

근전전동의수 원리 및 연구동향

근로복지공단 재활공학연구소

박 세 훈

Principle and the Latest Trend of the Myoelectric Hand Prosthesis

Sehoon Park, Ph.D.

Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center

J Korean Soc Prosthet Orthot 2013; 7: 40-45

서 론

선천적 또는 후천적 장애인의 건강한 사회활동의 성공여부는 상실된 기능을 복원할 수 있는 재활보조장치에 절대적으로 의존한다. 특히 상지절단환자의 경우, 이동이 자유롭고, 기존 전문 지식과 본인의 사회적 역할을 충분히 인지하고 있으므로 사고전과 비교할 때 단지 손 기능만 없어 손 기능을 대신하는 보조장치인 의수를 착용할 경우, 정상인과 다름없이 기존의 사회 구성원으로서의 역할을 지속적으로 할 수 있다.

의수는 Fig. 1과 같이 기능별로 크게 3가지 타입으로 분류된다. 첫째는 아무런 기능이 없고 단순한 손의 외형만 있는 미관형 의수이고 둘째는 다른 신체 부위의 동작에 의해 단순 파지기능이 있는 반자동 의수이다. 그리고 마지막으로 강한 파지력과 다양한 물체를 파지할 수 있는 근전전동의

수로 나눌 수 있다.¹

근전전동의수는 스위치와 같은 부가 장치를 이용하지 않고 절단부위의 잔존근육에서 발생하는 미세한 생체신호인 근전도 신호를 이용하여 전동의수를 제어하는 재활보조장치로서 일상생활에서 사용되는 다양한 종류의 물체를 쉽고 안전하게 파지할 수 있어 다른 의수에 비해 금전적인 부담에도 불구하고 수요가 점차 증가하고 있다.

근전전동의수는 크게 3개의 손가락으로 파지하는 3 손가락 타입과 5개의 다관절 손가락을 가지는 5 손가락 타입의 근전전동의수로 나눌 수 있다.(Fig. 2)

단일 링크를 가지는 3개의 손가락(엄지, 검지, 약지)으로 파지를 하는 3점접 타입의 근전전동의수는 가볍고 파지력이 큰 반면, 다관절 구조로 5개의 손가락을 모두 사용하는 5 손가락 타입의 근전전동의수에 비해 다양한 파지 및 손 동작 구현이 쉽지 않다. 현재 3,000만원 이상되는 고가의 5 손가락 근전전동의수에 비해 저렴한 가격으로 대다수의 상지

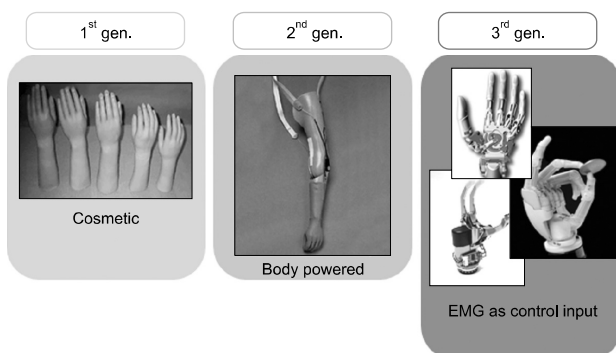


Fig. 1. Trend of the upper-limb amputee prosthesis.

접수일: 2013년 11월 12일, 게재승인일: 2013년 11월 22일

교신저자: 박세훈, 인천시 부평구 무네미로 446

☎ 403-712, 근로복지공단 재활공학연구소

Tel: 032-500-0598, Fax: 032-512-9794

E-mail: shpark@korec.re.kr

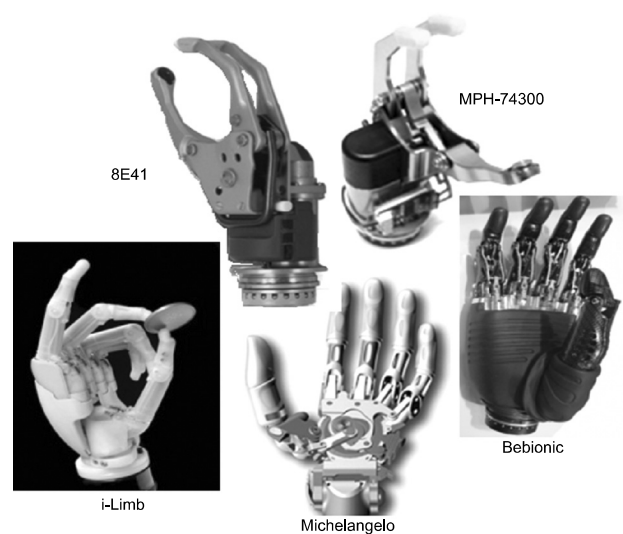


Fig. 2. Latest myo-electric hand prosthesis.

