

로봇 슈트 설계를 위한 인간 동작 분석

Human Motion Analysis for Design of Robot Suit

*이종원¹, 김호곤², 원대희², 손용희², 장재호²

*J. W. Lee¹(jongwonia@ust.ac.kr), H. G. Kim², D. H. Won², W. H. Shon², J. H. Jang²

¹ 과학기술연합대학원대학교 지능형로봇공학과, ² 한국생산기술연구원 로봇기술연구부

Key words : Exoskeleton, Robot Suit, Gait Analysis

1. Introduction

최근 인간의 근력을 보조/증폭 시켜줄 수 있는 로봇 슈트가 국내외적으로 활발히 연구되고 있다. 로봇 슈트는 목적에 따라 노약자와 장애인을 대상으로 보행 보조 및 재활 등을 목적으로 한 로봇과 정상인이 착용하여 근력 증폭을 목적으로 하는 로봇으로 나눌 수 있다. 이 중 근력 증폭을 위한 로봇으로는 대표적으로 DARPA의 EHPA(Exoskeletons for Human Performance Augmentation) 프로그램을 통해 개발된 Berkeley 대학의 BLEEX(Berkeley Lower Extremity EXoskeleton) [1-2], SARCOS사의 WEAR(Wearable Energetically Autonomous Robot)가 있으며 일본의 Tsukuba 대학의 HAL(Hybrid Assistive Leg) 시리즈, HONDA사의 Walking Assist Device가 있다. 그 외에도 미국 Michigan 대학의 RoboKnee [3], 싱가포르의 Nanyang 대학에서 개발된 LEE(Lower Extremity Exoskeleton) [4] 등이 있다. 국내에서 개발된 로봇은 한양대학교의 HEXAR가 대표적이다.

이러한 로봇 슈트는 인간이 착용하여 움직이므로 로봇이 인간의 모든 동작을 추종하지 못하면 착용자가 불편함을 느끼거나 부상을 당하게 된다. 그러므로 로봇 슈트를 설계하기 위해서는 인간의 다양한 동작을 생체역학 관점에서 이해하는 것이 상당히 중요하다 [5]. 기존의 개발된 로봇 슈트도 인간 동작 분석 데이터를 이용하지만 착용자의 시상면의 움직임만을 고려하여 설계되어 보행이 어색하거나 다른 동작이 제한이 되는 경우를 볼 수 있다. 본 연구에서는 하지 근력 증폭을 위한 로봇 슈트를 설계하기 위하여 한국인 대상으로 한 3차원 인간 보행 데이터를 분석하고 하지 로봇 슈트를 설계하기 위한 파라미터를 결정하였다.

2. Biomechanics of Human Walking

하지 근력을 증폭을 위한 로봇 슈트의 주된 목적은 적은 힘으로 무거운 짐을 들고 보행을 하는 것이다. 이 절에서는 하지 로봇 슈트를 설계하기 위한 파라미터를 결정하기 위해 기존의 연구된 건강한 한국 성인 남녀 98명을 대상으로 한 3차원 보행 실험 데이터를 분석하였다 [6].

Degrees of Freedom of Human

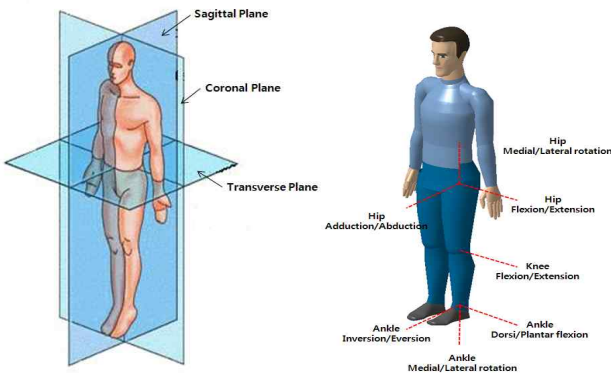


Fig. 1 Anatomical planes

Fig. 2 Degrees of freedom

Fig. 1 은 인간이 해부학적 자세로 서 있을 때 신체에 대한 3가지 기본적인 면들인 시상면(Sagittal plane), 전두면(Coronal

