근력증강을 위한 외골격 로봇 슈트의 메커니즘 설계

Mechanism Design of Robot Suit for Power Assistance

*#김효곤[1], 이종원[2], 장재호[1], 권오흥[1], 박상덕[1]
*#H. G. Kim(kimhg@kitech.re.kr)[1], J. W. LEE[2], J. H. Jang[1], O. H. Kwon[1], S. D. Park[1]
[1] 한국생산기술연구원, [2]과학기술연합대학원대학교

Key words : Robot Suit, Lower Extremity, DOF

1. 서론

인체의 잠재력을 확장하기 위해 인공장치를 이용하는 생체공학은 오랜 역사를 가지고 있다. 예를 들어 아라비아인에 의해 개발된 안경 역시 인공장치에 의한 인체 기능의 보완 혹은 확장이라고 할 수 있다. 현재 로봇기술의 발달과 함께 기계장치가 인체와 결합하는 로봇 슈트 연구가 진행되고 있다 [1].

로봇 슈트의 대표적인 연구로 미국 버클리 대학 기계공학과 H. Kazerooni 교수 팀이 로봇 슈트인 BLEEX(Berkeley Lower Extremity Exoskeleton)를 1990년도부터 지속적으로 연구하고 있다. 이 로봇은 군사용으로 개발되었고 8개의 선형 유압액추에이터를 사용하여 인간의 하지 힘을 증폭한다 [2-3]. SARCOS 사의 WEAR (Wearable Energetically Autonomous Robot) 역시 군사용으로 개발되었으며 6개의 회전형 유압액추에이터를 사용하여 인간의 하지 힘을 증폭한다. 일본의 로봇 전문 개발 회사 사이버다인의 로봇 슈트 HAL-5는 노인이나 장애인들이 걷거나 무거운 짐을 드는 것을 보조하기 위해 만들어졌다. 총 8개의 직류모터를 이용하여 상하지를 보조한다 [4].

사용자가 로봇 슈트를 입고 인간이 가능한 모든 동작을 구현하려면 로봇슈트는 인간이 가진 자유도 이상의 자유도를 가져야한다. 액추에이터가 인간의 몸 외부에 있어야 하기 때문에 설계에 많은 제약이 따르는데, 인간의 족관절(Ankle)과 고관절(Hip)은 각각 자유도가 3개이기 때문에 구현하기가 쉽지 않다.

HAL-5는 사용자의 족관절 운동을 보조하지 않고 슬관절과 고관절 운동의 굴곡(Flexion)과 신전(Extension)만을 액추에이터로 보조한다. WEAR는 고관절과 슬관절, 족관절의 굴곡과 신전을 액추에이터로 보조하고 족관절의 회전을 수동적으로 움직일 수 있게 하여 보행시 방향전환이 가능하나 안전상의 문제로 운용 범위를 작게 제한하여 방향전환이 자연스럽지 못하다. BLEEX는 족관절의 굴곡과 신전을 액추에이터로 보조하고 외전(Abduction)과 내전(Adduction)은 판스프링으로 보조하여 수동적으로 움직일 수 있으나 회전 운동 중심이 발목 관절과 일치하지 않고, 고관절의 내회전(Medial Rotation)과 외회전(Lateral Rotation)도 수동적으로 움직일 수 있으나 회전 운동 중심이 사용자의 고관절과 일치 하지 않아 사용자에게 부담을 준다.

본 연구에서는 기존에 개발된 로봇슈트에서 구현하지 못하거나 부자연스러웠던 족관절의 외전과 내전, 고관절의 내회전과 외회전을 자연스럽게 동작할 수 있는 로봇슈트를 개발 하는데 그 목적이 있다.

2. 인간의 관절 운동

인간의 다리는 크게 고관절(Hip)과 슬관절(Knee), 족관절(Ankle)로 구성되며, 자유도(DOF: Degrees of Freedom)는 각각 3개, 1개, 3개를 갖고 있다. 따라서 로봇 슈트의 자유도는 고관절 3개, 슬관절 1개로 선정하였고, 족관절은 내전과 외전을 고관절의 내전과 외전으로 대체 하여 자유도를 2개로 선정하였다.

