

# 공압 고무 액츄에이터를 착용한 하지 보조기의 스쿼트 운동 시 근력 보조 효과 Assist Effect of Muscular Activities According to the Squat Motion Using the Lower Limb Orthosis with Artificial Muscles

김경<sup>1</sup>, 홍경주<sup>1</sup>, 권대규<sup>2,3</sup>, 김동욱<sup>2</sup>, #김남균<sup>2</sup>

K. Kim<sup>1</sup>, K. J. Hong<sup>1</sup>, T. K. Kwon<sup>2,3</sup>, D. W. Kim<sup>2</sup>, #N. G. Kim<sup>2</sup>(ngkim@chonbuk.ac.kr)  
<sup>1</sup> 전북대학교 의용생체공학과, <sup>2</sup>전북대학교 바이오메디컬공학부, <sup>3</sup>전북대학교 실버공학연구센터

Key words : Power assist, squat motion, lower limb orthosis

## 1. 서론

교통사고, 산업재해 등으로 인해 하지 마비가 일어나는 인구가 꾸준히 늘어나고 있고, 대부분의 하지마비는 운동기능 상실을 나타내어 근력의 약화, 감각기능의 손실 및 자율신경의 이상 등의 증상을 나타낸다. 이들의 재활 치료를 위하여 보조기를 이용한 재활훈련은 하지 관절의 구축방지 및 강직의 감소뿐만 아니라 일상생활 동작을 스스로 유지할 수 있도록 향상시키고 있다. 근골격계의 저하로 인해 약화되는 근력을 보조할 수 있는 보조기의 착용이 증가되고 있고, 근력훈련을 통한 근지구력 증진에 관한 기구들이 개발되고 있는 실정이다. 근력을 보조해 줌으로써 하지마비 환자나 운동감각 저하된 노인들의 활동성을 높여 일상생활 기능을 향상시킬 뿐만 아니라 운동, 여행 등 일상생활 기능 및 여가활동을 증가시켜 고령자 및 장애인의 독립적인 생활을 자립 할 수 있게 하며 인생을 즐기게 도와 삶의 질을 향상시키게 한다.

외골격 보조기에 관한 연구는 많은 곳에서 진행되어 왔다. 외골격 보조기는 환자 자신의 근력 또는 외부 동력을 이용하거나 두 방식을 혼합한 하이브리드형 동력 하지 보조기 타입을 개발하고 있으며, 근육병 환자를 위한 재활 보조기구로부터 최근에는 무거운 군장을 지는 군인을 위한 근력 증폭기구까지 광범위하게 연구되고 있다. 사용하는 구동방식 또한 다양하여, 대부분의 외골격 보조기는 서보 모터 및 유압 구동기가 사용되며, K.P.Granata와 K.E.Gorden은 보행 시의 발목 관절의 배측굴곡 힘을 도와 주는 족관절 보조기(Ankle-foot orthosis)를 개발하였다[1-3]. 이외에도 근육병 환자를 위한 재활보조기구로부터 최근에는 무거운 군장을 지는 군인을 위한 근력 증폭기구까지 광범위하게 연구되고 있다[4]. HAL(Hydrice assistive leg)[5] 등은 대부분의 외골격 보조기에는 서보 모터 구동기가 채택되었으며, Yamamoto 등은 공압 구동기를 이용하여 간호사를 위한 외골격 보조기를 개발하였다. 이러한 하지 보조기에 관한 많은 연구가 진행되어지고 있지만, 유, 공압 및 모터를 이용한 무거운 외골격 타입으로 에너지 과다 및 근육의 피로를 줄이고 실효성이 낮은 단점이 있고 하지 근력 보조기에 대한 근력 효과 및 특성 분석이 미비한 실정이다.

본 논문에서는 경량의 착용형 타입의 하지 보조기를 개발하고 젊은 성인을 대상으로 스쿼트 운동을 시행했을 때 보조기 착용 유무에 따른 하지 근력 특성을 알아보고 운동 시의 근피로도를 분석함으로써 제작된 하지 보조기의 보조 효율에 대한 정량적인 근거를 제시하였다.

