

상지절단환자를 위한 근전전동의수 침단기술동향 분석과 국산 제품의 보급 활성화를 위한 문제점 및 해결 방안

근로복지공단 재활공학연구소

박 세 훈

Recent Advances of the Myoelectric Hand Prosthesis for the Upper-limb Amputee

Sehoon Park, Ph.D.

Job Supporting Technology R&D Team, Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center

There are various types of high-performance myoelectric hand prosthesis controlled by novel electromyographic (EMG) signal processing techniques. Implantable EMG, Targetted Muscle Reinnervation (TMR) are the representative technologies which possible bionic arms to be shown in the market. However, these are not practical in the domestic environment since there is not enough system to implement these technologies and still very expensive. Therefore, we describe most popular and latest two types myoelectric hand prosthesis: The first one is a three finger type to powerfully grasp simple objects; The other is a five finger type enabling hand gesture or special functions (mouse clicking, indexing). Firstly, we analyze the characteristics of these devices from developer and upper-limb amputee point of view. Second, we analyze main trouble to make domestic amputee uncomfortable like malfunction and suggest a three control pattern as a proper solution. Finally, we also suggest a simple and easy diagnosis module to reduce repair time, which reduce the inconvenience of the late a/s response of the mal-functional devices. (J Korean Soc Prosthet Orthot 2016; 10: 9-16)

Key Words: Prosthesis, Upper limb amputee, Bionic hand, Myoelectric hand, Diagnosis

서 론

상지절단환자에게 있어서 근전전동의수는 상실된 손 기능을 복원함으로써 건강한 사회활동을 성공적으로 할 수 있는 매우 중요한 재활보조장치이다. 물론 환자의 절단 부위와 상태에 따라 근전전동의수 보다는 보다 가벼운 미관형이나, 몸체구동형과 같은 재활보조장치를 선호하는 환자 군도 많지만, 1987년 오토복¹사에서 근전전동의수를 상용화한 이후 지금까지 사회활동을 하는 많은 상지절단환자들이 근전전동의수에 절대적으로 의존하고 있다. 그래서 최근에는 2006년 Touch-bionics²사에서 5손가락 타입의 근전전동의수를 개발해 단순 파지(grasp) 뿐 아니라 다양한 손동작이 가능하도록 함으로써 상지절단환자의 삶의 질을 더욱 더 향상시키는데 일조를 하고 있다.

본 논문에서는 최근 확산되고 있는 근전전동의수를 보다

세밀하게 살펴보기 위해 1세대 근전전동의수인 3손가락 타입의 근전전동의수와 2세대 근전전동의수인 5손가락 타입의 근전전동의수 각각의 특징을 개발자와 사용자(절단환자) 두 관점에서 비교 및 분석하여 향후 3세대 근전전동의수 개발을 위한 중요한 자료로 활용하고자 한다. 또한 현재 국내 상지절단환자에게 실질적인 도움을 주기 위해 국산 근전전동의수의 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위한 기술적 방안과 보급 및 활성화를 위한 근전전동의수 진단모듈을 제안한다.

본 론

1) 1세대 근전전동의수(3손가락 타입)

대표적인 1세대 근전전동의수는 Fig. 1과 같이 오토복사의 3손가락 타입의 제품으로 국내 상지절단환자 대부분이 사용하고 있다. 3손가락 타입의 근전전동의수는 다양한 사이즈(S, M, L)와 하나 또는 2개의 근육신호 조합으로 다소 불편하더라도 파지 뿐 아니라 손목 회전/굽힘 제어가 가능하다. 또한 절단범위가 수부절단을 제외한 완관절에서부터 주관절 절단까지 적용범위가 넓고 사용편의성 및 내구성이 검증되어 5손가락 타입의 근전전동의수가 개발되어 보급

접수일: 2016년 5월 31일, 게재승인일: 2016년 7월 24일

교신저자: 박세훈, 인천시 부평구 경인로 10번길 26

© 21417, 근로복지공단 재활공학연구소

Tel: 032-509-5261, Fax: 032-512-9794

E-mail: mbb1122@naver.com

됨에도 불구하고 아직도 많은 환자들이 이용하고 있다. 또한 2개의 근전도 신호를 이용하여 제어하기 때문에 사용자 입장에서 볼 때 직관적 제어가 가능하여 처음 사용하는 환자의 경우도, 두개의 독립된 근전도 신호를 발생시킬 수만 있으면 특별한 훈련 없이 미관형 의수나 몸체구동형 의수를 사용하는 사람도 쉽게 사용할 수 있어 관련 시장은 지속적으로 늘어나고 있는 실정이다. 하지만, 세손가락만으로는 단순파지만 가능하고 다양한 형태의 물체를 떨어뜨리지 않고 안전하게 파지할 수 있는 파지기능은 떨어진다. 특히, 최근 환자의 사회활동이 확대됨에 따라 감정표현이나 제스처

같은 다양한 손동작이 요구되지만 고정된 손가락 관절과 동기화되어 동작하는 손가락으로는 현실적 요구를 만족시키기에는 기능이 매우 미흡한 부분이 있다.

