

◆특집◆ 서비스로봇

의료용 서비스로봇 시스템의 현황

권동수*, 김상연**

The Present of Medical Service Robot System

Dong-Soo Kwon*, Sang Youn Kim**

Key Words : Service robot(서비스 로봇), medical robot(의료용 로봇), surgical simulator(수술 시뮬레이터), haptic device(햅틱 장치)

1. 서론

근래에 다양한 형태의 서비스 로봇이 특정한 목적을 수행하기 위해 활용되고 있으며, 의료용 로봇도 그 중의 한 예이다. 이러한 의료용 로봇은 비 숙련의를 훈련시킬 수 있는 수술 시뮬레이터, 고난도의 정교한 작업이 요구되는 수술과 최소침습수술(minimal invasive surgery) 등의 새로운 첨단 수술기법을 가능하게 할 수 있는 수술용 로봇, 그리고 활동을 하기 힘든 장애인이나, 신체 기능이 저하된 노약자를 위하여 재활을 할 수 있게 해주는 재활로봇 등으로 나뉘어질 수 있다.

의료용 로봇을 이용한 수술은 기계 및 전자 등의 복합기술로서 로봇을 중심으로 이에 연결된 각종 제어 및 계기 시스템에 의거하여 로봇과 연결되는 수술도구의 작동과 원거리 또는 근거리에서 있는 의사에게 힘을 반영하기 위한 햅틱장치에 의해 정교한 진단 및 수술 등이 이루어진다.

위와 같은 의료용 로봇을 이용한 수술의 실용화되기 위해서는 엔지니어와 의사들의 공동작업으로 대상수술에 대한 철저한 분석 및 그를 통한 수술로봇의 개발과 촉감, 영상 등을 측정하고 재생하는 고기능의 센서의 개발과 함께 충분한 임상실험을 통한 수술 로봇의 신뢰성과 안전성의 검증과정을 거친 로봇을 사용하여 인간의 몸을 수술하는 것에 대한 일반인들의 불안감과 저항감을 극복하여야 한다. 현재 로봇을 활용한 수술은 현재까지 선진 몇 개국 정도에서만 개발 진행 중이며, 특정 분야에서는 이미 실용화를 위한 임상실험 중에 있다. 국내에서도 미세 수술분야를 위한 로봇에 대한 관련 연구가 진행되고 있고 실제 수술에 사용되기 시작하였다.^[1,2]

* 한국과학기술원 기계공학과 텔레로보틱스 및 제어 연구실

Tel. 042-869-3042, Fax. 042-869-3095

Email kwonds@me.kaist.ac.kr

의료용 로봇, 수술로봇, 인간 로봇 상호작용 기술개발, 재활로봇분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

** 한국과학기술원 기계공학과 텔레로보틱스 및 제어 연구실

Tel. 042-869-3082, Fax. 042-869-3095

Email kimsy@robot.kaist.ac.kr

haptic 장치와 의료용로봇의 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

2. 수술 로봇 시뮬레이터

2.1 최소침습수술을 위한 수술시뮬레이터

수술을 집도하는 의사들의 시술 정밀도와 그 숙련성이 충분히 보장되어 있어야 함에도 불구하고, 현재 의과 대학에서는 훈련 도구의 부재 등의 현실적인 이유로 인하여, 고관절 수술 뿐 아니라 많은 수술에 대한 시술 훈련이 효율적으로 이루어지지 않고 있다. 그러므로 컴퓨터 스크린 상에서 3차원인 해부학적인 구조를 도시하여 주며, 가상의 환자를 대상으로 환부를 직접 시술할 수 있는 3차원 영상과 함께 실시간으로 컴퓨터 화면에 도시해 줄 뿐 아니라, 힘 반향 장치를 통하여 직접한 힘을 제공해 줄 수 있는 상호 작용적인 힘 반향 모의 수술용 훈련시스템(Surgical simulator)이 필요하다. 또한 현재 병원에서 시술되는 외과수술은 의사의 판단과 기술에 전적으로 의존하고, 2차원 CT영상만을 이용하기 때문에 수술에 있어서 여러 가지 제한이 따르고, 수술의 시간과 비용이 많이 들게 된다. 따라서 위에서 언급한 조건들을 손쉽게 해결할 수 있는 3차원 컴퓨터 영상 기술과 힘 반향 기술을 갖는 모의 수술용 훈련시스템이 필요하다.

