

근전외수의 내구성 시험방법에 대한 연구

Study on a test method for the endurance of myoelectric hand prosthesis

최기원*, 문무성

K. W. Choi, M. S. Mun

요 약

본 논문은 사함의 근육에서 발생하는 근전위 신호에 의해서 제어되는 근전외수의 성능에 대한 시험방법을 제안한 것이다. 근전외수는 기계적인 외수, 근전위 신호를 측정하는 표면 근전위 센서, 제어시스템, 그리고 충전용 배터리로 구성되어 있다. 상용화 된 근전외수를 가지고 파지 내구성을 시험한 결과 소음과 파지력은 큰 차이가 없었다. 제안된 시험방법은 내구성 시험을 통하여 근전외수의 신뢰성을 검증하였다.

ABSTRACT

This paper propose the test method for a performance of the myoelectric hand prosthesis(MHP) controlled according to the myoelectric signal generated in the human muscle. The MHP consists of a mechanical hand, a surface myoelectric sensor(SMES) for a measuring myoelectric signal, a control system and a charging battery. The two commercialized MHP is tested for the grip endurance property. The test results is not difference a noise and a grip force. The proposed test method is proved the reliability of MHP by the endurance test.

Keyword : myoelectric hand prosthesis(MHP), test method, endurance test

1. 서론

외수는 상지절단 장애인들의 재활에 필요한 기구 중의 하나이다. 외수는 손의 동작 기능 보다는 미용적인 기능만을 가지는 미관용 외수(cosmetic hand)로부터 시작하여, 신체의 어깨 움직임을 사용하여 파지(grasping) 동작을 수행 할 수 있는 신체 구동형 외수(body-powered hand)가 있다. 그러나 이러한 신체 구동형 외수는 외수 동작을 위해 손의 동

작과 관계없는 어깨 혹은 상체 부위의 움직임이 필요하고, 다른 신체의 움직임을 이용하므로 피로와 함께 장시간 사용하기에 불편하다는 문제점이 있었다.

따라서 이러한 외수의 문제점을 해결하기 위하여 손과 같은 형상을 가지면서 배터리를 동력원으로 사용하여 모터를 구동시키는 전동형 외수(electric-powered prosthetic hand)가 제안되었다. 특히 파지나 손목 회전(wrist rotation)과 같은 손 동작의 제어신호가 절단된 부위의 잔존근육(residual muscle)에서 검출한 근전위 신호(myoelectric signal)에 의해 이루어지는 근전 외수(myoelectric hand prosthesis, MHP)가 제안 되었다[1][5].

이러한 근전외수는 잔존근육의 수의 수축(voluntary contraction)에 의해 발생하는 근전위 신호를 처리한 근신호(myo-signal, MS)와 미리 설정해 둔 문턱치(threshold value)와 비교하여 사용자의 의도(intention)를 인식한다. 대표적인 근전외수로써는 독일의 System ElectroHand (OttoBock Co.)[2],

접 수 일 : 2011.11.06

심사완료일 : 2011.12.05

게재확정일 : 2011.12.07

* 최기원 : 근로복지공단 재활공학연구소

gwchoi@korec.re.kr (주저자)

문무성 : 근로복지공단 재활공학연구소

msmun@korec.re.kr (공동저자)

※ 본 연구는 2010년도 식품의약품안전평가원 용역연구개발사업의 연구비지원(10172의료기413)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

미국의 Utah ProControl (Utah Arm Co.)[3] 등이 있다.

현재 출시되고 있는 대부분의 근전외수는 엄지, 검지, 중지의 삼지(three finger)로 구성되어 있으며, 모터의 동력에 의해서 직접 구동되는 삼지를 제외한 나머지 두개의 손가락은 검지와 중지의 움직임과 같이 움직이도록 의수의 내피에서 기구적으로 연결되어 있다. 상용화 된 근전외수의 삼지 형태는 사람의 손가락과 같은 관절 형태(interphalangeal joints)가 아닌 무관절 형태이다. 현재 관절형태의 근전외수도 개발되어 외국에서는 상용화 되었다. 이 관절형태의 외수는 다섯 개의 손가락으로 구성되어 있으며, 각 손가락마다 모터가 내장되어 각각 독립적으로 구동이 가능하도록 되어있다. 그러나 국내에서는 관절형태의 외수가 고가여서 많이 사용되고 있지 않으며 기존의 무관절형 외수에 비해 파지력이 약한 것이 단점이다. 일반적으로 상용화 된 무관절 형태의 근전외수는 손 기능을 수행하는 기계식 외수, 근전위 신호를 검출하는 근전위 센서(surface myoelectric sensor)[4], 외수의 동작을 제어하는 제어시스템 그리고 외수의 동력원인 충전용 배터리로 구성되어 있다.

