등짐부하에 의한 보행동작의 특성분석에 관한 실험연구

Experimental Study of the Effects of Backpack Loads on Human Lower Limb Walking

*#이지석 [1], 김회동 [1], 한병학 [1]

*#J. S. LEE (Mr.LEE@hyundai-rotem.co.kr)[1], H. D. Kim[1], B. H. Han[1]

[1] 현대로템주식회사

Key words : Exo-Skeleton Robot, Human Gait, Lower Limb, Walking Assist Device

1. 서론

최근 고령화 사회 추세와 산업현장의 근골격계 질환 예방 및 국민 복지에 대한 요구가 커지면서 인체에 착용하여 근력을 지원하거나 보조하는 외골격로봇의 연구가 활발히 진행되고 있다.

보행시 무릎관절의 반복적인 동작에 의한 피로도를 줄이고 체중과 부하중량을 버텨주는 힘을 보조하기 위한 구동기의 적용으로 골반부의 체적과 중량이 커지게 되어 일상생활이나 노약자의 착용과 운용에는 불리한 요소가 된다. 따라서, 간소하고 경량의 무릎 보조장치를 적용한 외골격 시스템으로 보행시의 근력을 보조할 수 있는 메커니즘의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 인체에 부가된 등짐 중량에 따라 보행의 특성을 분석하기 위해 골반, 무릎과 발목의 부하량과 관절운동 간의 물리적인 데이터를 획득하는 실험의 결과를 비교 분석하고, 별도의 센서를 사용하지 않고 보행 동작의도를 인식하여 의도에 적합한 무릎보조장치의 저항력으로 하지부 운동을 보조할 수 있음을 제안하고자 한다..

2. 보행데이터 획득 실험

등짐을 지고 보행하는 인체 관절 데이터를 획득하기 위해서 반사식 모션캡쳐장비, 힘측정 플레이트(Force Plate)를 이용하여 신장 168cm, 체중 75kg 성인 남자 피험자의 보행동작을 반복하여 실험하였다. 등짐은 백팩을 이용하여 0, 22, 45kg 의 중량을 부가하여 표 1 과 같이 정상 패턴으로 4km/h 의 속도로 보행하였다.

본 실험의 결과는 2000 년에 발표된 Everett Harman 의 실험 데이터 [2], 2011 년에 발표된 Han YaLi 의 연구 논문 [3] 의 결과와 유사한 양상의 보행패턴임을 확인하였다.

Table 1 Stride Parameters at backpack loads

Variables	No load	22kg	45kg
Stride Time(sec)	1.09	1.10	1.05
Stride Length(m)	1.24	1.24	1.2
Stride Frequency(Striides/m)	60.0	54.6	57.1
Toe-Off (%)	55	61	62
Double-Support(%)	30	43	33
Walking Speed(m/sec)	1.24	1.13	1.14

표 2 는 하지의 관절별 회전 및 신전운동을 기구학 변환으로 Pitch, Roll, Yaw 회전축 기반의 오일러각 동작범위의 결과이다. .

Table 2 Joint Angle (Degree)

Joint		0kg	22kg	45kg
Hip	Pitch	-27.8~25.6	-5.4~65.9	5.6~65
	Roll	-10.0~5.2	-12.3~8.7	-4.6~6.6
	Yaw	-6.0~15.2	-6.7~14.5	-18.4~2.5
Knee	Pitch	-4.4~75.4	-6.6~68.0	-7.8~70
Ankle	Pitch	-2.3~23.3	-2.5~28.2	2.3~22.4
	Roll	-22.6~16.3	-27.1~11.7	-33.0~4.7

표 3 은 지면반발력 측정에 따른 각 관절에 소요되는 단위중량당 토크의 결과와 45kg 등짐을 메고 보행하는데 소요되는 착용식 외골격로봇의 구동기 요구 토크 산출량이다.

Table 3 Joint Torque (Nm/kg)

Joint		22kg	45kg	Actuator
Hip	Pitch	1.18	1.20	144Nm
	Roll	1.26	0.89	151Nm
	Yaw	1.44	1.29	173Nm
Knee	Pitch	0.73	1.07	128Nm
Ankle	Pitch	1.61	2.0	240Nm
	Roll	0.25	0.73	88Nm

3. 무릎보조장치의 댐핑제어

그림 1 은 45kg 의 백팩을 메고 평지를 보행하는 동안에 인체의 각 관절에서 요구하는 실험 결과이다. 골반(Hip)과 발목(Ankle)은 지지단계(Stance Phace)에서 Positive Energy 가 요구되는 반면에 무릎(Knee)은 Negative Energy 양상으로 나타난다.

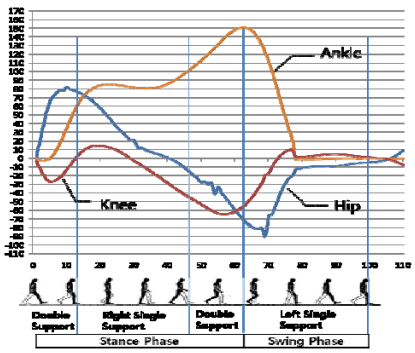

Fig 1 Right Leg Torque at 45kg loads

무릎의 최대 토크는 속도에 정비례 [4] 하기 때문에 무릎회전(K)에 의한 스윙에너지를 축적하여 지지단계에 속도에 따른 댐핑력으로 사용하여 상지부의 등짐과 인체의 자체중량에 대한 무릎관절의 저항력을 생성하고 제어할 수 있는 메커니즘의 개발이 가능하다. 그림 2 와 같이 나타나는 등짐 무게에 따른 골반과 척추의 Pitch 방향 회전각(T, H) 구간 맵을 이용하여 별도의 센서를 추가하지 않고 추정할 수 있다.

$$\dot{K} = f(T, H, L, d)$$

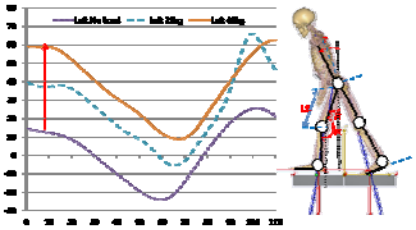

Fig 2 Hip Angle (Degree) at Backpack loads

4. 결론

등짐 무게의 증가에 따라 발, 무릎, 골반의 토크와 회전각을 실험 분석하였고, 평지 보행시 무릎관절의 댐핑제어 이용하여 보행 보조역할 가능성을 제시하였다. 향후 무릎 보조장치 메커니즘을 설계하고 제작하여 그 효과를 검증하는 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 로봇산업원천기술개발 사업 [No. 10035461, 산업노동지원을 위한 착용식 근력증강로봇 기술 개발]의 지원으로 수행되었음

.

참고문헌

1. Jean-Louis Charles Racine “Control of a Lower Extremity Exoskeleton for Human Performance Amplification” 2003
2. Everett Harman, Ki Hoon Han, Peter Frykman, and Clay Pandorf “The effects of backpack weight on the biomechanics of load carriage” USARIEM Technical Report
3. Han Yali, Wang Xingsong “Biomechanics study of Human lower limb walking: implication for design of power-assisted robot” The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 3398-3403
4. John P Holden, Gloria Chou, Steven J Stanhop “Changes in knee joint function over a wide range of walking speeds” Clinical Biomechanics Vol. 12, No.6, 375-382, 1997
5. 하태준 "직선구동기 병렬배치를 통한 안정적인 회전 토오크의 생성" 한국정밀공학회 2012 학술대회