

# 생체신호제어 운동기능 회복기술의 현황

글·류 제 청 /재활공학연구소, 책임연구원  
e-mail · jcryu@iris.korec.re.kr  
글·문 무 성 /재활공학연구소, 소장

이 글에서는 생체신호제어 운동회복 기술의 필요성, 기술의 개요, 생체 모방형 액추에이터 개발 현황, 근전위 제어 시스템, 뇌-기계 인터페이스 제어시스템, 하이브리드 보행보조 시스템 등에 대해 소개한다.

## 고령사회를 대비한 사회 경제적 요구

21세기에 진입한 우리나라는 소득 증대에 따른 국민 개개인의 삶의 질에 대한 욕구가 증가되고 있고, 또한 소위 복지라는 개념에 대한 전체 사회의 점진적 인식변화로 최근 수년간 제 사회보장제도(국민건강보험, 의료보호, 산재보험 등 확대)가 급속히 확장되어, 국민 개개인 및 국가 전체의 복지비용이 빠른 속도의 증가되고 있다.

2000년 기준으로도 전 국민의 각각 5%(약 200만 명), 7%(약 350만 명)를 상회하는 점유율을 보이고 있는 장애인 및 노인 인구에 대한 복지 및 취업 문제는 이미 주요한 국가 정책적 문제로 대두되어 2003년 대통령 직속자문기관으로 '고령화 사회 기획단'이 발족되었다. 이것은 의료기술의 발전에 따른 고령 인구가 2000년의 고령화 사회(전체 인구의 7%), 2019년 고령사회(전체 인구의 14%)로 급속히 증가되고, 또한 고도산업화에 의한 교통사고나 산업 재해 등으로 인한 장애 인구수도 지속적 증가하고(2000년 보건의료 백서) 있어 노인 및 장애인 대상의 복지정책이 매우 시급함을 알 수 있다.

노인 및 장애인 복지의료기술을 이용한 의료산업은 유럽 국가, 미국, 캐나다, 호주

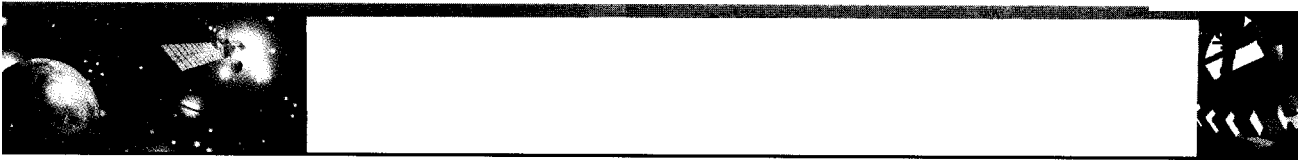
등 의료 선진국에서는 이미 중요한 고부가가치 기술집약형 산업으로 자리잡고 있으나, 과거 우리나라의 경우 낮은 국민 소득과 사회적 미성숙에 의한 낮은 시장성으로, 산업 자체가 경제성이 낮은 분야로 인식되어 왔다. 그러나 '90년대부터 우리나라도 관련 시장규모 및 수요가 급속히 팽창되고 있어, 노인/장애인복지의료기술 관련 산업은 향후 10년 이내에 최고 유망한 신기술 산업 분야의 하나로 발전될 수 있을 것으로 예측되고 있다.



그림 1 햅틱(Haptic)을 이용한 노인에 대한 상지보조기 훈련

## 생체신호제어 운동회복 기술의 필요성

'생체신호제어 운동회복 기술'은 인간-기계 인터페이스(MMI : man-machine interface)의



완성이란 측면에서 21세기의 가장 첨단적인 차세대 핵심 의료복지 기술로 보아야 하며, 또한 BT, IT, NT 기술의 융합기술로서 국가 전략적 고부가가치 기술 집약형 산업으로의 발전 가능성이 크다고 할 수 있다. 특히 각 분야에서 기 개발 상용화된 재래식 기초 기술들을 생체에 최적의 조건으로 도약 발전시킬 수 있다는 점과 선진국에 대한 기술경쟁력 확보라는 차원에서 미래형 의료기기산업에 대한 핵심 기술로의 파급효과는 지대하리라 예상된다. 이와 함께 인간의 손상되거나 노화된 생체기능 복원에 관련된 핵심 기술을 궁극적으로 통합하고 인체와 완벽한 호환을 갖추게 하는 신기술을 창출하고 부가적으로 상업적 부가가치가 극대화되는 차세대형 응용 기술을 파생시킬 수 있다.

