착용로봇의 무릎관절 구동기 배치기법

An Approach to the Linear Actuator Placement for Powered Exoskeleton's Knee Joint

*#유재관[1], 백주현[1], 김학성[2]

*#J. K. Ryu[1](jaekwan@gmail.com), J. H. Baek[1], H.S.Kim[2]

[1]LIG넥스원 기계연구센터, [2]국방과학연구소

Key words : powered exoskeleton, GA, linear actuator placement, knee joint

1. 서론

외골격 시스템은 착용자의 판단능력과 외골격 기계시스템의 운동력이 융합함으로써, 인간의 능력을 극대화할 수 있기 때문에 현재 다양한 분야에서 이슈화되고 있으며, 선진국 중심으로 많은 선행연구들이 진행되고 있다.

특히, 미국에서는 군사용으로 활용할 목적으로 크게 두 가지 형태의 체계설계 개념으로 나뉘어 유압기반의 외골격시스템을 개발 및 시험을 진행하고 있다.

첫째는 Raytheon社의 XOS2[1]로써, 상지와 하지가 결합되어 있는 형태로 착용자의 인체동작을 그대로 추종하면서 최대 하중 90 kg을 손쉽게 핸들링할 수 있도록 체계설계 개념을 갖고 개발되어 있으며, 최대 보행속도는 5.8km/h로 알려져 있다. 현재 외부로부터 유압을 공급받아 사용하는 방식이나, 독립적으로 시스템을 운용하고자 유압발생장치를 외골격 시스템 내에 탑재하는 연구를 진행하고 있다. 두 번째는 Lockheed Martin社의 HULC 시스템으로 병사의 임무 다변화로 인해 휴대 전투장비 증가 및 산악지역 등에서의 효과적인 임무수행을 위해 군장 등의 하중지지용 하지 외골격 시스템을 개발하였고 현재 전투실험 중으로 알려져 있다. HULC 시스템은 빠른 이동 및 장시간 운용을 주 설계개념으로 개발된 외골격 시스템으로 최대 이동속도는 11.27 km/h로 약 90kg의 하중을 지지할 수 있다. 운용시간을 최대 수십 시간 연장운용이 가능하도록 저소음 동력발생장치를 적용하고 있다. 현재 미군은 HULC 시스템을 전력배치하기 위해 전투 실험을 진행하는 것으로 알려져 있다.

이외에도 일본, 프랑스 등에서 활발하게 연구를 진행하고 있는데, 일본 CyberDyne社의 외골격 시스템 HAL은 착용자 피부의 근전도(EMG) 신호 등을 피드백 받아 동작의도를 판별하여 근력을 보조할 수 있다. 최근 프랑스 RB3D에서는 병사 및 민간 구조대를 위한 HERCULE 외골격 시스템을 공개하였으며, 전기 구동방식으로 최대 운반하중 약 100kg, 최대 이동거리 20 km(보행속도 4 km/h)를 성능을 보여주고 있다.

이처럼 다양한 형태/방식의 외골격 시스템이 연구·개발되어 지고 있지만, 아직 상용화하기 위해서는 외골격 시스템의 내구성 및 소요동력 최소화를 통해 운용시간을 향상시킬 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 착용로봇의 선형 구동기(linear actuator)의 최적배치를 통해 소요 동력을 최소화하는 기법을 소개하고 시뮬레이션을 통해 그 효과를 확인하고자 한다.

2. 모션 측정장비를 이용한 보행분석

카메라 기반의 모션 측정장비를 이용하여 인체 보행동작을 측정·분석함으로써, 각 관절의 위치 및 속도를 측정하여 보행 時 각 관절의 구동각 및 소요 토크(required torque)를 계산하였다. 이를 통해 각 관절 구동기의 소요 동력을 도출하였다. Fig.1은 보행, 뛰기 등의 인체동작을 측정하고자 인체에 부착한 마커위치를 보여 주고 있다.

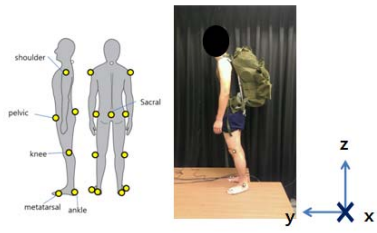

Fig. 1 Marker positions for detecting human motions

본 논문의 시뮬레이션 결과를 일반화하기 위해서 Bogert[2]의 보행데이터를 활용하여 최적배치 시뮬레이션을 수행하였다.