2) 2세대 근전전동의수(5손가락 타입)

2세대 근전전동의수는 Fig. 2와 같이 다른 스위치나 몸동작과 같은 부가장치 없이 잔존근육의 근전도 신호를 이용하여 제어입력신호를 늘임으로써 견관절, 주관절 절단환자와 같이 절단환자의 적용 가능한 범위가 늘어나는 제품과 기존 제품이 가지는 단순 파지기능 이외에 손동작이나, 감정표현과 같은 다양한 손기능이 가능한 제품으로 나눌 수 있다.

먼저 견관절 및 주관절 절단환자가 착용가능한 근전전동의수를 살펴보면, 2008년 luke-arm³을 시작으로 2014년 Mind-controlled Bionic Arm, 2015년 Dynamic Arm 등이 대표적이다. 이러한 근전전동의수가 가능한 이유는 사용가능한 근전도 신호를 두개 이상으로 획득할 수 있기 때문이다. Fig. 3에서 보는바와 같이 일반적인 전박절단환자의 경우, 1개 또는 2개의 근전도 신호를 필요로 하기 때문에 특별한 부가장치 없이 절단부위의 잔존근육에서 파지동작에 필요한 근전도 신호를 획득할 수 있다. 하지만, 사용하려는 관절의 수가 늘어날수록 필요한 근전도 신호 또한 늘어난다. 그래서, 견관절의 경우, 최소 4개의 근전도 신호가 있어야만 어깨 1자유도, 팔꿈치 1자유도, 파지동작(핍+파지)이 가능하다. 그래서 이러한 제어신호를 획득하기 위해 Fig. 4와 같이 현

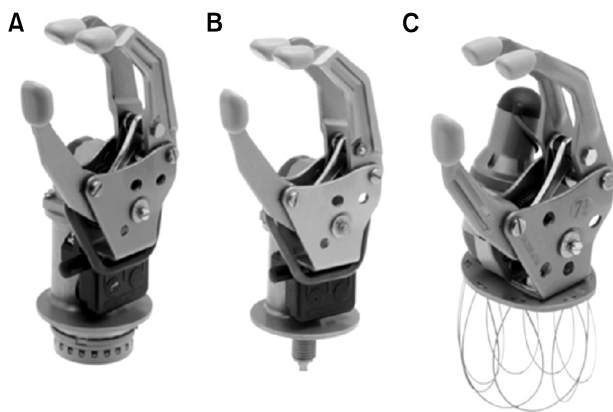


Fig. 1. 3 finger type myoelectric hand prosthesis. (A) Wrist rotation type, (B) Normal type, (C) Wrist amputee type.