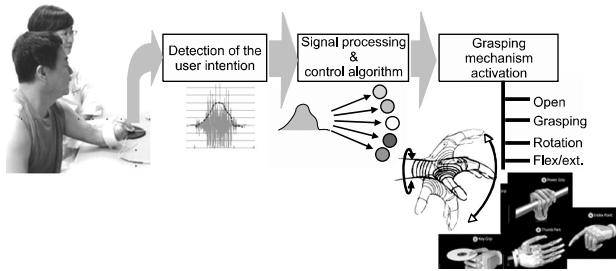


Fig. 3. Principle of the myoelectric hand prosthesis.

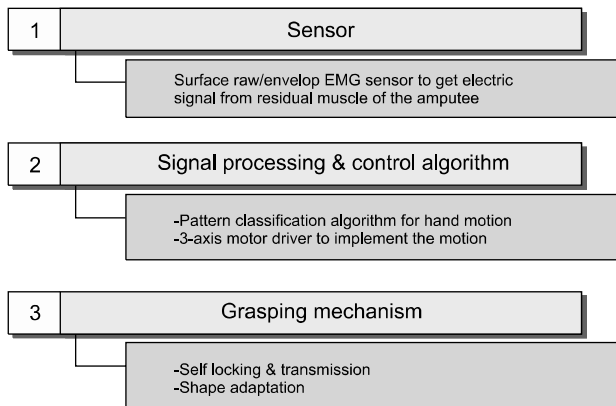


Fig. 4. Major components for the myo-electric hand development.

절단장애인이 사용하고 있으나 향후 5손가락 근전전동의 수가 시장을 점차 확대해 가고 있는 실정이다.

본 론

1) 근전전동의수의 원리 및 주요기술

근전전동의수의 원리는 다음과 같다. 먼저 절단부위의 잔존근육으로부터 나온 생체신호인 근전신호를 획득하여 사용자 파지의도로 감지한다. 이를 이용하여 모드 변환, 패턴인식과 같은 신호처리 과정을 거쳐 근전전동의수 구동을 위한 제어입력신호로 구현한다. 마지막으로 이 신호를 이용하여 다양한 물체파지 및 손동작 구현을 위한 파지메커니즘을 구동한다.(Fig. 3)

따라서, 근전전동의수의 핵심기술은 첫째, 사용자 파지의도 감지를 위한 생체신호 획득기술, 둘째 획득한 신호를 제어입력신호로 사용하기 위한 신호처리 및 제어 알고리즘 기술, 셋째 다양한 파지 및 손동작 구현을 위한 메커니즘 설계기술, 그리고 사용자가 원만한 사용 및 적응을 위한 훈련시스템 개발기술로 나눌 수 있다.(Fig. 4)

(1) 사용자 의도 감지를 위한 생체신호 획득기술: 재활보조장치를 사용하는 사용자 입장에서 볼 때 스위치를 이용한 파지동작이나 몸동작을 이용한 파지동작제어는 매우 불편할 뿐더러 이를 사용하기 위한 부가적인 부품이 추가되

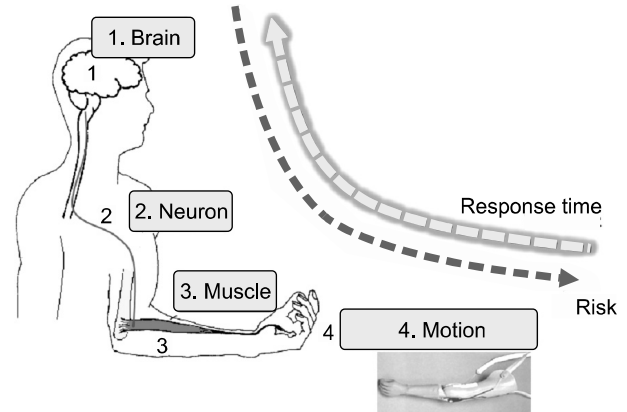


Fig. 5. Methods to detect intention.

