

GIST-미시간대-뉴욕주립대 공동연구팀, 팔 잃은 환자 맞춤형 인공 팔 찾아주는 로봇 기술 개발

- AI융합학과 강지연 교수가 이끈 한미 연구팀 개인 맞춤형 의수 설계 지원 로봇 기반 체험 시스템 'I-PEDLE' 개발.. 케이블 구동 구조로 무게는 줄이고, 다양한 방향의 정밀 손목 기능 구현
- 감각과 경험에 의존하던 의수 선택 방식을 실제 움직임 데이터 기반 비교분석 방식으로 전환 초적 의수를 사전에 체험선택가능.. 국제학술지 《IEEE Robotics and Automation Letters》게재



▲(왼쪽부터) AI융합학과 강지연 교수(교신저자), 뉴욕주립대 버팔로(State University of New York at Buffalo) Souvik Poddar 박사과정생(1저자), Eleonora M. Botta 교수 (공저자), 미시간대학교 Deanna H. Gates 교수(공저자)

사고나 질병 등으로 팔을 잃어 인공 팔이 필요한 사람들을 위해, 국내 연구자가 주도한 국제공동연구팀이 로봇으로 맞춤형 인공 팔을 미리 체험하고 선택할 수 있는 기술을 개발했다. 이 기술로 사용자에게 더 가볍고 효율적인 맞춤형 의수(義手) 설계가 가능해질 전망이다.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 AI융합학과 강지연 교수가 이끈 한-미 공동연구팀이 어깨부터 손까지의 움직임을 고려해 개인에게 맞는 상지(上肢·어깨부터 손까지를 포함한 팔 전체) 의수 설계를 지원하는 로봇 기반 의수 체험 시스템 'I-PEDLE(Intelligent Prosthesis Emulator for Daily Living Enhancement)'을 개발했다고 밝혔다. 이 시스템은 여러 방향으로 자유롭게 움직일 수 있는 구조를 갖춘 것이 특징이다.

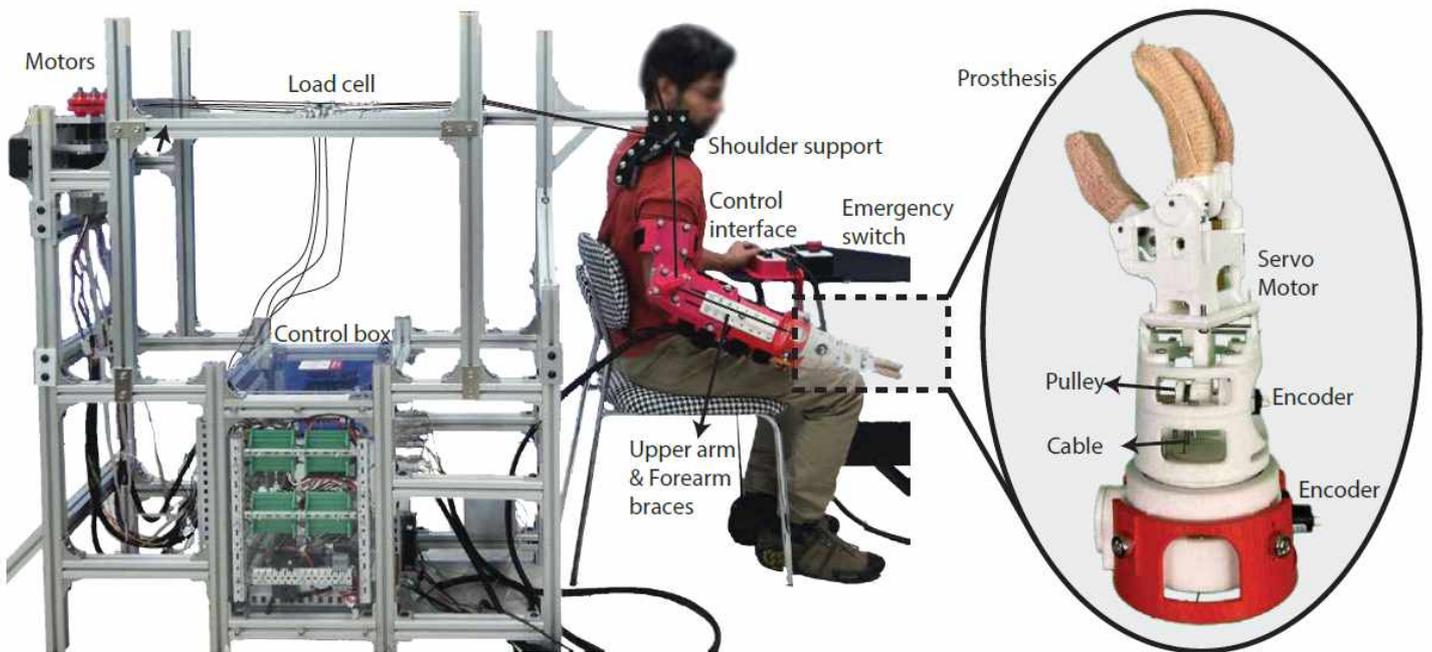
이 기술은 다양한 의수의 움직임을 로봇으로 구현해 사용자가 직접 체험할 수 있도록 하고, 그 결과 데이터를 바탕으로 개인에게 적합한 맞춤형 의수 구성을 제안한다.