본 논문에서는 상용화되어 있는 근전외수의 사용에 있어서 제품의 신뢰성을 보장하는 근전외수의 내구성 시험을 방법을 제안한다. 일반적으로 외수의 내구성 시험은 공압이나 유압을 이용한 시험기를 사용하고 있다. 하지만 근전외수는 배터리를 동력원으로 사용하여 모터를 구동하는 방식이므로 기존의 형태와 다른 내구성 시험기의 개발이 필요하다. 이를 위하여 배터리를 대신하는 직류전원 장치가 구비된 내구성 시험기를 제작하고 상용화 된 두 개의 근전외수를 사용하여 파지 내구성 시험을 수행하였다. 시험 결과에서는 시험 전과 시험 후의 상태에서 근전외수의 파지력을 비교하였고 사용자의 입장에서 가장 민감하게 생각하는 근전외수의 소음에 대하여 조사하였다. 그 결과 소음과 파지력에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 제안된 내구성 시험방법이 근전외수의 내구성을 검증하는 하나의 방법으로 가능하다는 것을 증명하였다.

2. 근전외수의 내구성 시험

2.1 근전외수

외수 중에서 상용화 되어 제품으로 판매되고 있는 대부분의 근전외수 외형은 엄지 및 검지와 중지

의 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 항상 동시에 작동되는 인체의 손동작과 유사하다. 특히 파지동작을 수행할 때는 엄지와 검지의 끝이 서로 맞게 되어 얇은 물체를 집을 수 있는 집기(pinch) 동작이 가능하도록 설계되어 있다. 그림 1은 시판 중인 상용화 된 근전외수의 사진이다.

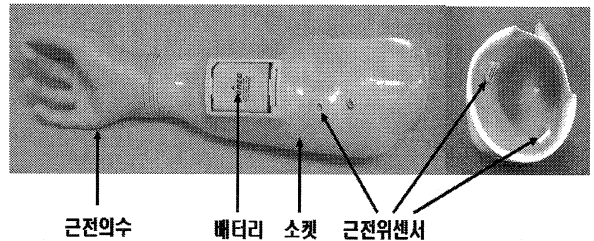


그림 1. 상용화 된 근전외수

근전외수의 동작은 사용자의 잔존근육에서 발생하는 두 개의 근신호의 상태에 따라 제어기에서 소형 직류모터의 정·역회전을 제어하며 모터와 연결된 감속기를 통하여 파지와 펴 동작이 이루어진다. 근전외수는 큰 파지력을 발생시키기 위하여 모터와 연결된 감속기의 비율이 높다. 모터의 용량은 4.5W 이고, 회전수는 분당 8000회 정도이며 최대 감속비는 최대 112:1이다. 그리고 사용하는 주 전원은 소형 배터리에서 공급되며 주로 Li-Ion 배터리가 사용된다.

2.2 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 측정하는 것이 근전위 신호이다. 사람의 근육에서 얻을 수 있는 근전위 신호에는 신체의 피부에 유도되는 공통성분의 잡음이 포함될 수 있으며, 근전위 신호 자체도 근육의 활성화도에 따라서는 잡음에 비해서 상당히 미약하게 나타날 수 있다. 따라서 근전위 센서의 출력 특성은 미약한 신호를 근전외수의 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.

이러한 근전위 센서는 보통 젤을 사용하는 습식을 많이 사용하고 있으나 근전외수에서는 사용자가 반복해서 탈부착을 해야 하므로 건식형 근전위 센서를 사용한다. 건식형 근전위 센서는 사용자의 잔존근육 위에 젤 없이 부착하여 사용자의 수의수축에 의해서 발생하는 근전위 신호를 측정한다. 상용화되어 있는 근전위 센서의 입력은 배터리의 출력 전압이고 센서의 출력 신호 크기는 0~4.5 v 이며 제어기에서는 주로 1 v 를 문턱치로 사용하여 사용자의 의도를 인식한다. 그림 2는 국산 근전외수에서 사용하는 근전위 센서이다.