또한 '생체신호제어 운동회복 기술, 핵심 기술에 포함되는 인간-기계 인터페이스 호환기술, 뇌-기계 인터페이스(BMI : Brain-Machine Interface), MES(Myo-electric Signal) 등을 이용한 지능형 인공신경신호처리 기술, 생체 모방형(biomimetic) 경량 구동장치, 생체적합성 재료개발 및 극 미소 가공기술, 임상학과 3차원 생체기계 공학적 해석/설계 및 정밀 제어기술은 국내 의료공학 발전을 위하여 뛰어난 상업적 특성을 갖고 있을 뿐만 아니라, 기술 파급효과가 큰 핵심적 기술성과 향후 생체인조인간(bionic man)의 실현 등 미래지향적 성격을 갖고 있어, 현재 국내의 취약한 기술경쟁력을 세계적 수준으로 견인할 수 있는 기술로 개발할 필요성이 있다.

## 기술의 개요

생체신호인 뇌 신호(brain signal)와 근전위 신호(myo-electric signal)에 의하여 제어되는, 의수족과 같은 인조의 재활의료장치가 인체의 근 골격계에 직간접적으로 연결되어 운동기능이 노화되거나 질병과 사고에 의해 상실된 노인, 장애인의 운동기능을 보조하는 인체기능대체 Bionic 기술로, 인체와 기계가 기능적, 구조적으로 일체가 되는 점에서 제품개발의 성공은 국내 재활기기 분야에서 새로운 신기술 적용에 대한 전기가 될 것으로 보인다.

'생체신호제어 운동회복 기술'은 1) 인체에서 발생하는 생체신호를 정확하게 측정하고 특성/최적화하는 신호처리기술, 2) 보다 완벽한 인체기능의 재생을 위한 생체 모방형 신개념의 구동장치의 개발, 3) 자연상태 인체의 생리적 기능을 효율적으로 대체하는 생체제어 및 지능형 기계전자(biocontrol mechatronics)제어기술, 4) 인체 착용형 장치의 경량화를 위한 나노 테크놀로지 가공 기술, 5) 인공재료의 생물학적 안정성과 효과적 하중전달체계가 보장되는 임상의학 기술 등이 요소기술로 되는, 전자, 기계, 재료 등 다양한 첨단공학과 임상의학 기술이 결집된 통합적 기술이라 할 수 있다.

인체의 기능 재활기술에 대해서는 1970 년대에 MES를 이용하여 로봇 형태의 손을 제어하는 기술 개발이 시작되었으나, 생체 제어 시스템의 불완전에 따른 문제와 재래식 구동장치 개념의 사용에 따른 중량문제로 오늘날까지 기계식 의수 족 등에 대한 장점이 사실상 거의 없는 실정이다. 기존

MES에 의한 의지 동작제어는 생체신호를 획득하기 위한 전극 하드웨어 및 제어용 소프트웨어의 불안정으로 동작 신뢰도가 떨어지며, 장애인 개인의 병리적, 해부학적 특성이 고려되지 않고 정상인의 기준의 생체신호에 의해 제어되는 점과 실제로 장애인에게 적용될 때 착용 장애인의 생각에 의한 생리학적인 동작에 의한 MES를 이용하는 것이 아니라 개인별 학습에 의한 비생리학적인 동작으로서 작동하는 점이 문제로 되어 있다.

전술된 이유로 지능형의 생체신호를 이용한 신호처리 기법과 운동기능회복을 위한 인체의 동작제어 기법의 개발이 요구되며, 재래식 재료와 구동장치를 대체 할 수 있는 새로운 패러다임의 초경량 고효율 생체 모방형 구동장치(예를 들면, 인공근육)를 개발하고 이를 이용하여 인체의 운동을 모방할 수 있는 생체모방형 인체 운동기능 회복 시스템의 개발이 요구되며 이에 대하여 현황과 전망을 기술하고자 한다.

