

## 착용형 근력증강 기술 동향

Trends in Wearable Assistive Robotics Technology

이동우 (D.W. Lee, hermes@etri.re.kr)	웨어러블컴퓨팅연구실 책임연구원
정준영 (J.Y. Jung, joonyoung@etri.re.kr)	웨어러블컴퓨팅연구실 연구원
김배선 (B.S. Kim, bskim72@etri.re.kr)	웨어러블컴퓨팅연구실 선임연구원
손용기 (Y.K. Son, handcourage@etri.re.kr)	웨어러블컴퓨팅연구실 책임연구원
신형철 (H.C. Shin, shin@etri.re.kr)	웨어러블컴퓨팅연구실 책임연구원/실장

\* 본 연구는 미래창조과학부의 2017 한국전자통신연구원개발지원사업으로 수행되었음[2017-0-00050, 신제기능의 이상이나 저하를 극복하기 위한 휴먼 청각 및 근력 증강 원천기술 개발].

최근 직물 또는 유연 재질을 활용하여 높은 착용 편의성을 가지면서 사용자의 움직임 방해하지 않도록 설계되어 활동성을 높인 근력보조 시스템의 연구 결과들이 발표되고 있다. 이러한 결과들은 특정 분야가 아닌 일반인 또는 고령자를 대상으로 한 일상생활용 근력보조 슈트 개발 연구에 활용할 수 있을 것으로 기대되면서, 근력보조 슈트에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 따라서 본고에서는 활용 분야별 근력증강 시스템의 개발 동향과 핵심 기술의 현황에 관하여 기술하고자 한다.



본 저작물은 공공누리 제4유형  
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

AI & Human Machine  
Interface

- I. 서론
- II. 근력증강 시스템
- III. 활용 분야별 근력증강  
시스템 기술 동향
- IV. 핵심 기술 동향
- V. 결론

## I. 서론

어린 시절 누구나 한 번쯤 영화 속에 나오는 600만 불의 사나이나 슈퍼맨과 같은 초인적인 힘을 가지고 싶은 꿈을 간직한 적이 있을 것이다. 이러한 꿈 실현을 위한 연구로 인간의 근력을 증강 시키는 다양한 연구가 오래 전부터 진행되어 오고 있다. 근력증강 기술이란 인간 본인이 가지고 있는 근력을 보조하거나 더 큰 힘을 낼 수 있도록 도와주는 기술이다. 선박을 건조하거나 항공기를 만드는 공장 현장에서 근로자가 무거운 물체를 나르거나, 전투현장에서 군인이 무거운 배낭을 메고 먼 거리를 이동하는 등의 일을 보조하여 생산성을 높이거나 전투력을 높이는 것을 생각해 볼 수 있다.

이러한 근력증강 시스템은 필요 시장인 산업, 군사, 재활 분야 등에 특화되어 시스템의 재질, 형태 및 구동 방식 등에 관한 연구 및 개발이 이루어지고 있다. 최근에는 딱딱한 재질이 아닌 직물 또는 유연 재질로 착용성과 사용자의 움직임 방해하지 않도록 설계되어 활동성을 높인 근력보조 시스템이 연구되면서 특수 분야가 아닌 일반인을 대상으로 일상생활에 근력보조 슈트를 사용할 수 있을 것으로 기대되어 관련 시장 및 기술에 관한 관심이 높아지고 있다.

본고에서는 근력증강 기술에 대해 전체 시스템과 핵심 요소 기술별로 현황을 분석하고 앞으로 나아갈 방향에 대해서 고찰하고자 한다.

## II. 근력증강 시스템

근력증강 시스템은 시스템을 이루는 재료와 구조 및 동작 방식에 따라 크게 단단한 외골격형(Rigid exoskeleton) 근력증강 시스템과 부드러운 슈트형(Soft exosuit) 근력증강 시스템으로 구분할 수 있다. 외골격형 시스템의 첫 등장은 1960년대 GE 연구소가 미 해군의 지원을 받아 개발한 Hardiman[1]이다. 680kg 무게의 Hardiman

은 그만큼의 무게를 들 수 있게 설계되었다. 외골격형 시스템은 곤충처럼 몸을 지탱하는 골격이 밖에 있다고 해서 붙은 이름이다. 연구 초기에는 딱딱하고 큰 힘을 낼 수 있는 외골격형 시스템의 개발이 주를 이루었으나, 최근에는 활동성이 강조된 소프트 슈트 형태의 시스템에 대한 연구가 진행되고 있으며, Harvard 대학교 Wyss 연구소의 C. Walsh 교수팀이 개발한 슈트형 시스템인 Soft ExoSuit[2]가 대표적이다. 이 시스템은 비대 부분에 장착된 모터를 이용하여 허벅지와 종아리를 거쳐 신발 뒤축으로 연결된 와이어를 보행 리듬에 맞추어 당겨줌으로써, 다리를 들어 올릴 때 적은 힘으로 다리를 움직일 수 있다.