plane), 그리고 수평면(Transverse plane)을 보여주고 있다. 일반적으로, 사람의 다리는 크게 고관절(Hip), 슬관절(Knee), 족관절(Ankle)로 구성되어 있으며 근육의 상호작용으로 인하여 고관절 3개, 슬관절 1개, 족관절 3개의 자유도(DOF)를 갖고 있다 (Fig. 2). 그 중 고관절과 족관절의 내전/외전(Medial/Lateral rotation)의 회전축은 신체 내부에 위치한다.

Kinematic and Kinetic Data of Human

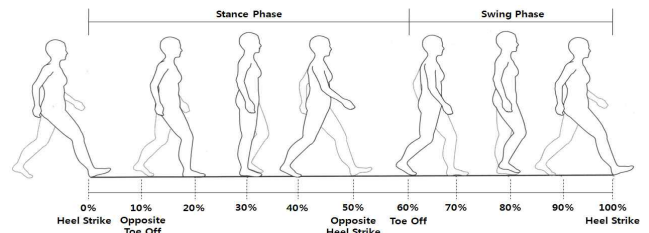


Fig. 3 Human walking gait over one cycle. Adapted from [7].

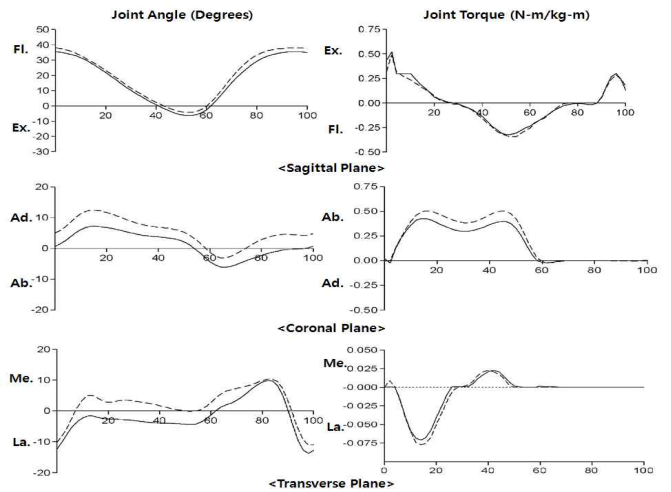


Fig. 4 kinematic and kinetic data of the hip joint over a gait cycle. Solid lines are for the males and broken lines are for the females. Adapted from [6].

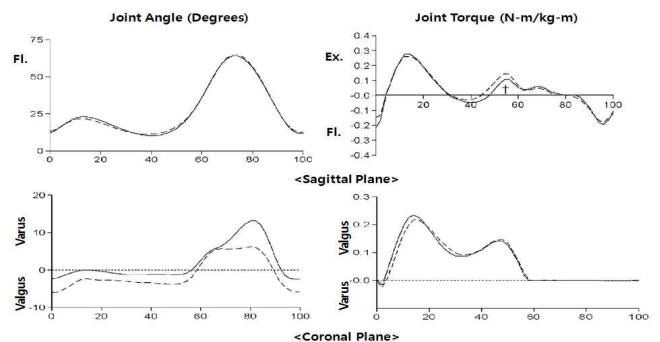


Fig. 5 kinematic and kinetic data of the knee joint over a gait cycle. Adapted from [6].