로봇 슈트는 인간이 착용하여 사용자와 함께 움직이기 때문에 로봇 슈트가 사용자의 움직임을 추종하지 못하거나 간섭을 주면 사용자가 불편함을 느끼거나 부상을 입게 된다. 사용자의 움직임에 간섭을 주지 않으려면 로봇슈트의 센서, 관절을 잇는 링크, 프레임 등은 항상 사용자 몸의 외부에 위치해야 하고, 로봇의 운동범위는 사용자의 운동 범위를 포함해야 한다. 그러나 로봇 슈트가 사용자의 운동 범위를 초과하는 동작을 하게 되면 사용자가 부상을 입게 된다. 로봇 슈트의 각 관절 운동 범위는 인간의 평균 최대 운동 범위에서 안전을 위해 5°를 줄여 선정하였다 (Table 1).

Table 1 Ranges of Motion for Lower Extremity Robot Suit

Degrees of Freedom	Robot Suit Maximum	Human Maximum
Hip Flexion/Extension	115° / 15°	120° / 20°
Hip Adduction/Abduction	20° / 35°	25° / 40°
Hip Medial/Lateral Rotation	115° / 15°	35° / 45°
Knee Flexion/Extension	135° / 0°	140° / 5°
Ankle Dorsi./Plantar Flexion	30° / 33°	35° / 38°
Ankle Inversion/Eversion	15° / 10°	20.5° / 15.2°
Ankle Medial/Lateral Rotation	Not available	34.5° / 38.2°

3. 외골격 로봇 슈트의 메커니즘 설계

3.1 고관절

인간의 고관절은 볼-소켓 조인트(Ball and socket Joint)로 볼 수 있다. 그러나 로봇 슈트는 인간 외부에 있어야 하므로 볼-소켓 조인트를 쓸 수가 없다. 조인트의 조합으로 3 자유도를 구현해야 한다. 로봇 슈트의 관절 중심으로 고관절의 내회전과 외회전을 유도하면 인간의 고관절과 간섭이 생겨 사용자에게 부담을 준다. 곡선 가이드를 사용하여 고관절의 내회전과 외회전을 수동으로 움직일 수 있게 하고 회전 중심을 사용자의 고관절에 일치시킴으로서 보행 시 자연스러운 방향전환이 가능하게 설계하였다. 그리고 고관절의 굴곡과 신전, 외전과 내전을 동작할 수 있게 외부에서 회전 조인트를 구성하여, 세 개의 회전축을 고관절 중심에서 만나도록 조인트를 배치하였다 (Fig. 1).

