

“뇌성마비로 살아온 내가 어떻게 걷는지 비로소 알게 됐다”

GIST-뉴욕주립대 공동연구팀, 성인 뇌성마비 환자 보행 개선 로봇 재활 기술 개발

- GIST AI융합학과 강지연 교수가 이끈 한미 공동연구팀, 로봇 저항 훈련과 청각 바이오피드백 결합해 보행 패턴 개선... 성인 뇌성마비 환자 대상 임상 적용 가능성 제시

- 국제학술지 《IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering》 게재



▲ (왼쪽부터) AI융합학과 강지연 교수(교신저자), 뉴욕주립대 버팔로 (State University of New York at Buffalo) Souvik Poddar 박사과정생(제1저자), 박재형 AI융합학과 학부연구생(제2저자), 뉴욕주립대 버팔로 Jeanne Langan 교수(공저자), Lora Cavuoto 교수(공저자), Eleonora M. Botta 교수(공저자)

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철) AI융합학과 강지연 교수가 이끈 한-미 공동연구팀이 성인 뇌성마비 환자의 보행을 돕는 새로운 로봇 재활 기술을 개발했다고 밝혔다. 이 기술은 걷는 동안 적절한 저항을 주는 로봇 훈련과, 자신의 걸음걸이를 소리로 인지할 수 있게 해주는 청각 신호를 결합한 것이 특징이다.

뇌성마비는 출생 전후 뇌 손상으로 인해 근육 조절이 어렵고, 여러 근육이 동시에 자연스럽게 움직이지 못하는 신경질환이다. 병 자체가 시간이 지날수록 악화되지는 않지만, 그로 인한 보행의 어려움은 평생 지속되는 경우가 많다.

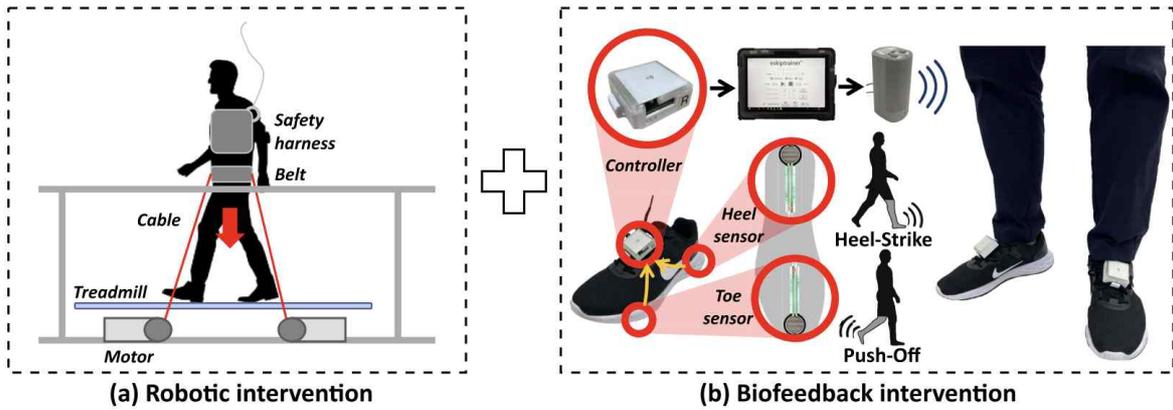
그동안 로봇을 활용한 보행 재활 연구는 주로 소아·청소년을 대상으로 이뤄졌으며, 성인 환자를 위한 체계적인 임상 연구는 제한적이었다.

또한 러닝머신(트레드밀) 위에서의 훈련 효과가 실제 일상 보행으로 충분히 이어지지 않는다는 점도 한계로 지적돼 왔다.

성인 뇌성마비 환자들은 보행을 개선하고자 하는 의지는 높지만, 자신의 비정상적인 보행 패턴을 정확히 인지하기 어렵고, 이를 교정하기 위한 구체적인 가이드라인도 충분하지 않은 상황이다.

연구팀은 이러한 문제를 해결하기 위해 두 가지 접근을 결합했다.

먼저, 케이블로 구동되는 로봇 장치를 활용해 보행 중 골반에 체중의 약 10%에 해당하는 하중을 추가로 실었다. 이는 다리 근육을 더 적극적으로 사용하도록 유도해 근육 활성화와 보행 제어 능력을 높이기 위한 것이다.