〈표 1〉에는 두 종류의 근력증강 시스템에 대한 기술적 특성과 장단점을 비교하였다. 외골격형 근력증강 시스템의 장점은 단단한 알루미늄이나 플라스틱의 프레임 을 통하여 구동기의 회전력을 그대로 신체 관절에 전달 하기에 용이하다는 것이다. 또한, 신체의 외부에 위치하여 시스템 자체의 무게와 가반하중을 대신 지탱할 수 있다. 그러나 신체에 비해 크고 무거운 시스템이 비대(Bulky)해질 수 있으며 소재의 큰 관성(Inertia)이 시스템의 요구 출력을 높여 전력소비가 높아지는 단점이 있다. 반면, 슈트형 근력증강 시스템의 경우 시스템을 구성하는 소재가 직물 및 와이어 등으로 구성되기 때문에 가볍고, 착용성이 우수하다는 장점이 있다. 하지만 현재 까지 개발된 직물 형태의 구동기는 구동기 자체의 출력이 낮을 뿐만 아니라 구동기의 동력을 직선 운동만으로

〈표 1〉 외골격형 vs. 슈트형 근력증강 시스템 비교

특징	외골격형 근력증강 시스템	슈트형 근력증강 시스템
소재	알루미늄, 플라스틱 등	직물, 인공근육, 와이어, 공압튜브 등
무게 및 부피	무겁고 큼	가볍고 작음
최대 출력	근력의 1~10배	근력의 0~0.1배
관절구조 배치	단순함	복잡함
탈부착 용이성	어려움	간편함
주요 용도/응용	근력증강	근력보조

신체에 전달 할 수 있으며, 그 직선운동을 회전운동으로 변환하는 과정에서 동력 전달 효율이 떨어지는 단점이 있다. 더불어 외골격형 근력증강 시스템과는 달리 외부 하중을 시스템이 지탱해줄 수 없기에 무거운 무게를 들기에는 한계가 있다. 이러한 한계와 단점에도 불구하고 슈트형 근력증강 시스템이 각광받는 이유는 단순히 인간의 근력을 보조하는 것이 아니라 근력을 사용할 타이밍, 정확도, 자세를 통틀어 보조하며 부드럽고 유연하고, 높은 적응성과 안전성으로 인간과의 상호작용에 유리하기 때문이다. 특히, 의복 형태로 구현할 수 있다는 점에서 일상 복장의 안쪽에 위치할 수 있고 착용자 스스로 입고 벗기 편리하므로, 차세대 착용형 근력증강 시스템 기술로 주목받고 있다.

앞서 살펴본 내용을 정리해보면, 근력증강 시스템의 핵심 기술로는 동력을 잘 전달하고 경량화를 위한 관절 구조 배치 및 경량화 설계 기술, 구동 방식에 따른 동력을 생성할 액추에이터 기술, 사용자의 동작을 방해하지 않고 제어하기 위한 사용자 움직임 및 의도 파악(동작감

〈표 2〉 근력증강 시스템의 핵심 기술

분류	기술명
설계	관절구조 배치 및 경량화 기술
구동	액추에이터 기술
제어	위치/힘 제어 알고리즘 기술
센싱	사용자 움직임 및 의도 파악 기술

지) 기술, 파악된 의도를 이용하여 위치/힘을 제어하기 위한 제어 기술이라고 할 수 있다(〈표 2〉 참조).

두 근력증강 시스템은 각기 다른 구동 방식 및 소재에 의해 큰 차이점을 가지며 그에 따라 적용되는 분야도 다르다. 따라서 III장에서는 이 두 근력증강 시스템 각각의 구동방식과 소재에 대한 자세한 설명과 기술 적용 분야 및 개발 현황을 소개하고, IV장에서는 핵심 기술인 액추에이터 기술 및 사용자 움직임 및 의도 파악 기술에 대해서 동향을 살펴보고자 한다.

### III. 활용 분야별 근력증강 시스템 기술 동향

앞 장에서 언급한 바와 같이 근력증강 시스템은 대표적으로 군사용, 산업용, 재활 및 트레이닝용 시스템으로

〈표 3〉 활용 분야 별 근력증강 시스템의 대표 기술현황 요약[3]

활용분야	군사용/산업용				
국가	미국	프랑스	대한민국	미국	미국
명칭	HULC	HERCULE	HEXAR	Soft Exosuit	Robo-Glove
근력 증강 방식	외골격형	외골격형	외골격형	슈트형	슈트형
착용부위	전신	전신	하지	하지	손
가벼움	90kg	90kg	40kg	-	-
이동속도	16km/h	16km/h	6.5km/h	4.5km/h	-
구동기	유압	유압	전기	전기	공압
동력원	배터리	배터리	배터리	배터리	배터리
활용분야	재활 및 트레이닝용				
국가	미국	일본	이스라엘	대한민국	일본
명칭	e-Legs	HAL	ReWalk	ExoGlove-Poly	Sixpad
근력 증강 방식	외골격형	외골격형	외골격형	슈트형	슈트형
착용부위	하지	전신	하지	손	전신
가벼움	20kg	23kg	18kg	194g	49g
이동속도	3.2km/h	-	3km/h	-	-
구동기	전기	전기	전기	전기	전기
동력원	배터리	배터리	배터리	배터리	배터리

[출처] 장재호 외, 기계저널, 제56권 제2호, 2016, 2, pp. 42-46.

