋으로 귀 압력 변화를 정밀 구현하는 인터페이스 개발... 의료용 tympanometry 기술 활용, 고막에 미세한 압력 가해 사용자가 압력 방향·강도 구분 가능
- 원격 수술·재난 구조·잠수 훈련 등 전문 분야는 물론, 운동·음악 등 일상 콘텐츠에도 응용 기대... 사용자 인터페이스 최고 권위 학술대회 'ACM UIST 2025'서 발표 및 현장 시연



▲ (왼쪽부터) GIST 김승준 교수, 강성준·김광빈 박사과정생, 김보천·박정주·신세무 석사과정생

국내 연구진이 귀 내부 압력을 정밀하게 제어해 가상현실(VR)*에서 대기압 변화를 사실적으로 느낄 수 있는 혁신적 햅틱 시스템을 개발했다. VR 체험에 귀가 먹먹해지는 압력 감각까지 구현한 것은 이번이 처음이다.

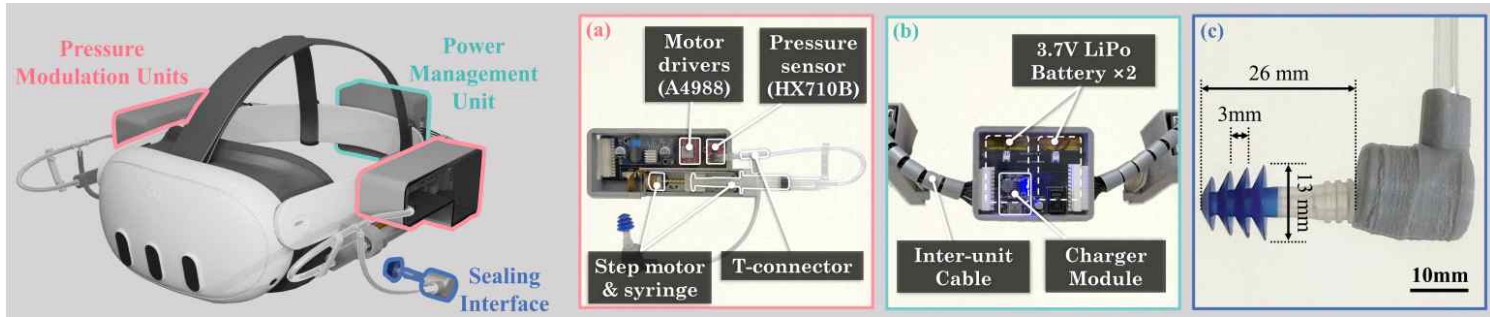
* VR(Virtual Reality, 가상현실): 컴퓨터가 생성한 3차원 가상 환경을 사용자가 실제 공간처럼 체험할 수 있도록 하는 기술로, 주로 헤드셋과 센서를 활용해 시각·청각·촉각 등 다양한 감각을 자극한다. 초기에는 게임과 엔터테인먼트 분야에서 주로 활용되었으나, 최근에는 교육, 의료, 산업 훈련, 원격 협업 등으로 적용 영역이 빠르게 확대되며 차세대 몰입형 인터페이스 기술로 주목받고 있다.



▲ EarPressure VR 시스템 개요. VR 환경의 대기압·수압 변화를 실시간으로 측정·분석해 귀 외이도 압력을 ± 40 hPa 범위 내에서 정밀하게 제어함으로써, 사용자가 물속 하강이나 고도 상승 시 경험하는 귀 먹먹함 감각을 직접 체험할 수 있는 착용형 햅틱 피드백 장치이다.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 AI융합학과 김승준 교수 연구팀이 VR 헤드셋에 부착해 귀 내부 압력을 세밀하게 조절함으로써, 대기압·수압 변화에 따른 귀의 먹먹함 등 실제에 가까운 환경 압력 감각을 구현하는 신기술 '이어프레서 VR(EarPressure VR)'을 개발했다고 밝혔다.

이 기술은 고도가 변하거나 물속에 들어갈 때처럼 귀가 먹먹해지는 느낌을 VR 환경에서 안전하게 재현할 수 있어, 기존의 시각·청각 중심 VR 체험을 한 차원 높이는 새로운 감각 인터페이스를 제시한다.