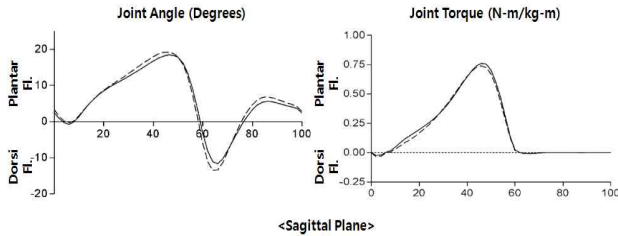


Fig. 6 kinematic and kinetic data of the ankle joint over a gait cycle. Adapted from [6].

Fig. 3 은 인간 보행 주기를 나타내고 있다. 인간 보행 주기는 약 60%의 입각기(Stance phase)와 약 40%의 유각기(Swing phase)로 나뉜다. 입각기는 한 다리로 몸무게를 지탱하는 단하지 지지기(Single-limb support)와 양하지 지지기(double-limb support)로 나눌 수 있다.

Fig. 4, 5, 6에서 보행 주기 동안 각 관절의 운동 범위와 토크의 변화를 그래프로 나타내었다. 인간 보행 시 고관절은 약 -5° 에서 40° 의 운동 범위를 가지며 뒤꿈치 접촉점(Heel strike)에서 최대 토크가 발생된다 (Fig. 4). 슬관절의 경우 약 10° 에서 60° 의 운동 범위를 가지며 단하지 지지기에 최대 토크가 발생된다 (Fig. 5). 족관절은 약 -15° 에서 20° 의 운동 범위를 가지고 있으며, 고관절, 슬관절과 달리 유각기 상태에서 저축굴곡(Plantar flexion)의 동작 시 토크는 거의 발생되지 않는다 (Fig. 6). 또한 대부분 시상면에서 관절 운동이 발생하지만, 전두면과 수평면에서도 인체의 균형을 잡기 위한 작은 운동이 발생됨을 알 수 있었다.

3. Design Parameters of Lower Extremity Robot Suit

Ranges of Motion(ROM) of Robot Suit

Table 1 Ranges of Motion of Robot Suit

Degrees of Freedom	ROM of Human Walking	Max. ROM of Robot Suit	Max. ROM of Human
Hip Flexion/Extension	$40^\circ / 5^\circ$	$115^\circ / 15^\circ$	$120^\circ / 20^\circ$
Hip Adduction/Abduction	$13^\circ / 8^\circ$	$20^\circ / 35^\circ$	$25^\circ / 40^\circ$
Hip Medial/Lateral Rotation		$115^\circ / 15^\circ$	$35^\circ / 45^\circ$
Knee Flexion/Extension	$10^\circ \sim 60^\circ / 0^\circ$	$135^\circ / 0^\circ$	$140^\circ / 5^\circ$
Ankle Dorsi./Plantar Flexion	$15^\circ / 20^\circ$	$30^\circ / 33^\circ$	$35^\circ / 38^\circ$
Ankle Inversion/Eversion		$15^\circ / 10^\circ$	$20.5^\circ / 15.2^\circ$
Ankle Medial/Lateral Rotation		Not available	$34.5^\circ / 38.2^\circ$

앞서 인간의 보행에 있어서 각 관절의 운동 범위를 알아보았다. 하지만 인간이 로봇 슈트를 입고 다양한 동작을 하기 위해서는 위의 관절 운동 범위로는 보행을 제외한 많은 동작에서 제한이 된다. 각 관절의 운동 범위는 착용자의 안전을 고려하여 인간 보행 데이터를 로봇 슈트의 최소 운동 범위, 인간의 평균 최대 운동 범위를 로봇 슈트의 최대 운동 범위로 하여 선정하였다. 특히 족관절의 내전/외전은 메커니즘을 단순화 하고 착용자의 안전성을 증대시키기 위하여 고관절의 내전/외전으로 대체 하였다 (Table 1). 이 때, 인간과 로봇의 회전축을 일치시키지 않으면 착용감을 감소시킬 수 있으므로 메커니즘 설계 시 고려하여야 한다 (Fig. 7).