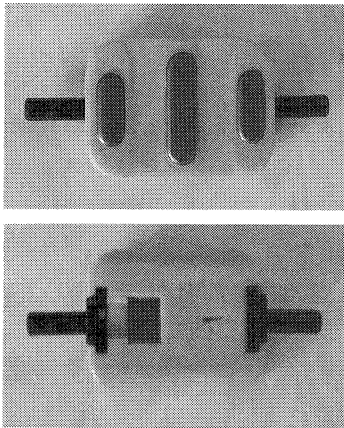


그림 2. 근전위 센서

2.3 내구성 시험 방법

근전외수를 사용하는 상지절단 장애인들의 사용 환경은 일반적인 환경보다 열악하다고 볼 수 있다. 손의 움직임은 모든 활동에 있어서 반드시 필요하고 독립적인 생활을 영위하기 위한 재활의 방법이다. 따라서 근전외수는 어떠한 환경에서라도 동작의 신뢰성이 보장되어야 하며 성능(소음과 파지력)이 만족스러워야 한다.

먼저 근전외수는 신체구동형 의수 중에서 능동핸드의 기능과 유사하므로 능동 핸드(voluntary opening hand, 한국산업규격 KS P 8410:2007)의 성능을 만족해야 한다. 따라서 근전외수의 성능도 능동핸드의 정적강도(static strength)에 대하여 만족해야 한다. 그러나 내구성 시험은 능동핸드와 다르게 볼 수 있다. 근전외수는 배터리를 동력으로 사용하므로 반복적인 시험은 근전외수 자체로서 수행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 근전외수의 내구성 시험을 위하여 배터리를 대신하는 직류전원장치가 포함된 시험기를 제작하였다. 그림 3은 제작된 근전외수 내구성 시험기 사진이다.

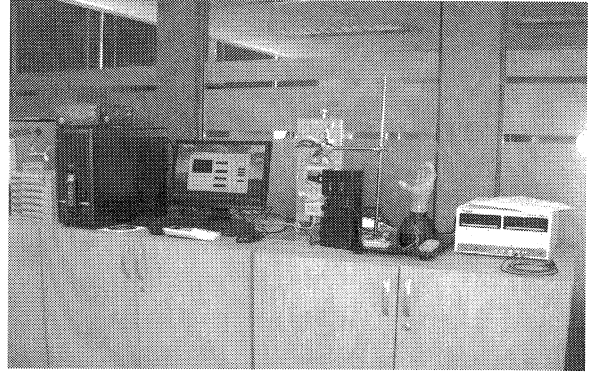


그림 3. 제작된 근전외수 내구성 시험기

제작된 근전외수 내구성 시험기는 근전외수의 파지력을 측정하고 측정된 파지력 데이터를 전송하는 파지력 측정기(digital force gauge, AFG-20), 근전외수를 제어하기 위한 의수 조정기, 내구성 시험을 위한 직류전원 장치, 그리고 근전외수 제어신호를 발생시키고, 파지력을 확인하는 제어프로그램으로 구성되어 있다.

제어프로그램은 파지력을 측정하는 파지 모드, 수동모드, 반복 시험 모드의 설정이 있다. 파지모드는 파지력을 측정하여 설정된 파지력 이상이 되면 자동으로 의수조정기의 출력신호를 차단하고 다음 모드의 실행이 수행되기 전까지 현재의 상태를 유지하는 모드이며, 파지의 유지시간, 반복횟수의 설정 및 표시, 전송된 파지력 데이터를 실시간으로 표시하는 등의 기능이 있다. 특히 파지력, 유지시간, 반복횟수는 사용자가 임의로 설정할 수 있도록 되어 있어 다양한 방법으로 시험을 수행할 수 있다. 수동모드는 시험자가 제어프로그램을 통하여 근전외수의 파지와 펌 동작을 제어하도록 하는 모드이고 마지막으로 반복 시험 모드는 근전외수의 파지와 펌 동작의 시간을 설정하여 시간에 따라서 반복 동작을 수행하는 모드로서 파지력을 고려하지 않고 파지동작이 완료되는 신호를 받아서 동작한다. 이것은 근전외수의 단순 기계적인 내구성 반복시험을 수행하기 위한 모드이다.

의수 조정기는 직류 전원장치의 전원을 사용하여 근전외수를 구동하기 위한 근전위 센서의 출력을 대신한다. 따라서 근전위 센서의 출력을 대신하는 가상의 근전위 신호를 발생시킨다. 가상의 근전위 신호의 크기는 3 v로 하였으며 이는 근전외수 제어기의 문턱치 전압 1 v보다 높기 때문에 충분한 전압으로 보인다. 그리고 초기 근전외수의 상태를 확인하기 위한 수중 조작 스위치가 있어 제어프로그램과 상관없이 근전외수 파지와 펌 동작을 확인할 수 있다.