### 생체 모방형 액추에이터 개발 현황

금속골격과 DC 모터 구동장치를 사용하

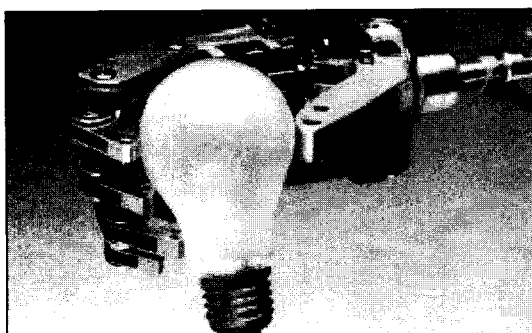


그림 2 Southampton Hand

는 동력의수에 대한 연구는 전 세계적으로 많은 대학과 회사에서 연구를 수행, 기술 수준이 급격히 발전되고 있다. 상용화된 동력형 의수로는 Otto Bock 사, Hugh Steeper 사, Systemtechnik 사, Fidelity Electronics 사 등에 의해 주로 MES를 on-off 혹은 비례제어에 의해 작동된다. 최근에 소개되고 있는 첨단 동력형 의수의 종류는 아래와 같으며, 대부분 임상의학 실재가 고려되지 못한, 로봇 손의 개념에 머물고 있다.

- Stanford/LPL hand : 각각 3자유도의 세 개의 손가락 로봇손(12개의 actuator)
- Utah/MIT hand : 각각 4자유도의 네 개의 손가락 로봇손(32개의 actuator)
- Belgrade/USC hand : 다섯 개의 손가락(네 개의 모터)
- UBH(U. Bologna) hand : 세 개의 손가락(11개의 actuator)
- MARCUS hand(Southampton): 세 개의 손가락(slip 방지 grip 기능)
- Otto Bock New Hand: 두 개의 손가락(slip 방지 grip 기능)

생체 모방형의 초경량/중저가 전완 의수의 개발은 미국 보훈병원 국책과제로 VA Palo Alto Healthcare System에서도 수행 중이며, 종래의 의수 개념을 벗어난 인체의 근육 기능과 손 운동을 모방하게 하는 연구를 진행 중이다. 즉 엄지손가락은 고정시키고 나머지 네 개의 손가락을 voluntary-closing 메커니즘을 사용한다. 또한 기존 의수의 external glove를 대체한 endoskeletal hand를 개발하고,

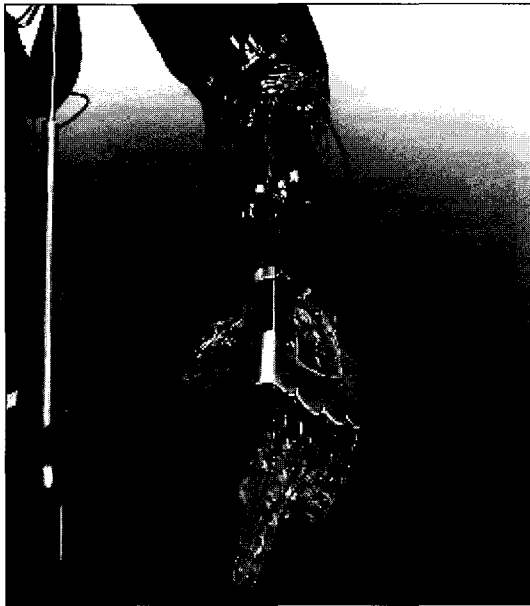
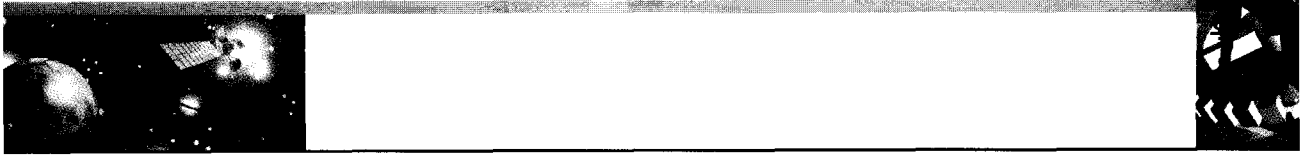


그림 3 생체모방 인공 공압 근육 로봇 팔(Shadow 사, 영국)

인체 손의 인대에 의한 움직임의 모방한 인공인대를 이용한 endoskeletal plastic finger로 손가락을 움직였다. 파지력(쥐는 힘)은 인공인대에 부하되는 인장력에 의해 조절되며 현재 인공인대를 움직이는 구동장

치는 개발이 되지 않은 상태이다. 무게는 기존의 Otto Bock 손이 600g임에 반해 200g에 불과한 것으로 보고되고 있다.