현재 선진국을 중심으로 의학과 공학을 접목시키는 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 연구가 단순한 의료기기에 국한이 되었다면, 최근에는 의사들의 영역인 진단, 교육, 수술, 치료 등 거의 모든 분야에 대해서 발전된 컴퓨터의 기술과 신호처리 기술, 로봇 제어 기술들이 접목되어 시도되고 있다. 이러한 연구의 목표는 의사들의 진단과 치료에 도움을 줌으로써, 진료 시간을 단축시키고, 정확하고 신뢰성있는 의료 서비스를 제공할 수 있다.

U.C. 버클리대학에서는 VESTA(Virtual Environments for Surgical Training and Augmentation)라는 프로젝트를 바탕으로 상호작용적인 힘 반향 모의 수술용 훈련시스템을 개발하였고(Fig 1), 그리고 카네기멜론(CMU)에서는 히포크라테스(Hippocrates, High Performance Computing for Robot - Assisted Surgery)라는 프로젝트를 통하여 정형 외과의사들이 새로 개발한 수술방법을 적용하여 타당성을 검사할 수 있고, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 수술 전략을 바꿀 수 있는 모의 수술용 시스템을 개발하였고^[5], 존스 홉킨스(JohnsHopkinsUniv)에서도 역시

CISST(Computer Integrated Surgical Systems and Technology, fig 2)라는 프로젝트를 통하여 뇌 수술 및 안과 수술을 위한 모의 수술용 시뮬레이터에 대한 연구를 진행 하고 있다^[6]. NASA의 JPL(Jet Propulsion Lab.)과 MDS(MicroDexterity Systems, Inc)는 눈, 코, 귀, 목, 얼굴, 손, 뇌 등과 같은 정밀한 수술을 위한 의료 시뮬레이터를 연구, 개발하였다.^[5]

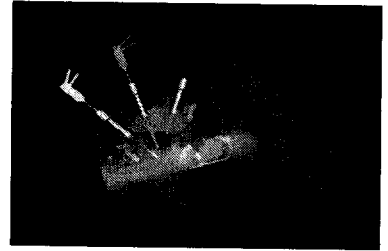


Fig. 1 Haptic simulator for laparoscopic surgery (UC Berkley-VESTA)

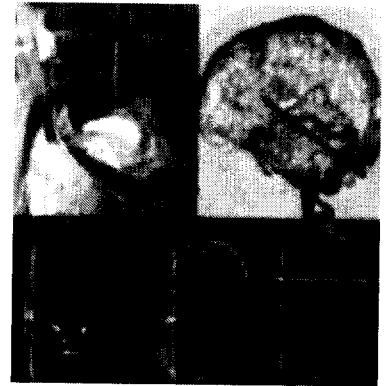


Fig. 2 Haptic simulator for brain surgery (JohnsHopkins Univ. - CISST)

2.2 척추 침생검 시뮬레이터

컴퓨터그래픽 기술과 햅틱장치를 척추침 생검 시뮬레이터에 이용하고자 하는 연구가 Kevin에 의해 제안되었으며^[6], Sunil은 수술 과정에서 일어나는 힘을 측정하고 그대로 구현하고자 하였다^[7]. 척추에 침을 삽입하여 조직을 떼어내서 종양을 검사하는 시술은 진단 정확도가 높은 장점에 불구,

복잡한 척추 구조와 주변의 장기들과 신경들로 인해 시술이 까다롭다. 이를 위하여 KAIST 전기 및 전자공학과 영상시스템연구실과 KAIST 기계공학과 텔레로보틱스 및 제어연구실은 가상의 환자의 해부학적 구조와 가상의 바늘의 방향 및 위치를 3차원으로 보여주는 시스템을 구축하여 의사에게 현실감 있는 영상을 느끼고 동시에 실제 수술과 같은 힘을 느끼면서 연습할 수 있게 하는 척추침생검모의 실험기(Development of Spine Biopsy simulator, Fig 3)를 개발하였다⁸⁾.

생검(biopsy)이란 정확한 진단을 위해서 신체 조직의 일부를 얻고, 병리학적으로 검사를 하는 것을 말하는데 침 생검법은 시술후의 후유증 감소 및 기타 여러 가지 편리함 때문에 많이 사용되고 있다.

