

◆특집◆ Bio-technology

의용 로봇 및 지능형 의수·족

염영일*

Bio-Robots and Intelligent Prosthetics

Youngil Youm*

Key Words : Bio-robot(의용로봇), Telesurgery(원격수술), Myoelectric signal (근전도 신호), Prosthetic hand(의수), Prosthetic leg(의족)

1. 서론

산업용로봇이 최초로 제조용으로 사용된 것이 1961년 미국의 포드 자동차회사에 설치한 Unimate 로봇이다. 그 이후 로봇은 세계적으로 생산성 향상에 지대한 공헌을 하였으며 로봇의 발전은 인간처럼 인식하고 행동할 수 있는 지능형 로봇을 생산하는데 경주하고 있다. 드디어 일본의 혼다 회사는 인간을 닮은 두발로 걷는 휴머노이드 로봇을 개발하기에 이르렀다. 그 후 로봇의 용도는 산업용 이외에 신체장애자 간호로봇, 고령자지원로봇, 건설용 로봇, 해저 탐사용 로봇 등 범위가 넓어지고 있다.

로봇기술의 발전은 의료분야에도 영향을 미쳐 1980년초 부터는 수술에 획기적 방법이 도입되었는데 로봇을 이용해서 환자에게 최소한의 피해를 주는 수술법이다.

직경이 마이크로 크기의 혈관을 폐쇄는 미세 원격수술, 신경외과용 로봇, 미세한 힘을 감지하는 미세 조작용 로봇 등 역시 바이오 로봇의 현주소이다. 외국의 경우 의료용 로봇이 상품화도 되어

있으나 우리의 경우 아직도 연구단계에 있다.

인공 의수족 등 보장기구를 인간에 이용하려는 외과적 역사는 인간의 문명이 시작하고 의학적인 사고방식이 시작하면서 부터이다. 최초의 인류학적(anthropological) 증거는 45,000년 전으로 거슬러 올라가며 그 후 36,000년 전 스페인과 프랑스의 동굴벽화에서 크게 손상된 손의 그림을 볼 수 있다. 이집트에서 발굴된 미라(mummy)에서 의수족이 발견됐고 그리스의 신화에도 보장기구에 대한 이야기가 나온다. 1858년 이태리의 Capau에서는 기원전 300년경 로마 시대에 Samite 전쟁에서 사용했던 의족이 발굴됐다. 재료는 나무, 청동부품, 그리고 가죽끈으로 되어 있었다. 그 후 르네상스 시대에 독일의 직업적인 용병인 Gotz von Berlichingen (1480-1562)의 쇠로 만든 의수 및 팔은 그 당시 이 분야의 발전을 보여주고 있다. 1885년 Heather Bigg는 절단수술과 의수·족, 보장기구에 관한 최초의 책을 발간했다.

그러나 무엇보다 두 차례에 걸친 세계 대전으로 이 분야의 연구가 급진전되었고, 오늘날의 형태를 갖춘 의수·족 기구를 발전시키는 계기가 됐다. 제 1차 세계 대전(1914-1918)이후 유럽과 영국의 142,000명의 수족 절단자와 4,400명의 미국 수족 절단자가 발생하였고, 이 당시에는 장애인이 많았던 유럽이 보장기구에서 앞서갔다. 이를 인식한 미국에서는 국가적 차원의 노력을 하려 하였으나, 때마침 불어 닥친 대공황으로 인해 부진하였

* 포항공과대학교 기계공학과
Tel. 054-279-2162, Fax. 054-279-5899
Email youm@postech.ac.kr
기계공학과 주임교수
BK21 과학기술분야 기계사업단 사업단장.

다. 그 후 제 2 차 세계 대전으로 인해 수족 절단자는 그 수가 크게 증가했고 유럽에 비해 뒤늦은 것을 인식한 정부는 1947년 미국 캘리포니아대학 버클리 캠퍼스에 처음으로 국가지원 연구소를 설치하고 학문적으로 접근을 시도하였으며 AOPA(the American Orthotics and Prosthetics Association) 학회도 1950년에 시작되었다. 1970년에는 국제 기구인 ISPO(International Society for Prosthetics and Orthotics)가 창설됐다.

