

근전위 신호구동형 전동외수의 파지력 제어

최기원*, 최규하**, 신우석***

*재활공학연구소, **건국대학교, ***두원공과대학

Grip Force Control of Myoelectric Signal Driving Type Myoelectric Hand Prosthesis

Gi Won Choi, Gyu Ha Choe, Woo Seok Shin

Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center

Konkuk University, Doowon Technical College

ABSTRACT

This paper presents the grip force control of myoelectric hand prosthesis according to myoelectric signal generated in the human muscle. The control system consist of a controller for driving DC motor, torque sensor for measuring out torque of motor, slip sensor for detecting slip of torque. The experimental results proved the reliability of proposed control system.

1. 서 론

사회가 발달 할수록 사람과 기계시스템을 연결하는 인터페이스(human machine interface, HMI) 기기도 다양하게 발달되고 있다. 대부분의 인터페이스 기기들은 사람의 손가락 동작을 통하여 사람의 의도(intention)를 시스템에 전달하고 있다. 손가락의 동작은 사람의 뇌에서 발생한 전기적인 자극(stimulus)신호가 손가락 근육에 전달되어 손가락 근육이 수축함으로써 이루어진다. 즉 사람의 의도는 뇌의 전기적인 자극신호를 받은 근육의 수축(voluntary contraction)에 의해서 동작을 발생시키고 이러한 동작은 사람의 의도를 여러 가지 인터페이스를 통하여 기계시스템에 전달된다. 이와 같이 사람의 의도는 결국 근육의 수축으로 나타난다는 것을 착안하여 사람의 근육이 수축할 때 발생하는 전기적인 활동(electric activity)을 측정하여 사람의 의도를 인식할 수 있는 근전위 센서(myoelectric sensor)가 많이 연구되고 있다^[1-3].

본 논문에서는 표면 근전위 센서의 출력신호를 사용하여 소형 직류전동기와 감속기로 이루어진 전동외수(myoelectric hand prosthesis, MHP)를 구동하기 위한 제어시스템을 설계하였다. 사람의 동작이 이루어질 때 발생하는 근전위 신호(myoelectrical signal)를 측정하는 표면 근전위 센서는 사람의 피부와 직접 접촉하는 입력부와 상용전원 잡음성분이 포함된 근전위 신호에서 사용자의 의도를 나타내는 레벨 신호를 출력하기 위한 신호처리 회로부로 구성되어 있다. 일반적으로 근전위 센서의 최종 출력 레벨 신호를 근신호(myoelectric signal, ms)라 한다.

전동외수의 제어시스템은 직류 전원을 사용하고 있으며 제어기, 파지력을 측정하기 위한 파지력 센서, 파지한 물체의 미끄러

럼을 감지하기 위한 미끄러짐 센서로 구성되어 있다. 제어시스템은 미리 설정한 문턱치(threshold value)^[4]와 근신호를 비교하여 직류전동기를 제어한다. 이때 근신호의 크기에 따라 전동외수의 파지력도 증가한다.

제작된 전동외수의 제어기는 피검자의 손목 굽힘근(flexor carpi ulnaris)과 손목 펴기근(extensor carpi ulnaris) 두 부위에 제작된 근전위 센서를 부착하고 파지력 실험을 수행하여 신뢰성을 검증하였다.

2. 전동외수

2.1 의수

전동외수의 외형은 엄지 및 검지와 중지의 삼지를 가지고 있으며, 각 손가락은 무관절 형태이다. 검지와 중지는 서로 커넥팅 로드(connecting rod)로 결합되어 있으며 이 두 손가락과 엄지 사이는 링크 구조로 이루어져 파지 및 손의 펴 동작이 엄지와 검지가 항상 동시에 작동되는 인체의 손동작을 모방하여 설계되었다. 특히 파지동작을 수행할 때는 엄지와 검지의 끝이 서로 맞게 되어 작은 물체를 잡을 수 있는 집기(pinch) 동작이 가능하도록 설계되었다. 그림 1은 의수의 동력 전달을 보여주는 그림이다. 의수 구동에 사용된 직류전동기는 4.5[W], 8000[rpm]의 출력을 가지고 있다. 전동기 출력은 마찰 유성감속기(friction planetary gear)에 의해 1/14로 1차 감속되고, 부하로부터 전달되는 역토크를 방지하기 위한 잠금장치(lock element)가 마찰 유성감속기와 연결되어 있다. 그리고 파지부하에 따라 자동으로 파지력(grip force)을 증가시키기 위하여 유성기어와 조합된 2단 기계식 자동변속기(automatic transmission)를 설계하였다. 파지 부하가 작을 때는 유성기어의 특성을 이용하여 1단으로 전동기의 동력을 전달한다. 이때의 파지력은 약 20~40[N] 정도로 낮지만 최종 파지 속도는 비교적 빠르다. 그러나 의수의 파지동작 수행 중에 파지 부하가 증가하면, 자동변속기의 원형 스프링이 파지부하의 변화를 감지하고 유성기어의 캐리어(carrier) 축으로 전동기의 동력이 전달되어 2단으로 동력이 전달된다. 이때 자동변속기의 출력 회전 속도는 8:1로 감속되고, 최종 파지력은 최대 140[N] 까지 증가된다. 자동변속기의 동력 전달축을 90° 변환하기 위하여 기어비 1:1의 베벨기어(bevel gear)를 사용하였고, 마지막으로 안전장치인 미끄러짐 클러치(slip clutch)가 내장된 평기어(spur gear)를 연결하여 손가락과 연결하였다.