Table 1. Classification of the EMG Sensor

Division		
Purpose	Measurement	RAW
Method	Myoelectric hand	Envelop
	Wireless	Amplifier included
		Amplifier separated
	Wire	
Electrode	Dry type	Semi-permanent
	Patch type	Disposable
Signal	Raw	Pattern classification
	Envelop	Mode change

어야 되므로 미관상으로도 좋지 않다. 그래서 보다 효과적이고 간편하게 재활보조장치를 제어할 수 있는 방법이 요구된다. 보다 편리하고 간단한 방법으로 신체일부에서 발생하는 생체신호를 사용하는데 최근 뇌파신호, 신경신호, 근육 및 동작 등의 생체신호를 사용하는 방법이 많이 연구되고 있다. 먼저 몸동작을 이용하는 방법은 과거에 이미 사용되었으며 근육을 사용하는 근전전동의수에 비해 매우 불편하고 응답속도도 느리다.(Fig. 5) 그래서 최근에는 절단부위의 잔존근육의 신호를 감지하여 사용자 의도를 파악하는 근전전동의수가 상용화되어 널리 보급되고 있다. 하지만 파지동작 외에 다양한 의사표현, 손동작과 같은 요구가 점점 늘어남에 따라 기존 2개의 근전신호로는 동작을 구현하기가 어려워 근육보다 빠르게 반응할 수 있고 많은 정보를 획득할 수 있는 뇌파와 신경신호 관련 연구가 이루어지고 있다. 뇌파관련 연구는 전자의수와 상관없이 독립적으로 연구되고 있으며, 신경을 이용한 전동의수의 경우 아직 진행 중에 있으며 머지않아 적용하여 상용화 될 것으로 예상된다.

따라서 수술부담이 없고, 동작의도 인지율이 높은 근전전동의수가 주를 이루고 있다. 여기에 사용되는 생체신호인 근전신호는 근전도 센서를 이용하여 근육으로부터 정보



Fig. 6. Wireless EMG instrumentation.

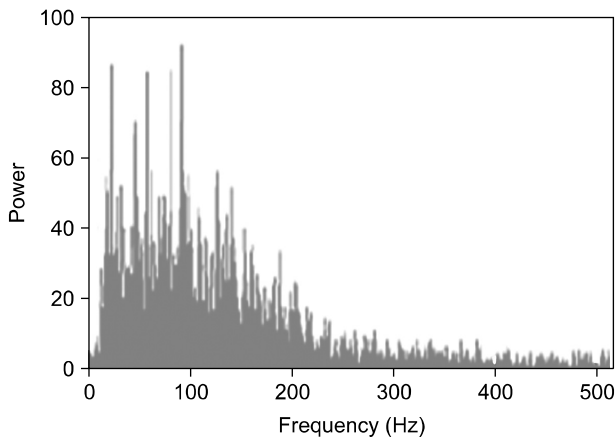


Fig. 7. FFT of the EMG signal.⁴

를 획득한다. 근전도 센서는 Table 1과 같이 크게 사용 용도에 따라 계측용과 근전전동의수 전용으로 나눌 수 있다. 그리고 신호전송방식에 따라 유선과 무선으로 나뉘어지고 무선의 경우, 증폭기 일체형과 분리형으로 보다 세밀하게 나눌 수 있다. 또한 전극방식에 따라 패치타입과 드라이 타입으로 나누어진다. 최근 개발되는 센서의 경우, Fig. 6과 같이 RAW EMG 신호를 측정할 수 있는 드라이 타입의 증폭기 일체형 무선방식이 생체신호계측분야에서 두각을 나타내고 있으며,²⁴ 가정용 사무기기, 오락기 등에서도 최근 응용되고 있다. Fig. 7은 근전도 신호의 주파수 분석결과로서 500 hz 이하의 저주파 성분이 대부분을 차지하고 있어 2 Kbps 정도의 무선통신 속도로 충분히 신호를 획득할 수 있기 때문에 다양한 재활보조장치의 입력신호로써 활용할 경우, 환자의 상태를 고려한 유용한 재활보조장치 개발을 가능케 한다.