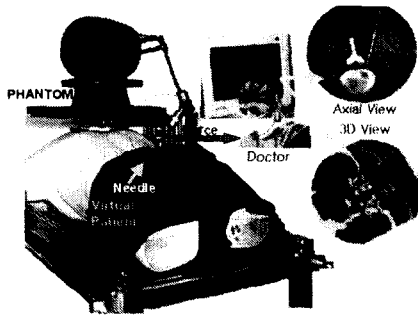


Fig. 3 Spine Biopsy simulator(KAIST 영상치리연구실 & 텔레로보틱스 및 제어연구실)

그래픽 부분은 정밀한 3차원 도시 부분의 구현을 위해 CT 데이터를 받아 볼륨 렌더링(Volume Rendering) 방법을 사용하였으며, 바늘의 움직임을 3차원으로 표현하기 위하여 표면 렌더링 기법을 사용하였다. 구현된 시스템 사양은 Pentium III 600Mhz Dual CPU를 사용하여 바늘의 움직임만 렌더링 할 경우 20프레임 이상으로 동작한다. 본 시스템에서 사용한 CT 데이터는 335장의 512x512 12bit영상으로, 슬라이스 너비의 해상도는 0.707mm이고, 슬라이스간의 간격은 1mm이다. 3차원 객체가 움직일 경우에는 256x256x256 영상이 평균 5Hz이상으로 렌더링된다. 그리고 힘반향은 수술 시뮬레이터 시스템에서 사실감을 느끼게 하기 위해 필요하다. 이를 위하여 Sensable사의 PHANTOM을 사용하였고, 추가적인 기구학적 계산 없이 그대로 활용할 수 있고 회전 방향으로도 힘을 주기위해 Stylus Pen을 펜자리를 척추침생검용 바늘로 대처

하였다. 그리고 사람에게 실제와 같은 연속적인 힘을 주기 위해 1 kHz로 동작하게 하였다. 또한 실제와 같은 환경을 제공하기 위하여 속이 빈 마네킨속으로 바늘을 삽입하여 실제감을 더 하였다.

3 수술 로봇 시스템

3.1 미세수술용 원격 수술 로봇 시스템

미세 수술용 로봇 시스템은 수 많은 외과수술 중 마이크로 단위의 정밀도를 요구하는 분야를 로봇의 도움을 받아 수행되는 초 정밀 수술 분야로 수술 과정에서 수술 장치나 마이크로 로봇의 추가적인 도움으로 이루어 지기 때문에 기존의 수술처럼 단순히 의사의 능력에만 의존하던 경우와는 달리 의사의 능력 향상과 수술의 과학화 뿐만 아니라 미세한 혈관이나 세포 조직을 전개, 이식하는 등 그 응용 범위가 아주 광범위하여 기존 수술을 더욱 신속하고 정밀하고 안정적으로 수행할 수 있고, 환자의 정확한 절개로 피부 손상을 최소화 시킬 수 있기 때문에 회복이 빠르고 치료가 쉬워 의사와 환자에게 많은 도움을 줄 수 있다. 대표적인 시스템으로는 토오쿄대의 원격수술 로봇 시스템, 미국의 RAMS, KAIST 텔레로보틱스 및 제어연구실의 미세수술용 원격로봇 시스템등이 있다.

a) 토오쿄대의 원격수술 로봇 시스템

1997년 10월 토오쿄대 공학부는 오카야마 의대 정형외과는 서로 700km 떨어진 곳에서 지름 1mm의 혈관을 봉합하는 미세수술을 위한 시스템(Fig 4)을 구축하고, 실험을 시연하였다. 도쿄 대학에는 7 자유도(3:병진운동 + 3:회전운동 + 1:수술도구)를 갖는 햅틱장치(Haptic device, Fig5)를, 오카야마 대학에는 병렬구조의 수술로봇(slave robot, Fig 6)를 제작하였다. 햅틱장치는 어느 위치에서나 평형을 유지할 수 있도록 설계되어 작업자의 피로를 줄였고, 힘 제어 방식을 채택했으며, 수술로봇은 움직일 수 있는 현미경과 0.4mN의 분해능을 갖는 3축의 힘 센서를 부착하였다. 이 외에 작업을 돕기 위한 장치로 시청각 장비인 CCD 카메라와 디스플레이 장치, 힘 반향장치 등을 구축하였다. 영상시스템은 임의로 배율을 조절할수 있는 영상을 보면서 작업이 가능하도록 구현하였는데, 특이한 점은 수술로

붓에서 측정된 힘을 작업자에게 전달할 때 소리를 이용한다는 것이다. 작업에 필요한 모든 정보는 두 대학 사이에 구축되어 있던 1.5Mbps의 인터넷망을 통해서 전송되었다. 700km나 떨어져 있기 때문에 비디오 이미지는 600ms, 제어 정보는 10ms의 시간 지연이 발생하였다. 이 시스템을 이용하여 연구팀에 속한 외과의가 집도하여 현관 봉합수술을 10분 이내에 성공적으로 수행하였다.^[9]