활용되고 있다. 본 장에서는 각 활용 분야별로 외골격형 근력증강 시스템과 슈트형 근력증강 시스템의 역할 및 기술 동향을 소개하고자 한다[〈표 3〉 참조].

### 1. 외골격형 근력증강 시스템

(그림 1)과 같은 외골격형 근력증강 시스템은 주로 단단한 고체 소재로 구성된 시스템에 전기모터 혹은 유압모터를 통해 생성되는 강한 출력을 활용한다. 특히 외골격형 근력증강 시스템은 알루미늄 혹은 플라스틱의 소재를 통해 시스템 자체의 무게와 가반하중을 지면으로 분산시킬 수 있으므로 착용자 근력의 크기를 향상시키는 데에는 적합하나 무거운 무게로 인해 기동성이 떨어지는 단점이 있다.

이러한 특징을 활용한 군사 목적의 외골격형 시스템은 착용자, 즉 군인이 극복할 수 있는 군장의 무게를 향상시켜 주거나 상당한 무게의 포탄과 무기를 운반할 수 있도록 도와주는 형태로 개발되어왔다. 군사 목적으로 유의미한 결과를 도출한 외골격형 근력증강 시스템 중에서는 UC Berkeley 대학교의 착용형 로봇 연구 권위자인 H. Kazerooni 교수팀에서 개발된 BLEEX(Berkely



(그림 1) 외골격형 근력증강 시스템

[출처] Flickr, "Wei-Chieh Chiu," CC BY-SA 2.0.  
<https://www.flickr.com/photos/gameimp/3754940>

lower extremity exoskeleton)[4]가 시초라고 할 수 있다. 2000년에 시작된 미국방부 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)의 지원으로 개발된 시스템인 BLEEX의 연구 결과는 Ekso Bionics의 창업으로 이어졌고 그 후 2009년에는 HULC(Human universal load carrier)[5]를 개발하였다. 유압모터 구동방식을 사용하는 HULC는 착용자 기준 앞/뒤 모두 가반하중을 지탱하면서 최대 8시간 운용이 가능하고 최근에는 이 시스템의 성능을 극대화하여 시험하는 조건으로 Lockheed Martin에서 인수한 이력이 있다. HULC의 성공사례 이후, 각기 다른 나라에서도 해당 국가의 국방부 지원으로 군사목적 착용형 로봇의 개발이 활발히 진행되었다. 2011년 개발된 RB3D의 Hercule[6]은 프랑스 국방부와 DGA(Directorate General Armaments)의 지원으로 개발된 로봇으로 약 100kg의 가반하중을 극복할 수 있으며 최대 약 5시간 동안 최대 시속 8km의 보행 속도로 20km를 보행할 수 있다고 밝혀진 바 있다. 더불어 HULC와 동일한 유압모터 구동방식을 사용하는 Raytheon의 Sarcos XOS[7] 또한 DARPA의 군사용 착용로봇 프로젝트로부터 지원을 받아 개발되었으며 독자적인 기술로 인해 95kg 하중의 무게가 착용자에게 17분의 1만큼만 부가되도록 하는 것이 특징이다.

산업 환경에서 외골격형 근력증강 시스템이 활용되는 경우도 군사목적의 경우와 유사하다. 근무 특성상 공사 및 산업 현장에서 고중량의 화물을 운반해야 하는 경우가 많은 산업 환경에서 근로자가 극복할 수 있는 최대 하중을 증가시켜주는 형태로 외골격형 근력증강 시스템이 활용되고 있다. 이와 같은 개념의 외골격형 근력증강 시스템은 앞서 설명한 Hardiman과 같은 초기 아이디어에서 꾸준히 개발되어 왔으며 최근에는 국내의 현대자동차와 대우조선해양에서 착용자가 고중량 화물을 운반할 수 있게 도와주는 산업로봇을 개발했다고 발표했다. 2016년에 공개된 현대자동차의 근력증강 시스템[8]

의 경우 50kg의 화물을 들고 있는 채로 6km/h의 속도로 평지, 계단, 경사면을 보행할 수 있으며 좀 더 앞선 2013년 유사한 시스템을 개발했던 대우조선해양의 근력증강 시스템[9]의 경우는 최근 수중 로봇도 개발 중이라고 밝혔다. 또한, 이와는 다른 방식이지만 2015년 Honda는 고중량 화물이 아닌 착용자의 체중을 극복하기 위한 근력증강 시스템인 WAD(Walking assist device)를 개발한 바 있다[10]. WAD는 3kg의 가벼운 무게로 높낮이가 조절 가능하며 고관절만 보조하는 모델과 하반신 전체를 보조하는 모델이 개발된 상태이다.