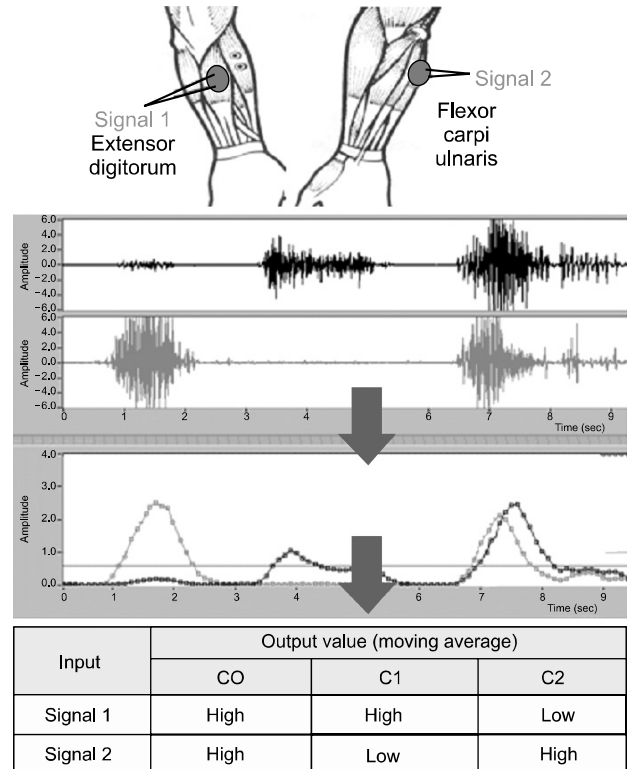


Fig. 8. Analog EMG signal digitization.

(2) 근전도 신호처리 및 제어 알고리즘기술: 근전전동의수를 사용하는 상지절단환자의 경우 절단부위의 상태가 매우 다양하고 근육이 없거나 있어도 근전신호가 정상인의 팔에서 나오는 근육신호에 비해 매우 약하다. 그래서 근전전동의수를 잘 사용하기 위해서는 적어도 독립된 2개의 신호가 필요한데 이를 만족하지 못하는 환자가 많다. 최근 상용화된 근전전동의수의 경우 환자의 편의성과 환부상태를 고려하여 2개 또는 1개의 센서만으로 근전전동의수의 다양한 동작을 제어한다.

근전도 센서는 Fig. 8에서 알 수 있듯이 일반적으로 굴곡근과 신전근에 부착하여 나온 RAW EMG 신호를 적분하여 포락선 형태의 제어가능한 신호를 출력한다. 이를 디지털화 하면 10, 01, 11과 같은 3개의 디지털 입력신호로 사용이 가능하다. 이러한 3개의 신호를 이용하여 다양한 손동작을 구현할 수 있는데 손목의 굴곡/신전, 내/외회전, 파지 등을 Fig. 9와 같이 모드 체인지 기법을 통해 단 2개의 근전도 신호로 제어 가능하게 된다.⁵

모드 1에서는 10, 01 신호에 따라 파지/땜 동작이 수행되고 손목의 내/외회전은 CO (co-contraction)동작을 통해 11 신호를 발생시켜 모드 2로 변환한 후 01, 10 신호에 따라 이때부터는 파지/땜 동작대신 내/외회전을 한다. 이런 방식으로 CO 동작을 통해 계속적으로 모드변환을 통해 다양한 동작은 구현할 수 있다. 이러한 문제는 파지/땜동작인 모드

Current mode \ Input	Next mode	Next state	
	CO	C1	C2
0	0	Open	Grasp
1	2	Supination	Pronation
...	...	...	...
n-1	n	Ulnar flexion	Radial flexion
n	0	Extension	Flexion

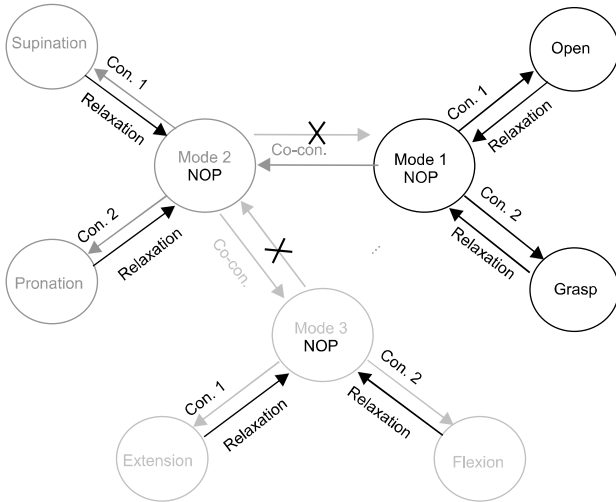


Fig. 9. Mode change algorithm.

