

# 근전위 신호구동형 전동외수의 제어시스템 설계

崔基源<sup>†</sup>,李明彦<sup>\*</sup>,羅順吉<sup>\*\*</sup>,崔圭夏<sup>\*\*\*</sup>

## Design of Control System for Myoelectric Signal Driving Type Myoelectric Hand Prosthesis

Gi-Won Choi, Myung-Un Lee, Sun-Gil Ra and Gyu-Ha Choe

### 요 약

본 논문은 사람의 근육에서 발생하는 근전위 신호를 사용하여 2 자유도를 갖는 전동외수를 구동하기 위한 제어 시스템을 제안한다. 근전위 신호를 측정하기 위한 표면 근전위 센서는 근전위 신호의 출력 특성을 이용하여 근전위 센서의 입력부와 회로부를 설계한다. 제어시스템은 전동외수를 구동하기 위하여 두 개의 제어기와 전동외수의 파지력을 측정하기 위한 파지력 센서와 파지한 물체의 미끄러움을 감지하기 위한 미끄러움 센서로 구성되어 있다. 가상의 근전위 신호를 이용한 실험과 정상인의 실험을 통하여 제안된 제어시스템의 신뢰성을 검증하였다.

### ABSTRACT

This paper presents the control system for driving myoelectric hand prosthesis according to myoelectric signal generated in the human muscle. A surface myoelectric sensor for measuring myoelectric signal is designed a skin interface and a processing circuit according to myoelectric signal output property. The control system consists of two controller for driving dual motor, torque sensor for measuring out torque of motor, slip sensor for detecting slip of torque. The experimental results proved the proposed control system.

**Key Words** : myoelectric signal, myoelectric hand prosthesis, control system.

### 1. 서 론

사회가 발달 할수록 사람과 기계시스템을 연결하는 인터페이스(human machine interface, HMI) 기기도 다양하게 발달되고 있다. 대부분의 인터페이스 기기들

은 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 자극 신호를 받은 근육의 수의수축(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 발

<sup>†</sup>교신저자 : 정회원, 산재의료 관리원 선임연구원  
E-mail : gwchoi@iris.korec.re.kr  
<sup>\*</sup>정회원, 서일대 전기과 교수  
<sup>\*\*</sup>학생회원, 건국대 전기공학 박사과정  
<sup>\*\*\*</sup>정회원, 건국대 전기공학과 교수  
접수일자 : 2007. 5. 1 1차 심사 : 2007. 5. 16  
심사완료 : 2007. 5. 18

생하는 전기적인 활동(electric activity)을 측정하여 사람의 의도를 인식할 수 있는 근전위 센서(myoelectric sensor)가 많이 연구되고 있다<sup>[1-5]</sup>.

본 논문에서는 표면 근전위 센서의 출력신호를 사용하여 두 대의 소형 직류 전동기와 감속기 모듈로 이루어진 2 자유도(degree of freedom, DOF) 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.

근전위 센서의 입력부(skin interface)는 두 개의 입력전극 사이에 하나의 기준전극이 위치하도록 하여 착탈의 용이성을 가지도록 설계하고, 근전위 신호의 중심주파수와 근섬유의 전도 속도를 이용하여 두 입력전극 사이의 간격을 설계한다. 회로부(signal processing circuit)는 근전위 신호의 주파수 분포를 참조하여 대역통과 필터가 내장된 차동증폭기, 상용 전원 잡음을 제거하기 위한 대역저지 필터, 근전위 신호의 순시치(raw myoelectrical signal)를 추출하기 위한 교류 증폭기, 근전위 신호의 레벨을 출력하기 위한 신호처리 회로로 구성한다. 일반적으로 근전위 신호의 순시치를 신호처리 하여 출력되는 근전위 신호의 레벨을 근신호(myo signal)라 한다. 근전위 센서는 제어시스템에 적용하기 위하여 소형이어야 하며 사람의 피부에 부착할 때 착탈의 편의성이 요구된다.

전동외수의 제어시스템은 직류 전원을 사용하고 있으며 두 개의 제어기를 가진 제어부, 두 대의 직류 전동기, 전동외수의 파지력을 측정하기 위한 파지력 센서, 파지한 물체의 미끄러움을 감지하기 위한 미끄러움 센서로 구성되어 있다. 제어시스템은 미리 설정한 문턱치(threshold value)와 근신호를 비교하여 두 대의 전동기를 제어한다. 이때 두 개의 근신호를 두 개의 문턱치와 비교하는 이중문턱치(double threshold value) 방법을 사용하였다.

제작된 전동외수의 제어시스템은 가상의 근신호를 이용한 실험을 통하여 생체 실험에 적용이 가능함을 보여 주었다. 그리고 피검자의 손목 굽힘근(flexor carpi ulnaris)과 손목 펴기근(extensor carpi ulnaris) 두 부위에 제작된 근전위 센서를 부착하고 제어시스템의 구동실험을 수행함으로써 제안된 전동외수 제어시스템의 신뢰성을 검증하였다.

## 2. 표면 근전위 센서

뇌에서 발생한 자극이 운동신경을 통하여 근육을 이루고 있는 근섬유에 전달되면 근섬유는 이온들의 이동이 발생하면서 수축된다. 이러한 근섬유의 수축과정을 통하여 근육은 수축되고 이때 수축과정에서 발생한 이온들의 이동을 측정할 수 있는 근전위 신호이다<sup>[6]</sup>. 사람의 근육에서 얻을 수 있는 근전위 신호에는 신체의 피부에 유도되는 공통성분의 잡음이 포함될 수 있으며, 근전위 신호 자체도 근육의 활성도에 따라서는 잡음에 비해서 상당히 미약하게 나타날 수 있다. 따라서 근전위 센서의 출력 특성은 미약한 신호를 전동외수의 제어 신호원으로 사용할 수 있도록 높은 공통성분 제거비(common mode rejection ratio, CMRR)를 가지면서, 동시에 우수한 신호 대 잡음 비(signal to noise ratio, SNR)를 가져야 한다<sup>[4]</sup>.