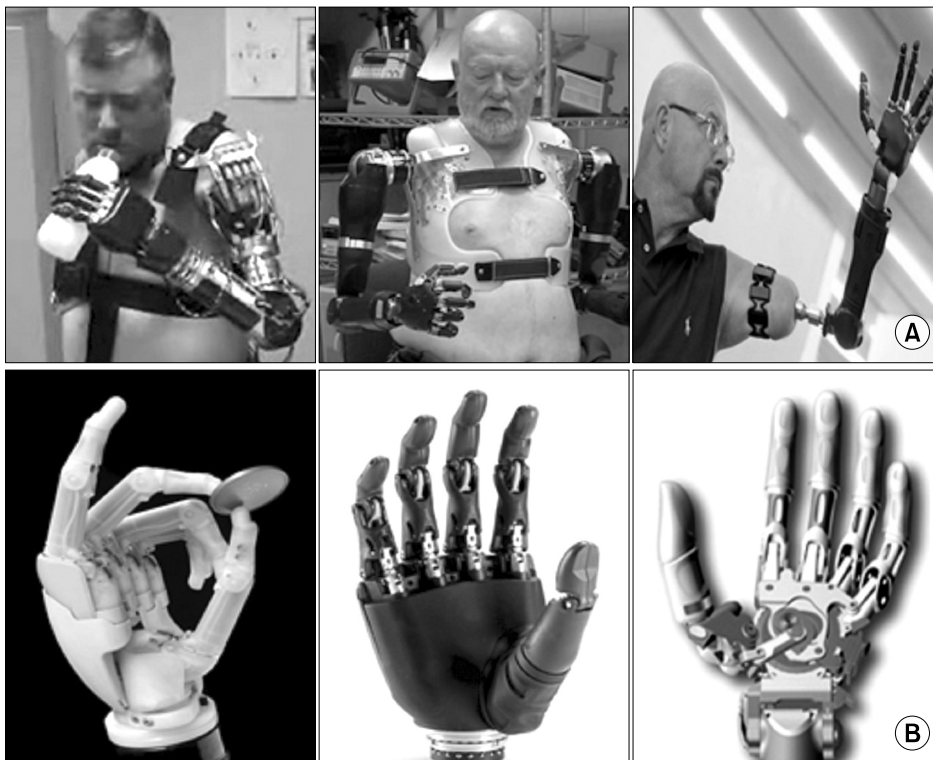


Fig. 2. 2 generation myoelectric hand. (A) Expand applicable amputee level range, (B) Improve hand function.

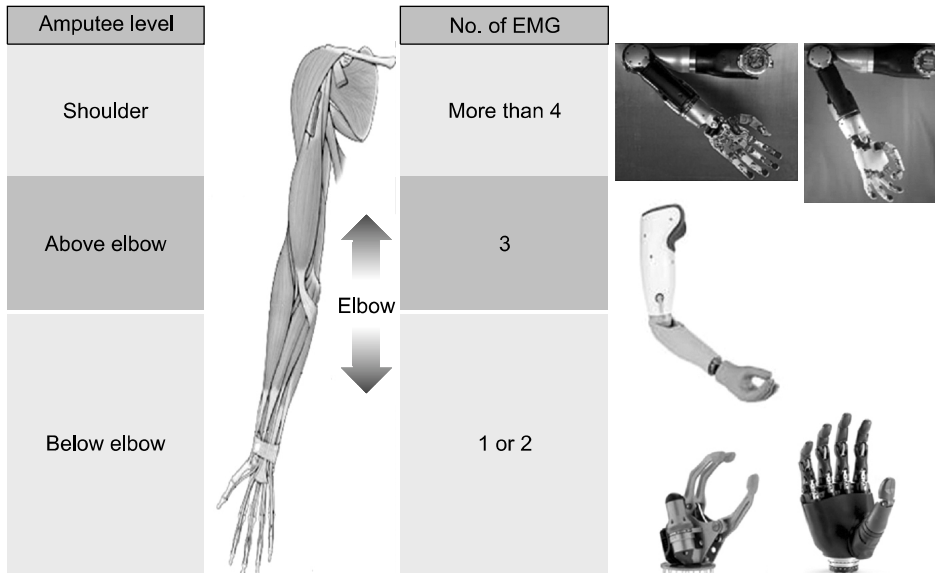


Fig. 3. Number of EMG for multi-dof myoelectric hand prosthesis.

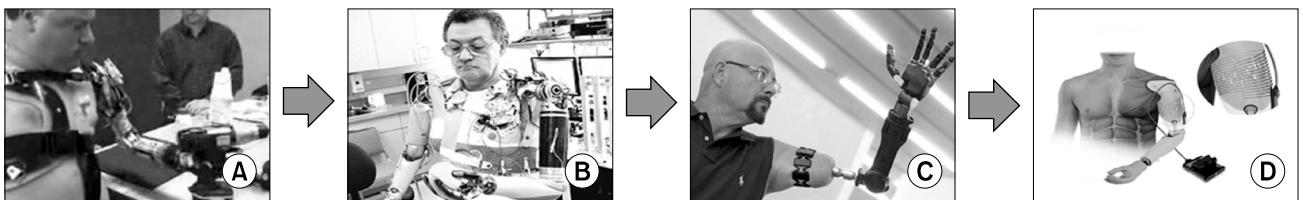


Fig. 4. Solution to increase control input signal. (A) Add another types of sensors, (B) TMR (Targeted Muscle Reinnervation), (C) High-density wireless EMG, (D) Implantable EMG.

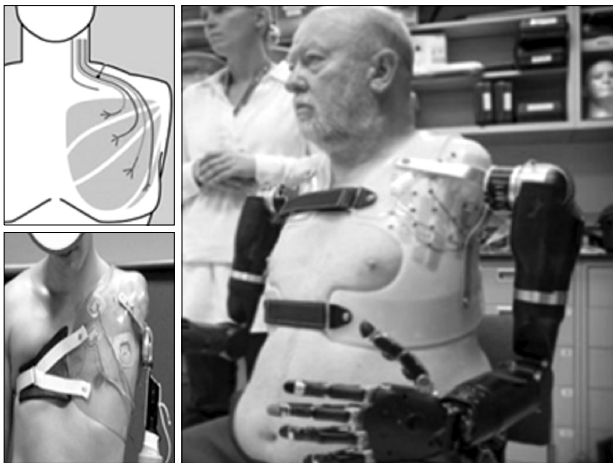


Fig. 5. Targetted muscle regeneration.