지난 30여년간 지속적으로 발전된 전자기술, 제어기술, 소형모터기술 등의 기반기술에 힘입어 로봇의 의료응용과 다양성과 지능성을 갖춘 의수, 족 개발이 활발히 진행되고 있다.

2. 의용 로봇

생체공학 분야는 사람에게 직접적으로 응용되므로 타 분야에 비해 정밀도와 안정성이 요구된다. 최근에 많이 응용되고 있는 바이오 로봇들은 어떤 측면에서는 인간의 능력보다 우수하기 때문에 앞으로 많은 발전이 있을 것이다. 이러한 특성으로 인하여 최근 20년에 걸쳐 눈부신 발전을 이룬 로봇 분야의 이론들은 바이오 측면에서 훌륭하게 응용되고 있다. 이러한 특징을 가진 로봇 이론들은 다음과 같다. 안정성과 정밀도(safety and reliability), 정밀제어(Precision control), 여유자유도(Hyper redundancy), 정밀 힘제어(Precision force control), 원거리 제어(Tele control) 등 대부분의 이론들이 여기에 포함된다.

그 중에서도 수술분야, 특히 원격 수술 분야가 가장 많이 응용되고 있다. 이는 의사의 손 떨림과 같은 수술에 적합하지 못한 현상을 제거할 수 있을 뿐 아니라, 신경 수술과 같은 분야에서의 정밀한 힘제어와 위치제어를 바탕으로 안전한 수술을 보장해 주고 있다. 더 나아가 사람의 손이 기구학적으로 닿을 수 없는 지점에서의 수술을 가능하게 해 주고, 수술부위를 최소화하고 내시경과 여유자유도 로봇을 이용하여 피수술자의 수술 후 통증을 최소화하는 데에도 기여하고 있다.

현재 가장 활발한 연구를 하고 있는 분야를 살펴보면 다음과 같다. 프랑스의 INRIA 연구팀은 인체의 장기들을 모델링하고 조작자가 마치 실제의 장기를 만지고 있는 것과 같은 감촉을 제공하는 소프트웨어와 힘반사 기기에 대하여 연구를 하였다.



Fig. 1 Computer simulator for the surgery

이는 내시경 수술에서 의사가 눈과 손으로 직접 장기를 수술하는 것이 아니라, 새로운 시뮬레이터 환경에서 좀 더 넓은 시야를 가지고 수술할 수 있도록 해 주는 장치이다.

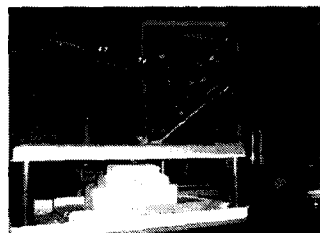


Fig. 2 Telesurgery Robot

하버드 대학은 ZEUS 로봇을 이용하여 원격 수술에 사용될 껍데기에 대하여 연구를 하였다. 원격 수술 로봇을 이용하는 외과의사는 껍데기와 같은, 사람의 손이 쉽게 할 수 있는 작업을 로봇을 사용할 경우에 많은 제약을 받기 때문에 얼마나 빠르게 의사가 로봇에 적응할 수 있도록 하는 것도 큰 문제가 된다. 원격 로봇을 만들었다고 하더라도 의사들에게 배우는 시간을 줄일 수 있고 마치 인체를 열어 놓고 하는 것과 같은 환경을 만들어 주는 것이 관건이라 할 수 있다.

존 홉킨스 대학에서는 로봇이 단독으로 작업을 하는 것이 아닌, 로봇이 사람의 작업을 도와주는 역할을 하는 인간/로봇 정밀 힘제어 로봇(human/robot force control for robot assisted microsurgical manipulation)을 개발하였다 이 로봇은 눈 수술에 응용될 수 있다.

로봇 자체로 동작하는 것 보다는 사람의 손이 좀 더 민첩하게 동작할 수 있기 때문에 로봇이 사람의 정밀도를 증가시켜주는 역할을 할 수 있다면, 보다 훌륭한 작업을 수행해 낼 수 있다.



Fig. 3 Robot for eye surgery

특히 다른 수술 로봇보다 간단하고 가격이 저렴하다는 점에서 인체 외부의 수술의 경우 적합한 로봇이다.