재활 및 트레이닝 분야의 외골격형 근력증강 시스템은 운동능력이 부족하거나 상실된 환자의 운동을 보조하거나 대체해 주는 형태로 다양하게 개발되고 있다. 이 중 가장 활발한 분야로는 노인을 위한 보조 로봇과 하지 완전마비 장애인을 위한 보행보조 로봇이 대표적이다. 2012년 처음으로 완성형 시스템을 공개한 Cyberdyne의 HAL(Hybrid assistive limb)[11]은 근육을 움직이기 위해 뇌가 전달하는 전기신호를 피부에서 센싱하여 로봇을 제어하는 기술로, 중추신경계 손상에 의해 운동 기능을 상실한 환자에게 재활 목적으로 사용되고 있다. 이는 기존의 재활 로봇 시스템에 비해 상당 부분 단순해진 형태로, 일상 생활 중에 사용이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 2013년 공개된 Argo Medical Technologies의 Rewalk[12]은 중증 하지장애인용 직립 및 보행 보조 로봇으로 최근 개최된 재활로봇 세계경진대회인 Cybathlon 2016에 참가하여 하지보행보조로봇 대회인 Powered Exoskeleton Race 부문에서 1위를 기록한 바 있다.

## 2. 슈트형 근력증강 시스템

(그림 2)에서 볼 수 있듯이 슈트형 근력증강 시스템은 외골격형 근력증강 시스템과는 다르게 부드러운 소재로 구성된 시스템이다. 기존 외골격형 근력증강 시스템의 단점인 무거운 무게에 의한 낮은 기동성을 개선하기 위



(그림 2) 슈트형 근력증강 시스템

[출처] Flickr, U.S. Army RDECOM, CC BY 2.0.  
<https://www.flickr.com/photos/rdecom/15425609411>

해 가벼우면서 신체의 움직임을 방해하지 않는 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다. 가장 중요한 연구분야로는 무거운 전기모터나 유압모터를 대체할 수 있는 가벼운 동력원의 개발이 있다. 그러나 현재까지는 전기/유압모터의 높은 출력과 정밀성을 대체하면서 유연하고 경량화까지 얻을 수 있는 동력원을 개발하지는 못하고 있다. 그렇기에 동력원은 비교적 가벼운 기존의 전기모터로 사용되되, 그 외의 동력전달 매커니즘 및 골격을 유연하면서 가볍게 개발한 형태의 근력증강 시스템이 여러 분야에서 연구되고 있으며, 대체 동력원에 대한 원천 연구 또한 활발히 이뤄지고 있다.

군사 분야에 활용되는 슈트형 근력증강 시스템은 가볍고 착용자의 동작을 방해하지 않으면서 동력을 전달하여 근지구력을 향상시켜주기 위한 형태로 개발되어왔다. 2014년 이전부터 외골격형 근력증강 시스템뿐만 아니라 자체적으로 슈트형 근지구력 증강 시스템을 개발 중이던 DARPA는, Harvard 대학교와 협업하여 2016년 군인들의 근지구력을 향상시켜주기 위한 슈트형 근력증강 시스템인 Soft ExoSuit을 개발하였다. 이 시스템은 와이어를 통해 전기모터의 동력을 실제 인체의 힘줄

이 골격과 맞닿는 부분에 전달하는 케이블(Cable-driven) 구동방식을 활용한다. 특히 이 시스템은 유연하게 동력을 전달함과 동시에 착용자의 움직임 또한 유연한 소프트 센서를 통해 측정하는 것이 특징이다.

산업 분야에 적용되는 슈트형 근력증강 시스템은 외골격형 근력증강 시스템과 유사하게 착용자의 근력을 향상시키면서 경량화 및 착용 편의성을 극대화한 시스템이 주류를 이루고 있다. 슈트형 근력증강 시스템 중 산업 환경에 적용된 초기의 시스템은 2006년 Panasonic에서 개발한 Realive[13]와 같은 형태였다. 착용자의 양팔 중 한쪽 팔의 동작을 다른 한쪽 팔이 따라 하는 Master-Slave 매커니즘을 활용한 Realive는 비접촉 위치 측정 센서를 통해 센싱한 동작을 공압모터 기반의 8개의 인공 근육이 동력을 전달하는 시스템으로 Panasonic의 전자산업시스템에 적용된 바 있다고 한다. 이와 같이 근로자의 상지 전체를 증강시키는 시스템이 초기 아이디어였다면, 최근에는 손의 악력을 증강시키는 근력증강 시스템이 개발되고 있다. 2016년 GM과 NASA에서 개발한 Robo-Glove[14]는 장갑 형태의 악력증강 시스템으로 건설현장 및 조립 라인 근로자에 적용할 목적으로 개발되었다. 이는 공압모터 기반의 동력 시스템을 통해 착용자의 움직임을 방해하지 않으면서 근력을 보조할 수 있도록 인체공학적으로 설계된 시스템이다.