재 대표적으로 4가지 방법이 제안되었다.

첫 번째 시도는 luke-arm처럼 다른 형태의 센서(힘 센서)를 장착하여 이로부터 다자유도 근전전동의수를 제어하였다. 이러한 방법은 구현은 쉬우나, 직관적으로 제어하기에는 많은 어려움이 존재하고, 적응하는데도 장시간이 소요된다. 그래서 보다 직관적이고 사용하는데 적응시간을 최

소화하여 쉽게 사용 가능하도록 하기위해 TMR (Targeted Muscle Regeneration)⁴ 방법이 개발되어 적용되었다. 이 방법은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 절단부위에 남아 있는 신경일부를 절단자가 사용가능한 건강한 근육에 재배치함으로써, 손동작을 하기 위해 특별한 동작이나 외부장치 없이, 단지 생각만으로 뇌에서 신경쪽으로 신호가 전달되어 재배치된 근육을 움직이는 원리이다. 이때 발생된 근육신호인 근전도 신호를 획득하여 다관절 근전전동의수를 쉽게 움직일 수 있다. 이 외에도 센서를 최적화하여 여러 개의 근전도 센서를 근육에 붙여 신호를 발생시키거나 신경으로 부터 직접 제어신호를 획득하는 방법이 지속적으로 연구되고 있다.

다음으로 전박 절단환자용으로 손동작 기능이 향상된 5 손가락 타입의 2세대 근전전동의수는 Fig. 6과 같이 조그만 동전을 집을 수 있는 정밀파지 기능 뿐 아니라, 등근 공, 카메라 등과 같은 다양한 형태의 물체를 보다 안전하게 파지할 수 있을 뿐 아니라, ok 사인이나 index 기능, 마우스나 키보드 클릭기능 등 다양한 손동작이 가능하다. 대표적인 제품으로 Fig. 7과 같이 2007년 Touch-bionic사의 i-Limb, 2010 RSLSTEPPER사의 Bebionic¹, 2012년 Michelangelo¹ 3 제품이 세계시장을 선점하고 있다. 물론 최근 이러한 제품의 시장



Fig. 6. Functions of the 5-finger type myoelectric hand prosthesis.

	i-Limb • Modular finger • Independent finger control • Exclusive skin • 392 g~478 g (extra S, S, M, L)
	Bebionic • Nonmodular finger • Independent finger control • Superior to precise grasping • 400 g~600 g (S, M, L) • Adjustable thumb position
	Michelangelo • Synchronized finger control • Approx. 420 g (one size) • Automatic thumb motion

Fig. 7. Characteristics of the conventional 5-finger type myoelectric hand prosthesis.

진입에 힘입어 몇몇 제품들이 출시되고 있지만, 이 3 제품보다 기능이나 성능면에서 크게 차별화되어 있지는 않다.

이러한 제품의 경우, 초기에는 단일 사이즈였으나 최근 사이즈가 다양화 되고, 특히 다양한 손동작이 가능하도록 하는 기능이 강화 되었다. 물론 오토복사의 Michelangelo의 경우, i-Limb 및 Bebionic과는 다르게 손가락이 동기화되어 동작함으로써 마우스 클릭이나, 인텍싱과 같은 손동작은 아직 미흡하나, 엄지가 자동으로 2자유도로 움직이기 때문에 손동작이 아주 자연스럽다. 지금까지 현재 시장에서 판매되고 있는 다양한 형태의 근전전동의수를 종합해서 사용자 관점에서 주요특징을 정성적으로 비교해 보면 Table 1과 같다.⁵

Table 1. Comparison and Analysis of the Conventional Myoelectric Hand Prosthesis

		5손가락 타입	3손가락 타입
기능		다양한 물체파지 다양한 손동작	단순 파지
편의성	무게	350 g~600 g	250 g~350 g
	강성	외부충격에 비교적 약함	외부충격에 강함
	소리	적절	조용
	가격	매우 비쌌	다양함
	제어편의성	모드변환	직관적 제어
유지/보수		매우 비싸고 많은시간이 소요됨	비싸고 많은 시간이 소요됨

Table 1에서 알 수 있듯이 5손가락 타입의 근전전동의수가 기능면에서 매우 우수하지만 이러한 기능은 제어 편의성 측면에서 모드변환이라는 중간단계를 거치므로 장점이 희석된다. 반면, 무게가 가볍고, 구조적으로 잘 부러지지 않을 뿐 아니라 하나의 모터로 동작되기 때문에 동작시 소음이 적고 파지동작시 직관적으로 굴곡근과 신전근의 생체신호로 제어가 가능한 3손가락 타입의 근전전동의수가 편의성 측면에서 매우 적합하다. 특히 금전전인 면에서 부담이 매우 적기 때문에 5손가락 타입의 의수보다는 3손가락 타입의 의수가 좀 더 효과적으로 사용되는 것이 현실적으로 의미가 더 있을 수 있다.