우리나라에서는 포항산업과학원(RIST)에서 로봇 팔을 이용한 장애인용 촉각 동력의 수 개발에 대한 연구를 수행하였으나, 금속 골격과 재래식 전기모터식 구동장치의 사용 등으로 인한 중량, 센서, 작동의 정교성 문제 등 임상 실제적 요구가 만족되지 못하여 상용 제품화는 이루어지지 못하였다.

재활공학연구소(KOREC)의 동작회복 신기술 연구센터에서는 정교한 제어와 상기 언급된 실제적 문제들을 해결을 위하여, 근전위는 물론, 뇌신호식 제어방식을 채택하고, 생체 모방형 인공근육 액추에이터를 사용하여 초경량의 새로운 제어, 구동 방식의 의수를 개발하고 있다.

### 근전위 제어 시스템

미국에서 근전위(myoelectric signal)

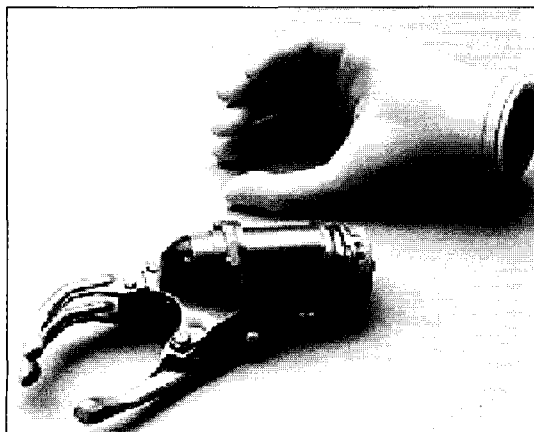


그림 4 지능형 근전위 제어 전자 의수(Ottobock 사, 독일)

