

보행 보조 웨어러블 시스템 설계

최성대^{*,#}, 이상훈^{**}

^{*}금오공과대학교 기계시스템공학과, ^{**}가야대학교 방사선학과

Design of Assistive Wearable System for Walking

Seong-Dae Choi^{*,#}, Sang-Hun Lee^{**}

^{*}Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology,

^{**}Department of Radiological Science, Kaya University

(Received 17 November 2019; received in revised form 2 December 2019; accepted 8 December 2019)

ABSTRACT

With the recent acceleration of industrial technologies and active research, wearable robot technologies have been applied to various fields. To study the utility of wearable robots, basic research on kinetic mechanisms of the human body, bio-signal analysis, and system control are essential. In this study, we investigated the basic structure of a wearable system and the operating principles of a driving mechanism. The control system and supporting structure, which comprise the driving mechanism, were designed and manufactured. Motion and load analyses were performed simultaneously for the design of the kinematic drive, and the driving mechanism was constructed by analyzing walking motion. The operating conditions of the cylinder were verified by stride via driving experiments. Further, the accuracy and responsiveness of the system were confirmed by comparison with actual motion, and the system safety was validated by applying loads.

Key Words : Hydraulic Cylinder(유압 실린더), Supporting Structure(지지 구조체), BLDC Motor(BLDC 모터), Servo Valve(서보 밸브)

1. 서 론

최근 웨어러블 로봇의 기술은 산업기술의 가속으로 인해 여러 분야에 적용되어 발전하고 있다. 웨어러블 로봇은 근골격 보조로봇이라고 총칭하며 사용특징에 따라 다양한 명칭으로 불리고 있으며, 이는 사용자가 입거나 장착하여 어떠한 동작을 수행해 나아가도록 착용자의 의도를 파악하여 로봇이 힘을 보조하거나 강화 또는 지지하는 역할을 수행

해가는 로봇을 말한다.

이러한 기술을 이용하여 근력 강화 로봇, 보행 보조 로봇, 재활 보조 로봇, 장애 혹은 신체 마비 등 인체의 불편함을 보조하는 로봇이 개발되어 있으며 최근 VR과 연동한 실감구현장치, 위험한 일을 대신 작업하기 위한 로봇 원격장치 등으로 적용되어 개발되고 있다. 본 연구에서는 하지 보행 보조 웨어러블 시스템의 기본 시스템 구조에 유압 실린더가 적용된 시스템의 설계 및 지지 구조체의 기구적, 구조적 해석을 통한 근 골격 보조 시스템을 설계하였다.

Corresponding Author : sdchoi@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7396, Fax: +82-54-478-7319

2. 보행 보조 시스템 설계

2.1 지지 구조체 및 구동 시스템 선정

보행 보조 웨어러블 시스템은 Fig. 1에 보인바와 같이 기본구조를 가지고 있다. 외부 골격을 담당하며 착용자의 관절 한계각을 제한하며 지지하는 지지 구조체와 착용자의 동작 의도를 감지하는 센서에서 신호를 받아 제어하는 제어부, 제어부로부터 신호를 받아 구동하는 구동장치로 구성되어 있다.

보행 보조 구동장치 로봇은 기본적으로 인간의 관절이 움직이는 각으로 움직여야 한다. 다리는 인간과 비슷한 7자유도를 가지고 있어야 한다. Fig. 2는 인간의 관절이 움직이는 각각의 조인트와 자유도를 나타낸 것이다. 큰 골격 보조시스템은 구동장치에 따라 쓰임새가 다르게 되는데 유압을 이용한 구동 방법이나 전기 액추에이터를 이용한 구동방법에 따라 구조 형태가 달라진다. 전기 구동 장치는 모터를 이용한 구동 장치로 주로 전기 공급이 수월한 산업용 로봇에 많이 사용되어지며, 유압 구동 장치는 하나의 펌프로 다수의 구동기를 구동 시켜 주로 큰 출력을 요구하는 보행 보조 시스템에 사용되고 있다.[1]

본 연구에서는 유압 실린더를 적용한 하지 지지 구조체를 선정하여 설계하였으며 Fig. 3은 구조체 형상을 나타내었다.