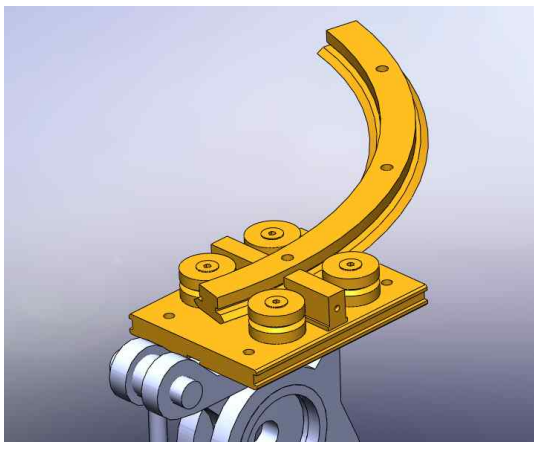

Fig. 1 Mechanism of Medial/Lateral Rotation Driving Device

Fig. 2 Knee Joint of Robot Suit

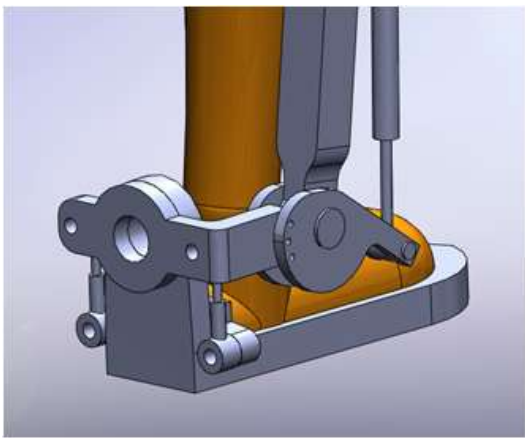

Fig. 3 Ankle Joint of Robot Suit

3.2 슬관절

인간의 슬관절은 1 자유도를 가지고 대퇴골(Femur)과 경골(Tibia) 사이에 존재한다. 슬관절의 굴곡과 신전이 가능하게 회전 조인트로 로봇 슈트의 대퇴부 링크와 경부 링크를 결합하였다. 로봇 슈트의 대퇴부 링크와 경부 링크의 길이 조절이 가능하게 설계하여 사용자가 바뀌더라도 사용이 가능하게 하였고, 조인트에 대한 선형 유압 액추에이터의 결합 위치는 링크의 길이조절에 영향을 받지 않게 하여 링크 길이가 변하더라도 동작 범위를 일정하게 하였다 (Fig. 2).

3.3 족관절

족관절은 경부와 발 사이에 존재한다. 족관절과 발의 일차적 기능은 보행 동안 충격을 흡수하고 신체의 전진을 제공한다. 발은 충격을 흡수하기 위해 다양한 지면의 형상에 적합하게 대응 할 수 있어야한다 [5]. 족관절의 외전과 내전 운동이 가능하게 족관절 후방에 회전 조인트를 위치시켜 완충장치로 하중 지탱과 충격 흡수를 가능하게 하고 발바닥과 지면을 접촉할 수 있게 설계하였다. 그리고 족관절의 굴곡과 신전이 가능하게 하는 회전 조인트를 족관절 측방에 위치시켜 두 회전 축 중심이 족관절 중심에 위치하게 하였다 (Fig. 3).

4. 결론

본 연구에서는 기존에 개발된 로봇슈트에서 구현하지 못하거나 부자연스러웠던 족관절의 외전과 내전, 고관절의 내회전과 외회전을 자연스럽게 동작할 수 있는 새로운 메커니즘의 로봇 슈트를 개발하였다 (Fig 4). Table 2는 기존에 개발된 대표적인 로봇 슈트인 HAL-5, WEAR, BEEX와 본 연구에서 개발된 Robot Suit의 Joint를 비교한 것이다. BLEEX와 본 연구의 Robot Suit가

Fig. 4 Whole Body Model of Robot Suit

인간의 자유도를 가장 많이 구현한 것을 확인할 수 있다. 그러나 BLEEX는 외전과 내전의 회전 운동 중심이 발목 관절과 일치하지 않고, 고관절의 내회전과 외회전도 회전 운동 중심이 사용자의 고관절과 일치 하지 않아 사용자에게 부담을 준다.

본 연구의 Robot Suit는 고관절의 내회전과 외회전의 회전 중심을 사용자의 고관절에 일치시킴으로서 보행 시 자연스러운 방향전환이 가능하게 하고, 족관절의 굴곡과 신전이 가능하게 하는 회전 조인트 축과 내회전과 외회전 축을 사용자의 고관절에 일치시킴으로서 발이 다양한 지면의 형상에 적합하게 대응 할 수 있게 하였다.

Table 2 Actuated Joints of HAL-5, SARCOS, BLEEX and Robot Suit

Degrees of Freedom	HAL-5	WEAR	BLEEX	Robot Suit
Ankle Flexion-Extension	Not available	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)
Ankle Abduction-Adduction	Not available	Not available	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)
Ankle Rotation	Not available	Passive	Not available	Not available
Knee Flexion-Extension	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)
Hip Flexion-Extension	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)
Hip Abduction-Adduction	Not available	Not available	Actuated (Bi-directional)	Actuated (Bi-directional)
Hip Rotation	Not available	Not available	Passive	Passive

참고문헌

1. 월간로봇, 예지사, 1월호, 24-25, 2009
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Donald A. Neumann, "Kinesiology of the Musculoskeletal System-Foundation for Physical Rehabilitation," Mosby, 519-522, 2004.