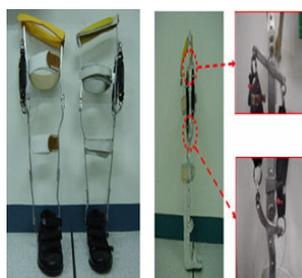


Fig. 1. The apparatus of the Lower limb orthosis with the pneumatic rubber actuators

## 2. 시스템 구성

본 연구를 위하여 제작된 하지 보조기는 노인의 근력을 보조해주는 보조 기구로써, 노인의 하지의 체형에 맞게 제작되었다. 하지 보조기는 노인의 하지를 지지해주는 기본 골격을 이루는 프레임, 2개의 공기압 고무 Actuator(The Shadow Robot Company Ltd. UK)와 정강이, 허벅지 중간과 허벅지 윗부분 등 총 3곳에 위치한 노인의 하지를 고정시키기 위한 고정대로 이루어져 있다. 공기압 고무 Actuator는 Fig. 1과 같이, 허벅지의 대퇴직근과 대퇴 이두근 역할을 하며, 프레임의 상단 쪽에 부착하였다.

하지 보조기를 능동 제어하기 위하여 근육이 수축할 때 발생하는 힘을 이용하였다. 수축근의 힘을 측정하기 위하여 그림. 2와 같이 수축근 힘 측정용 센서(contractile muscle force sensor, CMF sensor)를 제작하였다. 제작된 CMF 센서를 테스트 하기 위하여 하중의 변화에 따른 전압 신호를 측정하였고 Fig. 2와 같다. Fig. 3은 앉기-서기 운동을 10회 시행할 때의 외측광근(Vastus lateralis, VL)과 중간광근(Vastus intermedius, VI)의 수축근 힘을 CMF 센서를 이용하여 측정된 그래프이다. 그래프를 보면, 서기 운동을 할 때, 중간광근의 전압 신호가 크게 검출된다. 따라서 본 논문에서는 중간광근의 수축근 힘 신호를 이용하여 하지 보조기를 제어함으로써 스쿼트 운동 보조를 하였다.

## 3. 실험방법

본 연구에서는 제작된 하지 보조기의 하지 근력 보조 정도를 알아보기 위하여 주로 하지 운동에 관여하는 스쿼트 운동(Squat motion)을 시행하였다. 피험자는 5명의 젊은 성인을 대상으로 하였다. 피험자는 하지 보조기 착용 유무에 따라 스쿼트 운동을 실시하였다. 이 때, 하중을 0kg, 6kg, 16kg, 26kg의 순서로 변화시켜 운동을 시행하였다. 스쿼트 운동은 총 40초의 실험 시간동안 10회 시행하였다. 스쿼트 운동을 할 때, 피험자의 하지 근력을 알아보기 위하여 근전도를 측정하였다. 각각의 하지 근력을 측정하여 하중의 변화에 따른 근력의 특성과 하지 보조기를 착용하지 않았을 때와 착용했을 때의 하지 근력 특성을 비교하였다.