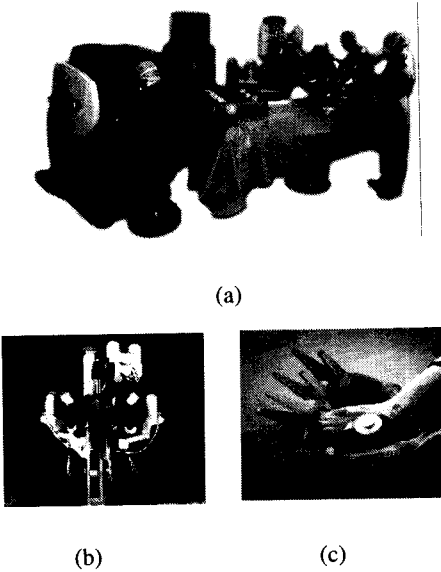


Fig. 4-a. Telesurgery system
4-b. Telesurgery robot arm
4-c. Tele surgery robot wrist

이외에도 실제로 판매하고 있는 원격수술 로봇을 살펴보면, The Intuitive Telesurgery System 사는 3 차원 내시경과 여유자유도 로봇암(robot arm) 및 사람 손목 모양을 본떠 만든 기구를 가지는 시스템을 개발하여 판매하고 있다. 실제로 많은 시술이 이를 통해 이루어졌고, 수술 로봇의 응용성과 안전성을 보여준 예이다. 그러나 아직 제대로 된 힘반영을 이루는 데는 부족한 점이 많다. 두개골 속의 신경수술을 하기 위하여 만들어진 기구가 있다.

EC(European Community)의 지원을 받는 Roboscope 라는 연구팀은 MRI 로 인체 내부의 구조를 알아내고 뇌에 대한 모델을 구한 뒤 기구가 접근을 금해야 할 곳을 미리 정하고 최소한의 구멍을 뚫어 신경 수술을 할 수 있는 기구이다.

앞에서 기술한 하버드 대학 연구팀에서 사용하는 ZEUS 로봇을 판매하는 회사의 경우 의사가 수술 중에 시야를 확보하고 간단한 힘 반영과 또 로봇을 제어할 수 있는 시스템을 개발하고 있다. 실제로 인체 내부의 장기를 시술한 예가 있다.



Fig. 5 Robot for brain surgery

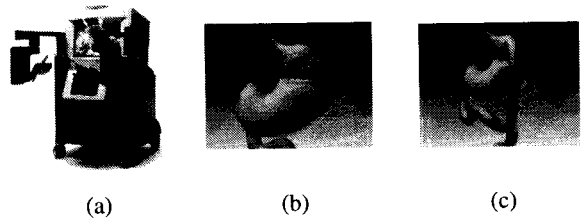


Fig. 6 Zeus robot and example of surgery

이탈리아의 MiTech 실험실은 Hall-effect 를 이용한 센서로 수술 공간 확보를 위한 내시경 및 수술장비 조작기구에 대하여 연구를 하였다. 이를 이용하면 수술 공간 확보와 무릎의 민감한 신경에 접촉을 금해야 하는 수술에 응용할 수 있다.



Fig. 7 Surgery for knee joint

일본 도쿄대학의 Mitsubishi 연구팀은 6 자유도를 가지는 원격 수술용 주로봇과 종로봇에 대하여 연구하였다.

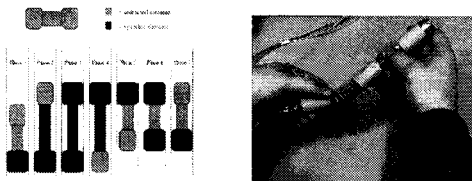


(a) (b)

Fig. 8 Example of telesurgery for blood vessel

1998년 700km 떨어진 곳에서 인공 혈관을 꿰매는 데 성공하였고 1999년에는 실제 쥐의 동맥을 3차원 기법을 이용하여 꿰매는 데에 성공하였다. 그러나 많은 시간이 걸린다는 점에서 아직은 현실성이 부족하다고 할 수 있다.

