

준 능동관절을 이용한 중량물 이송용 착용형 로봇 개발 Development of the Lower Extremity Exoskeleton System Using Quasi-Active system for Transferring Heavy Load

*유승남¹, 김완수¹, 이승훈¹, 이희돈¹, 한정수², #한창수³

*S. N. Yu¹, W. S. Kim¹, S. H. Lee¹, H. D. Lee¹, J. S. Han², #C. S. Han(cshan@hanyang.ac.kr)³

¹ 한양대학교 기계공학과, ² 한성대학교 기계시스템공학과, ³ 한양대학교 기계정보경영공학과

Key words : Quasi-active joint, Underactuated system, Exoskeleton, Gait pattern, Muscle volume sensor(MVS)

1. 서론

근력지원용 착용형 로봇은 현재 다양한 필드 현장에서 인간의 근력을 지원하여 이동성을 증가시키거나 작업능률의 향상을 위하여 90년대부터 다양한 연구가 진행되어왔다. 특히 필드현장에서는 작업의 특성상 자동화의 측면과는 배치되는 부분이 많기 때문에 인간의 물리력에 전적으로 의존하는 수동, 반 자동 공구를 통하여 작업이 이루어지는 분야의 경우 인간의 다리와 같은 우수한 접근성과 손과 같은 정교한 핸들링 기능 및 작업속련도, 자율판단을 상당 부분 활용해야 하는 군사적 환경과 건설현장과 같은 필드현장에서 인간의 두뇌, 판단능력을 그대로 차용하고 인간의 물리력만을 증폭하는 착용형 로봇의 현장 적용은 효율증대의 측면에서 타당한 접근이라고 할 수 있다. 따라서 많은 연구들은 군인의 전투능력 향상을 위한 근력 강화, 산업현장에서 작업자의 중량물 이송을 도와 작업 능률의 향상을 위한 로봇의 형태로 발전되어 왔다[1].

작업효율의 증대를 위해 개발된 착용형 로봇의 경우 대부분의 경우 인체의 각 관절을 모사하여 모든 관절을 능동관절로 구성하였다. 일본 츠크바대학에서 개발한 'Hybrid Assistive Robot(HAL)'의 경우 harmonic drive를 사용한 모터 유닛을 허리, 무릎, 발목에 적용하였으며, 착용자의 근전도 신호에서 추출한 동작의도신호를 분석하여 로봇을 구동한다[2]. 또한 미국의 버클리대학에서 개발한 'Berkeley Lower Extremity Exoskeleton(BLEEX)'의 경우 linear hydraulic 모터를 사용하여 허리, 무릎, 발목의 sagittal plane에서의 동작을 모사하였으며, 별도의 엔진을 탑재하여 동력을 지원받는다. 이 시스템의 경우 힘센서를 이용한 Human-Robot Interface(HRI)를 통하여 복잡한 알고리즘을 통해 제어한다[3]. 마지막으로 미국의 Sarcos사에서 개발한 착용형 로봇의 경우 BLEEX와 유사한 형태로 제작되었으며 다른점은 rotary hydraulic 모터를 사용하였다. 그리고 이 시스템이 경우에도 엔진을 통하여 동력원을 공급받는다[4]. 하지만 모든 관절을 능동관절로 구성하는 경우 많은 제약이 존재한다. 중량물 이송을 위하여 모든 관절을 능동관절로 구성하는 경우 구동을 위하여 시스템이 복잡해질 뿐 아니라 무게 또한 증가하여 중량물에 의한 작용뿐 아니라 시스템의 무게 또한 착용자의 작업효율을 감소시키는 원인이 된다. 또한 구동을 위한 에너지도 증가하여 동력원의 크기도 증가하게 된다. 따라서 이러한 이유로 인하여 중량물 이송을 위한 착용형 로봇은 모든 관절을 능동관절로 구성하는 것이 아닌 일부의 관절은 수동관절로 구성하는 underactuated 시스템으로 구성하는 것이 더 효율적이라고 할 수 있다[5]. 따라서 본 연구에서는 준 능동관절을 이용하여 중량물 이송을 위한 하지 착용형 로봇을 개발하였다. 준 능동관절이란 능동관절과 수동관절의 조합을 통하여 일부 보조를 받는 시스템이다. 이 시스템은 착용자가 중량물을 장착하고 보행을 하는 경우 수동관절인 4절 링크를 통하여 무게 지원효과를 느낄 수 있다. 또한 다른 수동관절을 통하여 지면에 대한 무게의 지지와 보행 시 추진력을 얻을 수 있다. 그리고 보행을 통한 근육의 부피변화를 이용하여 로봇능동관절의 구동을 위한 동작의도 신호를 판단하여 구동에 사



Fig. 1 Defined task

용된다. 따라서 본 연구에서는 준 능동관절을 적용한 착용형 로봇의 중량물 이송실험을 통하여 로봇 착용 전후의 EMG 측정결과를 바탕으로 근육 활성도를 비교하여 착용형 로봇의 효율성을 증명할 것이다.

