

유압식 근력지원 외골격 로봇 개발

장재호*
*한국생산기술연구원
e-mail:jaeho@kitech.re.kr

Hydraulic Exoskeletal Robot for Assisting Muscle Power

Jae-Ho Jang*
*Dept of Applied Robot Technology, KITECH

요 약

본 논문에서는 인간의 근력을 보조 또는 증폭시켜 줄 수 있는 유압 구동식 외골격 로봇을 개발하였다. 인간 신체 데이터와 보행 분석 데이터를 기반으로 로봇의 외골격을 설계 하였으며, 이를 구동하기 위한 알고리즘, 제어기 H/W 등을 개발하였다. 근력지원 외골격 로봇을 설계 제작하여, 실제 실험을 통해 설계, 제어 등 로봇의 현장 적용 가능성 등을 판단할 수 있는 플랫폼을 가질 수 있었다.

1. 서론

최근 인간의 근력을 보조/증폭 시켜 보행에 도움을 줄 수 있는 외골격 타입의 근력지원 로봇이 국내외적으로 활발히 연구되고 있다. 근력지원 로봇은 많은 분야에서 활용 가능하다. 노약자 또는 장애인들을 위한 보행 보조 및 재활의 목적으로, 정상인들을 위한 근력 증폭 목적으로 사용되어 질 수 있다. 재활을 목적으로 하는 근력지원 로봇은 작은 가반하중에 빠른 보행이 필요하기 때문에 주로 모터 등을 액추에이터로 사용하여 설계 되어진다. 하지만, 근력 증폭의 목적으로 쓰이는 외골격 로봇은 사람이 내는 힘을 매우 큰 힘으로 증폭해야 하므로 모터보다는 주로 유압 액추에이터를 이용하여 설계한다.

국외에서 개발된 근력 지원 로봇은 U. C. 버클리의 BLEEX와 SARCOS 사의 XOS, 그리고 일본 츠크바 대학에서 개발한 HAL이 대표적이다 [1]. BLEEX는 유압 리니어 액추에이터를 사용하였으며, 자체 동력으로 독립보행 할 수 있는 것이 가장 큰 특징이다 [2]. SARCOS 사의 XOS는 유압 회전형 액추에이터를 사용하였으며 단 3개의 접촉점(양 발과 허리 부분)을 이용하여 착용자의 의도를 파악하여 제어하는 것이 특징이다 [1]. 츠크바 대학의 HAL은 모터를 사용하였으며 EMG 센서를 이용하여 근육 신호를 바탕으로 착용자의 의도를 파악해 동작한다 [3].

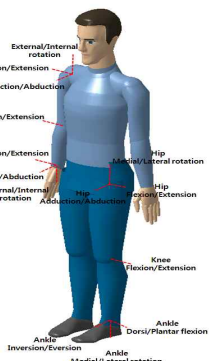
본 연구에서는 인간의 근력지원을 위한 외골격 로봇의 기구, 제어기, 알고리즘 등을 개발하여 실제 구현하였다.

2. 외골격 설계

본 연구의 목적에 부합한 근력지원 외골격 로봇을 설계 및 제작하기 위해서는 인간의 보행을 운동역학 관점에서 분석할 필요가 있다 [1]. 만약, 사람이 보행을 하는데 사용하는 힘보다 근력지원 로봇이 낼 수 있는 힘이 적다면 사람에게 부하로 작용될 것이 분명하기 때문이다. 본 연구에서는 한국인 18-40세 10명의 정상인이 1.1m/s의 속도로 보행을 할 때, 4개 자유도(Hip Adduction/Abduction, Hip Flexion/Extension, Knee Flexion/Extension, Ankle Flexion/Extension)에 대한 관절 동작 범위와 관절 토크를 분석하였다. 70 kg의 보행자가 1.1 m/s의 속도로 보행하고 있을 때 각 관절에서 걸리는 최대 각속도 및 최대 관절 토크를 표 1에 나타내었다.