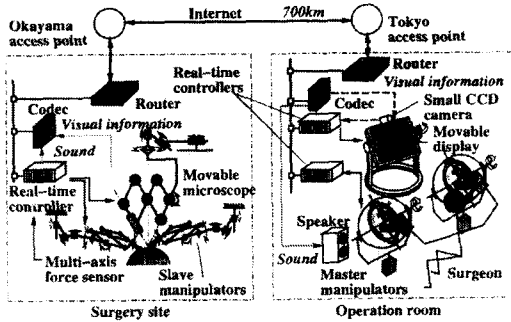


Fig. 4 Overview of a Developed tele-micro-surgery

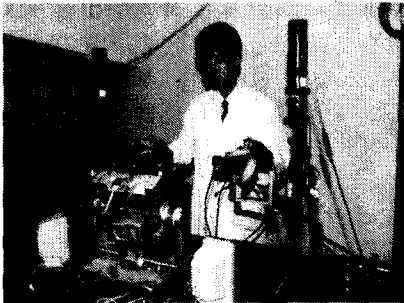


Fig. 5 Master Manipulators (Tokyo Univ.)



Fig. 6 Precise positioners and a microscope (Tokyo Univ.)

b) RAMS

NASA Jet Propulsion LAB.와 MDS (Micro

Dexterity Systems, Inc.)는 1994년부터 1997년까지 눈, 코, 귀, 목, 얼굴, 손, 뇌 등과 같은 초정밀 위치 제어가 필요한 수술작업을 위하여 새로운 6자유도의 정밀하고 정교한 동작을 할 수 있는 로봇기구 (Microdexterity platform)로 이루어진 마스터 슬레이브 수술 로봇 시스템을 개발하였다(RAMS, Robot Assisted MicroSurgery, Fig 7).

RAMS는 힘반향이 가능하고 손 떨림 및 시끄러움 필터링하여 위치와 궤적제어를 원활히 수행할 수 있도록 하였는데, 6자유도 슬레이브 암은 직경 2.5cm, 길이 25cm이고, 6자유도 마스터 암은 직경 2.5cm, 길이 24cm이다. 1997년에 눈과 뇌를 대상으로 전문의로 기관과 공동으로 임상실험을 수행하여 RAMS를 시험하였다^{[10],[11]}.



Fig. 7 RAMS System

c) KAIST의 미세수술용 원격로봇 시스템

국내에서는 KAIST 텔러로보틱스 및 제어 연구실에서 1996년부터 1999년까지 보건복지부의 지원으로 미세수술용 원격로봇 시스템(fig 8)을 개발하였다. 범용성있는 로봇의 개발을 위하여 여러 미세수술들의 작업분석, 수술도구의 동작분석과 수술중 발생하는 힘의 분석을 토대로 병렬형 6자유도 힘반향 마스터, 6자유도 슬레이브와 수술도구를 개발하였다. 의사가 수술과정에서 발생하는 촉감을 느끼는 것은 수술환부의 진단뿐만 아니라 환부조직의 손상의 최소화시키는데 크게 기여할 수 있으므로 마스터와 슬레이브에 각각 6축 힘센서를 장착하였다. 힘센서로 시술자가 마스터를 움직이면서 만드는 힘과 수술작업중 발생된 힘을 측정하여 힘반향 제어로 시술자에게 힘을 전달하고, 슬레이브를 힘 제어하여 수술부위의 접촉력을 제어하는데 사용한다.

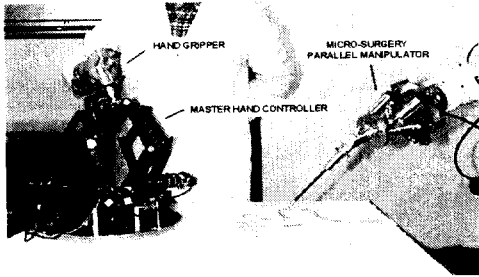


Fig. 8 Telerobotic system for micro surgery

제어 시스템은 실시간 제어를 위하여 VME 시스템을 사용하였으며 모든 제어변수와 및 상태변수들을 모니터링 할 수 있는 GUI를 개발하였다. 슬레이브 수술용 로봇의 동작범위는 20mm 정도이므로 넓은 영역의 동작이 불가능하다. 따라서 산업용 로봇(Macro Robot)위에 수술용 로봇(Micro Robot)을 장착하여 20mm이상의 광역운동과 1mm이하의 미세운동이 가능한 Macro-Micro 슬레이브 로봇 시스템을 구축하였다. 마스터가 Micro 로봇에게 동작명령을 내리면 이에 따라 움직이던 Micro 로봇이 작업범위를 벗어 나는 순간 Macro 로봇이 위치 보상을 하여 지속적으로 넓은 영역에서 Micro 로봇이 구동 가능하도록 하였다. 이와 함께 마스터에 의해 Macro-Micro 슬레이브 로봇 시스템이 양방향 위치/힘제어가 가능한 원격제어를 위한 제어알고리즘에 관한 연구를 수행하였다^{12,13)}.