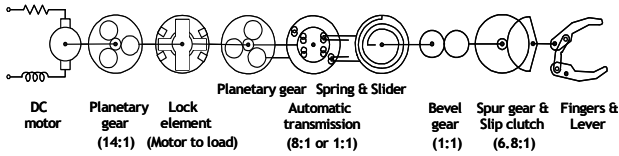


그림 1 의수의 동력전달
Fig. 1 Power transfer of the MHP

2.2 제어알고리즘

전동의수에서 많이 사용하는 근육 부위는 상지에서 상대적으로 근육이 많이 분포하고 있는 손목 굽힘근과 손목 펴기근이다. 근육의 수축 정도를 인식하는 대표적인 방법으로는 근전위 센서에서 출력되는 근신호의 크기를 미리 정해진 문턱치와 비교하는 것이다. 본 논문에서 제안하는 전동의수용 제어기는 두 부위의 근육에서 검출한 근신호를 사용하여 사용자의 의도를 인식하고 전동의수를 제어하였다.

제어기는 의수의 기본적인 파지와 펴기 동작을 수행하며 부가적으로 파지한 물체의 미끄러짐을 방지하기 위한 파지력/미끄러짐 제어가 수행된다. 파지동작은 두개의 근전위 센서 출력신호 중에서 파지동작 수행을 위한 근신호의 크기가 제어기에서 미리 설정된 문턱치보다 높게 되면 수행되며, 근신호의 크기에 비례하여 파지속도와 기준 파지력이 증가한다. 파지동작 수행 중에 파지력이 감지되면, 파지력/미끄러짐 제어가 수행되어 입력된 근신호의 크기에 따라 제어기는 계산된 기준 파지력까지 파지상태를 유지한다. 제어기의 파지력/미끄러짐 제어를 위한 비례-적분 제어 블록도를 그림 2에서 보여주고 있다.

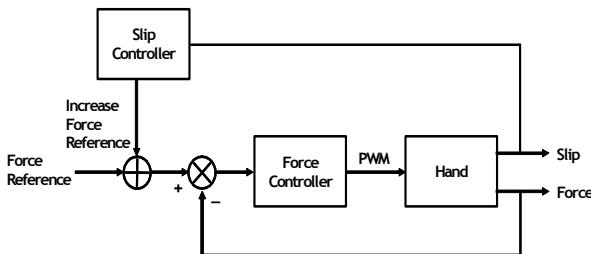


그림 2 파지력 및 미끄러짐 제어 블록도
Fig. 2 Block diagram of grip force and slip control

비례-적분 제어의 입력 성분인 기준 파지력은 사용자의 근육에서 검출되는 근신호의 크기에 따라 설정되고, 실제 파지력 센서에서 감지되는 파지력과 기준 파지력의 오차를 줄이도록 제어기는 직류전동기의 출력을 제어한다. 또한 미끄러짐 센서의 출력을 통해 파지한 물체와의 접촉 수직력 변화가 설정치보다 크면 제어기는 파지한 물체가 미끄러짐이 발생 한 것으로 인식하여 기준 파지력을 높임으로써 전동기의 출력 토크를 증가시킨다. 결국 파지한 물체의 실제 파지력을 높여서 미끄러짐을 방지하도록 하였다. 그리고 파지력 센서의 출력이 미리 설정된 최대 파지력에 도달하면 파지동작 수행을 위한 근신호가 입력되어도 제어기는 전동기의 구동을 정지시켜서 의수의 기구적인 파손을 방지하고 배터리의 전류 소모를 줄이도록 설계되었다. 이러한 파지력/미끄러짐 제어가 수행되면 펴기 동작 수행 이외에는 벗어나지 못한다.