3) 사용자를 위한 근전전동의수 첨단기술

앞에서 이미 언급하였듯이 사용자 입장에서 첨단근전전동의수는 쉽게 접할 수 있으며, 금전적 부담이 적고, 유지/보수가 적절하게 이루어져 사용상 큰 불편함이 없어야 한다. 그래서 국내 3손가락 타입의 근전전동의수를 사용하는 산재환자를 대상으로 Fig. 8에서 보는 바와 같이 최근 3년

간 국내 산자환자 60여명을 대상으로 근전전동의수 파지 오동작과 주요 부품의 고장에 따른 A/S 실태를 조사하였다.

위 그래프에서 알 수 있듯이 A/S 건은 기구부 내구성, 내/외피, 센서 및 제어(오동작) 및 기타로 나눌 수 있으며 이중 가장 큰 문제는 환자의 근전도 신호상태와 오동작 문제가 50% 정도를 차지하고 있다. 그래서 신호 및 오동작이 많이 발생하는 환자를 대상으로 절단 부위 및 근전도 신호를 조사하였다. Fig. 9는 국내 절단환자의 환부 중 대표적인 예로써 Fig. 10과 같이 독립된 근전도 신호가 잘 나오지 않아 오동작이 발생하는 주요 원인중의 하나가 환부 상태가 좋지 않아 생기는 문제이다.

국내 상지절단환자의 근전도 신호는 크게 아래 Fig. 10과 같이 3가지 패턴으로 나누어진다. 첫 번째는 독립된 2개의 정상신호, 두 번째는 하나는 독립적으로 동작하나, 다른 쪽은 동시에 발생하는 경우이다. 이때 대부분 근육이 적고 지방이 많은 팔의 안쪽 flexion 동작에서 많이 발생하였다. 두 번째는 역시 안쪽 flexion 동작에서 extension 신호가 뒤따라 발생하는 경우로 이때 역시 오동작이 발생한다. 이러한 오동작은 환자로 하여금 반복적인 훈련을 통해 독립된 2개의 근전도 신호가 발생하도록 할 수 있으나 시간이 많이 걸리고 기존 환자 대부분이 환부자체가 2개의 신호를 분리하는

것이 매우 힘든 경우가 많았다.

그래서 본 논문에서는 기존 제어방식에 Fig. 11과 같이 2개의 제어 패턴을 추가로 적용하여 파지/땜 동작제어 알고리즘을 구현하였다.

제안된 3개 패턴의 제어 알고리즘을 환자의 근전도 신호에 맞게 적용함으로써 오동작으로 인한 문제점을 대부분 해결하였다. 해결되지 않은 경우의 대부분은 소켓의 부적합으로 인해 센서가 환부에 밀착이 되지 않은 경우로써, 이러한 문제점 또한 소켓을 다시 제작하거나 센서부에 덧대기 작업을 통해 문제를 해결하였다. 다음으로 가장 불편한 문제점 중의 하나는 A/S 대응시간이다. 근전전동의수는 환자의 손 기능을 대신하기 때문에 하루라도 없으면 매우 불편할 뿐 아니라, A/S 시간이 빠르면 빠를수록 좋다. 하지만 국내 의료기 상사 대부분이 이러한 문제를 해결할 수 있는 여건이 안 될 뿐더러 체계적으로 문제를 해결할 수 있는 시스템이 갖추어져 있지 않다. 그래서 본 논문에서는 근전전동의수 문제점을 쉽고 체계적으로 해결할 수 있는 시스템과 방법을 제안하고자 한다.

근전전동의수는 크게 소켓과 핸드로 나눌 수 있다. 소켓은 센서와 배터리, 소켓 모듈로 세분화 되고, 핸드의 경우,

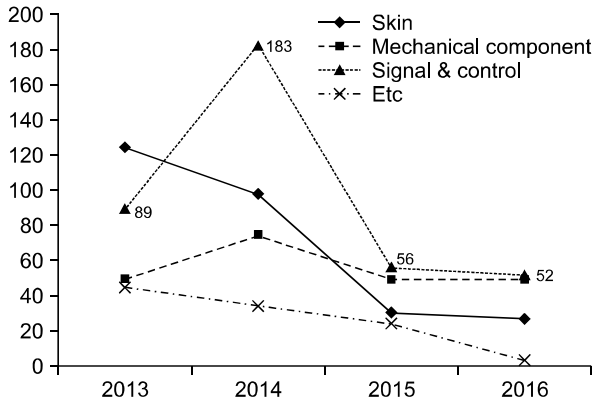


Fig. 8. The latest A/S situation of the domestic upper-limb amputee.