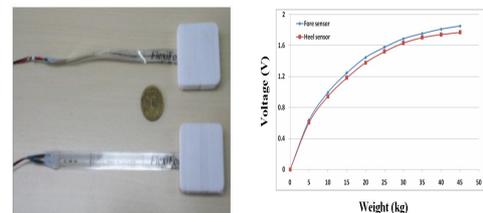


Fig. 2. The apparatus of the CMF sensor and calibration value

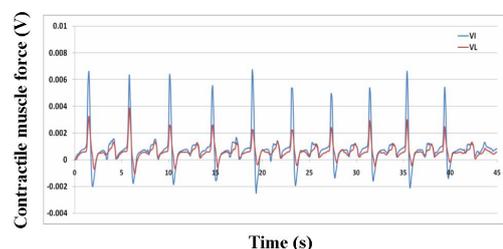


Fig. 3. Peak value of contractile muscle force in standing motion

하지 보조기에 장착된 2개의 공기압 고무 액추에이터 솔레노이드 밸브를 통하여 조절하였다. 압축기에서 생성되는 공기압은 조절기(regulator)를 통해서 조절되고 이 공기압은 솔레노이드 밸브를 통해서 공기압 고무 Actuator에 인가된다. 하지 보조기의 운동 보조 방법은 스쿼트 운동 시 하지의 신전 운동이 구현되기 전에 발생되어지는 중간광근의 수축근 힘 신호를 계측하여 이를 솔레노이드 밸브의 전압 인가 신호로 보낸다. 상용프로그램인 LabVIEW 프로그램을 이용하여 수축근 힘 측정 센서로부터 얻어진 전압 신호를 받아서 이를 솔레노이드 밸브로 보내지는 프로그램을 구현되었다.

LabVIEW를 통하여 구현된 6V 전압 신호는 cDAQ-9472보드의 AO4463 모듈을 통하여 솔레노이드 밸브를 작동시킬 수 있는 6V가 인가된다. 이 신호를 통하여 작동되는 공기압 고무 Actuator는 4초에 한번의 스쿼트 운동을 실행시킨다.

피험자가 스쿼트 운동을 할 때, 하지 근육의 근육 신호는 전극(electrode)을 통하여 EMG module에 아날로그 신호가 인가된다. 근육 신호는 A/D converter를 통하여 디지털 신호로 바뀌고 신호 처리(Signal processing)을 거쳐서 컴퓨터로 인가된다. 우리는 Acqknowledge 3.8.1을 통하여 신호를 분석하고 화면에 display 할 수 있다.

측정된 근전도 신호는 각종 신호처리 방법 중, 주파수 스펙트럼 분석을 이용하였다. 근력의 크기는 FFT(fast fourier transform) 방법을 통하여 얻어지는 파워 스펙트럼의 면적으로 분석하였다. 근피로도 분석은 특정 부위의 근육을 계속 사용하게 되면 근육이 피로해지고 고통을 유발하게 된다. 이러한 근육의 피로도는 근전도의 주파수 분석을 통해 나타나는데 근전도 주파수의 중심대가 저주파 영역으로 옮겨지는 특징을 보인다. 따라서 근전도 신호의 중간 주파수를 분석하였다. 본 연구에서는 총 40초의 시간을 5개의 영역으로 나누어 각 영역의 중간 주파수 값을 구하여 총 실험 시간동안 어떠한 경향을 나타나는지를 알아보았다.

#### 4. 실험결과

본 연구의 실험 결과, 스쿼트 운동을 할 때의 하지 근력 특성은 다음과 같다. Fig. 4는 피험자가 스쿼트 운동을 할 때의 하지 근력 특성을 나타낸 그래프로써, 하지 보조기를 착용하지 않은