제어부는 유압밸브와 유압펌프, 유압탱크 제어 보드를 등 뒤에 위치하는 구조로 설계하였으며 기

구부 구동을 위한 액추에이터로 유압 실린더 2개를 이용하여 구동할 수 있도록 설계를 진행하였다. 발바닥이 바닥에 닿아 발을 지지할 수 있도록 지지 구조체 설계를 진행하였으며 재료는 비교적 구하기 쉬운 알루미늄 합금 Al6061-6T와 Al6063을 이용하여 모델링을 진행하였다.[2]

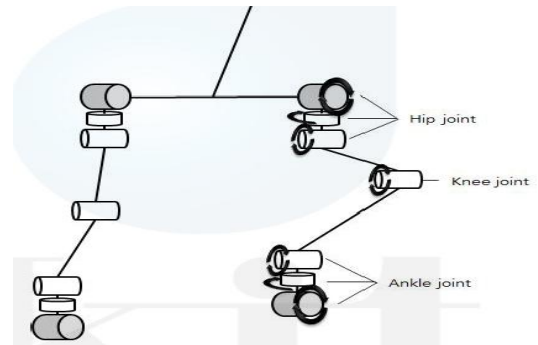


Fig. 2 Human skeletal drive mechanism

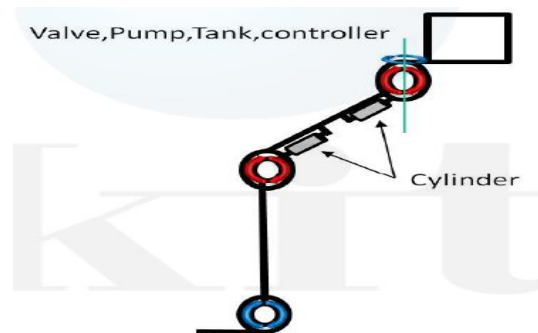


Fig. 3 Schematic shape structure

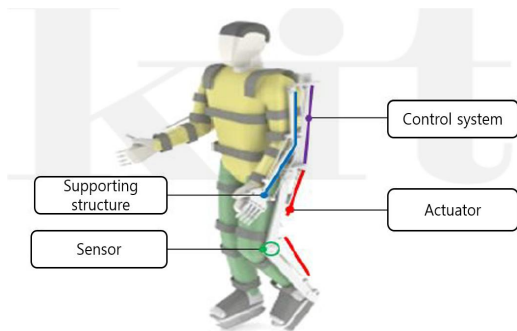


Fig. 1 Strength strengthening wearable system structure

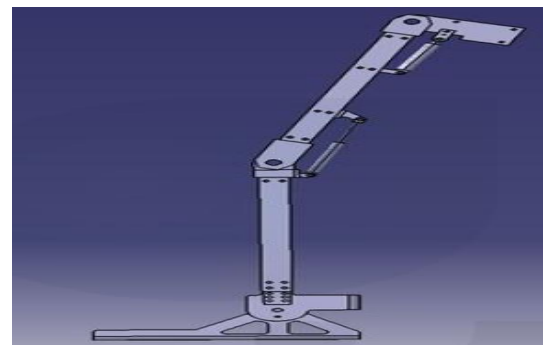


Fig. 4 Structural modeling

2.2 제어 구동을 위한 유압 시스템 설계

유압 구동 시스템의 기본 메커니즘은 Fig. 5와 같이 유압 액추에이터를 이용하여 각 관절의 각을 구동하며 등 뒤의 백팩에 제어부와 배터리, 펌프, 탱크를 장착하여 유압 액추에이터를 구동하며 센서로 피드백 하여 로봇을 구동하는 메커니즘으로 구성된다. Fig. 6에서 보듯이 모터가 회전축을 통하여 유압 시스템의 펌프에 입력에너지를 공급하고 펌프는 유체의 압력과 속도를 증가시킴으로 기계적 에너지를 유압에너지로 변환한다. 이 유체는 유압회로를 통하여 작동기로 흘러들어가고 유압회로는 밸브와 다른 제어부품을 포함한 관로로 구성되어 유압 시스템의 압력과 유량을 제어하며 작동기는 유체의 유압에너지를 다시 출력축을 통해 기계적 에너지로 바꾼다.^[3]