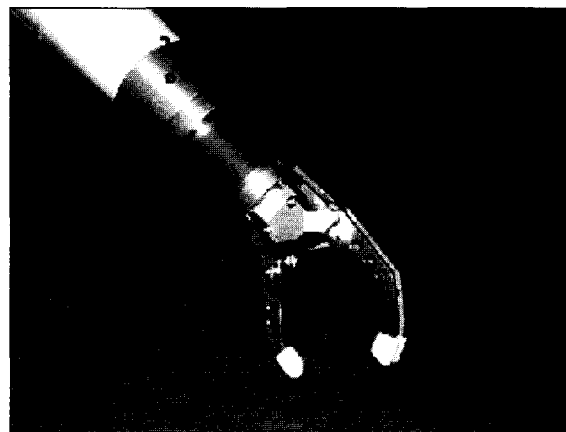


그림 5 재활공학연구소(KOREC)에서 개발된 지능형 근전위 제어 전자 의수

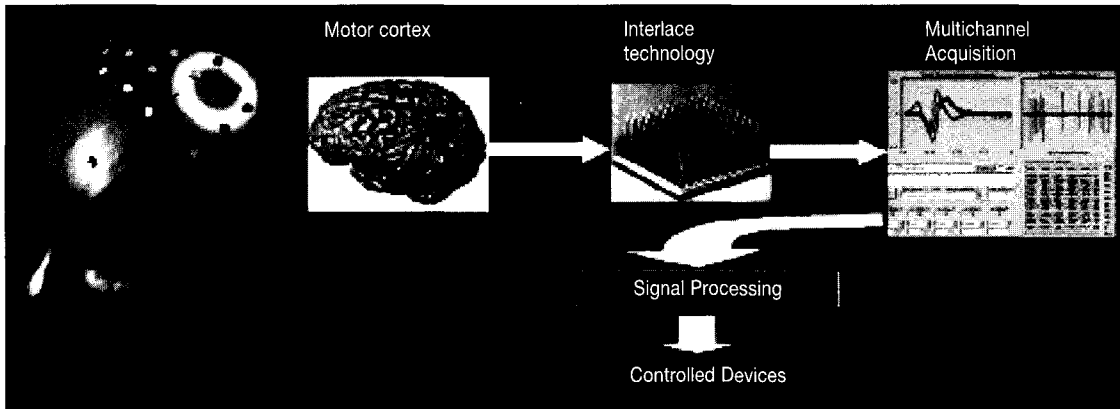


그림 6 뇌파에 의한 재활기기 제어개념

에 의한 의수제어는 control based myoelectrical statistical pattern recognition technique 연구에 초기에 집중된다. 간단한 손 운동에 대해서도 어깨로부터 손까지의 모든 근육의 MES의 어떠한 혼합된 결과로 나타난다고 가정하여 초기에 Temple 대학에서는 통계학적인 방법으로 MES의 패턴을 인식하여 손의 특정한 운동 경향을 밝히려는 연구를 수행하였다. 미국의 UCLA와 스웨덴의 Goteborg에서 통계학적인 MES 패턴 인식을 통한 손의 움직임을 제어하는 연구가 수행되었고, 여섯 개의 EMG 센서를 사용하여 3자유도의 손 운동을 동시에 제어하였다. 그러나 개개인의 특성에 대한 패턴인식의 어려움으로 인해 가능성을 보였으나 성공적이지 못한 것으로 평가되고 있다.

미국 MIT에서는 musculo-skeletal dynamics를 이용하고, MES를 측정하여 vectormyogram을 이용하여 의수의 운동을 제어하려는 연구를 수행하였으나, MES를 dynamic equation에서 사용되는 동역학적

인 인자로 변환의 난해성 해결이 숙제이다.

캐나다의 New Brunswick 대학에서는 이전의 모든 MES 관련 연구가 stationary-isometric signal로 가정되어 연구된 것과는 다르게 근육이 수축할 바로 그 시점에서 MES를 측정하여 신경회로망에 의한 제어를 시도하였으며, 통계학적인 접근 방법을 동시에 적용하는 연구를 진행 중이다.

### 뇌-기계 인터페이스(BMI) 제어 시스템

뇌에 대한 연구는 국제적으로 활발하게 진행되고 있으며, 미국의 경우 과학재단(NSF) 및 국립보건 연구소(NIH)가 연구를 주관하고, 의회에서 선언된 기초로 다섯 개 연방부처 및 16개 연방기관이 지원하며 뇌의 기초신경과학부터 뇌와 인간반응에 대한 광범위한 내용을 다루고 있다. NIH의 만의 지원규모는 연간 11조 원에 이르고 있다.

일본의 경우 차세대 과제로서 과기청, 뇌과학 연구센터, 통산성 중심으로 연구를 주도하고 있으며, 뇌의 신경 메카니즘 규명,



그림 7 재활공학연구소에서 개발된 동력보행보조기

신경망 구축, 등 뇌 전반의 신경과학적 연구이며 특히 통산성 주도 하에 연구는 6세대 컴퓨터개발을 목표로 뇌 정보통신을 응용하고 있다.

유럽의 경우 유럽공동체에서 ANNIE (Application of Neural Networks of Industries in Europe)라는 다수과제 뇌파의 패턴인식, 센서퓨전, 적응제어, 최적화 등의 연구를 하고 있으며, G7국가의 HFSP(Human Frontier Science Program)의 과제로서 뇌기능 기초해명과 생체기능 해명 등을 연구하고 있다.

뇌기능의 기초연구를 이용하여 동물 두뇌에서 신경 뉴런의 신호를 받아 로봇동작에 응용하는 듀크 대학의 신경과학자 Miguel

Nicolis와 인간의 지루한 잡무를 대신하는 로봇제작에도 BMI의 기술을 근간으로 하는 Brandeis 대학의 Jordan Pollack의 연구활동은 미래의 BMI기술의 응용성을 예고하고 있다.

Time지에서는 2025년 경에 인간의 인지작용을 이해하고 상호 반응하는 컴퓨터 출현을 예고하고 있다. 이것은 미국 내의 컴퓨터 산업에 관한 연구가 BMI(Brain-Machin Interface)기술 방향으로 진행하고 있으며, IBM 사의 Blue Eyes Project는 컴퓨터의 인터페이스 기술을 기존 WIMP(Window, Icons, Mouse, Pointer)의 제한성을 뛰어넘는 새로운 미디어로 인간 생체 신호 인터페이스와 BMI를 응용하고자 하고 있다.