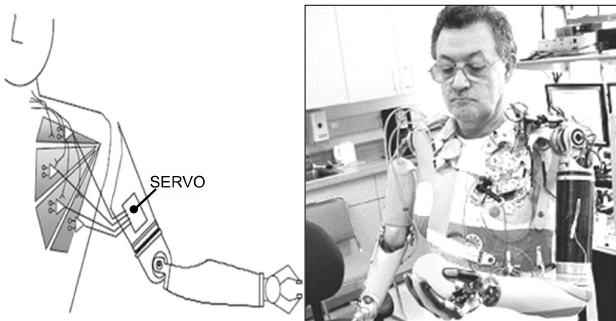


Fig. 10. Targeted reinnervation of multi-DOF myo-electric hand prosthesis.

0에서 손목의 굴곡/신전을 위한 mode 2로 가기 위해서는 CO동작을 통해 mode 1을 거치고 다음 CO 시에 mode 2 동작모드가 되어 굴곡/신전 동작이 구현된다. 따라서 동작이 다양화 됨에 따라 단번에 동작이 이루어지지 않고, 또한 현재 어떤 모드에 있는지 사용자가 항상 인지하고 있어야만 오동작을 최소화 할 수 있다.

이러한 번거로운 동작을 해결하기 위해 최근 미국에서는 Fig. 10과 같이 다관절 의수 동작구현을 위해 가슴쪽 근육을 절개하여 근육을 reinnervation⁶하여 한번에 여러동작(팔꿈치 굴곡/신전, 손목 굴곡/신전, 파지/뽐)을 구현하는 시도가 있었으나 가슴쪽 근육수술을 요하기 때문에 아직까지 보편

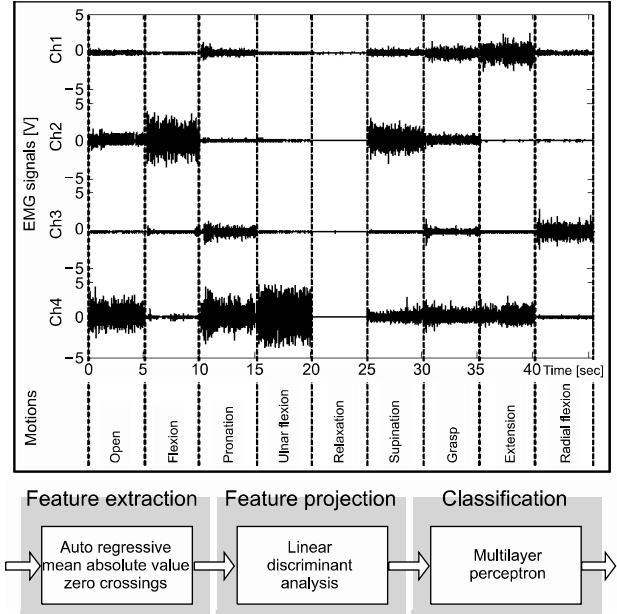


Fig. 11. 8 hand motion based 4-channel raw EMG pattern generation algorithm.

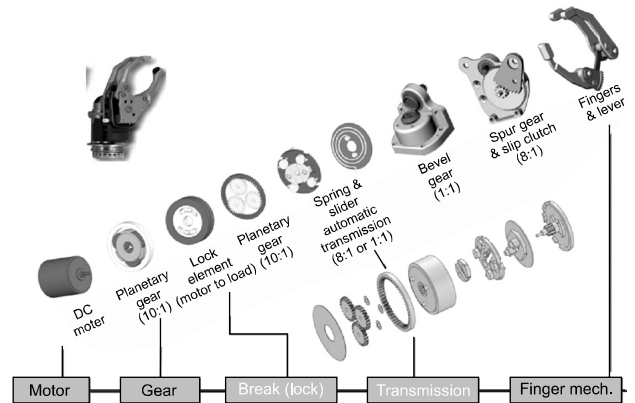


Fig. 12. Components of the 3 contact point type myo-electric hand.