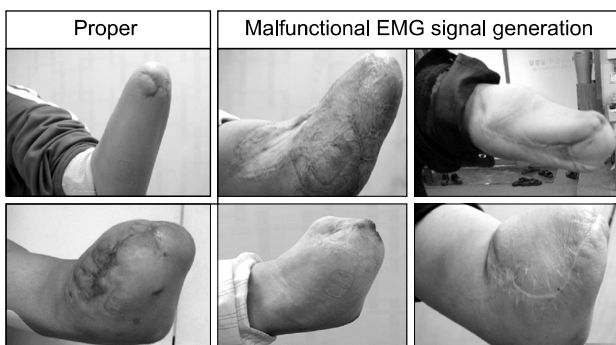


Fig. 9. Residual limb of the domestic upper limb amputees.

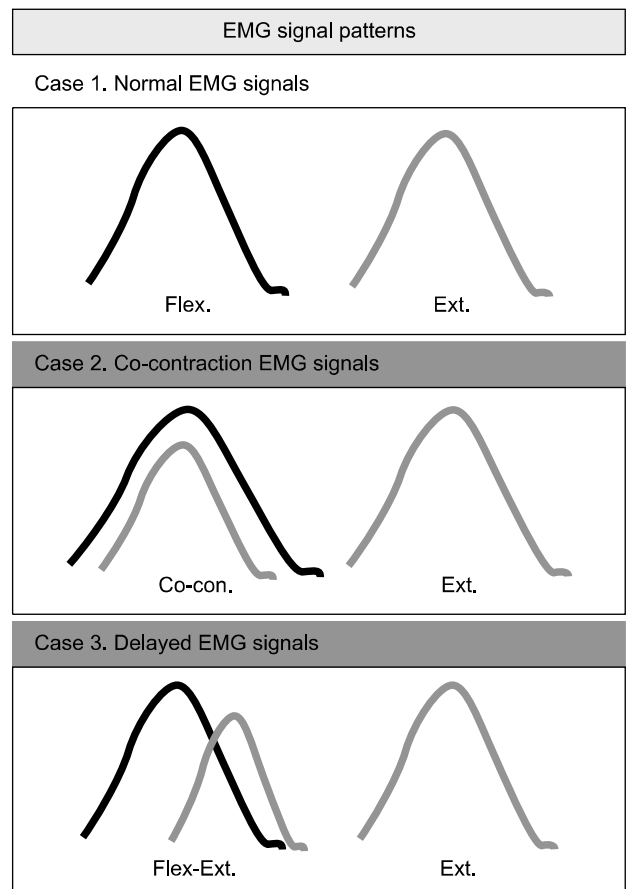


Fig. 10. EMG signal pattern of the domestic upper limb amputee.

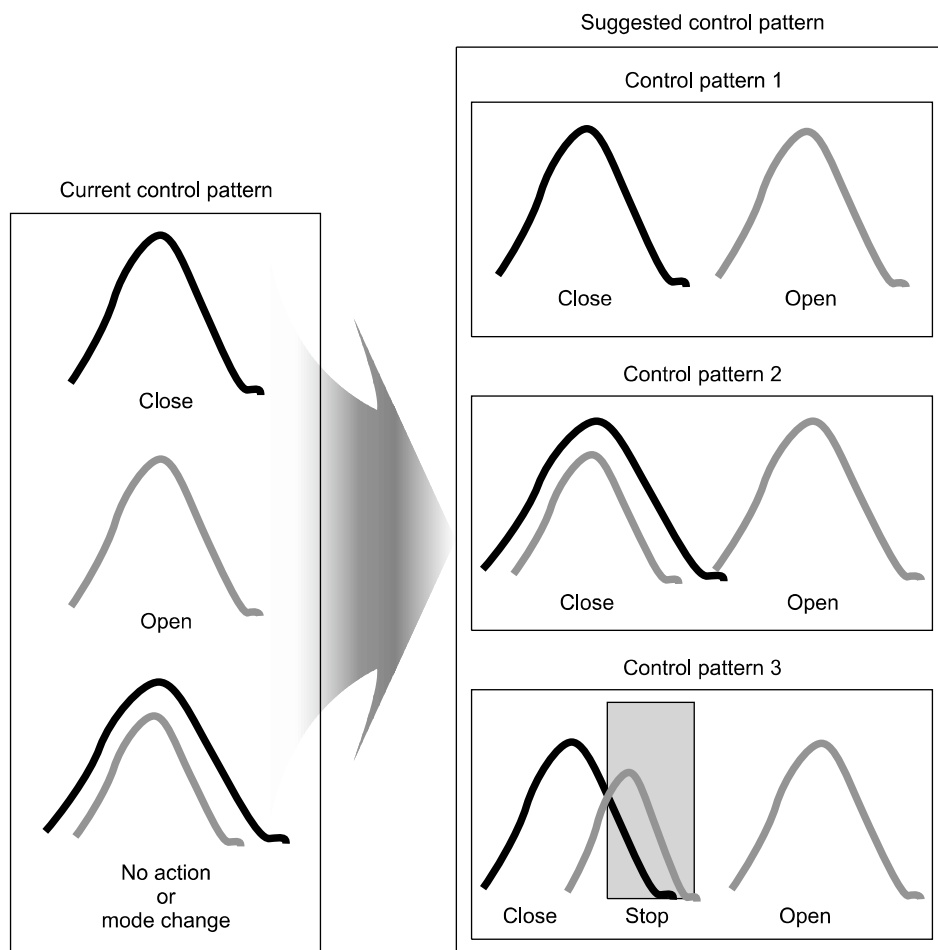
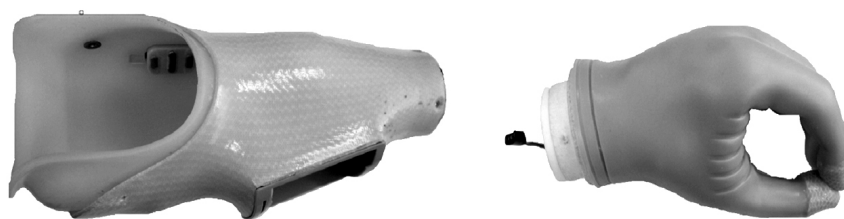