유압 시스템은 무릎 관절과 대퇴부 관절에 들어갈 2개의 실린더와 전기에너지를 유압에너지로 변환할 유압 펌프 그리고 유량을 제어할 서보 밸브를 포함한 시스템 구조로 Table 1과 Table 2는 유압 실린더의 사양으로 Ø10의 무릎 관절 실린더와 Ø13의 대퇴부 관절 실린더 이고 유압실린더 모델링의 단면은 Fig. 7과 같다.

펌프는 구조가 간단하고 무게가 가벼운 장점을 가진 Hydro-Tek사의 GH05A 기어펌프를 선정하였다. 밸브는 SMC사의 SYA 5320-01의 3위치 Closed center형 밸브를 사용하였으며 밸브의 제어는 서보를 통해 제어 할 수 있는 밸브를 사용하였다.

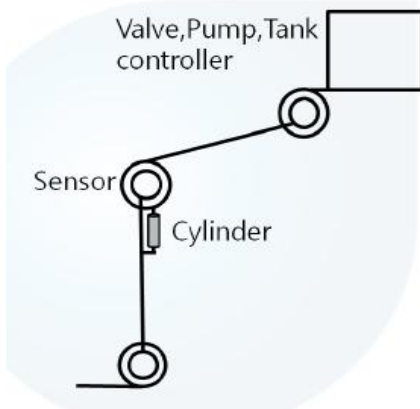


Fig. 5 Hydraulic drive system mechanism

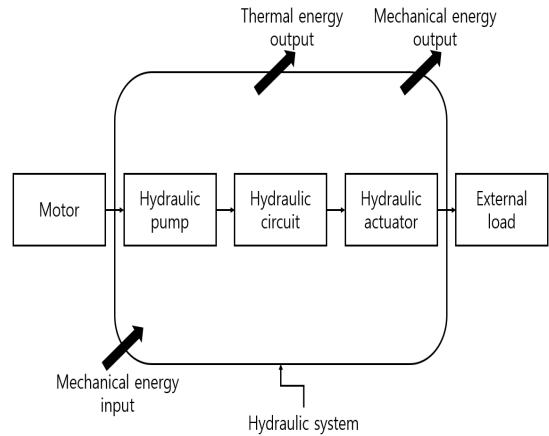


Fig. 6 Block diagram of hydraulic system

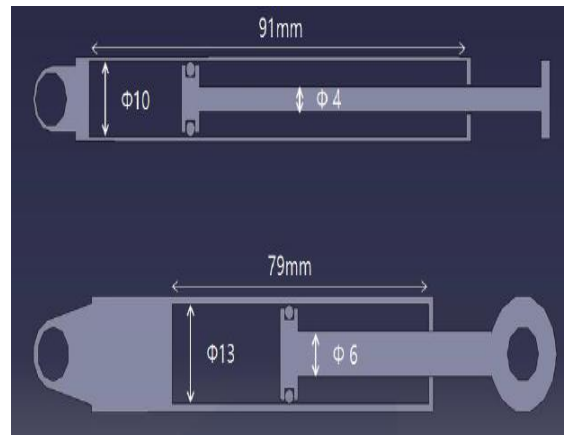


Fig. 7 Cylinder modeling section

Table 1 Knee cylinder specification

Knee cylinder	
Piston/Bore Diameter	10mm
Rod Diameter	4mm
Stroke	68mm
Pressure	0.7 MPa
Oli Flow	0.32lpm
Bore side Area	0.78cm ²
Bore side Volume	5.34cm ³
Bore side Force	5.61kgf
Rod side Area	0.65cm ²
Rod side Volume	4.48cm ³
Rod side Force	4.71kgf