파지력 측정기는 제어프로그램과 통신을 통하여 측정된 파지력 데이터를 보낸다. 근전의수의 파지력을 측정하기 위하여 파지 지그가 연결되어 있고 근전의수를 고정하기 위한 고정 지그로 되어 있다. 파지력의 샘플 주파수는 100Hz이다.

내구성의 내구성 시험은 제어프로그램에서 파지모드로 수행하였다. 근전의수 최초상태는 펌 상태이므로 파지 동작을 위한 신호(grip signal)를 3초 동안 발생시키고 근전의수는 펌 상태이므로 파지 동작을 수행한다. 이후 제어프로그램은 파지 동작을 유지하기 위한 정지 신호(stop signal)를 3초 동안 보낸다. 그리고 펌 동작을 위한 신호(open signal)를 3초 동안 발생시키면 의수는 펌 동작을 수행하며, 펌 동작 신호가 멈추면 펌 동작을 유지하기 위한 정지 신호를 3초 동안 발생시킨다. 따라서 내구성 시험을 위한 한 주기(one cycle)는 12초 이다.

3. 내구성 실험 및 결과

본 논문에서 수행한 내구성 시험은 상용화된 근전의수 중 국산과 외산을 각각 1000회의 파지와 펌 동작을 반복하는 파지모드에서 수행하였고, 설정된 파지력은 5kgf 였다. 이것은 근전의수 사용자가 일반적으로 1일 5~6회 정도 사용하며 이때 파지력이 1kgf 미만인 점을 고려한다면 설정된 파지력은 사용자 파지력의 5 배이며 반복 횟수는 6 개월을 가정한 수치이다. 이러한 기준은 사용자의 일상생활을 고려한다면 설정된 기준은 근전의수를 3년 정도 사용할 수 있는 범위로 보인다. 그림 4는 외산 근전의수의 시험 사진이다.

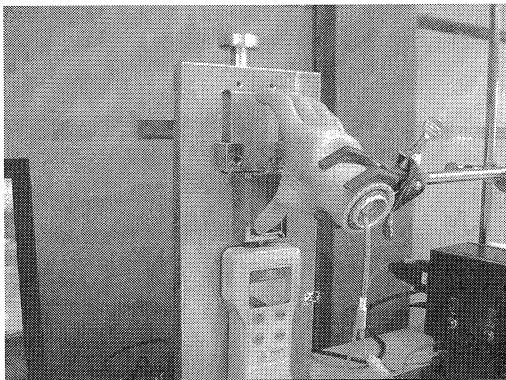


그림 4. 내구성 시험 사진

내구성 시험을 한 후 소음(sound level meter, TES 1350A)과 파지력을 측정하였다. 한국산업규격의 능동헤드에서는 내구성 시험 후 이상음의 유무

만 확인하고 있지만, 일반적으로 의료기기에서 소음의 기준은 45dB 이하의 내부소음이 있는 별도의 공간에서 시료와 1m 떨어진 곳에서 소음을 측정하고 있다. 하지만 근전의수는 사용자의 신체 일부를 대신하고 사용자들이 소음에 대하여 민감하게 반응하므로 50cm 거리를 두고 소음을 측정하였다.

내구성 시험 후 격리된 방음실(내부 소음 30dB 이하)에서 국산 근전의수와 50cm 간격을 두고 소음을 측정한 결과 파지시에는 39dB, 펌 동작시에는 42dB 이었으며, 외산은 파지와 펌 동작 시에 모두 39dB 이었다.

국산과 외산 의수의 펌 동작시 3dB 차이가 있었다. 의료기기에서 요구하는 50dB 이하이므로 사용상 문제는 없어 보인다. 그러나 이것은 사용자에 따라서는 무시할 수 있는 수치가 아닐 수 있으므로 국산 근전의수의 개선이 필요한 부분으로 사료된다.

그림 5는 국산과 외산 근전의수의 파지력 데이터를 보여 주고 있다.