그림 1은 본 연구에서 개발한 표면 근전위 센서의 블록도이다. 센서의 두 입력전극(input electrode)에서 감지된 신호는 차동증폭기의 입력신호로 사용되며 기준전극(reference electrode)은 차동증폭기의 접지와 연결되어 센서의 전원과 감지되는 근전위 신호의 공통 접지를 구성한다.

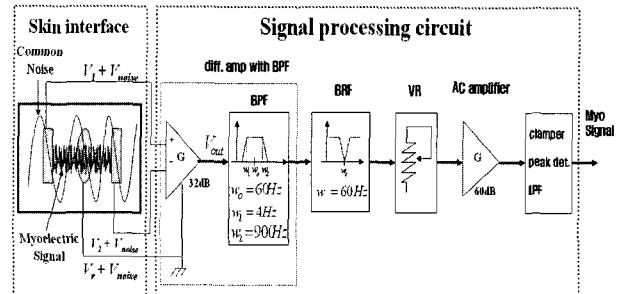


그림 1 근전위 센서의 블록도  
Fig. 1 Block diagram of myoelectric sensor

차동 증폭기는 4Hz~900Hz대역의 대역통과 필터와 함께 구성되어 있다. 이 대역의 신호들은 차동 증폭기에 의해서 동상성분 신호는 제거되고 동시에 대역통과 필터를 통하여 1차적으로 32dB 증폭된다. 그리고 신체에 유도되는 전원 잡음은 60Hz 대역저지 필터(band rejection filter, BRF)를 사용하여 제거된다. 하지만 본 연구에서 설계된 BRF는 R,C 수동소자로 구성하였기 때문에 능동소자를 이용한 BRF보다는 대역폭이 커지고, 이로 인해 근전위 신호의 중심주파수 성분도 함께

감쇄되는 현상이 발생한다. 본 연구에서는 BRF의 영향으로 감쇄된 근전위 신호의 중심주파수 성분을 보상하기 위하여 BRF의 출력단에 최대 60dB의 증폭 이득을 갖는 교류증폭기(AC amplifier)를 사용하였다. 이때 교류증폭기의 입력단은 사용자의 근육 상태에 따른 근전위 신호의 최종 출력신호로 나타나는 근신호의 크기를 조정하기 위해 수동으로 가변저항을 조정할 수 있도록 설계되었다. 근전위 센서의 최종 출력신호인 근신호를 얻기 위한 회로는 클램프(clamp) 회로를 이용한 배전압기(voltage doubler)와 첨두치 검출회로(peak detector)로 구성하였고, 적분기(integrated circuit)를 거쳐 리플을 제거한 최종 근신호가 출력되도록 설계되었다.

본 연구에서는 소형 표면 근전위 센서를 설계하기 위해 전극부는 기준전극이 두 입력전극의 가운데에 나란히 배치된 형태로 설계하였다. 근전위 신호의 평균 전도속도를 4m/sec로 가정하고, 근전위 신호의 대표적인 중심주파수를 90Hz, 100Hz, 110Hz로 설정하였을 때 각 중심주파수가 최대의 출력을 가지는 전극부의 두 입력전극사이 간격은 각각 22mm, 20mm, 18mm로 계산되었다. 정상인을 대상으로 한 실험의 결과 기준 전극과 입력전극이 모두 막대형이고 두 입력전극사이의 간격이 18mm인 전극부가 소형 근전위 센서에 적합한 것으로 나타났다<sup>17)</sup>.

그림 2는 본 연구에서 제작한 센서의 PCB와 전극부를 보여주고 있다. 입력전극과 기준전극의 두께는 2.5mm로 설계하였고, 피부와 접촉하는 각 전극의 높이는 1.5mm 이상이 되도록 제작하였다. 제작된 근전위 센서의 전체 크기는 19×28×12mm [W×D×H]이다.

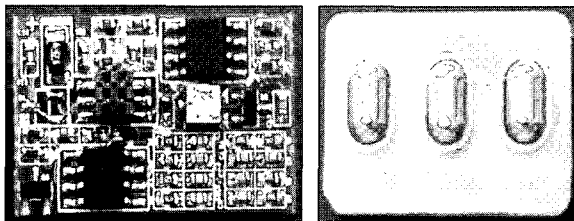


그림 2 개발된 근전위 센서의 PCB 및 전극부  
Fig. 2 PCB and skin interface of development myoelectric sensor

### 3. 2자유도 전동의수

#### 3.1 의수

전동의수는 손과 손목 모듈로 구성되어 있으며, 두

개의 소형 직류전동기로 각각 독립적으로 구동되는 2자유도 의수이다. 표 1은 손과 손목 모듈에 사용된 각 직류전동기의 파라미터들이다.

손의 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 맞닿게 되어 작은 물체를 잡을 수 있는 집기(pinch) 동작이 가능하도록 설계되었다.