2. 목표 작업 정의

본 연구의 목적에 적합한 동작을 구현하기 위하여 작업자의 동작을 정의하였다. Fig.1은 미국 NIOSH에서 정의한 일반적인 산업현장에서 볼 수 있는 중량물 이송 작업자의 동작을 타나 낸 것이다. 작업자는 중량물 이송을 위하여 에너지를 적게 사용하는 방향으로 자세를 보정하게 된다. 하지만 이러한 자세는 반복작업을 통하여 근육의 부담이 증가하게 되며 심각한 근골격계 질환을 유발하게 된다. 또한 중량물을 등에 지고 보행하는 경우에 더 많은 근골격계 질환이 나타나게 된다. 따라서 본 연구에서는 평지, 계단 보행 시 중량물 이송을 위한 작업을 본 연구의 목표작업으로 설정하였다. 따라서 설정된 목표작업을 바탕으로 착용형 로봇의 동작을 정의하였다.

3. 준 능동관절형 착용형 로봇 개발

앞 절에서 정의한 목표작업 동작을 바탕으로 준 능동관절을 이용한 착용형 로봇 'H.EX.A.R Loader'를 개발하였다(Fig.2). 본 시스템은 한 다리에 총 4D.O.F의 관절로 되어 있으며, 1D.O.F의 능동관절과 3D.O.F의 수동관절로 구성되



Fig. 2 Development of the lower extremity exoskeleton

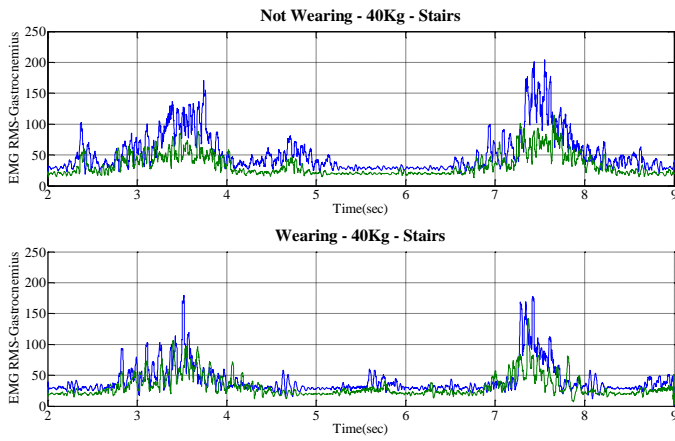


Fig. 4 EMG signal of level walking

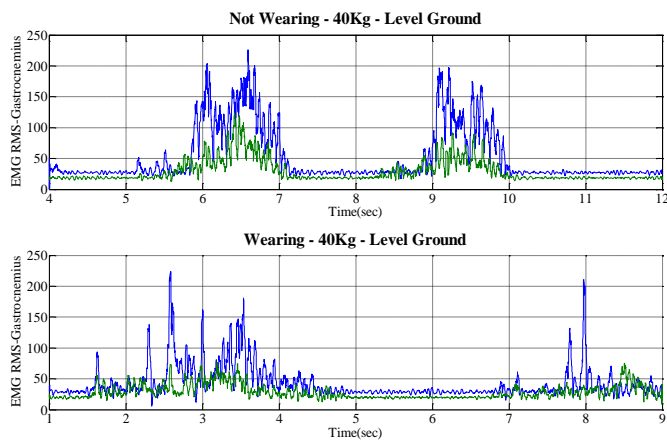


Fig. 3 EMG signal of stair walking

어 있다. 능동관절은 무릎관절의 동작을 보조하여 중량물 이송 시 보행을 가능하게 한다. 이는 207W의 DC 모터로 제작되었으며, 백래쉬의 방지를 위하여 Harmonic drive를 장착하였다. 3개의 수동관절은 첫째, 고관절의 동작 추종을 위한 수동관절을 적용하였으며, 둘째는 상용 보행보조기를 이용한 발목지지 및 에너지 저장과 방출을 통한 추진력 생성, 마지막으로 중량물 보조의 역할을 하며 그 중 사용자가 느끼는 중량물의 무게 감소효과를 위하여 스프링을 이용한 4절 링크를 사용하였다. 본 시스템의 제어는 보행 시 근육이 팽창됨에 따른 부피 차이를 이용하여 제어된다. 보행 분석을 통하여 보행에 따른 주요한 활성 근육을 선정하였으며, 근육의 부피를 감지하는 ‘Muscle Volume Sensor(MVS)’를 개발하여 보행에 따른 근육변화를 측정하였으며 로봇의 동작의도 신호로 사용하였다. MSS를 통하여 근육의 부피가 팽창되는 것을 감지하면 반대 방향의 능동관절이 구동하는 알고리즘을 적용하여 보행주기를 완성하게 된다.