정의된 동작 패턴에서 ROM을 만족하며 특히, 관절 토크는 요구되는 토크 보다 최소 1.5배에서 최대 2.5배까지 여유를 두어 설계 되었다. 이는 외골격 로봇이 정의된 동작패턴 이외에도 외관과 같은 예상치 못한 동작이 일어났을 때 버틸 수 있도록 설계되었음을 의미 한다.

외골격 로봇 구동을 위하여 유압 장치의 필요 유량 및 동력을 산출 하였다. 모든 관절의 각속도가 최대 5 rad/s로 동작한다고 가정 했을 때 최대 필요 유량은 약 38.2 lpm이며, 동력은 약 6.5 kW가 요구 된다. 그림 2를 통해 외골격 로봇의 ROM 및 각도별 관절 토크 데이터를 확인할 수 있다.

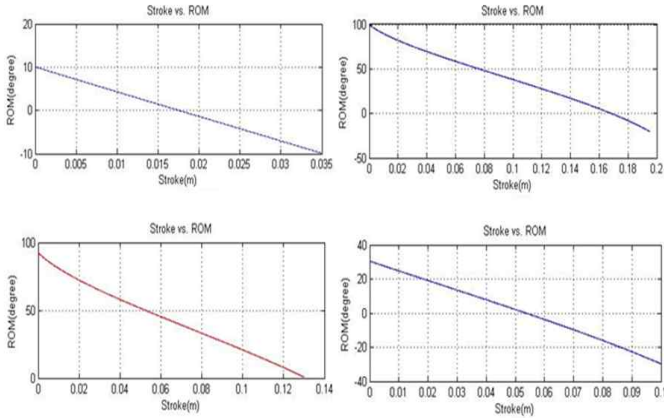


[그림 1] 인체 자유도 및 인체 분절 동특성

Segment/Group	Unit: deg				
	Male		Female		
	mean	S.D	mean	S.D	
Thigh	Age(7-13)	3.99	1.78	3.52	1.19
	Age(14-19)	6.1	1.36	5.99	0.89
	Age(20-29)	6.89	1.41	5.52	1.12
	Age(30-39)	6.45	1.18	6.22	1.29
	Age(40 -)	6.42	1.19	5.73	1.09
Shank	Age(7-13)	1.65	0.44	1.42	0.54
	Age(14-19)	2.87	0.44	2.39	0.22
	Age(20-29)	2.9	0.65	2.44	0.47
	Age(30-39)	2.61	0.48	2.33	0.49
	Age(40 -)	3.05	0.92	2.11	0.47
Foot	Age(7-13)	0.75	0.18	0.65	0.13
	Age(14-19)	0.86	0.11	0.79	0.08
	Age(20-29)	1.01	0.13	0.74	0.16
	Age(30-39)	1.05	0.14	0.76	0.12
	Age(40 -)	0.84	0.09	0.78	0.16
Upperarm	Age(7-13)	0.84	0.23	0.74	0.32
	Age(14-19)	1.56	0.39	1.17	0.21
	Age(20-29)	1.87	0.43	1.27	0.38
	Age(30-39)	1.61	0.38	1.29	0.38
	Age(40 -)	1.47	0.34	1.11	0.29
Forearm	Age(7-13)	0.57	0.16	0.43	0.12
	Age(14-19)	0.83	0.12	0.74	0.1
	Age(20-29)	1.03	0.14	0.66	0.11
	Age(30-39)	0.99	0.17	0.76	0.12
	Age(40 -)	1.01	0.12	0.76	0.12
Hand	Age(7-13)	0.25	0.05	0.19	0.05
	Age(14-19)	0.4	0.06	0.33	0.04
	Age(20-29)	0.42	0.05	0.29	0.05
	Age(30-39)	0.43	0.04	0.31	0.05
	Age(40 -)	0.43	0.05	0.35	0.06