▲ **케이블 기반 로봇 소리 피드백 보행훈련 모식도.** 케이블 기반 저항성 재활 로봇은 트레드밀에 장착된 모터와 케이블을 통해 골반에 체중 약 10% 수준의 하향 저항력을 제공해 보행훈련을 수행한다. 바이오피드백은 뇌성마비 환자의 보행인지를 위해 뒤꿈치와 발끝의 압력 변화를 감지해 무선으로 전달하고, 이를 청각 신호를 생성한다.

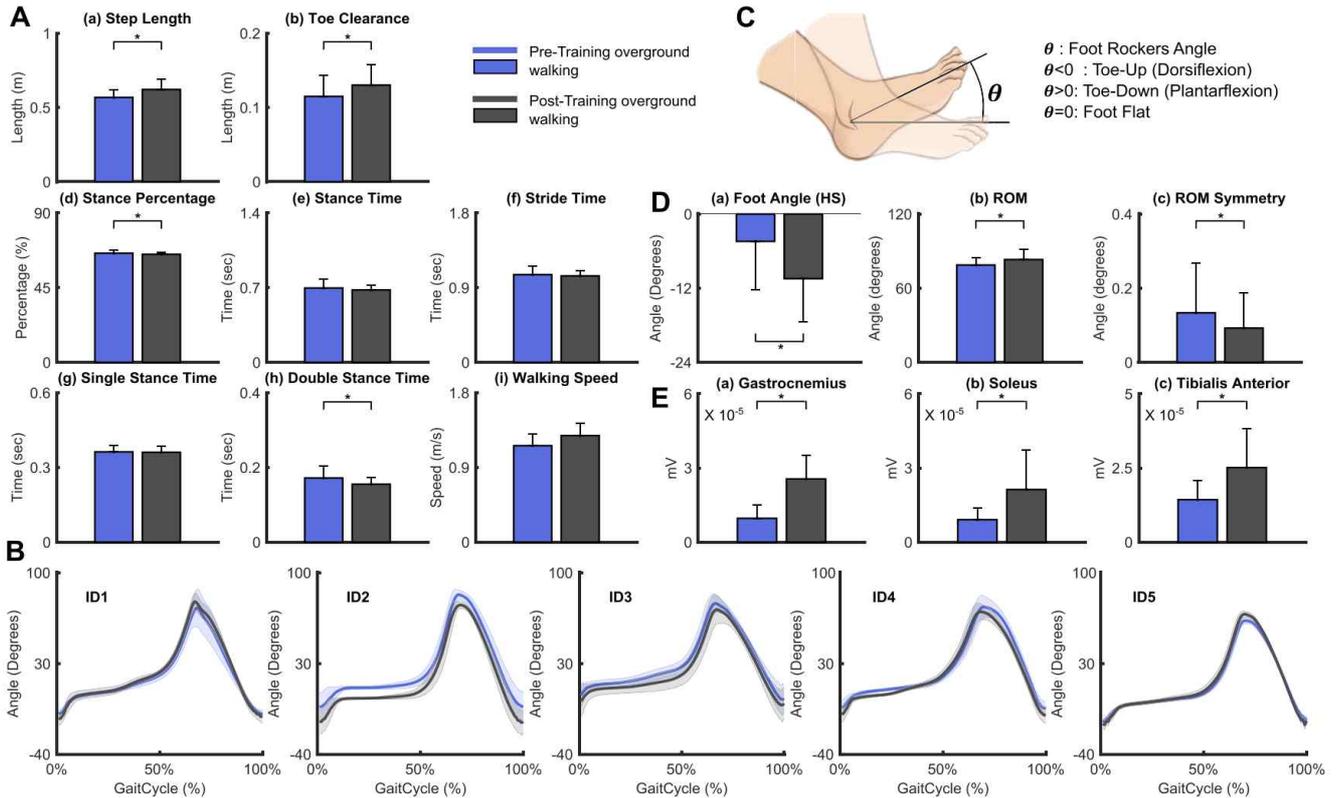
이어 스마트 깔창(인솔)을 활용해 발뒤꿈치가 땅에 닿는 순간과 발끝으로 밀어내는 순간에 맞춰 실시간으로 소리를 들려주는 '자기인지 청각 바이오피드백'을 적용했다. 환자가 자신의 걸음걸이를 소리로 인식하고 스스로 조절하도록 돕는 방식이다.