앞에서 얘기한 인체의 일부를 절개하여 수술하는 것과는 달리 캘리포니아 공과대학교에서는 소장벽 내에서 움직일 수 있는 이동 로봇에 대하여 연구하였다.

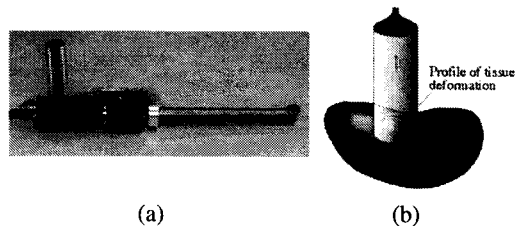


(a) (b)

Fig. 9 Mobile robot for intestine

대장의 경우와는 달리 소장의 벽에는 많은 동맥들과 압축관들이 지나가고 있기 때문에 장벽에 압력을 가하여 이동하는 방식은 소장에 치명적인 손상을 가져올 수 있다. 그리하여 이들은 돼지의 소장을 실험대상으로 하여 어느 정도의 압력에서 소장이 손상을 받는 지에 대하여 연구하였다.

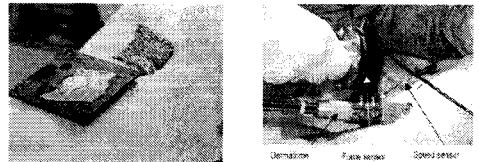
다른 로봇들의 작업과 마찬가지로 로봇의 강건성은 오히려 인체에 손상을 줄 우려가 많기 때문에 인체의 특성을 아는 것이 무엇보다도 중요하다. ETH의 장치는 부드러운 인체의 특성을 알려줄 수 있다. 이를 이용하여 인체내부의 가상환경을 만들어 줄 수도 있으며 이는 곧 의사들이 학습을 보다 안전하게 할 수 있음을 의미한다.



(a) (b)

Fig. 10 Virtual realization tool

마지막으로 이식수술을 위한 로봇도 연구되고 있다. 이식수술을 할 때에는 피부를 얼마만큼 얇게 벗겨낼 수 있는가가 관건이라는 점에 착안하여 이 기구는 6 자유도를 가지고 있으며 피부의 두께를 결정하는 두 가지 요인인 힘과 속도를 로봇에 입력할 수 있는 힘반영과 속도센서를 부착하고 있다.



(a) (b)

Fig. 11 Robot for skin graft

3. 지능형 의수

지능형 의수관, 제어 기술을 이용하여 외부 동력에 의해 작동되는 의수를 말한다. 처음 외부 동력을 이용한 의수는 1949년 IBM에서 개발되었고, 1958년 러시아에서 굴근(Flexor)과 신근(Extensor)의 근육 수축으로부터 제어되는 외부동력을 이용한 제품이 개발됐다. 그 후 독일의 오토복은 이 기술을 상업적으로 발전시켰다. 현재에도 이러한 의수를 실현시키기 위한 연구가 계속 진행되고 있으며, 근래 들어 미국의 유타암 2라든지, 독일의 오토복 핸드 등 몇몇 회사에서 상용화하여 시판될 정도로 기술의 진보가 이루어졌으나, 아직 개선될 점은 많다.

이 제품들은 장애인의 어깨나 등에 부착된 여러 개의 전극(electrode)에서 측정된 근전도 신호에 따라 의수의 각부관절이 움직임으로서 장애인 스스로 간단한 동작을 할 수 있게 되어 있다. 이

런 근전도(myoelectrical signal)를 이용한 지능형 의수(myoelectric hand & arm)는 소형전기모터, 전기connections, 그리고 제어 회로판 및 기구학적 메카니즘으로 구성되는 팔 및 손과 이를 인간의 뜻대로 제어하기 위한 제어부 혹은 인터페이스로 나누어진다.

인간의 팔과 로봇형 의수를 제어하기 위한 제어신호로 보통 근육을 움직일 때 발생하는 전압신호인 EMG 신호를 많이 사용한다.