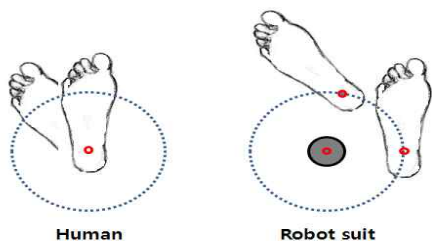


Fig. 7 Difference of rotation motion according to the position of medial/lateral joint of robot suit.

Active/Passive joints of Robot Suit

Table 2 Active/Passive Joints of Lower Extremity Robot Suit

Degrees of Freedom	Type
Hip Flexion/Extension	Active (Bi-directional)
Hip Adduction/Abduction	Active (Bi-directional)
Hip Medial/Lateral Rotation	Passive
Knee Flexion/Extension	Active (Bi-directional)
Ankle Dorsi./Plantar Flexion	Active (Directional)
Ankle Inversion/Eversion	Passive
Ankle Medial/Lateral Rotation	Not available

본 연구에서 개발하고자 하는 로봇 슈트는 유압을 동력원으로 사용한다. 유압은 밸브 내의 압력을 유지하는데 큰 동력을 필요로 하기 때문에 동력 소모를 최소화하기 위하여 각 관절의 액추에이터의 형태를 적절히 선택하는 것이 중요하다 [2]. 인간의 보행 중 각 관절에 걸리는 토크를 살펴보면, 고관절과 슬관절에서 굴곡(Flexion)/신전(Extension) 상태 모두 토크가 발생하는 것과는 달리 (Fig. 4-5), 족관절의 경우 저축굴곡 상태일 때만 토크가 걸리며 보행 주기의 60% 이후(유각기)는 토크가 거의 걸리지 않음을 알 수 있다 (Fig. 6). 그러므로 족관절의 경우 단동식 유압 실린더를 선정하여, 무게나 동력 소모 측면에서 이득을 얻을 수 있도록 하였다. 또한 보행 시 운동 범위와 토크가 크게 발생되지 않는 고관절의 내전/외전과 족관절의 내번(Inversion)/외번(Eversion)은 Passive Joint로 구성하여 착용감을 증대시키고 동력소모를 줄일 수 있도록 하였다.

4. Conclusion

본 연구에서는 기존의 연구된 한국인의 3차원 인간 보행 데이터를 분석하여 근력 증폭을 위한, 하지 로봇 슈트의 자유도, 관절 동작 범위 및 액추에이터 형태를 결정하였다. 하지만, 보행 데이터를 기반으로 하였기 때문에 더욱 다양한 동작을 구현하기 위해서는 착용자의 다양한 동작에 대한 데이터의 분석이 필요하다. 향후 실제 착용자의 다양한 동작 데이터를 수집 및 분석하고 이를 이용하여 로봇 슈트를 제작할 계획이다.

References

- Andrew Chu, H. Kazerooni, and Adam Zoss, "On the Biomimetic Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, pp. 4345-4352, Apr. 2005.
- Adam Zoss, H. Kazerooni, and Andrew Chu, "Biomechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)," IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, Vol.11, no.2, pp. 128-138, Apr. 2006.
- J. E. Pratt, B. T. Krupp, C. J. Morse, and S.H. Collins, "The RoboKnee: An exoskeleton for enhancing strength and endurance during walking," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, New Orleans, LA, pp. 2430-2435, 2004.
- K. H. Low, Xiaopeng Liu, and Haoyong Yu, "Development of NTU Wearable Exoskeleton System for Assistive Technologies," in Proc. IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Niagara Fall, Canada, pp. 1099-1106, July 2005.
- 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.
- S. H. Cho, J. M. Park, O. Y. Kwon, "Gender differences in three dimensional gait analysis data from 98 healthy Korean adults," Clinical Biomechanics 19 (2004). pp.145-152.
- Donald A. Neumann, "Kinesiology of the Musculoskeletal System-Foundation for Physical Rehabilitation," Published by Mosby.