화되지는 않고 있다.

그래서 수술없이 다양한 동작을 한번의 동작으로 구현하기 위해 RAW EMG 신호를 이용하여 다양한 동작을 구현할 수 있는 방법이 연구 되었으나 3~4개의 센서가 사용되어 환부에 붙일 공간이 없을뿐더러 알고리즘에 많은 연산이 사용되고 특정인에게 맞추어져 아직까지 상용화 단계까지 연구되지는 않고 있다. Fig. 11은 최근 4개의 raw EMG 신호를 이용하여 특징추출, 특징투영, 분류 3단계 신호처리과정을 통해 8개의 패턴신호를 분류하여 파지/뽐, 내/외회전, 굴곡/신전, 요측/척측 회전 8가지 손동작을 구현하였다.⁷ 하지만 계측용 근전센서를 4개 사용하였으며, 특정인에게 제한 적용 가능하기 때문에 근전전동의수에 적용되어 보편화 되

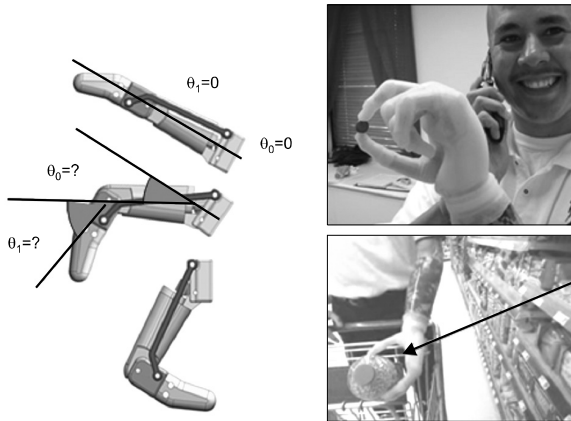


Fig. 13. Curling type grasping motion.

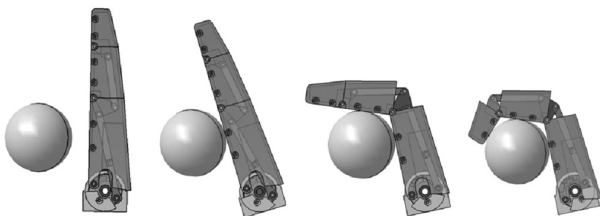


Fig. 14. Shape-adaptation type grasping motion.

기까지는 위에 언급한 현실적인 문제를 해결해야만 한다.

(3) 파지제어 메커니즘 기술: 근전전동의수 메커니즘은 3 손가락 타입의 전자의수와 5 손가락 타입의 전자의수에 따라 외형 뿐만 아니라 기능이 확연히 구분된다. 과거 3점접 타입의 경우 일단 파지한 물체를 떨어뜨리지 않게 하기 위해 정밀하고 강한 파지력 구현에 초점을 둔 반면, 5 손가락 타입의 근전전동의수의 경우 파지대상, 다양한 손동작, 자연스러운 손동작 구현에 초점을 맞추어 메커니즘이 개발되었다.

전 세계적으로 널리 보급된 대표적인 3 손가락 근전전동의수는 오토복사⁸ 제품으로 Fig. 12에서와 같이 강력한 파지력을 구현하기 위한 고비율 감속이 구현되었으며, 동작시 발생하는 소음을 방지하기 위해 모터 출력단에 마찰식 유성기어가 설계되어 있다. 그리고 배터리 방전이나 갑작스런 상황에서도 물체를 떨어뜨리지 않고 파지 상태를 유지할 수 있는 브레이크 메커니즘이 적용되어 있다. 마지막으로 변속메커니즘의 경우, 인간의 파지동작을 구현한 핵심 기술로써, 초기 파지시 감속이 없이 빠른 파지 속도로 동작하고 물체를 잡는 순간 변속기가 동작함으로써(감속기가 동작) 저속 고토크로 정밀하고 강력하게 물체를 파지할 수 있도록 하였다. 기구부 자체무게는 400 g 이하로 매우 가벼운 반면 150 N의 강력한 파지력을 가지고 있다.