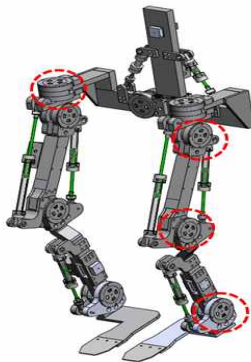
[표 1] Key parameters in gait analysis

Condition	Weight	70 kg
	Walking Velocity	1.1 m/s
	Max. Joint Velocity	5 rad/s
Key Parameters	Max. Hip Ab/Ad Joint Torque	70 Nm
	Max. Hip Fl/Ex Joint Torque	90 Nm
	Max. Knee Fl/Ex Joint Torque	35 Nm
	Max. Ankle Fl/Ex Joint Torque	105 Nm



[그림 2] 근력지원 외골격 로봇의 ROM 및 관절 토크 데이터

인간 보행 분석을 통해 도출한 기구학적 제한조건을 이용하여 하지 근력지원을 위한 외골격 형태의 외골격 로봇을 설계하였다. 총 6자유도의 하지 외골격이며, 유압 액추에이터를 이용한 관절 구조로 그림 3과 같이 설계하였다.



[그림 3] 근력지원 외골격 로봇 설계

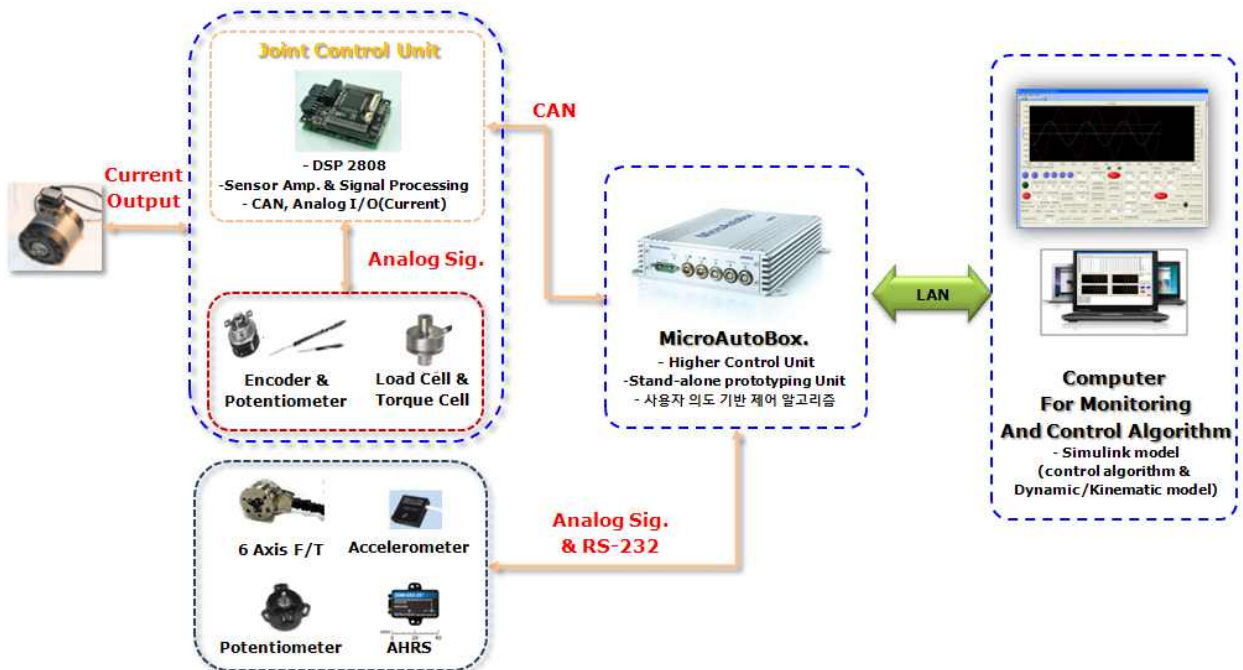
3. 제어기 설계

근력지원 외골격 로봇의 유압 액추에이터를 제어하기 위한 관절 제어가 요구되며, 이러한 유압 액추에이터 제어는 PID, 비선형제어기와 같은 유압서보 액추에이터 제어 알고리즘을 적용하여 1kHz의 제어 루프를 구현이 가능한 고성능 프로세서가 탑재되어야 하며 서보 제어시스템 구현시 필요로 되는 센서 앰프와 유량 제어를 위한 서보밸브 앰프 등이 내장되어야 한다.