표 1 전동의수의 직류전동기 파라미터  
Table 1 Parameter of DC Motor for MHP

사양	손	손목
전압 [V]	6	6
출력토크 [mNm]	5	2.5
회전수 [rpm]	8000	8000
저항(Rs) [Ω]	1.94	3.0
자기인덕턴스(Ls) [μH]	45	150
토크상수(Kt) [mNm/A]	6.92	6.10
회전자의 관성모멘트(Jm) [gcm <sup>2</sup> ]	2.7	2.5
마찰계수(Bm)[mN]	0.2	0.12
역기전력상수(Ke)[mV/rpm]	0.725	0.639

그림 3은 손 모듈의 동력 전달을 보여 주는 그림이다. 손 모듈 구동에 사용된 직류전동기는 4.5W, 8000rpm의 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.

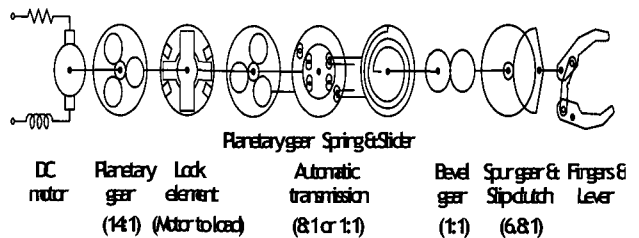


그림 3 손 모듈의 동력전달  
Fig. 3 Power transfer of the hand module

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 20~40N 정도로 낮지만 최종 파지 속도는 비교적 빠르다. 그러나 손의 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 140N 까지 증가된다. 자동변속기의 동력 전달축을 90도 변환하기 위하여 기어비 1:1의 베벨기어(bevel gear)를 사용하였고, 마지막으로 안전장치인 미끄럼 클러치(slip clutch)가 내장된 평기어(spur gear)를 연결하여 손가락과 연결하였다.

손목 모듈 구동에 사용된 직류전동기의 출력은 2.9W 이며 회전수는 8000rpm 이다. 전동기의 출력부와 직결되어 있는 유성감속기에 의해 1/19로 1차 감속된다. 그리고 기어비 30:1의 하모닉(harmonic) 기어를 사용하여 동력 전달축의 변화 없이 2차로 감속하여 동력을 전달한다. 손목 모듈의 최종 회전 속도는 14rpm 으로 정역회전이 가능하도록 설계하였다.

3.2 제어시스템

2 자유도 전동수의를 위한 제어시스템은 기계식 의수의 손과 손목 모듈을 각각 제어하는 제어부와 손의 안정적인 파지동작을 수행하기 위한 파지력 센서, 미끄럼 센서로 구성되어 있다. 전동수에서 많이 사용하는 근육 부위는 상지에서 상대적으로 근육이 많이 분포하고 있는 손목 굽힘근과 손목 펴기근이다. 근육의 수축 정도를 인식하는 대표적인 방법으로는 출력되는 근신호의 크기를 미리 정해둔 문턱치와 비교하는 것이다. 본 논문에서 제안하는 전동수용 제어시스템은 두 부위의 근육에서 검출한 근신호를 사용하여 사용자의 의도를 인식하고 전동수를 제어하였다.

제어부는 손 제어기와 손목 제어기로 구분되며 손 제어기는 손의 파지(grasp)와 펴기(open) 동작을 수행하는 모드 1에 해당되고 손목 제어기는 손목의 내회전(pronation)과 외회전(supination) 동작을 수행하는 모드 2에 해당된다. 그림 4는 손과 손목 제어기의 동작 모드변환을 보여준다. 본 연구에서 제안된 두 제어기의 동작 모드 변환은 두 근육에서 동시 수의수축이 발

생하여 두개의 근전위 센서 출력신호가 미리 설정된 문턱치보다 크게 된 후 수의수축이 해제되어 두 센서의 근신호가 모두 문턱치보다 작아지면 이루어진다.

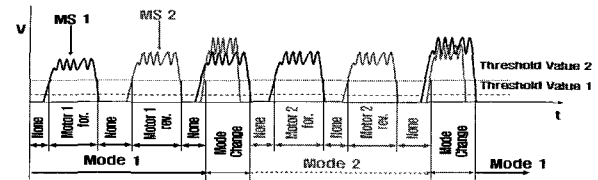


그림 4 제안된 전동수의의 모드변환  
Fig. 4 Mode transfer for proposed MHP

최초 제어부에 전원이 투입되면 손 제어기의 동작 모드 1만 수행이 가능하고 손목 제어기의 동작 모드 2는 수행이 불가능하다. 그러나 두 근육의 동시 수의수축이 발생하여 두 근전위 센서 출력신호가 미리 설정된 문턱치보다 크게 된 후 수의수축이 해제되어 두 센서의 근신호가 문턱치보다 작아지면, 손 제어기의 동작 모드 1은 멈추고 손목 제어기의 동작 모드 2만 수행된다. 다시 두 근육의 수축이 발생하고 수의수축이 해제되면 원래의 손 제어기 동작 모드 1만 수행된다<sup>[8]</sup>.

손 제어기 동작 모드 1에서는 손의 기본적인 파지와 펴기 동작을 수행하며 부가적으로 파지한 물체의 미끄럼을 방지하기 위한 파지력/미끄럼 제어가 수행된다. 파지동작은 두개의 근전위 센서 출력신호 중에서 파지동작 수행을 위한 근신호의 크기가 손 제어기에서 미리 설정된 문턱치보다 높게 되면 수행되며, 근신호의 크기에 비례하여 파지속도와 기준 파지력이 증가한다. 파지동작 수행 중에 파지력이 감지되면, 파지력/미끄럼 제어가 수행되어 입력된 근신호의 크기에 따라 제어기에서 계산된 기준 파지력까지 파지상태를 유지한다. 손제어기의 파지력/미끄럼 제어를 위한 비례-적분 제어 블록도를 그림 5에서 보여주고 있다.