하지만 최근 개발된 5 손가락 타입의 근전전동의수의 경우, 인간의 손 형태와 매우 유사하게 5개의 다관절 손가락

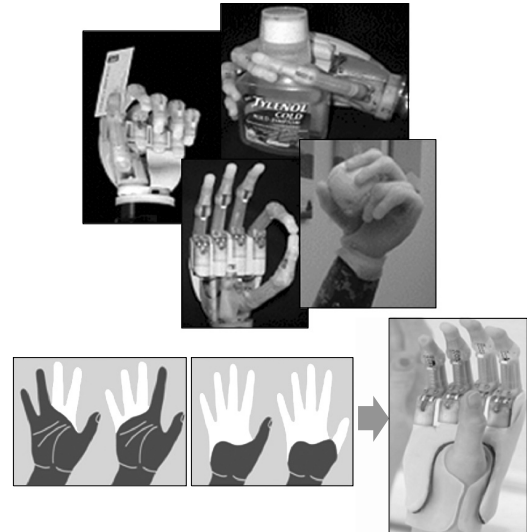


Fig. 15. Characteristics of the i-limb.



Fig. 16. Comparison of the grasping state.

으로 구성되어 있으며 약 500 g 정도의 무게에 100 N이 조금 넘는 파지력을 가지는 구조로 설계되었다. 공통적인 손가락 메커니즘의 특징을 구체적으로 살펴보면 중수지절관절(metacarpophalangeal joint), 근위지절관절(proximal interphalangeal joint), 원위지절관절(digital interphalangeal joint)이 파지시 동시에 움직이는 컬링(curling)방식으로 동작한다. 이런 경우 Fig. 13와 같이 아주 작은 구슬과 같은 물체는 정밀하게 파지가 가능하지만 직경이 큰 물병이나 케이스는 파지 시 물체와 손가락 사이에 빈 공간이 발생해 파지안정성이 다소 떨어진다.

그래서 Fig. 14와 같이 다양한 크기의 물체를 보다 안정적으로 물체의 표면을 따라 감싸 쥐듯이 파지하는 shape-adaptation 메커니즘에 대한 연구가 진행되었으나 주로 휴머노이드 로봇손 등에 적용되고 아직 일상생활에서 사용하기에는 컬링방식이 보편화되고 있는 실정이다.⁹

현재 인간의 손가락 외형 및 동작을 매우 비슷하게 모방하여 상용화되어 판매되고 있는 5손가락 타입 근전전동의

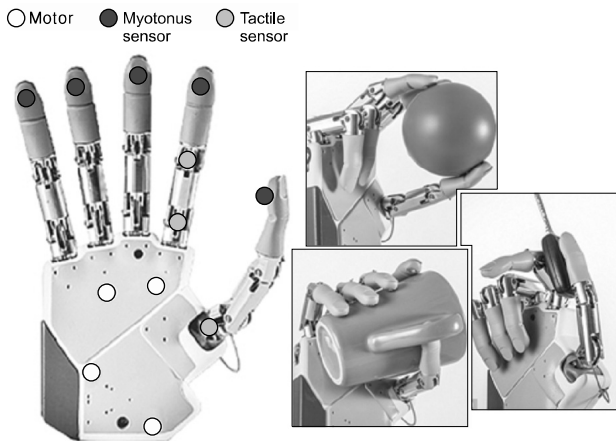


Fig. 17. Bionic hand that can feel.

수 메커니즘을 제품별로 구체적으로 살펴보면 먼저 I-limb¹⁰의 경우, 2006년 영국 Touch-bionic사에서 최초로 개발된 5 손가락 타입 근전전동의수로써 Fig. 15에서와 같이 2자유도의 손가락(끝마디는 고정되어 있음)이 나란하게 붙어 독립적으로 구동이 가능하여 다양한 종류의 물체를 쉽고 안전하게 파지할 뿐만 아니라 ok 동작이나 포인팅과 같은 다양한 손동작이 가능하다. 특히 엄지손가락이 수동으로 회전이 가능하여 cd 또는 열쇠 등을 쉽게 잡을 수 있는 측면파지(lateral grasp)가 가능하도록 설계되어 있다. 그리고 다른 전자의수와는 달리 손가락이 절단된 환자에게도 각 손가락 모듈을 착용할 수 있는 구조로 되어 있다.