상지가 절단된 환자를 위한 고기능 의수 기술은 지속적으로 발전하고 있지만, 무게 부담과 복잡한 제어 방식, 높은 비용 등의 한계로 실제 사용자 만족도는 여전히 낮은 편이다.

특히 많은 상용 의수는 능동적인 손목 기능이 부족해 이를 보완하기 위해 어깨나 팔꿈치를 과도하게 사용하는 움직임이 나타날 수 있으며, 이러한 동작이 반복될 경우 장기적으로 근골격계 통증으로 이어질 가능성이 있다는 지적이 제기돼 왔다.

이러한 문제를 개선하기 위해 손목 움직임을 정밀하게 구현한, 여러 방향으로 움직이는 로봇 의수가 개발되고 있으나, 높은 가격에도 불구하고 사용자 맞춤 설계를 위한 명확한 기준과 객관적인 평가 체계는 아직 마련되지 않았다.

연구팀은 케이블 구동 방식을 적용해 가벼우면서 세 방향으로 움직이는 손목 기능을 구현한 로봇 기반 인공 팔 체험 시스템(I-PEDLE)을 개발했다.

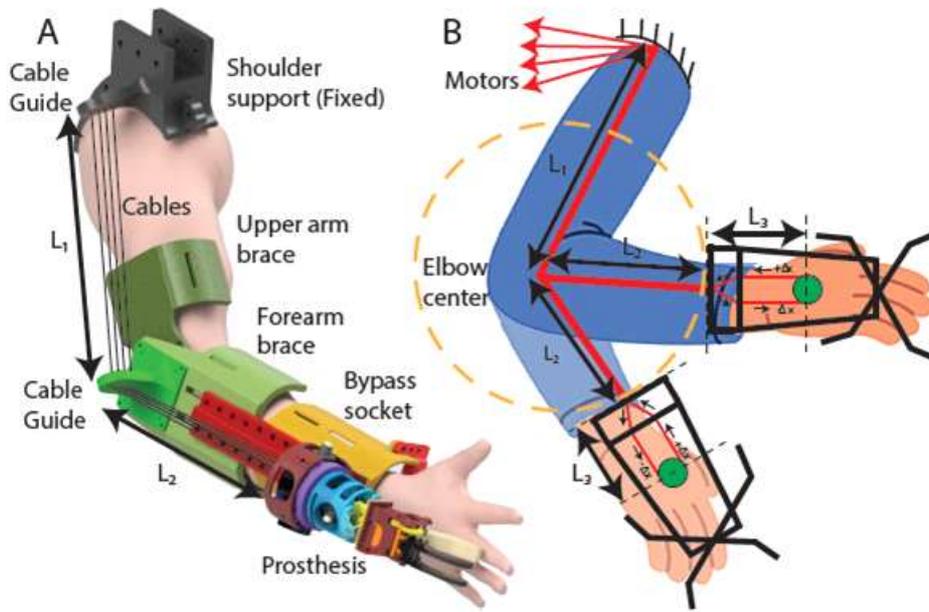


▲ I-PEDLE 상지 의수 에뮬레이터의 시스템 구성. 제어 모듈과 센서 설명도. 브레이스 및 케이블 구동 구조를 통합하여 경량 착용 구조와 고정밀 구동 성능을 동시에 확보했다.

케이블 모터를 외부에 배치한 구조를 통해 의수의 무게를 최소화하고 ▲손목을 안팎으로 돌리는 동작 ▲자연스러운 손목 각도 움직임 ▲물건을 잡고 쥐는 기능 등 실제 사용에 필요한 정밀한 손목 동작을 구현했다.

건강한 참가자를 대상으로 일상 동작을 수행하게 한 결과, 특정 손목 움직임 조합은 의수를 사용하기 위해 어깨를 과도하게 돌리거나 들어 올리는 등 다른 관절을 불필요하게 더 많이 사용하는 동작을 줄이는 효과가 확인됐다.