▲ EarPressure VR 하드웨어 구성. (a) 압력 조절 모듈: 스텝 모터와 실린더로 외이도 압력 조절 (b) 전원 관리: 압력 센서·배터리·충전 모듈로 구동 및 데이터 처리 (c) 실링 팁: 외이도 밀폐해 압력 누출 방지

지금까지 VR에서 압력 변화를 사실적으로 구현하는 것은 공간 전체의 기압을 조절해야 하기 때문에 기술적 제약이 컸다. 연구팀은 **임상에서 고막과 중이(中耳)의 압력을 검사할 때 쓰이는 팀파노메트리(tympanometry)* 기술을 응용해 이 문제를 해결했다.**

‘이어프레서 VR’은 귀 내부 상태를 압력 센서로 실시간 모니터링하고, 내장 모터와 의료용 주사기를 통해 **±40 헥토파스칼(hPa)* 범위의 압력 변화를 0.57초 안에 구현**한다. 이는 **실제로 사람이 수심을 따라 하강할 때 느끼는 속도와 유사하다.**

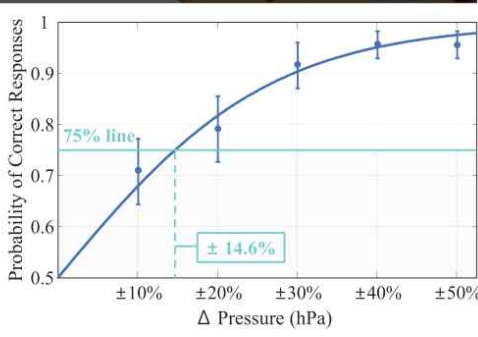
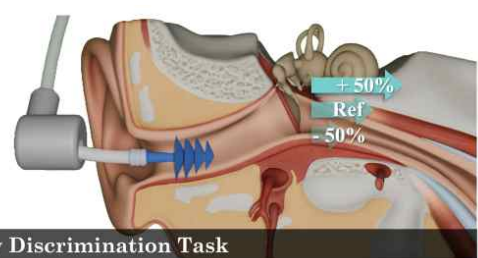
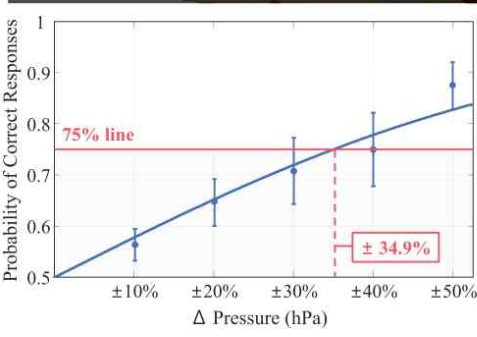
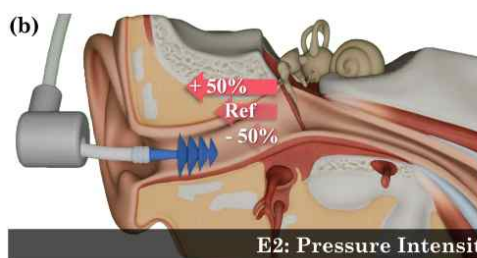
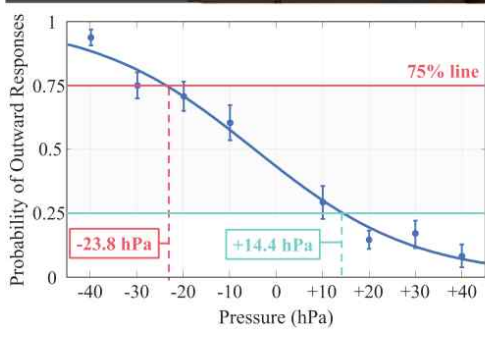
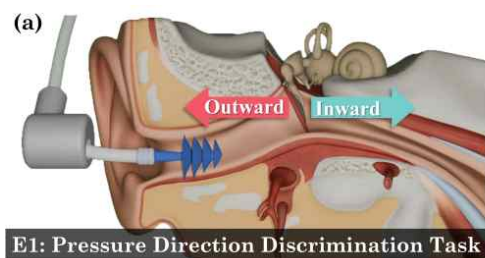
* **팀파노메트리(tympanometry):** 외이도에 공기를 주입해 고막의 움직임과 중이(中耳)의 압력 상태를 측정하는 임상 검사 기술이다. 주로 중이강 내 압력 이상, 삼출성 중이염, 고막 및 이관 기능 장애 등을 진단할 때 사용되며, 비침습적이고 안전해 의료 현장에서 널리 활용된다.

* **헥토파스칼(hPa):** 압력을 나타내는 단위로, 1 hPa는 100 파스칼(Pa)에 해당한다. 기상청에서 발표하는 기압이나 의학 분야의 중이 압력 측정 등에서 널리 사용되며, 본 연구에서는 귀 내부 압력 변화를 정밀하게 조절하고 수치로 표시하기 위해 hPa 단위를 활용했다.