3. 선형 구동기 최적배치 기법

Fig. 2는 착용로봇의 무릎관절 선형 구동기를 최적배치 설계하기 위해 결정되어 할 설계변수(a_1, a_2, b_1, b_2)를 보여주고 있다. 본 논문에서는 유전알고리즘(genetic algorithm)을 활용하여 설계변수를 최적화함으로써, 보행 時의 소요 유량(load flow) 및 소요 출력(required force)을 최소화하였다. 모집단의 갱신 모델은 MGG(Minimal Generation Gap) 모델을 사용하였고 Arithmetical crossover 및 Roulette 방식의 선택방법을 적용하였다. 모집단 크기는 1000개로 구성하였으며, 보행 時의 소요 유량 및 모멘트 암(moment arm) 길이를 계산하여 목적함수(objective function)로 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

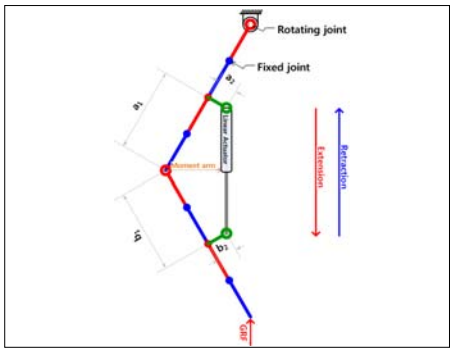

Fig. 2 Design variables for the knee actuator placement

4. 최적배치 시뮬레이션 결과

Fig. 3은 기존 설계된 구동기 배치 설계안에 따른 소요유량, 모멘트 암 길이 및 소요 동력이며, Fig. 4는 본 논문에서 수행한 구동기 최적배치 시뮬레이션을 통해 얻어진 구동기 배치 설계안에 따른 소요유량, 모멘트 암 길이 및 소요동력을 나타낸다.

최적배치 시뮬레이션 결과, 기존 설계된 구동기 배치 설계안 보다 약 20% 정도의 소요동력을 낮출 수 있었으며, 이를 선형 구동기의 피스톤 단면적 설계에 적용함으로써, 전체 시스템의 소요유량 및 소요동력을 최소화할 수 있었다.

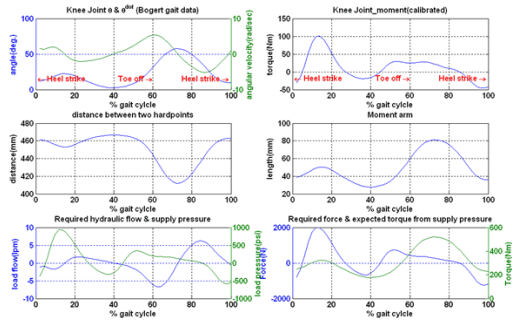

Fig. 3 Required actuator force for a previous knee actuator placement

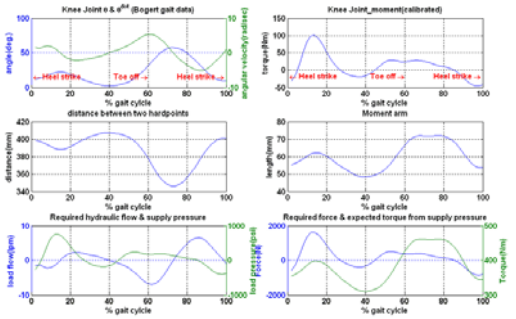

Fig. 4 Required actuator force for the optimal knee actuator placement

5. 결론

본 논문에서는 착용로봇의 무릎관절 선형 구동기를 최적 배치 설계기법을 소개함으로써, 착용로봇 시스템의 소요동력(required power)을 낮추어 운용시간, 시스템 소형화/경량화 등을 고려할 수 있도록 체계설계(system design) 마진을 확보하였다. 향후, 고관절의 선형 구동기에 대해서도 최적배치 설계를 통해 고효율 외골격 로봇 시스템을 개발할 예정이다.

참고문헌

1. R. Boque, Exoskeletons and robotic prosthetics:a review of recent developments, Industrial Robot: An International Journal, Vol. 36, No5, p. 421-427, 2009.
2. Antonie J. Bogert, "Extendons for assistance of human locomotion," BioMedical Engineering OnLine, vol. 2, p.17, 2003.