제어 입력으로 근전도 신호를 어떻게 사용하는 지능형 의수의 신호입력수에 관계되는 자유도에 따라 달라진다. 자유도가 낮은 경우, 근전도 신호는 보통 한개의 근육군이나 두 개의 근육군을 이용하여 의수의 액츄에이터(actuator)에 명령을 내리는 방법을 사용한다. 일잔 작동 상태가 선택되면, 의수가 동작되는 속도를 일정하게 하거나 혹은 근육을 수축할 때 힘을 주는 정도와 비례적으로 증감하는 근전도 신호의 진폭 크기에 따라 속도를 제어할 수 있도록 하기도 한다.

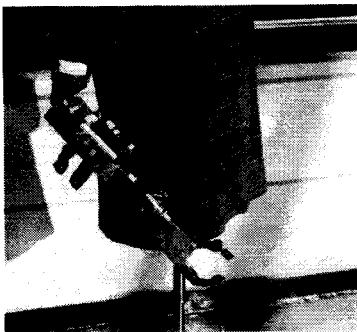
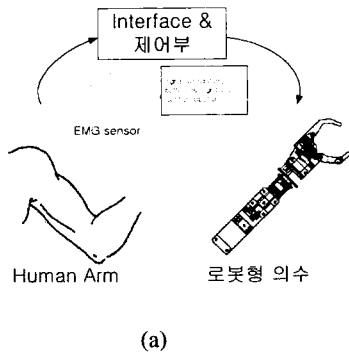


Fig. 12-a. Prosthetic hand and its control
12-b. POSTECH prosthetic arm and hand

인간의 팔과 로봇형 의수를 제어하기 위한 제어신호로 보통 근육을 움직일 때 발생하는 전압신호인 EMG 신호를 많이 사용한다.

제어 입력으로 근전도 신호를 어떻게 사용하는 지능형 의수의 신호입력수에 관계되는 자유도에 따라 달라진다. 자유도가 낮은 경우, 근전도 신호는 보통 한개의 근육군이나 두 개의 근육군을 이용하여 의수의 액츄에이터(actuator)에 명령을 내리는 방법을 사용한다. 일잔 작동 상태가 선택되면, 의수가 동작되는 속도를 일정하게 하거나 혹은 근육을 수축할 때 힘을 주는 정도와 비례적으로 증감하는 근전도 신호의 진폭 크기에 따라 속도를 제어할 수 있도록 하기도 한다.

그러나 자유도와 기능의 수가 증가된 의수들의 경우, 가능한 동작 수 만큼의 제어 신호가 필요하게 되는데, 근전도 신호원으로 사용할 근육군들의 선택에는 제한이 있어서 실제 사용 가능한 근육군들의 수는 적을 뿐 아니라, 의수를 제어하기 위해 많은 근육들을 사용하고 일일이 근육에 힘을 준다는 것은 그다지 바람직한 방법이 되지 못한다. 이 경우, 서로 다른 근육이 다른 상태에 있을 때 내놓는 근전도 신호들 자체가 각기 다른 특징을 가지고 있다고 가정하고 그 특징들을 파악하여 패턴을 분류한 후, 인식된 패턴에 맞는 동작을 수행하는 방법이 사용된다. 패턴을 분류해 내는 방법은 시계열 인식과정 방법(Graupe), 근전도 신호의 시적분값의 공간상의 분포를 나타내는 방법, 통계적 방법 등 여러 가지가 있으나, 최근에 대표적으로 쓰이는 방법에는 신경 회로망 방법과 혼돈 이론 등이 있다.

4. 지능형 의족

의족의 제어는 최소한 허벅지 부분이 남아 있는 Opening Gait 가 가능한 사람의 Passive Control(mechanical Design)을 기본으로 하여 이루어지고, 정상인과 흡사한 보행 motion 을 구현해 내는 것과 넘어지지 않도록 안정성을 보장해 주는 것 등의 목적을 갖는다.

특히 무릎 관절(knee joint)과 충격 흡수장치(shock absorber) 그리고 발목/발(ankle/foot)는 인체의 제충이나 dynamic motion 에서 부가되는 하중에 의한 충격을 흡수해주는 역할을 하여야 하며, 무릎 관절(knee joint)과 발목/발(ankle/foot)은 유연한

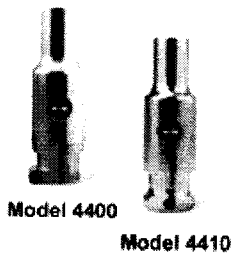
swing motion 을 위해서 적절하게 설계되어야 한다.