Fig. 11. Suggested new control pattern.



Part	Socket			Hand		
	1. Inner socket	2. EMG sensor	3. Battery	4. Bridge PCB	5. Controller/switch	6. Mechanics
State						
Mal - function	Contact	Gain				
Failure			Discharged	Fuse	Slow/ no grip	Broken

Fig. 12. Failure causes of the myoelectric hand prosthesis.

전원분배기, 제어기 및 스위치, 기구부로 세분화된다. 여기서 세분화의 기준은 고장이 발생할 경우, 교체할 수 있는 모듈의 단위이다. 그리고 각각의 모듈이 오동작하거나 동작이 전혀 안될 경우를 Fig. 12로 나타내었다.

예를 들어 오동작은 주로 소켓의 접촉 불량이거나 센서

의 신호가 문제될 수 있으므로 소켓이 밀착이 잘 되었는지를 확인하거나 근전도 센서 신호가 적절한지 확인하고 필요하면 감도를 조절해 준다. 또한 소켓에서 아무런 동작이 없을 경우에는 배터리 방전이 원인이 될 수 있다. 그리고 핸드스의 경우 오동작 원인이 되는 모듈은 거의 없고, 전혀

동작이 안 될 경우는 전원분배기 퓨즈가 단락되거나 기구부 파손이 발생할 경우이다. 그리고 증상이 파지동작이 느릴 경우이거나 파지나 펌 동작이 안 될 경우 대부분 제어기의 문제이다. 이러한 문제를 신속히 대처하기 위해서 근전전동의수 전용 진단모듈을 Fig. 13과 같이 개발하였다.

먼저 고장 난 근전전동의수는 육안으로 먼저 확인 후 고장원인을 찾을 수 없을 경우, 첫 번째 단계로 핸드와 소켓을 분리하고 진단모듈의 배터리 커넥터에 고장 난 소켓부위의 배터리를 연결하여 LED로 배터리 정상여부를 체크한다. 불이 들어오면 정상이다. 다음으로 센서의 정상동작 유무를 알아보기 위해 센서 2개의 진단모듈의 커넥터에 연결한다. 그리고 센서를 손으로 터치하여 LED 불이 들어오는지 확인한다. 이때 불이 들어오면 정상이다. 만일 문제가 없을 경우, 핸드 쪽에 문제가 있을 가능성이 있다. 그래서 제어부와 연결된 4핀 커넥터에 핸드를 연결하고, 진단모듈에서 S/W 1과 S/W 2를 이용하여 강제적으로 핸드에 펌과 파지제어신호를 인가한다. 이때 동작이 되면 핸드는 문제가 없다고 보고 동작이 안 될 경우, 내/외피 및 제어기를 분리하고 구동부를 포함한 메커니즘을 진단모듈의 Actuator 커넥터에 연결하여 이 또한 스위치를 이용하여 강제적으로 펌과 파지동작을 하도록 한다. 이때 동작하지 않으면 기구부 문제로 간주하고 문제가 없을 경우, 제어기 불량으로 간주한다.