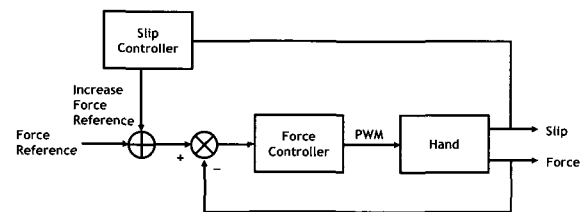


그림 5 파지력 및 미끄럼 제어 블록도  
Fig. 5 Block diagram of grip force and slip control

비례-적분 제어의 입력 성분인 기준 파지력은 사용

자의 근육에서 검출되는 근신호의 크기에 따라 설정되고, 실제 파지력 센서에서 감지되는 파지력과 기준 파지력의 오차를 줄이도록 손 제어기는 직류전동기의 출력을 제어한다. 또한 미끌림 센서의 출력을 통해 파지한 물체와의 접촉 수직력 변화가 설정치보다 크면 손 제어기는 파지한 물체가 미끌림이 발생 한 것으로 인식하여 기준 파지력을 높임으로써 전동기의 출력 토크를 증가시킨다. 결국 파지한 물체의 실제 파지력을 높여서 미끌림을 방지하도록 하였다. 그리고 파지력 센서의 출력이 미리 설정된 최대 파지력에 도달하면 파지동작 수행을 위한 근신호가 입력되어도 손 제어기는 전동기의 구동을 정지시켜서 의수의 기구적인 파손을 방지하고 배터리의 전류 소모를 줄이도록 설계되었다.

이러한 파지력/미끌림 제어가 수행되면 손 제어기 동작 모드 1의 펌 동작 수행 이외에는 제어 모드를 벗어나지 못하며 손목 제어기 동작 모드로 변환되어도 파지력/미끌림 제어는 수행된다. 펌 동작은 두개의 근전위 센서 출력신호 중에서 펌 동작 수행을 위한 근신호의 크기가 미리 설정된 문턱치보다 높게 되면 수행되며, 마찬가지로 손의 펌 속도는 출력되는 근신호의 크기에 비례하여 증가한다. 그리고 파지력 센서의 출력이 의수가 최대로 퍼진 상태로 확인되면 손 제어기는 직류전동기의 구동을 정지시켜서 펌 동작을 더 이상 수행하지 않도록 한다.

손목 제어기 동작 모드 2에서 손목 회전은 두 개의 근전위 센서 출력신호 중에서 각 회전방향에 해당하는 근신호의 크기가 손목 제어기에서 미리 설정된 문턱치보다 높게 되면 수행되며, 근전위 센서에서 출력되는 신호의 크기에 비례하여 회전속도는 증가한다.

제작된 손 제어기와 손목 제어기를 그림 6에서 보여 주고 있다. 손 제어기는 소형 마이크로프로세서를 이용하여 21X33 mm 크기로 제작하였으며 손목 제어기는 원통형 flexible PCB로 제작되어 손목회전을 위한 전동기 케이스 표면에 부착하였다.

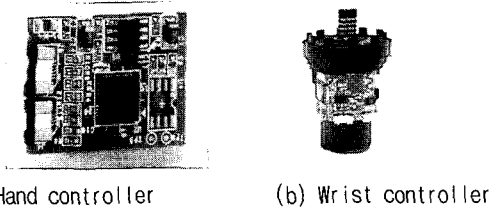


그림 6 손 제어기와 손목 제어기  
Fig. 6 Fabricated hand and wrist controller

스트레인 게이지를 사용하는 파지력 센서는 손 모듈

의 4절 링크구조에서 엄지와 검지를 연결하는 레버에 위치하며, 스트레인 게이지와 증폭기로 구성되어 있다.

4절 링크구조에서 레버는 0 에서 150N 까지의 파지력에 대하여 선형적인 굽힘응력이 측정될 수 있도록 설계되었다. 스트레인 게이지는 full-bridge 형태로서 레버의 상단에 길이방향으로 부착된다.

증폭기는 스트레인 게이지의 전압변동을 700배 이상 증폭되도록 설계되었다. 손 제어기는 증폭기의 출력신호를 받아서 실제 파지력을 계산하여 파지동작 수행 중 기준 파지력과 비교하는데 사용한다. 제작된 flexible PCB는 스트레인 게이지의 터미널과 직접 결선되고 증폭기를 레버의 측면에 부착하였다. 그림 7은 제작된 파지력 센서의 사진이다.

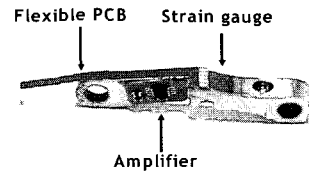


그림 7 제작된 파지력 센서  
Fig. 7 Fabricated grip force sensor

미끌림 센서는 손의 엄지 끝에 위치한 눌림판, 탄성체 저항(force sensing resistor, FSR), 그리고 그림 8과 같은 형상의 방사형 회로로 구성되어 제작하였다. 방사형 회로는 서로 120°의 각을 가진 세개의 전기적인 회로로 이루어져 있으며, 방사형 회로 위에 놓인 탄성체 저항은 압력이 증가함에 따라 저항값이 감소하는 특성을 가지고 있다. 방사형 회로 위에 탄성체 저항을 배치하고 엄지 끝의 눌림판을 통해 전달되는 파지 물체와의 접촉 압력 변화를 감지 할 수 있도록 그림 9와 같이 제작하였다. 따라서 물체를 파지하고 있을 때 방사형 회로의 출력은 세 개의 전기적인 신호로 나타나고, 손 제어기는 세 개의 신호를 입력으로 받아 평균값을 계산하여 미끌림을 감지하는데 이용한다.