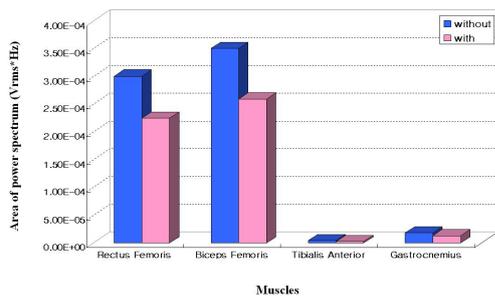


Fig. 4 Muscular activities of lower limbs according to the muscle

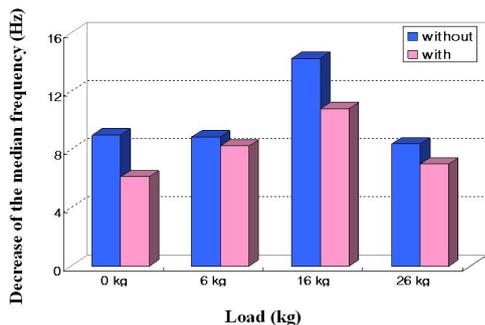


Fig. 5 Fatigue analysis of the lower limbs during squat motion

상태와 착용한 상태의 하지 근력을 비교해 놓은 그래프이다. 그래프의 가로축은 근육의 위치를 나타내며, 세로축은 측정된 근육의 근전도를 FFT 분석하여 얻은 파워 스펙트럼의 면적이며, 이는 근육의 쓰임 정도를 나타낸다. 측정된 근육은 스쿼트 운동을 할 때 주요 쓰이는 네 가지 근육으로, 대퇴직근 (Rectus femoris, RF), 대퇴이두근 (Biceps femoris, BF), 전경골근 (Tibialis anterior, TA), 비복근(Gastrocnemius, Gn)이다. 실험 결과, 무릎 아래쪽의 근육보다 무릎 위쪽의 근육은 대퇴직근과 대퇴이두근이 많이 쓰이는 특성을 보였다. 또한 하지 보조기를 착용하고 스쿼트 운동을 했을 때 적은 근력이 측정되어졌다. 이는 CMF 센서를 이용하여 스쿼트 운동이 시작되는 시점에서 공압 고무 액추에이터를 능동 제어함으로써 스쿼트 운동 보조를 했기 때문이다.

본 연구에서 제작된 하지 보조기로 인하여 스쿼트 운동을 했을 때의 근육의 피로도가 어느 정도인지를 알아보기 위하여 근피로도 분석하였다. 근피로도에 대한 정확한 분석을 위하여 스쿼트 운동을 하는 동안 중간주파수의 감소량을 측정하였다. Fig. 5는 하중의 변화와 근육의 중간 주파수 감소량을 하지 보조기 착용 유무에 따라 비교한 그래프이다. CMF 센서를 이용하여 능동 제어된 하지 보조기를 착용했을 때의 중간 주파수 감소량이 적었다. 이는 하지 보조기의 능동 제어에 따른 스쿼트 운동 보조를 받았을 때 근육의 피로한 정도가 적은 것으로 판단된다.

#### 5. 결론

본 연구는 노인의 근력 보조를 위하여 제작된 하지 보조기의 효율을 알아보기 위한 연구로써, 하지 보조기 착용 유무에 따른 스쿼트 운동 시의 하지 근력 특성을 알아보았다. 연구 결과, 수축근 힘 신호를 이용한 능동 제어에 따른 공압 고무 액추에이터 보조로 인하여 하지 보조기를 착용했을 때 적은 근력으로 스쿼트 운동이 가능했으며, 근육의 피로 또한 적게 측정이 되어졌다. 향후 연구에서는 본 연구를 통하여 검증된 하지 보조기를 이용하여 노인의 일상생활 움직임에 대한 효율을 검증하여 일상 생활의 일어서기 및 앉기 운동을 보조하려고 한다.

#### 후기

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (지방연구중심대학 육성사업/헬스케어기술개발사업단)

#### 참고문헌

1. J. A. Norris, K. P. Granata, M. R. Mitros, E. M. Byrne, A. P. Marsh, "Effect of augmented plantarflexion power on preferred walking speed and economy in young and older adults", *Gait & Posture*, Vol. 25, pp. 620-627, 2007.
2. K. E. Gorden, G. S. Sawicki, D. P. Ferris, "Mechanical performance of artificial pneumatic muscles to power an ankle-foot orthosis", *Journal of Biomechanics*, Vol. 39, pp. 1832-1841, 2006.
3. J. A. Norris, K. P. Granata, M. R. Mitros, E. M. Byrne, A. P. Marsh, "Effect of augmented plantarflexion power on preferred walking speed and economy in young and older adults", *Gait & Postures*, Vol. 25, pp. 620-627, 2007.
4. K. E. Gordon, D. P. Ferris, "Learning to walk with a robotic ankle exoskeleton", *Journal of Biomechanics*, Vol. 40, No. 12, pp.2636-2644, 2007.
5. H. Kawamoto, Y. Sankai, "Power assist method based on Phase Sequence and muscle force condition for HAL", *Advanced Robotics*, Vol. 19, No. 7, pp. 717-734, 2005.