Table 2 Hip cylinder specification

Hip cylinder	
Piston/Bore Diameter	13mm
Rod Diameter	6mm
Stroke	54mm
Pressure	0.7MPa
Oli Flow	0.43lpm
Bore side Area	1.32cm ²
Bore side Volume	7.17cm ³
Bore side Force	9.47kgf
Rod side Area	1.04cm ²
Rod side Volume	5.64cm ³
Rod side Force	7.46kgf

2.3 제어시스템 설계

구동 메커니즘을 위한 요소로는 제어 보드와 펌프의 BLDC 모터, 밸브 개폐를 위한 서보가 있다. 제어보드는 관절을 구동할 실린더를 제어해줄 서보 2개와 펌프를 제어 할 수 있는 아두이노 우노 R3를 이용하여 구동 메커니즘을 구성하였다. Fig. 8은 아두이노 우노 R3 보드와 서보, BLDC모터를 연결하여 fritzing 프로그램으로 작성한 브레드보드 뷰이다.

서보 밸브의 서보는 corona사의 DS538MG를 사용하였으며 Table 3은 서보모터의 사양이고 펌프의 BLDC모터는 Hobby King사의 NTM Prop Drive Series 42-48 650Kv를 사용하였으며 Table 4는 BLDC모터의 사양이다. 제어부 제작은 백팩 착용 목적이 아닌 실험을 준비하기 위해서 따로 제작하여 Fig. 9처럼 구성하였으며 서보의 제어 전력을 보완하기 위해 건전지를 추가로 장착하였다.^[4]

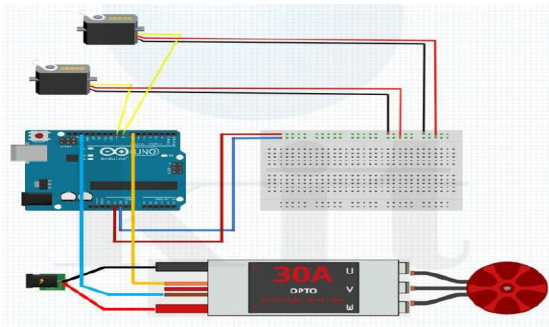


Fig. 8 Breadboard view

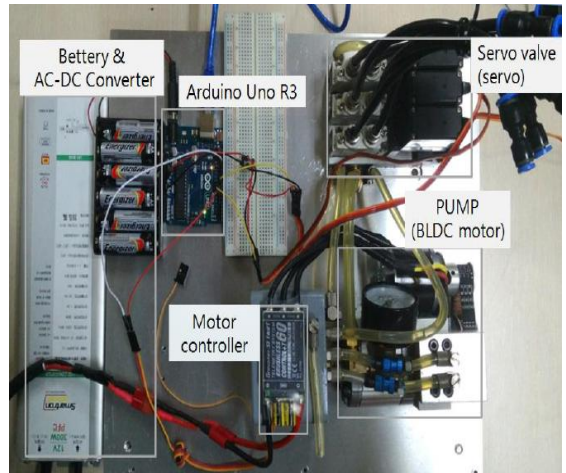


Fig. 9 The control unit

Table 3 Servo motor specification

Operating Voltage(V)	4.8 / 6.0
Operating Current(mA)	300 / 400
Operating Speed	0.14sec60°/0.13sec60°
Stall Torque(kg·cm)	6.5 / 7
Size(mm)	20 x 40 x 38.5
Weight(g)	53

Table 4 BLDC motor specification

Kv(rpm/v)	650
Weight(g)	243
Max current(A)	70
Resistance(mh)	0
Max Voltage(V)	19
Power(W)	1295

3. 구동 프로그램 및 설계결과

3.1 구동 Program

웨어러블 로봇을 구동하기 위해 다음과 같은 Fig. 10 플로우차트를 작성하여 C언어를 이용 변위 값을 주어 서보를 제어하며 보행 모션을 구동할 수 있도록 제어 구문을 작성하였다.^[5]