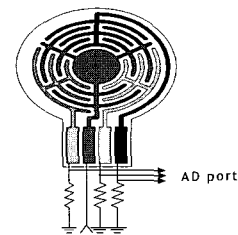


그림 8 미끌림 센서의 회로 형상  
Fig. 8 Circuit shape of slip sensor

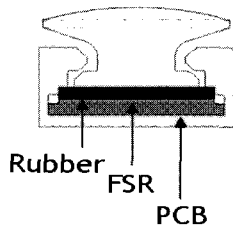


그림 9 제작된 미끌림 센서의 구조  
Fig. 9 Structure of fabricated slip sensor

#### 4. 실험 및 결과

그림 10과 같이 조립된 손 모듈에 장착된 제어시스템에서 각 제어기는 RISC형 고속 8bit CPU인 ATmega32(ATMel Co.)를 채용하였고, 제어 프로그램은 실시간 커널인 uCOS-II에서 실행되도록 구현하였다. 두 제어기에서 사용된 직류전동기의 구동IC는 모두 H 브리지 회로(H-bridge circuit)가 내장된  $\mu$ PD16805(NEC CO.)가 사용되었다. 직류전동기의 구동IC의 제어 입력단자 4개(IN1, IN2, INC, STB) 중 두 개(IN1, IN2)의 단자를 제어하여 직류전동기의 정역회전을 구현하였으며, 제어기에서 출력되는 PWM 듀티(duty)를 사용하여 각 전동기의 출력을 제어하였다.

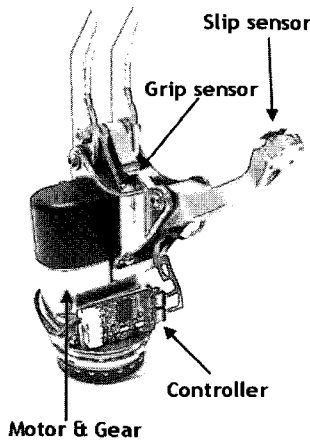


그림 10 조립된 손 모듈  
Fig. 10 Assembled hand module

그림 11에서는 가상의 근신호를 손 제어기에 입력하였을 때 근신호의 크기에 따라 파지력이 제어되는 과정을 볼 수 있다. 그림 11에서 (a)의 (1)~(4)는 파지동작을 수행하기 위한 크기가 다른 가상의 근신호이며 (a)의 (5)는 손의 펌 동작을 수행하기 위한 가상의 근

신호이다. (a)의 출력값은 손 제어기의 입력으로 들어오는 가상의 근신호를 A/D(analog to digital converter)한 값이고 실험에서는 사용자의 의도를 파악하기 위하여 사용된 손 제어기의 문턱치 값을 51(1V)로 설정하였다. (b)는 가상의 근신호의 크기에 따른 제어기에서 계산된 기준(reference) 파지력 값과, 그림 13의 (c)와 같은 실제 파지력 센서의 출력 신호를 A/D하여 계산된(real) 값을 함께 보여주고 있다. (c)는 가상의 근신호에 의해서 출력되는 PWM의 듀티 값을 보여주며, (d)는 미끌림 센서에서 감지되는 세 개의 출력신호를 A/D하여 평균한 값을 보여주고 있다. 가상의 근신호의 크기가 (1)에서 (4)까지 증가함에 따라 기준 파지력이 증가하고 손 제어기의 비례-적분 제어에 의하여 제어기의 출력 PWM 듀티 값이 증가되어 실제 파지력 센서의 출력이 기준 파지력을 추종하는 것을 볼 수 있다(그림 11(b), (c) 참조). 가상의 근신호(5)가 출력되면, 손 제어기가 펌 동작을 수행하므로 기준 파지력, 실제 파지력, 손 제어기에서 출력되는 PWM 듀티 값, 그리고 미끌림 센서의 출력 값이 모두 0가 되는 것을 볼 수 있다.

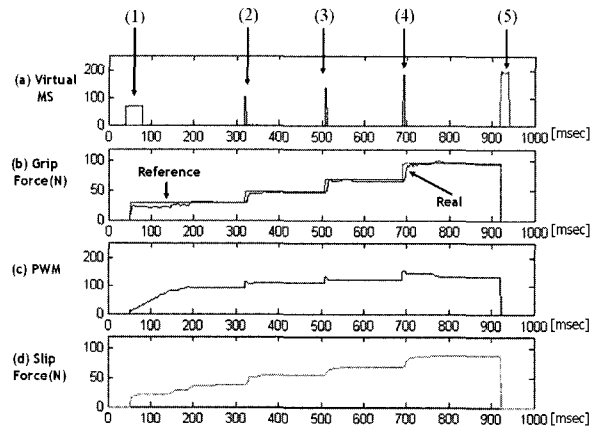


그림 11 가상의 근신호에 따른 파지력 제어  
Fig. 11 Grip force control according to virtual myoelectric signal

그림 12에서는 미끌림 센서의 수직력 변화를 임의로 주었을 때 파지한 물체와의 미끌림을 감지하고 손 제어기가 기준 파지력을 증가시키는 과정을 볼 수 있다. 그림 12에서 가상의 파지신호 (1)에 의해서 손 제어기는 설정된 파지력을 유지하고 있다(그림 12 (a) 참조). 하지만 파지한 물체에 임의의 수직력을 주었을 때 미끌림 센서의 출력이 감소한 (2), (3) 지점에서 손 제어

기는 파지력의 기준값을 증가시켜 실제 파지력을 증가시킨다(그림 12 (b), (d) 참조). 결국 손 제어기는 파지한 물체의 미끄러움을 감지하여 실제 파지력을 증가시켜서 파지한 물체의 미끄러움을 방지함으로써 안정적인 파지가 유지되도록 제어한다.