무릎 관절(knee joint)은 대퇴부와 다리를 연결해주는 요소로서, 발의 여러가지 형태에 대해 안전한 지지력을 가져야 하고, 부드럽고, 잘 제어된(swing motion)을 만들어내야 한다. 또한, 앉거나 구부리는 등의 동작을 유연하게 할 수 있어야 한다. 무릎 관절의 설계는 값싸고 구조가 단순한 하나의 축으로 된 것과 사관절기구(four-bar linkage)를 이용해 회전 중심을 바꾸어 보행주기동안 안정성을 유지시키고, 유연한 관절 운동을 구현할 수 있도록 한 다축형(polycentric-axis) 구조가 있다.

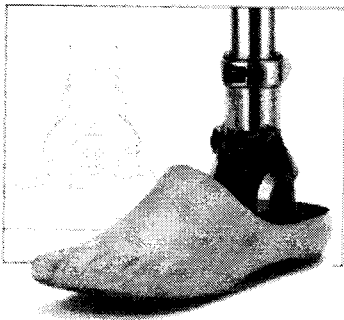
좀 더 진보된 스윙 운동(swing motion)을 위해 공압(pneumatic) 또는 유압(hydraulic) 제어를 이용해 다리의 스윙 속도에 적절한 저항을 주어 제어를 하기도 한다. 유각기 제어는 유체를 이용하여 기존의 기계적 마찰에 의해 제어하는 것과는 달리, 근력과 비슷한 비선형적인 저항을 가할 수 있어 더 좋은 보행 제어를 할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

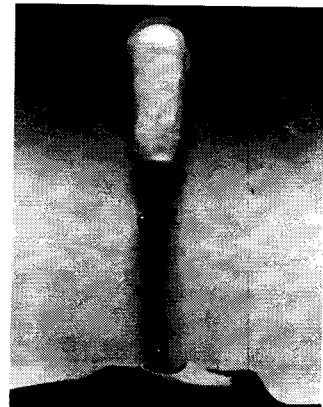
Fig. 13 Prosthetic leg and foot system

좀 더 진보된 스윙 운동(swing motion)을 위해

공압(pneumatic) 또는 유압(hydraulic) 제어를 이용해 다리의 스윙 속도에 적절한 저항을 주어 제어를 하기도 한다. 유각기 제어는 유체를 이용하여 기존의 기계적 마찰에 의해 제어하는 것과는 달리, 근력과 비슷한 비선형적인 저항을 가할 수 있어 더 좋은 보행 제어를 할 수 있다. 그리고, 정상인의 무릎에서 발생하는 토크와 이동각과의 곡선 변이를 유사하게 따라가기 위해, 기존의 단축식 또는 4절 링크 의족과는 달리 공압 실린더를 사용하여, 공기의 저항이 속도에 비선형적인 관계를 갖는 것을 이용하여 제어하기도 한다.

[그림 13]은 한국 재활 공학 연구센터에서 개발한 의족의 모습을 나타내고 있다. 이 의족의 제어 장치를 살펴보면, 주 제어기와 디지털 작동(Digital Operator)의 두 부분으로 나뉘어진다. Digital Operator는 사용자의 Key 를 입력받는 등 사용자 인터페이스(Interface)에 사용되고 주 제어기는 근접 센서를 이용하여 보행 속도를 입력받고 밸브 조정용 스텝 모터를 구동하는 기능을 가지고 있다. 전체적인 메커니즘은 먼저, 사용자에 의해 Digital Operator 를 통해 명령을 받고, 센서에서 입력받은 신호(속도)를 이와 비교하여, 자체의 마이크로 프로세서에서 작동하는 제어 알고리즘을 통해 스텝 모터에 적절한 전압(속도)을 인가하게 된다.

이와 같은 기계적인 제어를 이용해 걷는 것뿐 아니라, 뛰고 점프하는 동작도 원활히 할 수 있게 된다. 이렇게 설계된 의족은 각 환자의 보행(gait) 특성에 맞도록 적절히 조절되고, 환자는 반복된 훈련을 통해 정상인과 유사한 보행패턴을 습득하게 된다.