RSLSTEPPER사의 bebionic¹¹이나 오토복사의 michelangelo의 경우, 다양한 물체파지와 손동작이 가능하나 손가락 각각 분리가 되지 않기 때문에 손가락 절단환자에게는 적용된 사례는 없다. Mechelangelo의 경우, 기존 5 손가락 근전전동의수와는 달리 1개의 모터로 5개의 손가락을 움직이는 under-actuated mechanism 방식으로 구현되어 있다. 이러한 설계방식은 경량화 메커니즘에 매우 유용한 반면 독립적인 손가락 구동이 안되기 때문에 i-limb이나 bebionic에 비해 파지시 시각적인 안전성이 다소 떨어진다. Fig. 16에서 알 수 있듯이 왼쪽 michelangelo의 경우, 새끼손가락이 컵 아래를 완전하게 받쳐주지 않고 단지 나머지 손가락의 파지력만으로 컵을 쥐는 반면, 독립구동이 가능한 i-limb의 경우, 엄지, 검지, 중지 손가락을 하고 나머지 2개의 손가락은 컵 밑부분을 안전하게 받치고 있다. 대신 엄지손가락이 자동으로 회전하며 손가락 배치가 인간의 손과 가장 유사하게 구현되어 있고 손목의 굴곡/신전이 부드럽게 동작되기 때문에 파지 동작뿐 아니라 일상생활에서 손동작이 가장 자연스럽다.

결 론

상지절단환자를 위한 재활보조장치는 현재 근전전동의수가 가장 현실적인 대안으로 3 손가락 타입의 단순파지에서 5 손가락으로 구성되어 다양한 파지 및 손동작이 가능한 첨단의수로 점점 발전하고 있다. 하지만 현재 연구되고 있는 로봇손에 적용되는 다양한 기술이 접목되면 더욱더 인간의 손 기능을 구현할 수 있다. 로봇손에 적용되는 다양한 센서 기술이나 앞에서 언급한 under-actuated 메커니즘과 같은 기술이 경량화, 소형화 되면 기존의 근전전동의수보다 작고 가벼운 제품이 가능하리라 본다.

Fig. 17은 2013년 2월에 이슈된 bionic hand로써 무게 640 g, 40개의 센서(장력 및 촉각)를 가지고 5개 손가락의 독립구동으로 다양한 파지가 가능하고 이러한 동작구현을 위한 신경기반의 제어를 위한 연구가 진행되고 있다.

또한 손동작 뿐 아니라, 일부 오토복제품에 적용된 손목 모듈 메커니즘 기술은 화장실 등과 같은 곳에서 반드시 필요한 기술로써 현재 크기 문제로 일부 절단장애인에겐만 적용되고 있으나 향후에는 소형화되어 적용환자 대상군을 폭넓게 확대할 경우 장애인의 삶의 질은 더욱더 향상되리라 본다.

참 고 문 헌

1. Park SH, Hong BK, Kim JK, Hong EP, Mun MS. Development of the myoelectric hand with a 2 dof auto wrist module. Korean J Control Robot Syst 2011;17:824-832.
2. <http://www.btsbioengineering.com>.
3. <http://www.noraxon.com>.
4. <http://www.delsys.com>.
5. Choi GW, Chu JU, Choi GH. A study on the control system of myoelectric hand prosthesis. Trans Korean Electr Eng 2007; 56:214-221.
6. Kuiken T. Targeted reinnervation for improved prosthetic function. Phys Med Rehabil Clin N Am 2006;17:1-13.
7. Chu JU, Moon IH, Kim SK, Mun MS. A supervised feature-projection-based real-time EMG pattern recognition for multifunction myoelectric hand control. IEEE/ASME Trans Mech 2007;12:282-290.
8. <http://www.ottobock.com>.
9. Chu JU, Jung DH, Lee YJ. Design and control of a multifunction myoelectric hand with new adaptive grasping and self-locking mechanisms. Int Conf Robot Auto Pasa Cal 2008:743-748.
10. <http://www.touchbionics.com>.
11. <http://www.bebionic.com>.