본 연구에서 설계한 관절 제어기는 유압 서보시스템의 비선형성을 고려한 고급제어 알고리즘 및 센서 신호의 노이즈 필터링을 위한 디지털 필터의 구현을 위해 고성능 dSPACE사의 MicroAutoBox를 사용하였으며, CAN, RS232C와 같은 통신을 지원하여 네트워크 기반의 분산제어시스템 구축이 가능하도록 설계하였다.

그림 4는 서보제어기의 구성도를 나타낸다.

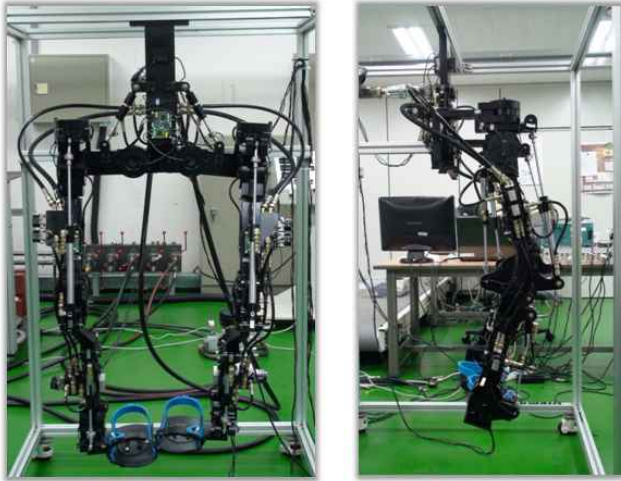
상위제어기와 하위제어기 간의 네트워크를 CAN통신으로 구축하였다. 상위제어기에서 해당 제어 모드에서 생성한 관절 각도 데이터를 하위 제어기(LCU, Local Control Unit)로 보내면, 하위제어기가 유압서보밸브를 제어해 액추에이터를 구동한다.



[그림 4] 근력지원 외골격 로봇 제어기 구조

4. 시제품 제작

아래 그림 5은 근력지원 외골격 로봇 하지 시제품이다. 외골격 메커니즘, 인간과 로봇의 자연스러운 결합을 위한 바인딩장치, 알고리즘 적용을 위한 상위 컨트롤러, 고속 소형 컨트롤러, 동기 신호 취득용 센서 시스템, 고기능 액추에이터, 유압 시스템 등으로 구성되어 있다.



[그림 5] 근력지원 외골격 로봇 시제품

5. 시제품 제작

본 연구에서는 고 중량물은 신고 보행하기 위한 유압식 근력 지원 외골격 로봇의 외골격 기구, 유압 장치, 실시간 제어를 위한 제어기 및 제어 알고리즘을 설계 및 제작하였다. 이를 위하여 인간의 보행 분석 데이터를 분석하여 기구 및 제어의 목표 성능을 도출하였으며, 이를 구현하기 위한 제어기 H/W 및 통신 등을 설계하였다.

참고문헌

- [1] Aeron M. Dollar, Hugh Herr, "Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art," IEEE Transaction on Robotics, Vol. 24, no. 1, pp. 144-158, February 2008.
- [2] H. Kazerooni, Jean-Luis Racine, Lihua Huang and Ryan Steger, "On the Control of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, pp. 4345-4352, Apr. 2005.
- [3] Lee S., Sankai Y., "Power Assist Control for Working Aid with HAL-3 Based on EMG and Impedance Adjustment around Knee Joint," in Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS 2002), EPFL, Switzerland, pp.