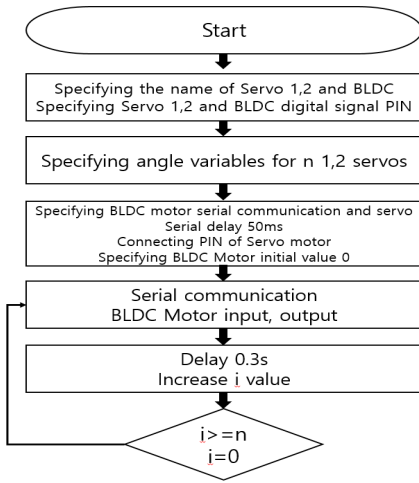


Fig. 10 Flowchart of control program

3.2 보폭별 실린더의 동작 상태

보폭별로 실린더의 동작 상태를 알아보기 위해 직접 보폭을 촬영한 후 프레임을 나누어 각도를 직접 측정 하였다.

Fig. 11는 보폭 30cm 보행 모션을 직접 촬영하여 각도를 측정한 것이다. Fig. 12은 보폭 30cm^{[6][7]} 보행 모션 시 대퇴부 실린더의 위치를 그래프로 나타낸 것이고 Fig. 13는 같은 조건의 무릎 실린더 위치를 그래프로 나타낸 것이다. 같은 방법으로 50cm 보행 모션을 진행하였고 Fig. 14는 보폭 50cm 보행 모션 시 대퇴부 실린더 위치를 나타내고 Fig. 15은 같은 조건의 무릎 실린더의 위치를 나타낸다.