펴기 동작은 두개의 근전위 센서 출력신호 중에서 펴기 동작 수

행을 위한 근신호의 크기가 미리 설정된 문턱치보다 높게 되면 수행되며, 마찬가지로 의수의 펴기 속도는 출력되는 근신호의 크기에 비례하여 증가한다. 그리고 파지력 센서의 출력이 의수가 최대로 펴진 상태로 확인되면 제어기는 직류전동기의 구동을 정지시켜서 펴기 동작을 더 이상 수행하지 않도록 한다. 제작된 제어기는 소형 마이크로프로세서를 이용하여 21X33[mm] 크기로 제작하였으며 제작된 전동의수는 그림 3에서 보여주고 있다.

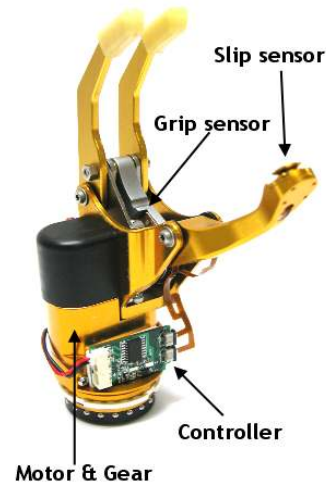


그림 3 조립된 전동의수
Fig. 3 Assembled MHP

3. 실험 및 결과

제어기는 RISC형 고속 8bit CPU인 ATmega32(ATmel Co.)를 채용하였고, 제어 프로그램은 실시간 커널인 uCOS-II에서 실행되도록 구현하였다. 제어기에서 사용된 직류전동기의 구동 IC는 모두 H 브리지 회로(H-bridge circuit)가 내장된 μ PD16805(NEC C0.)가 사용되었다. 직류전동기의 구동IC의 제어 입력단자 4개(IN1, IN2, INC, STB) 중 두개(IN1, IN2)의 단자를 제어하여 직류전동기의 정역회전을 구현하였으며, 제어기에서 출력되는 PWM 듀티(duty)를 사용하여 전동기의 출력을 제어하였다.

그림 4는 제어기의 동작 모드에서 피검자의 근신호에 따른 파지력의 변화와 전류 파형을 나타낸 사진이다. 그림 4에서 (a)의 (1)~(4)는 의수의 파지동작을 수행하기 위한 피검자의 근신호이며 (b)의 (5)는 의수의 펴기 동작을 수행하기 위한 피검자의 근신호이다. 실험에서는 피검자의 의도를 파악하기 위하여 사용된 제어기의 문턱치 값을 51(1V)로 설정하였다. (c)는 각 근신호에 의한 파지력 센서의 출력 변화를 보여주며, (d)는 각 근신호에 의한 의수에서 사용된 직류전동기의 전류 파형을 나타내고 있다.

초기에 의수가 펴진 상태에서 피검자의 근신호(1)에 의해 의수의 파지가 시작되면 파지력 센서의 변화가 시작되는 것을 볼 수 있다(그림 4의 (6) 참조). 근신호(2), (3)에 의해 파지하고자 하는 물체를 파지하고, 안전한 파지를 유지하기 위하여 피검자는 최대의 근신호(4)를 발생시켜서 최대 파지력까지 파지한다(그림 4의 (7) 참조). 이때 제어기는 최대 파지력이 발생한 순

간 의수의 손상을 방지하기 위하여 직류전동기에 인가된 전류를 차단하고, 직류 모터에는 역기전력이 발생된다(그림 4의 (9) 참조). 그러나 파지력 센서의 출력이 허용치 범위를 벗어나면 제어기는 다시 직류전동기에 전류를 인가하여 최대 파지력을 유지하려고 한다(그림 4의 (10) 참조). 의수의 펌 동작을 위한 피검자의 근신호(5)에 의해 제어기는 의수를 펌 동작을 수행하면서 파지력 센서의 변화가 시작되고 최대 펌 동작점까지 구동시킨다(그림 4의 (8) 참조). 최대 펌 동작점까지 구동되면 제어기는 전동기에 인가되는 전류를 차단하고, 마찬가지로 모터에는 역기전력이 발생된다.

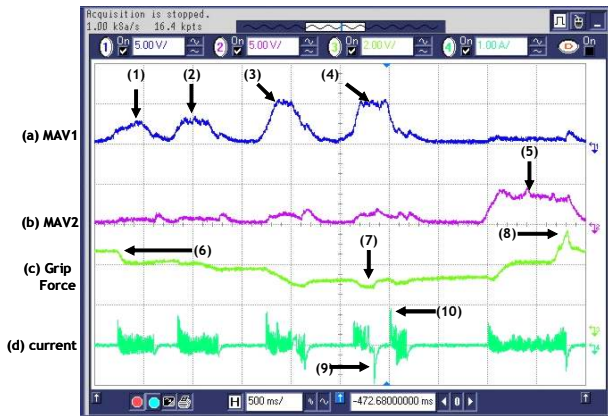


그림 4 근신호에 따른 파지력 제어와 전류 파형
Fig. 4 Grip force control and current wave according to myo-signal of upper-limb amputee

피검자의 근신호에 의한 전동외수의 구동에서 제어시스템의 소모전류는 평균 250[mA], 순간 최대 전류는 1000[mA] 이었다. 의수의 제어시스템에서 사용된 Li-Ion 배터리의 용량이 1100 [mAh] 이므로 시스템에 미치는 영향이 없는 것으로 판단된다. 그리고 전동외수의 반응시간은 300[msec]^[5] 이하로서 피검자가 충분히 사용할 수 있다. 그림 5는 실험에 참여한 피검자가 완성된 전동외수를 착용하고 물건을 파지하는 사진이다.