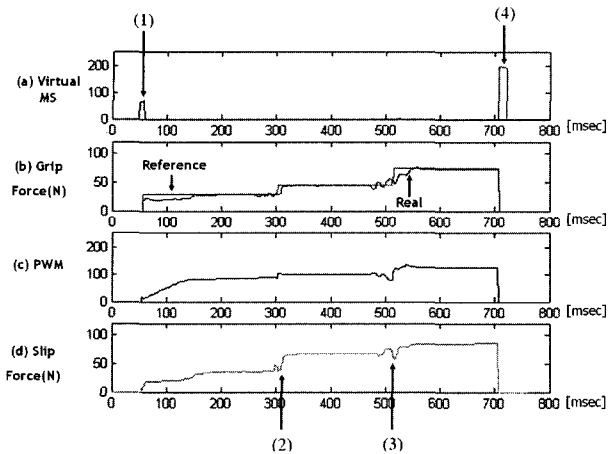


그림 12 가상의 미끄러움에 의한 파지력 제어  
Fig. 12 Grip force control according to virtual slip signal

두 실험의 결과로부터 초기 가상 근신호의 크기에 의해서 계산된 기준 파지력에 도달하는 실제 파지력 센서의 출력은 약 150msec 정도 소요되지만(그림 12(b) 참조), 이후 가상 근신호의 크기가 증가하여 제어기에서 계산되는 기준 파지력이 증가함에 따라 실제 파지력 센서의 출력이 추정하는 시간은 50msec 이내로서 전동외수 제어시스템의 반응시간인 300msec<sup>[9]</sup>와 비교하면 상당히 짧은 시간이다. 이것은 제안된 손 제어기가 사람에게 적용하는데 문제가 없다는 것을 의미한다.

마지막으로 피검자를 대상으로 사용 편리성에 대해 실험하였다. 피검자는 현재 외국 제품 전동외수를 10년 동안 사용해온 상지 절단장애인(upper-limb amputee)이다. 그러나 사용하고 있는 전동외수는 1자유도로써 손목의 회전 기능이 없는 전동외수였다. 손목 회전과 손가락 파지, 동작 모드 변환을 위한 두 근육의 동시 수의수축 훈련을 약 10분 정도 수행하였다. 실험 결과, 피검자는 개발된 외수의 4가지(손의 파지와 폼 손목의 내회전과 외회전) 동작을 쉽게 구현하였으며 각 동작 구현에 있어서 편하며, 빨리 익숙해 질 수 있다는 의견을 제시하였다.

그림 13은 손 제어기 동작 모드에서 피검자의 근신

호에 따른 파지력의 변화와 전류 파형을 나타낸 사진이다. 그림 13에서 (a)의 (1)~(4)는 손의 파지동작을 수행하기 위한 피검자의 근신호이며 (b)의 (5)는 손의 폼 동작을 수행하기 위한 피검자의 근신호이다. 실험에서는 피검자의 의도를 파악하기 위하여 사용된 손 제어기의 문턱치 값을 51(1V)로 설정하였다. (c)는 각 근신호에 의한 파지력 센서의 출력 변화를 보여주며, (d)는 각 근신호에 의한 손 모듈에서 사용된 직류전동기의 전류 파형을 나타내고 있다.

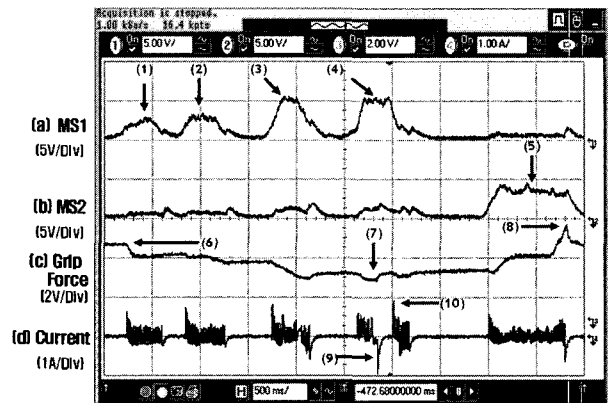


그림 13 근신호에 따른 파지력 제어와 전류 파형  
Fig. 13 Grip force control and current wave according to myo-signal of upper-limb amputee

초기에 의수가 퍼진 상태에서 피검자의 근신호(1)에 의해 손의 파지가 시작되면 파지력 센서의 변화가 시작되는 것을 볼 수 있다(그림 13의 (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 13의 (7) 참조). 이때 손 제어기는 최대 파지력이 발생한 순간 손 모듈의 손상을 방지하기 위하여 직류전동기에 인가된 전류를 차단하고, 직류 모터에는 역기전력이 발생된다(그림 13의 (9) 참조). 그러나 파지력 센서의 출력이 허용치 범위를 벗어나면 제어기는 다시 직류전동기에 전류를 인가하여 최대 파지력을 유지하려고 한다(그림 13의 (10) 참조). 의수의 폼 동작을 위한 피검자의 근신호(5)에 의해 손 제어기는 의수를 폼 동작을 수행하면서 파지력 센서의 변화가 시작되고 최대 폼 동작점까지 구동시킨다(그림 13의 (8) 참조). 최대 폼 동작점까지 구동되면 손 제어기는 전동기에 인가되는 전류를 차단하고, 마찬가지로 모터에는 역기전력이 발생된다.