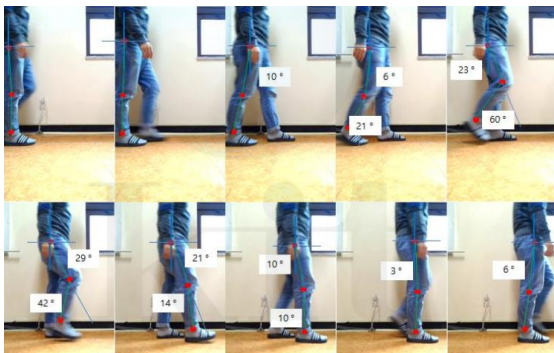


Fig. 11 Stride 30cm joint angle

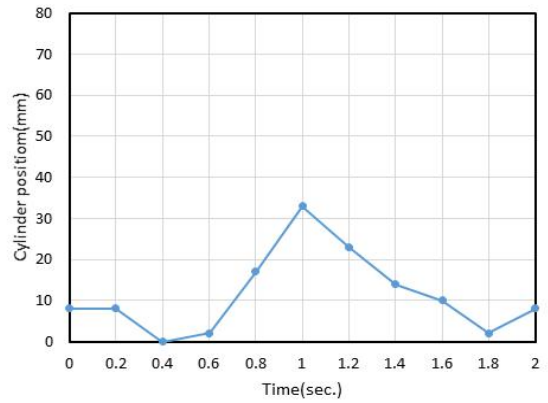


Fig. 12 Stride 30cm hip cylinder position

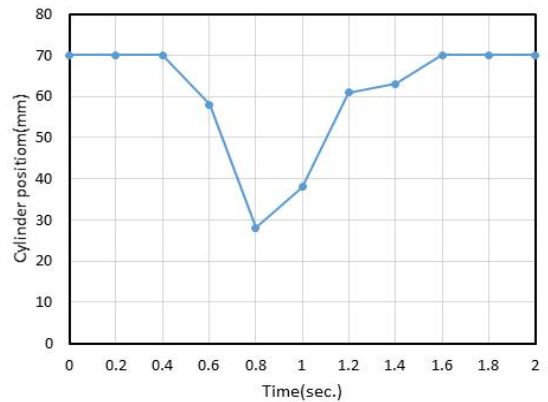


Fig. 13 Stride 30cm knee cylinder position

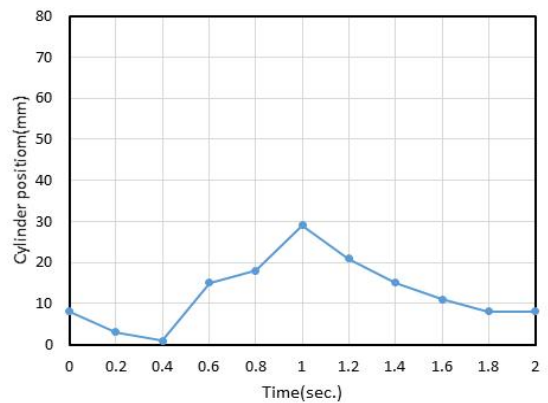


Fig. 14 Stride 50cm hip cylinder position

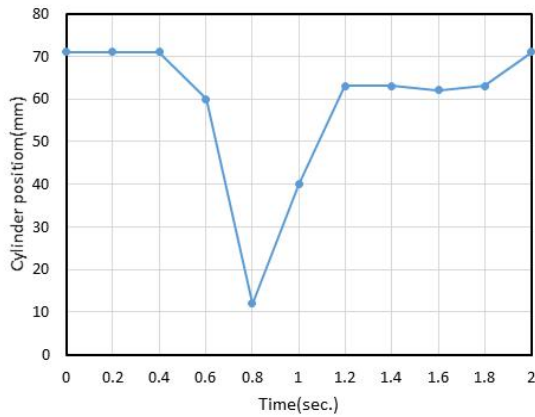


Fig. 15 Stride 50cm knee cylinder position

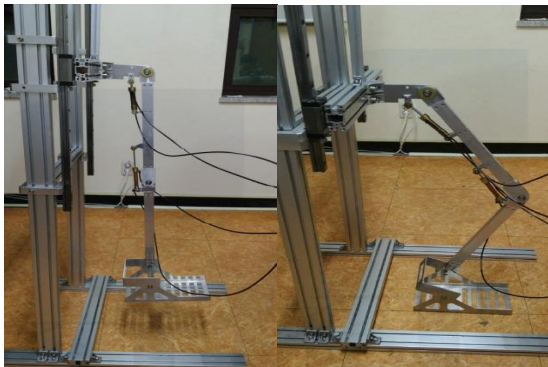


Fig. 16 Design results of wearable system

3.3 설계 결과

Fig. 16과 같이 LM가이드를 설치하여 웨어러블 시스템이 아래와 위로 움직일 수 있도록 보조실험장비를 제작하여 웨어러블 시스템을 장착하였다. 또한, 각 모션별로 동작이 가능한 것인지를 확인하였으며, 무게를 지지할 수 있는 능력도 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 다양한 방면에서 개발되고 있는 웨어러블 장치에 소형 유압장치를 이용하여 보행을 보조하는 웨어러블 시스템을 설계를 실시하였으며,

특히 모션해석과 대퇴부의 각도 등 여러 가지 파라메타를 고려하여 설계하였으며 직접 지지부와 구동부를 나누어 설계하였다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비 (과제번호 2017-104-113) 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Kim, W. S., Lee, S. H., Lee, H. D., Yu, S. N., Han, J. S. and Han, C. S., "Development of Force Assistive Wearable Robot for the Under Limb", Proceeding of KSPE 2008 Spring Conference, pp.17-18, 2008.
2. Go, B. W., Song, W. G., Lee, H. Y., Lee, H. J. and Sin, J. H., "Analysis of the Real-Time Gait Pattern Monitoring while Training in Lower-Extremity Exoskeleton Robot", Proceeding of KSPE 2015 Spring Conference, p.1113, 2015.
3. Hwang, S. H., Lee, S. C., Shin, D. B., Kim, B. S., and Han, C. S., "Determination of the Gait Stability of the Lower-Limb Exoskeleton Robot Through the Stability Circle", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 36, No. 6, pp. 537-542, 2019.
4. Review: Corona DS 538MG servo(2019). https://www.rcmodelreviews.com/ds538mg_review.shtml (accessed 10, Aug., 2019)
5. Huh, K. M., Lee, E. O., and Cho, Y. J, "The Development of Automatic Design Software for DC Motor Servo Controller", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 6, No. 10, pp. 888-893, 2000.