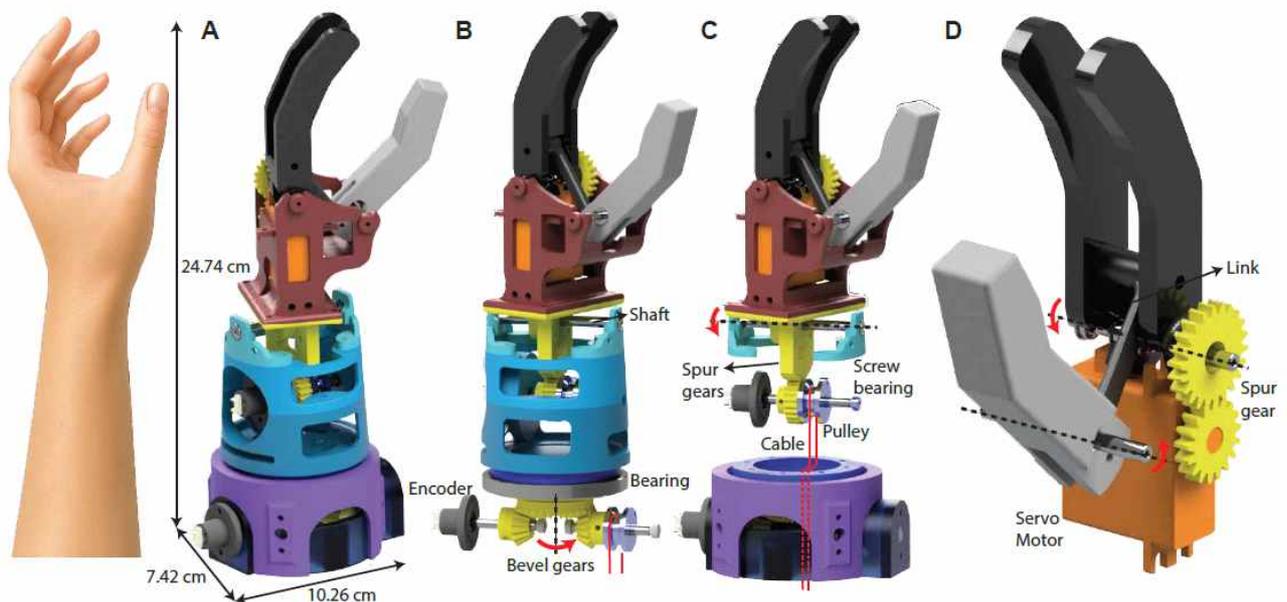
또한 연구팀은 다양한 손목 기능 조건을 동일한 환경에서 구현하고, 동작 수행 과정에서 나타나는 관절 움직임과 부족한 기능을 대신하기 위해 다른 관절을 더 많이 사용하는 동작을 센서 데이터로 수집·분석하는 방식으로 성능을 검증했다.



▲ 케이블 구동 기반 I-PEDLE 상지 의수 시스템의 구조 설계 및 전달 원리도. 상완·전완 브레이스와 케이블 구동 구조, 관절 움직임 전 구간에서 일정한 케이블 길이를 유지하는 전달 메커니즘을 나타낸다.

이를 통해 동작의 변화에 따라 달라지는 어깨와 팔꿈치 움직임을 정량적으로 평가할 수 있어, 사용자 경험에 의존하던 의수 선택 과정이 데이터 기반의 합리적인 의사 결정 방식으로 전환될 것으로 기대된다.

아울러 하나의 플랫폼에서 다양한 손목 구성 조건을 비교할 수 있어, 향후 사용자 맞춤형 의수 설계를 위한 평가·검증 시스템으로 활용될 것으로 전망된다.



▲ 케이블 구동 기반 I-PEDLE 다자유도 의수의 기계 설계 및 동작 메커니즘. 조립된 시스템 형상과 함께 ▲ 손목을 안팎으로 돌리는 동작 ▲ 자연스러운 손목 각도 움직임 ▲ 물건을 잡고 쥐는 기능 등을 정밀한 손목 움직임이 구현되는 과정이다.

강지연 교수는 "이번 연구는 의수 손목 설계를 사용자 중심 지표로 정량 평가할 수 있는 로봇 기반 플랫폼을 제시했다는 점에서 의미가 있다"며 "향후 개인 맞춤형 의수 설계와 인간-로봇 상호작용 기반 재활 기술 발전에 중요한 기반이 될 것"이라고 밝혔다.

향후에는 실제 상지 절단 환자를 대상으로 시스템을 검증하고, 사용자 반응을 실시간으로 반영해 최적 설계를 찾아가는 방식(Human-in-the-Loop)을 적용한 맞춤형 의수 설계 알고리즘 개발로 연구를 확장할 예정이다.

GIST AI융합학과 강지연 교수가 주도하고 미시간대학교와 뉴욕주립대학교 버팔로 연구진이 공동 수행한 이번 연구는 미국 국립과학재단(NSF) 장애·재활 공학 연구지원 프로그램(Disability and Rehabilitation Engineering program)과 과학기술정보통신부·한국연구재단 바이오의료기술개발사업 및 개인기초연구사업의 지원을 받았다.

연구 결과는 로봇공학 분야 국제학술지 《IEEE Robotics and Automation Letters》에 2026년 2월 13일 온라인으로 게재됐다.

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 Robotics and Automation Letters (RA-L) [로봇분야 JCR상위 24 %]
- 논문명 : A Robotic Emulator for User-Driven Design of Multi-DOF Transradial Protheses
- 저자 정보 : Souvik Poddar (제1저자, 뉴욕주립대 버팔로), Eleonora M. Botta (공저자, 뉴욕주립대 버팔로), Deanna H. Gates (공저자, 미시간대학교), 강지연 (교신저자, GIST)