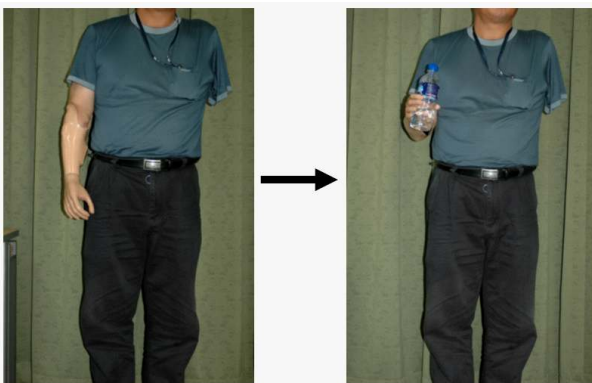


그림 5 전동외수 동작 사진
Fig. 5 picture of grasping for MHP

4. 결 론

본 논문에서는 사람의 의도를 인식할 수 있는 표면 근전위 센서의 출력신호를 사용하여 소형 직류전동기와 감속기 모듈로

이루어진 전동외수를 제어하기 위한 제어시스템을 설계하였다. 전동외수의 제어시스템은 직류 전원을 사용하고 있으며 제어기, 직류전동기, 전동외수의 파지력을 측정하기 위한 파지력 센서, 파지한 물체의 미끄러움을 감지하기 위한 미끄러움 센서로 구성되어 있다. 제어시스템은 이중문턱치 방법^[4] 사용하여 직류전동기를 제어하였다.

제안된 제어시스템은 스트레인 게이지와 증폭기로 구성된 파지력 센서의 출력 신호와 탄성체 저항을 이용하여 제작된 미끄러움 센서의 출력 신호를 제어기의 입력으로 구성하여 실시간으로 제어기가 동작하도록 프로그램 하였다. 상지 절단 장애자를 대상으로 한 실험의 결과, 피검자의 근 신호에 의한 전동외수는 의수의 파지와 펌 동작을 수행하였다. 이때 사용된 직류전동기 구동에서 제어기의 소모전류는 평균 250mA, 순간 최대 전류는 1000mA 이었다. 그리고 사용된 배터리의 용량이 1100mAh 이므로 전동외수를 가지고 일상생활을 하기에는 충분하다고 판단된다.

제작된 전동외수의 제어시스템은 피검자의 손목 굽힘근과 손목 펴기근 두 부위에 표면 근전위 센서를 부착하고 제어시스템의 구동실험을 수행함으로써 제안된 전동외수 제어시스템의 신뢰성을 검증하였다

본 연구에서 제안한 전동외수가 보다 높은 안정성을 확보하고, 제어시스템의 신뢰성을 높이기 위해서는 다양한 사용자를 대상으로 장시간에 걸친 실제 생활환경 실험을 수행할 필요가 있다.

본 연구는 보건복지부 보건의료기술 진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임.(과제 번호 : 02-PJ3-PG6-EV03-0004)

참 고 문 헌

- [1] M. Ferdjallah, J. J. Wertsch, and G. F. Hams, "Effects of Surface Electrode Size on Computer Simulated Surface Motor Unit Potentials," *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 39, 1999, pp. 259-265.
- [2] 양 덕진, 전 창익, 이 영석, 이진, 김 성환, "공간필터에 의한 운동단위 활동전위의 분해능 향상에 관한 연구," *대한전기학회논문지D*, vol. 53, 2004, pp. 55-64.
- [3] 최기원, 문인혁, 이명준, 추준욱, 성소영, 문무성, "전극의 형상과 간격을 고려한 건식형 표면 근전위 센서 개발," 제 31회 대한의용생체공학회 추계학술대회, 2004, 11.
- [4] 이명준, 문인혁, 문무성, "근전도 기반 휴먼-컴퓨터 인터페이스를 위한 이중 문턱치 수법," *대한의용생체공학회 논문지*, 25권 6호, 2004, pp. 471-478.
- [5] K. D. Englehart and B. Hudgins, "A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 50, No. 7, July 2003, pp. 848-854.