연구팀은 귀 내부 압력 변화를 사용자가 명확히 인지할 수 있는지를 확인하기 위해 **압력 방향과 강도를 나누어 실험을 진행했다.**

그 결과, 약 14.4~23.8 hPa 이상의 압력 차이가 주어진다면 압력이 안쪽으로 작용하는지, 바깥쪽으로 작용하는지를 구분할 수 있었고, **14.6~34.9 hPa 이상의 강도 차이도 식별 가능한 것으로 나타났다.** 이는 **고막이 압력 변화에 매우 민감하게 반응**한다는 기존 의학적 연구 결과와도 일치한다.

또한 수심 변화나 환경 이동 상황을 적용한 실험에서는, 단순히 음향 효과만 제공한 경우보다 압력 피드백을 함께 제공한 조건에서 훨씬 높은 현실감과 몰입감을 경험할 수 있음이 확인됐다. 기술의 효과를 체감한 실험 참가자들은 “실제로 바닷속에 있는 기분이다”, “완전히 새로운 감각 경험이었다”고 표현했다.



▲ **압력 인식 실험 결과.** (a) 방향 판별 과제: 귀 안팎으로 압력을 ± 23.8 hPa와 $+14.4$ hPa 수준에서 75% 정확도로 구분함. (b) 강도 판별 과제: 압력 강도 차이를 $\pm 34.9\%$ 와 $\pm 14.6\%$ 에서 75% 정확도로 구분함.

‘이어프레서 VR’은 경량 착용형 설계로 별도의 대형 장비 없이도 압력 변화를 재현할 수 있어, ▲원격 수술·재난 구조·잠수 훈련 등 전문 분야 ▲운동·헬스 앱에서의 가상 고산 체험 ▲음악 감상 시 웅장한 저음의 압력감 구현 등 다양한 응용 가능성을 지니고 있다.

김승준 교수는 이번 연구에 대해 “기존에 구현하기 어려웠던 환경 압력 변화를 귀 내부 압력 제어를 통해 직접 체험하게 한 혁신적 기술”이라며, “VR·AR·원격 작업·훈련 시뮬레이션 등 미래 기술 전반의 사용자 경험을 근본적으로 변화시킬 것”이라고 강조했다.

GIST AI융합학과 김승준 교수가 지도하고 강성준·김광빈·김보천·박정주·신세무 연구원 등이 참여한 이번 연구는 과학기술정보통신부 재원으로 정보통신기획평가원(IITP)과 한국연구재단(NRF)의 지원을 받았다.

연구 결과는 사용자 인터페이스·상호작용 기술 분야의 세계 최고 권위 학술회 중 하나인 ‘ACM UIST 2025’(9월 28일~10월 1일, 부산)에서 발표됐으며, 현장 시연 부스를 통해 ‘이어프레서 VR’을 직접 체험한 방문객들로부터 높은 관심을 받았다.

연구팀은 향후 상용 VR 기기와의 통합 및 다양한 응용 분야 확장을 위한 후속 연구를 이어 갈 계획이다.

* **ACM UIST 2025(The ACM Symposium on User Interface Software and Technology):** ACM(Association for Computing Machinery)이 주관하는 세계적 학술회로, 사용자 인터페이스와 상호작용 기술 분야의 최신 연구 성과를 발표하고 공유하는 자리다. 2025년 대회는 9월 28일부터 10월 1일까지 부산에서 개최되었으며, 학계와 산업계 전문가들이 참석해 혁신적 기술과 연구를 직접 시연하고 평가했다.



▲ (왼쪽) 강성준 연구원이 학회 참석자들에게 'EarPressure VR' 디바이스 체험을 안내하고 있다.
(오른쪽) 'ACM UIST 2025'에서 'EarPressure VR'의 작동 원리를 설명하고 있다.

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

- 학회명 : ACM Symposium on User Interface Software and Technology(UIST) 2025
* 인터페이스 기술 분야 세계 최고 권위 학회 (2025년 기준 h5-index=115 in Human Computer Interaction)
- 논문명 : EarPressure VR: Conveying Ambient Pressure Feedback via Ear Canal Modulation in Virtual Reality
- 저자 정보 : 강성준 박사과정생 (제1저자, GIST AI융합학과), 김광빈 박사과정생 (공동저자, GIST AI융합학과), 김보천 석사과정생 (공동저자, GIST AI융합학과), 박정주 석사과정생 (공동저자, GIST AI융합학과), 신세무 석사과정생 (공동저자, GIST AI융합학과), 김승준 교수 (교신저자, GIST AI융합학과)