Georgia State University의 Dr. Moore팀은 최근 Georgia Institute of Technology와 Emory Medical School과 공동으로 NSF에서 인공 의수족을 BMI 기술로 실현화하는 180만 달러의 연구과제를 수행하고 있다.

### 하이브리드 보행보조시스템

1992년에 Solomonow는 FES(기능적 전기자극장치)와 보행보조기를 결합한 최초의 하이브리드 보행보조장치를 만들어 척수 손상환자를 대상으로 근육의 반응도, 훈련 조건, 비용, 근육의 강직도 감소 등을 연구하였다. 2000년에 Merati 등은 14명의 환자를 이용하여, 세 명은 왕복보행보조기(RGO : Reciprocating Gait Orthosis)를 착용하고 네 명은 단지 기능적 신경자극



을 이용하여 산소 요구량은  $VO_2$  peak의 50% 이상으로 에너지 낭비가 많음을 밝혔고, 휠체어보다 10배나 느린 보행을 하며, 외형상의 문제와 입고 벗는데 어려움을 연구하였다. 1999년 클리브랜드 FES 센터와 케이스 웨스턴 리저브대학 연구팀은 임플란트 일렉트로드를 가진 16채널 전기자극장치와 보행기를 이용하여 하반신 마비환자를 8분 동안 서있게 하고 20m를 보행하게 하였다. 또한 2000년 아이소센트릭 왕복보행보조기(ISO-RGO : Isocentric reci-procal gait orthosis) vs. 기능적 신경 자극장치 또는 보조기를 이용하여 0.2m/s의 느린 보행을 구현하였고, 이때 에너지 소비는 0.5Kcal/m로 증가하였으며, 현재는 보다 더 안정되고 멀리 갈 수 있는 보행연구가 진행 중이다.

1993년 Popovic은 자가 맞춤형 모듈러 보조기(SFMO)를 개발하였는데 바지에 따라 슬관절, 고관절, 발목관절 등이 분리되는 구조로서 상체지지가 전체의 60%에서 최대평균속도가 0.4m/s이고 RGO와 FES를 함께 사용시 같은 산소소모량을 나타내었다.

1994년에 미네소타 대학의 Goldfarb와 Durfee는 마그네틱 파티클 브레이크를 이용한 Controlled Brake Orthosis (CBO)를 개발하여 초과되는 슬관절 토크를 제거하고 FES를 사용했을 때와 CBO와 FES를 하이브리드로 사용했을 때를 비교하였다. 결과는 하이브리드로 사용했을 때 보

행속도가 0.09m/s에서 0.12m/s로 높아졌고, 보행거리도 25m에서 50m로 증가하였다. 물론 보행시 슬관절 각도도 안정되었다.

그림 7에서 보듯이 우리나라에서도 현재 재활공학연구소(KOREC)에서 생체신호를 이용한 동력보행보조기의 연구가 진행되고 있다.

### 맺음말

‘생체신호제어 운동회복기술’은 생체신호 직접제어용 센서 및 제어 프로그램과 경량 소형 첨단소재의 인공근육형 구동장치는 향후 첨단 의료기기 제조시 적용은 물론 로봇, 자동차, 항공기산업 등 여타 일반 산업 기기에 대하여도 파급효과가 클 것으로 예상된다. 특히 초정밀 생체제어 및 센서 감지기술, 구동체 기술의 IT, BT, NT가 연계된 기술의 특성으로, 해당분야의 국내 연구 기술 수준을 향상하고 나아가 차세대형 고부가가치 수출전략형 산업으로 발전 가능성 매우 크며, 기계제어, 전자제어를 이용한 제1세대 재활보조기구(’90년대 이전), 제2세대 재활보조기구(’90년대)가 제3세대(2000년~) 생체제어 직접제어로 바뀌면서, 인간의 의지가 반영되는 재활보조장치로의 전환, 장애인 및 노약자에 대한 사회복지 증진 측면 효과가 대단히 클 것으로 기대된다.