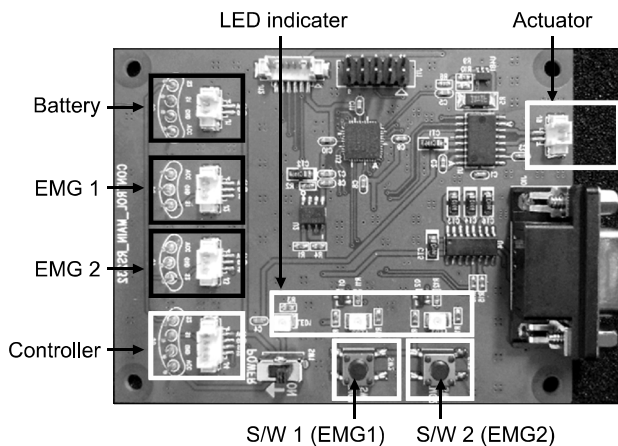


Fig. 13. Diagnosis module for the fast and systematic A/S response.

이처럼 Fig. 14와 같이 단순하게 관련 케이블만 연결하여 육안으로 LED를 통해 동작유무를 쉽게 구분함으로써 근전전동의수를 구성하고 있는 주요부품의 고장유무를 쉽게 판단할 수 있다.

결 론

5손가락 타입의 근전전동의수는 3손가락 타입에 비해 기능 및 성능이 매우 차별화되어 전 세계적으로 시장을 점점 확대해가고 있지만 가격 및 유지보수와 같은 현실적으로 직면하는 많은 문제점으로 인해 아직도 국내에서는 사용자가 20~30명 정도에 불과하다. 하지만 3손가락 타입의 근전전동의수 사용자는 국내 산재환자만 고려하더라도 250명 이상이고 지금 범위가 확대되어 점점 더 사용자가 늘어날 전망이다. 따라서 사용자 입장을 고려해 볼 때 3손가락 근전전동의수 관련 성능 및 유지보수를 체계적인 방법으로 제공해 줌으로써 상지절단환자의 삶의 질을 효과적으로 높일 수 있다.

국내 근전전동의수를 사용하는 상지절단환자의 가장 큰 애로사항인 오동작 문제는 소켓 부적합이 일부 있었으나, 대부분 근전도 신호가 분리되지 않아 생긴 문제로 제어패턴을 다양화함으로써 완전히 해결하였다. 또한 진단모듈과 진단 프로세서를 제안함으로써 적게는 1시간에서 6시간 이상 걸리는 A/S 시간을 10분에서 1시간으로 획기적으로 개선하여 일상생활의 불편함을 최소화하여 향후 국내 근전전동의수 보급을 더욱 활성화 할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 5손가락이 가지는 다양한 기능 또한 일상생활에서는 포기할 수 없는 매우 중요한 기능으로 내구성 및 금전적 부담이 해소 될 수 있는 기술방안이 가까운 시일 내에 해결되어야만 한다.

REFERENCES

1. <http://www.ottobock.com>
2. <http://www.touchbionics.com>
3. D.S.V Bandara, R.A.R.C Gopura, K.T.M. U Hemapala, et al. Upper extremity prosthetics: current status, challenges and future directions. AROB 2012;17:19-21.

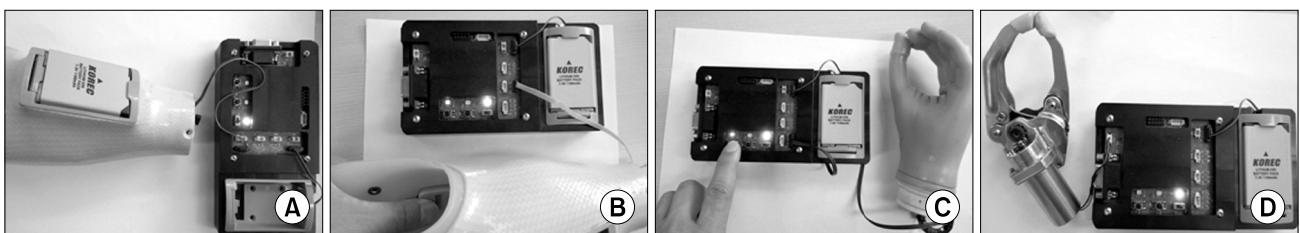


Fig. 14. Diagnosis module for the myoelectric hand prosthesis. (A) Check battery, (B) Check sensor, (C) Check hand, (D) Check mechanism.

4. Kuiken T. Targeted reinnervation for improved prosthetic function. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2006;17:1-13.
5. Joseph T. Belter, Jacob L. Segil, Aaron M. Dollar, Richard

F. weir. Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review. *JRRD* 2013;50: 599-618.