4. 결론

개발된 시스템을 이용하여 중량물 이송을 통한 착용형 로봇의 효용성 검증을 위한 실험을 진행하였다. 시스템의 효용성을 검증하기 위하여 근육 활성도를 측정하는 EMG 센서를 이용하여 신호를 수집하고 근육의 사용량에 따른 피로도를 측정하는 %MVIC(Maximum Voluntary Isometric Contraction)를 산출하여 착용형 로봇의 착용 전 후의 값을 비교하였다. 실험은 20Kg, 40Kg의 중량물을 등에 지고 착용형 로봇의 착용 전, 후의 평지보행, 계단보행으로 나누어 실험하였으며 EMG signal 2개의 채널을 사용하여 측정하였다. Fig.3과 Fig.4는 20Kg, 40Kg을 등에 지고 평지와 계단 보행을 진행하여 EMG의 진폭의 변화가 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이것은 근육의 피로도가 감소한 것을 의미

Table 1 %MVIC of walking experiment

(unit : %)	Not wear	wear	Decrement
Level-20Kg(Ch.1)	87.71	36.28	51.43
(Ch.2)	99.12	55.70	43.42
Level-40Kg(Ch.1)	112.69	54.40	58.29
(Ch.2)	111.11	72.87	38.24
Stair -20Kg(Ch.1)	60.69	39.27	21.42
(Ch.2)	86.26	74.55	11.71
Stair -40Kg(Ch.1)	76.80	53.38	23.42
(Ch.2)	108.43	96.98	11.45

하며 근육의 사용량이 줄어 든 것이라고 말할 수 있다. 또한 Table.1에 나타난 것과 같이 %MVIC의 계산하여 살펴 보았을 때 값의 변화를 확인할 수 있다. %MVIC 값의 감소율은 근육의 사용량의 감소를 의미한다. 감소율을 살펴보면 평지의 경우 착용형 로봇을 입은 경우 약 50%의 근력 지원효과를 나타내며, 계단보행의 경우 약 20%의 근력 지원 효과를 나타내는 것을 의미한다. 평지와 계단의 보행에서 %MVIC의 차이가 약 2배정도 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 평지와 계단에 동일한 알고리즘을 적용하여 나타난 것이라고 볼 수 있다. 본 실험을 통해서 착용형 로봇을 착용하는 경우 근력지원효과를 기대할 수 있으며 이를 통해서 작업자는 중량물 이송 시 평지, 계단보행에서 근력지원을 통하여 작업효율의 증대를 기대할 수 있을 것이다. 위의 결과를 바탕으로 착용형 로봇을 착용한 경우 작업자는 약 40% 근력지원효과를 바탕으로 본 시스템의 효용성을 증명하였으며 착용형 로봇을 통해서 작업능률의 향상을 도모할 수 있을 것이라고 기대할 수 있다. 향후에는 계단 보행 시 능동관절의 보행주기 알고리즘 변화를 반영하여 더욱 향상된 효과를 기대할 수 있을 것이라고 예상된다.

후기

본 연구는 (한양대학교 고기능 로봇 매니플레이션 연구센터를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문 인력양성사업의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

1. W. S. Kim, S. H. Lee, H. D. Lee, S. N. Yu, J. S. Han and C. S. Han, "Development of the heavy load transferring task oriented exoskeleton adapted by lower extremity using quasi-active joints", ICROS-SICE Int. Conf.2009, pp.1353-1358.
2. Kawamoto, H. & Sankai, Y., "Power assist system HAL 3 for gait disorder person", Computers Helping People with Special Needs 8th International Conference, ICCHP 2002. Proceedings (Lecture Notes in Computer Science Vol. 2398) 196-203.z
3. Kazerooni, H., Racine, J.L., Huang, L., & Steger, R., 'On the Control of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)', IEEE International Conference of Robotics and Automation pp. 4364-4371., 2005
4. Huang, G.T., 'Demo: Wearable Robots', Technology Review, pp. July/August, 2004.
5. Conor James Walsh, Kenneth Pasch, ScD, PE, Hugh Herr, "An autonomous, underactuated exoskeleton for loadcarrying augmentation", Proceedings of the 2006 IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and Systems pp.1410-1415, 2006