슈트형 근력증강 시스템은 외골격형과는 다르게 시스템 자체의 무게의 분산이 불가능하여 그 무게를 모두 착용자가 부담할 수밖에 없다. 그렇기에 재활 및 트레이닝 분야에 적용되는 슈트형 근력증강 시스템에서는 다른 분야보다 경량화가 필수적이다. 최근 2016년에 서울대학교 조규진 교수팀에서 개발한 Exo-Glove Poly[15]는 불편한 상지 운동에 의해 여러 생활이 제약되는 뇌졸중 환자를 위한 상지 운동 보조 시스템이다. 기존의 시스템의 단점을 상당부분 개선했다는 점에서 세간의 이목을

끌었다. 기존의 장갑 형태의 보조 시스템의 단점으로 지적되던 위생적 문제, 활용성, 가격, 착용성 등을 상당 부분 개선한 Exo-Glove Poly는 상용화를 앞두고 있다고 밝힌 바 있다. 반면, 경량화를 극대화하기 위해 기존의 방식과 상당부분 다른 형태의 슈트형 근력증강 시스템도 있다. 이는 전극 부착 슈트형 근력증강 시스템으로 기존의 근력증강 시스템과 같이 외부의 동력원을 통해 신체를 보조하는 형태의 시스템이 아니라 신체 자체의 운동성을 증강시키기 위해 전기적으로 근육을 자극하는 시스템이다. 최초의 시스템은 Sigmedics의 Parastep [16]이 대표적이다. 척수가 손상되어 하지의 운동능력을 완전히 상실한 SCI(Spinal cord injury) 환자를 대상으로 전기로 근육을 자극하여 인위적으로 근수축을 발생시켜 근력을 증강시켜 일어서고 걷는 동작을 수행할 수 있도록 보조하였다. 하지만 전기적 자극을 통한 근수축 매커니즘의 근본적인 한계인 근피로 문제를 극복하지 못해 현재는 연구가 많이 고착된 상태이다. 하여 최근에는 이러한 한계를 피해 적용될 수 있는 EMS(Electrical muscle stimulation) 트레이닝 장비와 같이 전극을 근육에 부착하여 쉬고 있는 동안에도 근육의 주기적인 수축을 유발함으로써 헬스 운동을 한 것과 같은 효과를 주는 시스템이 개발되고 있다[17].

그러나 무엇보다 최근에 슈트형 근력증강 시스템이 재활 및 트레이닝 분야에서 더욱 각광받는 이유는 EAP(Electro-active polymer)와 TRP(Temperature-responsive polymer) 등의 신소재 개발로 인해 구동부 간소화 연구가 활발해졌기 때문이다. 더불어 사회 인구의 빠른 고령화로 인한 실버산업 개발의 수요가 급증함에 따라 노인을 목적으로 한 슈트형 근력증강 시스템이 새로운 미래기술로서 자리 잡고 있다. (그림 3)에서 볼 수 있듯이 최근 Superflex에서 개발한 Aura power clothing[18]은 전기활성고분자인 EAP 기술을 적용한 노인의 일상생활 보조용 슈트형 근력증강 시스템이다.



(그림 3) Aura Power Clothing

[출처] Flickr, 'The Aura Powered Suit' by Yves Béhar, Fuseproject and Superflex, Design Museum, CC BY-SA 2.0.

EAP 기술을 통해 근육의 운동을 모방한 전기활성 인공 근육을 개발한 Superflex는 디자인적인 측면 또한 고려하기 위해 산업 디자이너와 협업하여 2017년에 시작품을 발표하였으며, 2018년 중순까지 상용화를 목표로 하고 있다고 한다.

#### IV. 핵심 기술 동향

본 장에서는 근력증강 시스템의 핵심기술인 액추에이터 기술과 사용자 움직임 및 의도 파악 기술에 대해서 살펴본다.

##### 1. 액추에이터 기술

외골격형 근력증강 시스템에 사용된 액추에이터 기술은 기존의 기계 및 로봇 공학 분야의 기술을 그대로 적용하거나 일부 변경 및 개선을 거쳐서 적용되기 때문에 크게 다르지 않다. [19]에는 로봇에 사용되는 PMDC (Permanent Magnet DC) 모터, BLDC(Brushless DC) 모터, 스테핑 모터, 초음파 모터와 공압식 인공근육을 이용한 액추에이터 부품의 동작 원리 및 기술 동향을 정리하고 있다.