그림 14는 피검자의 근신호를 이용하여 2 자유도 전동 의수 제어시스템의 제어모드 전환을 통하여 손 제어기의 모드 1과 손목 제어기의 모드 2 동작을 보여 주고 있다. 그림 14의 (a)는 피검자의 손목 굽힘근의 수축에 의해서 발생하는 근신호이고, (b)는 펴근에서 발생하는 근신호이다. 그림 14의 (c)는 손목 제어기 동작 모드 2에 의한 손목 모듈에 사용된 직류전동기 2의 구동을 보여주는 전류파형이고 (d)는 손 제어기 동작 모드 1에 의한 직류전동기 1의 구동 전류 파형을 보여주고 있다.

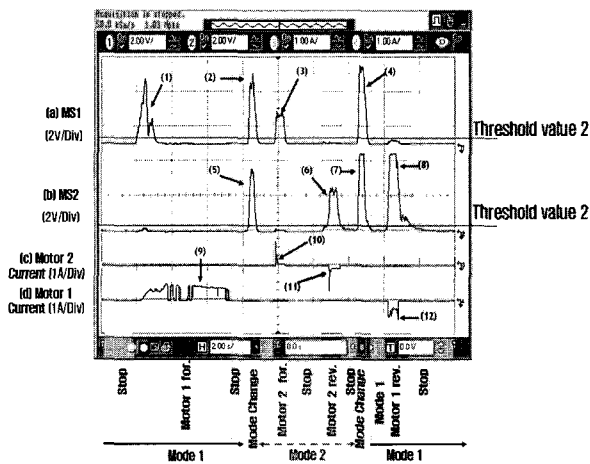


그림 14 근신호에 따른 파지력 제어와 모드 전환  
 Fig. 14 Grip force control and mode transfer according to myo-signal of upper-limb amputee

먼저 제어시스템에 전원이 인가되면 직류 전동기 1을 제어하기 위한 손 제어기 모드 1이 수행되고 손목 제어기는 모드 2의 수행이 불가능하다. 근신호 (1)은 현재 손 제어기 모드 1의 운전 상태이므로 문턱치 2의 1V 보다 높고 이때 (b)의 근신호가 문턱치 1보다 낮게 출력되어 손 제어기는 직류 전동기 1을 정회전 시켜서 파지동작을 수행한다. 이때 제어기 1은 근신호 (1)에 의한 기준 파지력을 계산하고 파지력 센서의 출력이 기준 파지력에 도달하도록 직류전동기 1을 제어한다 ((그림 14의 (9) 참조). 근신호 (a)의 (2)와 (b)의 (5)가 동시에 문턱치 2보다 높게 된 후 일정시간 후 모두 문턱치 1보다 낮게 되어 제어모드의 전환이 이루어 졌다. 따라서 손 제어기는 모드 1의 수행이 불가능하고 손목 제어기의 모드 2는 근신호에 따른 직류전동기의 제어가 가능하게 되었다.

따라서 근신호 (3)이 문턱치 2의 1V 보다 높고 (b)

의 근신호가 문턱치 1보다 낮게 출력되어 손목 제어기는 직류 전동기 2를 정회전 시켜서 손목을 내회전시킨다. 근신호 (3)이 문턱치 2보다 작아질 때까지 손목은 내회전 한다((그림 14의 (10) 참조). 그리고 근신호 (6)이 문턱치 2의 1V 보다 높고 (a)의 근신호가 문턱치 1보다 낮게 출력되어 손목 제어기는 직류 전동기 2를 역회전 시켜서 손목을 외회전 시킨다. 손목의 외회전은 근신호 (6)이 문턱치 1 보다 낮게 출력되면 정지한다((그림 14의 (11) 참조).

근신호 (4)와 (7)이 동시에 문턱치 2보다 높게 된 후 일정시간 후 모두 문턱치 1보다 낮게 되어 제어모드의 전환이 다시 이루어 졌다. 따라서 손 제어기의 모드 1은 입력되는 근신호에 의한 직류 전동기 1의 제어가 가능하게 되었고 손목 제어기는 입력되는 근신호에 따른 직류전동기의 제어가 불가능하게 되었다. 손 제어기는 문턱치 2 보다 높은 근신호 (8)이 입력되고 (a)의 근신호 출력이 문턱치 1보다 작은 상태이므로 직류 전동기 1을 역회전 시켜서 손 모듈의 펴동작을 수행한다 {그림 14의 (12) 참조}. 근신호 (8)이 문턱치 1보다 작아지면 손 제어기는 직류전동기 1의 역회전을 정지하여 펴동작을 멈추게 한다. 그리고 손 제어기는 입력되는 근신호의 출력이 모두 문턱치 1보다 작게 나타나므로 직류 전동기 1을 정지상태로 유지한다.

피검자의 근신호에 의한 전동 의수의 구동에서 제어시스템의 소모전류는 평균 250mA, 순간 최대 전류는 1000mA 이었다. 의수의 제어시스템에서 사용된 Li-Ion 배터리의 용량이 1100mAh 이므로 시스템에 미치는 영향이 없는 것으로 판단된다. 그림 15는 실험에 참여한 피검자가 완성된 전동 의수를 착용하고 물건을 파지하는 사진이다.