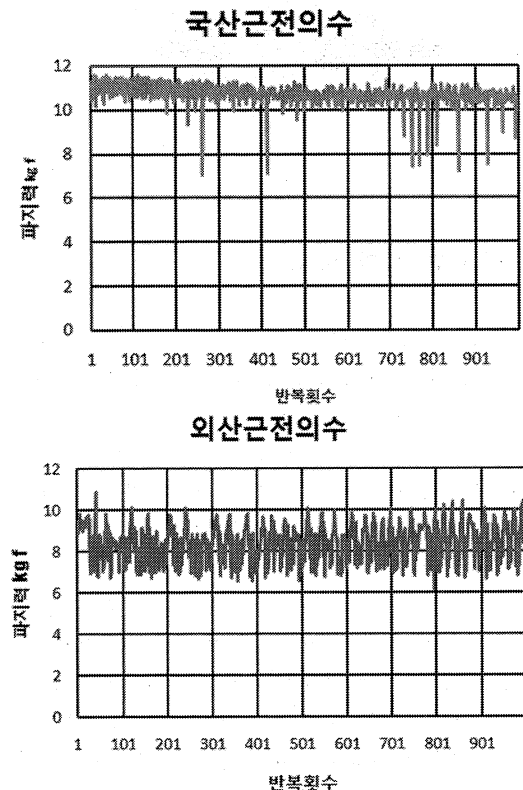


그림 5. 내구성 시험 후 파지력 시험결과

파지력은 국산은 10kgf, 외산은 8kgf 으로 나타났다. 제어프로그램에서 설정된 5kgf 와는 상당한 차이가 있다. 이것은 파지 동작 시 측정된 파지력이 설정된 파지력 보다 크게 되어 파지 동작 신호를

차단해도 높은 감속비율을 가진 근전외수의 기계적인 특성에 의해 나타난 것으로 보인다.

과지력이 서로 2kgf 차이가 있는 것은 각 외수의 제어프로그램과 기계적인 감속비가 다르기 때문에 나타나는 현상으로 보인다. 시험에 사용된 근전외수는 모두 내구성시험을 통해서 충분한 과지력과 낮은 소음을 고려한다면 사용자가 사용함에 있어서 불편함이 없을 것으로 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 상지절단 장애인들의 재활에 필요한 외수 중에서 절단된 잔존근육에서 발생하는 근전위 신호를 사용하여 외수를 제어한 근전외수의 내구성시험 방법에 대하여 조사하였다. 근전외수는 능동핸드의 내구성시험 방법을 참조하였으나, 내구성시험은 능동핸드와 다르게 수행하였다. 근전외수는 배터리 동력으로 동작을 수행하므로 직류전원장치가 포함된 내구성 시험기를 제작 하였고, 국내 사용자의 대부분이 사용하고 유통되는 두 개의 상용화된 근전외수를 가지고 내구성 시험을 수행하여 소음과 과지력을 측정하였다. 측정 결과 시험에 사용된 근전외수 모두 반복 내구성 시험 통해서 충분한 과지력과 낮은 소음을 보유하고 있으므로 사용자가 사용함에 있어서 불편함이 없을 것으로 보인다. 따라서 제안된 내구성 시험방법이 근전외수의 내구성을 검증하는 하나의 방법으로 가능할 것으로 보인다.

추후 연구에서는 근전외수의 내구성 시험방법의 신뢰성을 향상시키기 위하여 다양한 형태(관절형 근전외수)의 국외 근전외수 시험을 수행할 필요가 있다. 그리고 충분한 시험을 통하여 얻어진 결과를 토대로 하여 근전외수의 성능시험기준에 대한 가이드라인 개발에 기초를 마련할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] H. Nicolai, L. Teodorsscu, and L. C. Jain, *Intelligent systems and technologies in rehabilitation engineering*, CRC press, pp.243-246, 2001.

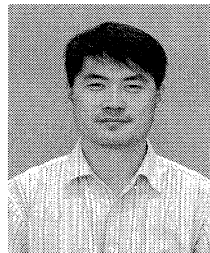
[2] <http://www.ottobock.com>

[3] S. Jacobsen, D. Knutti, and R. Johnson, "Development of the Utah Artificial Arm", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol.BME-29,

no.4, pp.249-269, 1982.

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

[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, pp.848-854, July 2003.



최 기 원

1994년 2월 건국대학교 전기공학과 졸업 (학사)
 1996년 2월 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업 (석사)

2007년 8월 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업 (박사)
 1996년 3월 - 현재 근로복지공단 재활공학연구소 책임연구원
 관심분야 : 재활의료기기



문 무 성

1978년 서울대학교 기계공학과 졸업 (학사)
 1982년 서울대학교 대학원 기계공학과 졸업 (석사)

1992년 University of Minnesota 의공학과 (공학박사)
 1994년 3월 - 현재 근로복지공단 재활공학연구소 소장
 1998년 1월 - 현재 기술표준원 ISO/TC173 전문위원회장
 2007년 1월 - 현재 기술표준원 ISO/TC168 전문위원회장
 관심분야 : 생체역학 및 재활시스템