슈트형 근력증강 시스템에서는 유연한 액추에이터에 대한 요구사항으로 인공근육을 많이 사용하며, 그 소재로는 탄소나노튜브, 복합체 나일론, EAP, TRP, 공압 튜브 등을 활용하고 있다. 한양대학교 김선정 교수와 국제공동연구팀은 최근 고분자 섬유와 탄소나노튜브의 하이브리드형 인공근육 개발내용을 사이언스 학술지에 발표하였다[20]. 이 인공근육은 굽힘, 수축, 이완 비틀림까지 가능하며 일반적인 내연엔진의 질량당 전력밀도보다 4배 높은 4.2kW/kg의 수축성 전력밀도를 갖는다고 한다. 또한, 디즈니 리서치는 나일론 소재인 SCP (Super-coiled polymer)에 전류를 흘려보내면 열 발생과 함께 코일처럼 말리면서 수축되는 성질과 차가워지면 늘어나는 성질을 이용한 TRP 기반의 인공근육 로봇팔을 제작하였으며[21], SRI International은 전기 신호가 인가될 시 특정 강성을 형성하면서 수축 및 이완 운동을 하는 EAP 기반의 인공 근육을 개발한 바 있다 [22]. 더불어 공압 튜브를 활용한 인공근육의 개발 예로는 서울대학교 박용래 교수팀의 공압 인공근육이 최대 103kPa의 공압력과 25%의 수축률을 갖는다고 밝혀진 바 있다[23].

하지만 앞서 나열한 인공근육들은 비교적 큰 힘을 낼 수 있으나, 수축 대비 이완 반응속도가 느리고 정밀한 제어가 어렵다는 공통된 단점으로 인해 아직까지는 근력증강 시스템에 적용되기 쉽지 않다. 또한, 공압 튜브의 경우 수축과 이완의 반응 속도가 다른 인공근육과 비교하여 상대적으로 빠르나 이 시스템 역시 정밀제어가 어렵고, 특히 압축 공기를 생성할 수 있는 공기압축장치 등의 부수적인 장비가 필요하다는 단점이 있다.

##### 2. 사용자 움직임 및 의도 파악 기술

근력증강 시스템이 기존의 로봇 기술에서 많은 부분을 활용하고 있지만, 기존 시스템과 가장 큰 차이점은 사람이 로봇을 입고 사용하기 때문에 사람과 로봇이 일

〈표 4〉 동작의도 파악을 위해 사용되는 비침습식 방법[24]

Human system	Physiological phenomena		Signal	Sensor		Transduction principle	S:Skin contact N: No contact
Controller	Brain activity	Electric current	EEG	Electrode		-	S
			MEG	MEG machine		Induction	N
Actuator	Muscle activation	Electric current	EMG	Electrode		-	S
	Muscle contraction	Dimensional change	MK	Encoder		Photoelectric	S
		Radial force /stiffness	MT/MK	FSR		Resistive	S
				Piezoelectric transducer		Piezoelectric	S
Plant	Movement	Body segment movement	Body segment movement	IMU		Piezoelectric	S
		Relative joint movement	Joint rotations	Goniometer	Potentiometer	Resistive	S
					Bending sensor	Resistive	S
					Encoder	Photoelectric	S/N
	Force/Pressure		Deformation	Force/Torque sensor(Strain gauge)		Resistive	N
		Pressure sensor(FSR)		Resistive	S		

\* EEG: Electroencephalogram, MEG: Magnetoencephalography, MK: Myokinetic, MT: Myotonic

[출처] J. Lobo-Part et al., *J. NeuroEng. Rehabilitation*, vol. 11, 2014, pp. 1-22, CC BY.

제화되어 움직여야 한다는 점이다. 예를 들어, 휴머노이드 로봇에서는 로봇 주변 환경 및 상황을 파악하는 것이 중요했다면, 착용형 근력증강 시스템에서는 외골격이나 슈트를 입고 있는 사람의 움직임이나 의도를 파악하여 사용자가 다치지 않고 방해 받지 않으면서 보조받을 수 있도록 제어가 되어야 한다. 즉, 근력증강 시스템에서는 사용자가 관절을 움직이려고 하는지, 멈추려고 하는지, 힘을 더 쓰려고 하는지, 빼려고 하는지 등의 동작 의도를 감지하고, 사용자의 의도에 맞추어 액추에이터를 정밀하게 제어해야 한다.