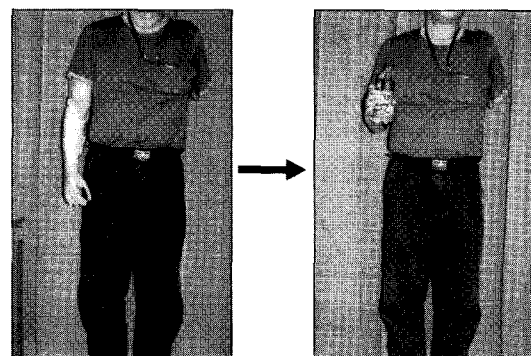


그림 15 상지절단자의 전동 의수 동작 사진  
 Fig. 15 Picture of grasping for MHP by upper-limb amputee



#### 4. 결 론

본 논문에서는 사람의 의도를 인식할 수 있는 표면 근전위 센서를 설계하였고, 센서의 출력신호를 사용하여 두 대의 소형 직류 전동기와 감속기 모듈로 이루어진 2 자유도 전동외수를 제어하기 위한 제어시스템을 설계하였다. 전동외수의 제어시스템은 직류 전원을 사용하고 있으며 두 개의 제어기를 가진 제어부, 두 대의 직류 전동기, 전동외수의 파지력을 측정하기 위한 파지력 센서, 파지한 물체의 미끌림을 감지하기 위한 미끌림 센서로 구성되어 있다. 제어시스템은 이중문턱치 방법을 사용하여 손과 손목 모듈에 사용된 두 대의 전동기를 제어하였다.

제안된 제어시스템은 스트레인 게이지와 증폭기로 구성된 파지력 센서의 출력 신호와 탄성체 저항을 이용하여 제작된 미끌림 센서의 출력 신호를 제어기의 입력으로 구성하여 실시간으로 제어가 동작하도록 프로그램 하였다. 가상의 근신호와 미끌림 신호를 이용한 파지력 실험을 수행한 결과 본 연구에서 제안한 제어시스템의 안정된 파지동작을 확인하였다. 상지 절단 장애자를 대상으로 한 실험의 결과, 피검자의 근신호에 의한 전동외수는 손의 파지와 펴동작, 손목 모듈의 내회전과 외회전 동작을 수행하였다. 이때 각 모듈에 사용된 직류전동기 구동에서 제어시스템의 소모 전류는 평균 250mA, 순간 최대 전류는 1000mA 이었다. 그리고 사용된 배터리의 용량이 1100mAH 이므로 2자유도 전동외수를 가지고 일상생활을 하기에는 충분하다고 판단된다.

제작된 전동외수의 제어시스템은 가상의 근신호를 이용한 실험을 통하여 생체 실험에 적용이 가능함을 보여 주었다. 그리고 피검자의 손목 굽힘근과 손목 펴기근 두 부위에 제작된 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.

#### 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] B. Giroux, M. Laontagne, "Comparison Between Surface Electrodes and Intramuscular Wire Electrodes in Isometric and Dynamic Conditions," *Electromyograph Clin. Neurophysiol*, Vol. 30, 1990, pp. 397-405.

[3] C. Jensen, O. Vasseljen, R. H. Westgaard, "The influence of Electrode Position on Bipolar Surface Electromyogram Recordings of the Upper Trapezius Muscle," *Eur. J. Appl Physiol.*, Vol. 67, 1993, pp. 266-273.

[4] A. L. Hof, "Errors in frequency parameters of EMG power spectra," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, Vol. 38, Nov. 1991, pp. 1077-1088.

[5] S. Thusneyapan, G. I. Zahalak "A Practical Electrode-Array Myoprocessor for Surface Electromyography," *IEEE Trans. Biomed Eng.*, vol. 36, No. 2. Feb. 1989.

[6] 양 덕진, 전 창익, 이 영석, 이진, 김 성환, "공간필터에 의한 운동단위 활동전위의 분해능 향상에 관한 연구," *대한전기학회논문지D*, vol. 53, 2004, pp. 55-64.

[7] 최기원, 문인혁, 이명준, 추준욱, 성소영, 문무성, "전극의 형상과 간격을 고려한 건식형 표면 근전위 센서 개발," 제31회 대한의용생체공학회 추계학술대회, 2004, 11.

[8] 이명준, 문인혁, 문무성, "근전도 기반 휴먼-컴퓨터 인터페이스를 위한 이중 문턱치 수법," *대한의용생체공학회 논문지*, 25권 6호, 2004, pp. 471-478.

[9] 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.

#### 저 자 소 개



#### 최기원(崔基源)

1968년 8월 7일생. 1994년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 산재의료관리원 재활공학연구소 선임연구원. 2001년~현재 건국대 대학원 전기공학과 박사과정.



**이명언(李明彦)**

1960년 6월 11일생. 1985년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2007년 전력전자학회 전력품질기술 전문위원회 위원장. 2002년~현재 서일대 전기과 겸임교수.



**라순길(羅順吉)**

1952년 10월 13일생. 2004년 세명대 전기공학부 졸업. 2006년 건국대 대학원 전기공학 졸업(석사). 2007년~현재 동 대학원 전기공학 박사과정. 1990년~현재 대국전설(주) 대표이사.



**최규하(崔圭夏)**

1955년 7월 24일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1987년 오레곤주립대 Post-Doc. 1997년 건국대 연구처장 및 2002년 교무처장 역임. 현재 건국대 전기공학과 교수 및 에너지신기술연구센터장. 현재 당 학회 회장.