(a)



(b)

Fig. 14 Prosthetic leg and foot and its real application

5. 결론

우리나라에서의 이 분야 개발은 외국에 비해 미약하다. 구미(舊美)에서는 이미 많은 중소기업이 상품을 내놓고 있으며 이들은 고부가 제품으로 수입가격도 비싼 편이다. 한국 과학 기술 연구원에서 수술용 로봇이 연구 단계에 있으나, 상용까지는 시간이 걸릴 것으로 보인다. 의수의 경우 포항 공대와 산업과학연구원이 개발한 Biro I, II & III가 유일하며 아직도 연구단계이다.

의족 연구는 1994년 노동부 산하에 설립된 재활 공학 연구센터에서 인공지능 대퇴 의지를 개발했으며, 이는 외국 제품과 비교해도 손색이 없다. 현재는 통합형 제어의지를 개발 중에 있다. 의수·족 개발로 인한 경제적인 기대효과로는 장애인들의 취업활동과 사회활동을 가능하게 함으로써 복지사회 구현 및 인력확보로 인한 경제적인 능력을 높일 수 있다는 것이다.

후기

본 논문은 정밀공학회 특집 Bio-technology 를 위해 집필된 것이다. 본 집필에 기여해주신 민병구 박사님, 최규원 박사님, 그리고 임근배 박사님께 감사를 드립니다.

본 논문 자료를 보내주신 한국재활공학연구소의 문무성소장님께도 인사의 말씀을 드립니다. 특집 편집에 수고한 박해란씨에게도 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Taylor, R.H., J. Funda, B. Eldridge, D. LaRose and S. Gomory, "A telerobotics assistant for laparoscopic surgery," IEEE EMBS Magazine, 1994.
2. Ho, S.C., R.D. Hibberd and B.L. Davis, "Robot assisted knee surgery," IEEE EMBS Magazine Sp. Issue on Robotics in Surgery, pp. 292-300, 1995.
3. Goradia, T.M., R.H. Taylor and L.M. Auer, "Robot-assisted minimally invasive neurosurgical procedures: first experimental experience," Proceedings of First Joint Conference of CVRMed and MRCAS, France, pp. 319-322, 1997.
4. Riviere, C.N. and P.K. Khosla, "Active handheld instrument for error compensation in micro-surgery," Proceedings of intelligent systems and advanced manufacturing, pp. 86-95, 1997.
5. Ikuta, K., "Robot assisted surgery and training for future minimally invasive therapy," Robotics Research, Y. Shinai and S. Hirose Eds., Berlin:Spring-Verlag The Eighth International Symposium, pp. 299-310, 1998.
6. Salcudean, S.E., W.H. Whu, P. Abolmaesumi, S. Bachmann, and P. Lawrence, "A robot system for medical ultrasound," Proceedings of 9th International Symposium of Robotics and Research, pp. 152-159, 1999.
7. Das, H, H. Zak, J. Johnson, J. Crouch, and D. Framback, "Evaluation of a telerobotic system to assist surgeons in microscopy," Journal of the International Society for Computer Aided Surgery, Vol. 4, No. 1, pp. 15-25, 1999.
8. Popov, B., "The bio-electrically controlled prosthesis," Journal of Bone and Surgery, Vol. 47B, pp. 421-424, Aug. 1965.
9. Rothchild, R., and R.W. Mann, "An EMG controlled, proportional rate, force sensing elbow prosthesis," Proceedings of Symposium Biomedical Engineering, Milwaukee, WI, 1966.
10. Jacobson, S.C., D.F. Knutti, and R.T. Johnson, "Development of Utah artificial arm," IEEE Transaction Biomedical Engineering, Vol. BME-29, pp. 249-269, April 1982.
11. Fukuda, O., T. Tsuji, A. Ohtsuka, and M. Kaneko, "EMG-based human-robot interface for rehabilitation aid," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3492-3497, 1998.
12. 최홍진, "혼돈 이론을 이용한 근전도 신호 해석 및 자동의수의 제어," 석사학위 논문, 포항공대, 기계공학과, 1999.