〈표 4〉에는 [24]에서 분석한 능동적 동작보조 장치에서 동작 감지를 위해 사용되는 비침습 방식 중에서 근력증강 시스템에 사용 가능한 방식을 발췌하여 정리하였다. 사용자의 동작 의도를 파악하기 위해서 뇌활동, 근활성, 근수축, 신체 움직임, 신체 힘/압력 등의 생리현상을 사용할 수 있음을 보여 주고 있다. [25]에서는 하지 근력보조를 위한 외골격형 시스템에서 사용자의 보행주기를 판단하기 위해 신발 또는 인솔에 On/Off 스위치, FSR(Force-sensitive resistor) 센서, IMU(Inertial

measurement unit) 센서, 공압 튜브를 이용한 압력 감지 센서 등을 사용한 예와 방법들이 잘 분석되어 있다. 또한 앞서 설명한 바와 같이 HAL은 착용자의 피부에 장착된 EMG(Electromyogram) 센서를 통해 생체 전위 신호를 측정하여 사용자의 동작의도를 파악하고, 장착자의 움직임을 보조하듯이 외골격형 시스템이 동작하도록 설계되었고, 한양대의 HEXAR(Hanyang exoskeletal assistive robot)[26]는 근육의 변화를 측정하는 MCRS(Muscle circumference sensor) 센서를 이용하여 근 둘레의 변화 측정으로 사용자의 동작 의도를 파악하여, 외골격형 시스템의 모터를 제어하고 동작을 보조한다. 마찬가지로 앞서 소개된 Soft ExoSuit는 옷 위에 장착 가능한 신축 유연한 실리콘에 주입된 액체금속을 이용하여 스트레인 게이지형 소프트 센서를 개발하였고, 관절의 움직임에 따른 센서의 저항변화를 이용하여 사용자의 움직임을 센싱하고 사용자의 보행주기에 맞추어 시스템을 제어하도록 하였다. 이와 같이 다양한 센서를 이용하여 사용자 움직임 및 의도를 파악하려는 노력에 비하여 현재의 기술 수준은 아직 사용자를 만족시키지



못하고 있는 상황이다.

## V. 결론

본고에서는 근력증강 시스템의 형태 및 적용 분야에 따른 연구 동향과 핵심 기술에 대한 연구 동향을 살펴보았다. 근력을 증강하고자 하는 인간의 욕구는 그 필요 분야의 요구에 맞게 기능과 성능을 개선하면서 발전하고 있으며, 웨어러블 기술의 발전과 함께 착용성을 개선하고자 하는 요구를 반영한 연구들이 최근 연구 동향임을 확인할 수 있었다.

이러한 근력증강 시스템이 최근 더욱 각광을 받을 것으로 예상되는 것은 인간의 수명이 길어짐에 따라 인구의 고령화 시대가 도래하게 되었고, 고령자들이 사회 참여 및 기본적인 생활권 보장을 위한 이동 불편 사항을 해결하기 위해 이러한 근력증강 시스템의 기술이 사용될 수 있을 것으로 보이기 때문이다.

그러나 이러한 근력증강 시스템이 고령자를 대상으로 한 근력 보조 수단으로 활용되기 위해서는 아직 해결해야 할 많은 과제가 남아있다. 무엇보다도 근력이 약한 고령자를 대상으로 할 경우 시스템의 무게와 부피를 줄이는 것이 큰 과제일 것으로 예상되며, 혼자서도 쉽게 입고 벗을 수 있어야 하며, 고령자라 하더라도 여러 사람의 시선을 고려했을 때 사용자가 수용 가능한 디자인과 동작 소음 등이 고려가 되어야 할 것이다. 또한, 기능적으로 낙상을 감지하고 부상 방지나 보행 지원과 같은 기능도 부가적으로 개발되어야 할 것이다.

## 약어 정리

BLDC	Brushless DC
BLEEX	Berkeley Lower Extremity Exoskeleton
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DGA	Directorate General Armaments
EAP	Electro-Active Polymer
EEG	Electroencephalogram

EMG	Electromyogram
EMS	Electrical Muscle Stimulation
FSR	Force-sensitive resistor
HAL	Hybrid Assistive Limb
HEXAR	Hanyang Exoskeletal Assistive Robot
HULC	Human Universal Load Carrier
IMU	Inertial Measurement Unit
MCRS	Muscle Circumference Sensor
MEG	Magnetoencephalography
MK	Myokinetic
MT	Myotonic
PMDC	Permanent Magnet DC
SCI	Spinal Cord Injury
SCP	Super-Coiled Polymer
TRP	Temperature-Responsive Polymer
WAD	Walking Assist Device

### 용어해설

**가벼운 무게** 로봇이 들어 올릴 수 있는 무게

**소프트 웨어러블 로봇(Soft Wearable Robot)** 의복형태로 착용되어 인간의 움직임을 보조하는 로봇으로 단순히 인간의 근력을 보조하는 것이 아니라 근력을 사용할 타이밍, 정확도, 자세를 통틀어 보조하며 부드럽고 유연하며(soft, flexible), 높은 적응성과 안전성으로 인간과의 상호작용에 유리하여, 차세대 착용형 로봇 기술