연구팀은 저항을 통한 '암묵적 운동학습(몸으로 익히는 훈련)'과, 소리를 통한 '명시적 피드백(의식적 인지)'을 순차적으로 결합함으로써, 훈련 효과가 실제 지면 보행으로 자연스럽게 이어지도록 설계했다는 점에서 의의가 있다고 설명했다.



▲ **소리 피드백 기반 보행훈련도.** 로봇 트레이너는 보행 중 하향 저항력을 제공하여 하지 근육을 활성화하고 발뒤꿈치 착지와 밀어내기 동작을 개선해 발 뒤꿈치-발끝 보행각도(foot rocker) 움직임 형성을 유도한다. 이후 스마트 인솔 기반 청각 바이오피드백은 발뒤꿈치와 발끝 접촉 시점을 실시간으로 알려주어 학습된 보행 패턴이 실제 지면 보행에서도 유지되도록 돕는다.

실제 성인 뇌성마비 환자 5명을 대상으로 실험한 결과, ▲발을 내딛을 때 발을 들어 올리는 근육(전경골근)의 활성화 증가 ▲발을 밀어내는 종아리 근육(비복근·가자미근)의 조절 능력 향상 ▲보폭의 증가 ▲발끝 여유 높이 증가(발이 지면에 걸리지 않을 공간 확보) ▲발의 이중지지 시간 감소(양발이 동시에 지면에 닿는 시간 단축) 등 주요 보행 지표에서 의미 있는 개선이 확인됐다.



▲ 훈련 전후 지면 보행을 비교한 결과도. 보폭·발끝 높이 등 시공간 보행 지표와 발 뒤꿈치-발끝 보행각도(foot rocker), 하지근활성이 전반적으로 개선된 것으로 나타났다. 특히 비복근·가자미근·전경골근의 활성화 증가와 함께 통계적으로 유의한 변화가 확인돼 보행 기능 향상 효과를 보여준다.

발뒤꿈치에서 발끝으로 이어지는 자연스러운 보행 패턴도 뚜렷이 개선됐다. 다리 관절이 더 곧게 펴지며 전반적인 보행 안정성과 추진력이 향상됐고, 이러한 효과는 러닝머신 훈련 이후 실제 지면에서 걸을 때도 유지되는 경향을 보였다.

한 참가자는 실험 종료 후 실시한 설문에서 “내가 어떻게 걷는지 처음으로 인지하게 됐다”고 답했으며, 로봇 훈련과 청각 신호를 함께 사용하는 방식이 보행 개선에 도움이 되었다고 평가했다.

강지연 교수는 “성인 뇌성마비 환자를 위한 재활 기술은 여전히 부족한 상황으로, 장기적인 기능 회복을 목표로 한 연구가 더욱 필요하다”며 “이번 연구는 성인 대상 로봇 보행 재활의 임상 적용 범위를 넓힐 수 있는 출발점으로, 향후 대규모 임상 연구와 실제 치료 기술 개발로 이어질 것으로 기대한다”고 밝혔다.

GIST AI융합학과 강지연 교수(교신저자)가 지도하고, 뉴욕주립대 버팔로 수빅 포다르(Souvik Poddar) 박사과정생(제1저자)과 GIST AI융합학과 박재형 학사과정생(제2저자)이 수행한 이번 연구에는 뉴욕주립대 버팔로의 진 랭건(Jeanne Langan) 교수, 로라 카부오토(Lora Cavuoto) 교수, 엘레오노라 M. 보타(Eleonora M. Botta) 교수가 공저자로 참여했다

미국 국립과학재단 (National Science Foundation, NSF)의 장애·재활 공학 연구지원 프로그램(Disability and Rehabilitation Engineering program)과 과학기술정보통신부·한국연구재단 바이오의료기술개발사업의 지원을 받았으며, 연구 결과는 **신경재활 공학 분야 국제학술지 《IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering》제34권(2026년)에 게재됐으며, 2025년 12월 23일 온라인으로 선공개됐다.**

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

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering (TNSRE) [신경재활공학분야 JCR 상위 2%]
- 논문명 : Improving Foot Rocker via Robot-Resisted Gait Training With Self-Awareness Biofeedback in Adults With Cerebral Palsy
- 저자 정보 : Souvik Poddar (제1저자, 뉴욕주립대 버팔로), 박재형(광주과학기술원), Eleonora M. Botta(공저자, 뉴욕주립대 버팔로), Lora Cavuoto(공저자, 뉴욕주립대 버팔로), Jeanne Langan(공저자, 뉴욕주립대 버팔로), 강지연(교신저자, GIST)