## 참고문헌

- [1] M. Keller, "Do You Even Lift, Bro? Hardiman was GE's Muscular Take on the Human-Machine Interface," GE Reports, Aug. 25, 2016. <http://www.gereports.com/do-you-even-lift-bro-hardiman-and-the-human-machine-interface/>
- [2] A.T. Asbeck et al., "Stronger, Smarter, Softer: Next-Generation Wearable Robots," *IEEE Robotics Automation Mag.*, vol. 21, no. 4, Dec. 2014, pp. 22-33.
- [3] 장재호 외, "착용형 로봇(wearable robot)의 기술 현황," 기계저널, 제56권 제2호, 2016. 2, pp. 42-46.
- [4] R. Steger, S.H. Kim, and H. Kazerooni, "Control Scheme and Networked Control Architecture for the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)," *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automation*, Orlando, FL, USA, May 15-19, 2006, pp. 3469-3476.
- [5] HULC, Accessed 2017. <http://www.lockheedmartin.com/>

- products/hulc/index.html
- [6] Hercule, Accessed 2017. <http://www.rb3d.com/en/exo/>
- [7] S. Karlin, "Raytheon Sarcos's Exoskeleton Nears Production," Sarcos XOS, July 29, 2011. <http://spectrum.ieee.org/at-work/innovation/raytheon-sarcos-exoskeleton-nears-production>
- [8] 현대자동차그룹, "자동차 회사가 로봇을 개발하는 이유는? 현대자동차그룹의 로봇 개발 이야기," HMG Journal, 2016. 9. <http://www.hmgjournal.com/Tech/Reissue-robots-development.blg>
- [9] 윤산영 "대우조선해양 '아이언맨' 만든다," SBS CNBC, 2013. 4. 1. <http://sbscnbc.sbs.co.kr/read.jsp?pmArticleId=10000550698>
- [10] WAD, Accessed 2017. <http://world.honda.com/Walking-Assist/>
- [11] T. Hayashi, H. Kawamoto, and Y. Sankai, "Control Method of Robot Suit HAL Working as Operator's Muscle Using Biological and Dynamical Information," *IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, Edmonton, Canada, Aug. 2-6, 2005, pp. 3063-3068.
- [12] M. Talaty, A. Esquenazi, and J.E. Briceno, "Differentiating Ability in Users of the ReWalk Powered Exoskeleton: An Analysis of Walking Kinematics," *IEEE Int. Conf. Rehabilitation Robotics*, Seattle, WA, USA, June 24-26, 2013, pp. 1-5.
- [13] A. Kadota, "Panasonic Develops REALIVE Power Assist Device," Panasonic News, Sept. 25, 2006. <http://news.panasonic.com/global/press/data/en060925-6/en060925-6.html>
- [14] Robo-Glove, Accessed 2017. <https://technology.nasa.gov/patent/MSC-TOPS-37>
- [15] H. In et al., "Exo-Glove: A Wearable Robot for the Hand with a Soft Tendon Routing System," *IEEE Robotics Automation Mag.*, vol. 22, no. 1, Mar. 2015, pp. 97-105.
- [16] Parastep, Accessed 2017. <http://www.sigmedics.com/>
- [17] MTG Sixpad, Accessed 2017. <https://www.sixpad.jp/en/index.html>
- [18] Aura Powered Clothing, Accessed 2017. <http://www.superflextech.com/>
- [19] 김혜진, 윤호섭, "지능형 로봇 부품 기술 동향," 전자통신동향분석, 제22권 제2호, 2007. 4, pp. 58-69.
- [20] M.D. Lima et al., "Electrically, Chemically, and Photonically Powered Torsional and Tensile Actuation of Hybrid Carbon Nanotube Yarn Muscles," *Sci.*, vol. 338, no. 6109, Nov. 2012, pp. 928-932.
- [21] M. Yip and G. Niemeyer, "High-Performance Robotic Muscles from Conductive Nylon Sewing Thread," *IEEE Int. Conf. Robotics Automation*, Seattle, WA, USA, May 26-30, 2015, pp. 2313-2318.
- [22] Electroactive Polymer Artificial Muscle, Accessed 2017. <https://www.sri.com/engage/products-solutions/epam>
- [23] Y. Park et al., "Soft Wearable Robotic Device for Active Knee Motions Using Flat Pneumatic Artificial Muscles," *IEEE Int. Conf. Robotics Automation*, Hong Kong, China, May 31-June 7, 2014, pp. 4805-4810.
- [24] J. Lobo-Part et al., "Non-invasive Control Interfaces for Intention Detection in Active Movement-Assistive Devices," *J. NeuroEng. Rehabilitation*, vol. 11, 2014, pp. 1-22.
- [25] D.H. Lim et al., "Development of Insole Sensor System and Gait Phase Detection Algorithm for Lower Extremity Exoskeleton," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, vol. 32, no. 12, 2015, pp. 1065-1072.
- [26] W. Kim et al., "Mechanical Design of the Hanyang Exoskeleton Assistive Robot(HEXAR)," *Int. Conf. Contr. Automation Syst.*, Seoul, Rep. of Korea, Oct. 22-25, 2014, pp. 479-484.