3.2 최소침습수술(MIS, Minimally Invasive Surgery)을 위한 수술로봇

최소침습수술(MIS, Minimally Invasive Surgery)은 환부를 개방하지 않고 환부에 세개정도의 직경 2~3mm의 구멍을 뚫고 이 곳에 가늘고 긴 수술도구와 카메라를 삽입하여 수술하는 방법이다. 절개부가 기존의 개방수술보다 매우 작아 환부 이외 조직의 손상을 최소화시킬 수 있으며 수술시간이 짧고 환자의 회복이 빨라서 최근 활발히 연구되는 수술 기법이다. MIS는 수술분야에 따라 흉부경(Thoracoscopy), 관절경(Arthroscopy), 골반경(Pelviscopy), 혈관경(Angioscopy), 복강경(Laparoscopy) 등이 있다.

대표적인 시스템은 U.C. 버클리대의 수술로봇시스템, Computer Motion회사의 ZEUS시스템, NASA Jet Propulsion 연구실의 RAMS 시스템이

있다.

a) U.C. Berkely 의 수술 로봇 시스템

U.C. 버클리대와 Endorobotics Co. 는 4자유도의 힘반향 조이스틱 디바이스(Immersion System's Impulse Engine 3000)에 3자유도의 골부형 손목(Stylus-like handle)을 장착하여 복강경 수술용 7자유도의 햅틱장치(Haptic device, Fig9)와, 유압 액츄에이터로 구동되는 3자유도의 병렬기구형태의 수술로봇을 개발하였다(Fig10). 그리고 의사에게 수술 시 느끼는 촉감을 전달하기 위하여 그림 11처럼 고무로 된 판 위에 1mm*1mm 크기의 캐패시터 센서 셀로 구성된 촉감감지용 센서(Tactile array sensor)를 햅틱장치에 부착하였다¹⁴⁾.

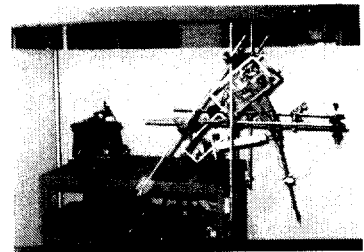


Fig. 9 7DOF Haptic device for Laparoscopic surgery (U.C. Berkely)

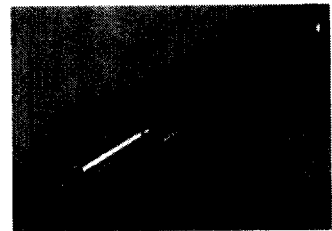


Fig. 10 3DOF slave surgical robot(U.C. Berkely)

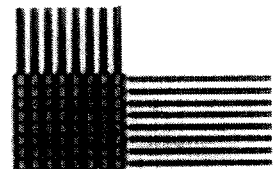


Fig. 11 Tactile sensor array(U.C. Berkely)

b) ZEUS

펜실베이니아 대학의 심장수술(cardiothoracic surgery) 전문의인 Ralph Damiano, Jr.은 ZEUS 시스템(Fig 12)을 이용하여 심장수술을 집도하였다. 세 개의 연필크기만큼의 구멍을 가슴에 뚫었는데, 한 개는 비디오카메라가 설치 되어 있고, 다른 두 개는 아주 작은 외과용 메스(scalpels), 핀셋(forceps), 또는 바늘(needles)등의 수술 도구들이 설치되어 있었고, 작은 로봇 팔들이 수술 도구를 잡고 있었다. 의사는 모니터나 3D를 보기 위하여 특별하게 제작된 큰 안경(goggles)를 통하여 심장을 보았다. 그리고 조이스틱같이 생긴 햅틱 장치를 이용하여 수술 작업을 수행하였다.

Computer motion사에서 개발한 ZEUS(Fig 12)는 외과 의사들이 작은 구멍을 뚫고 심장수술에서 작은 혈관을 봉합하기 위하여 만들어 졌다^[15].

ZEUS 시스템은 세 개의 로봇 팔, 제어기, 디스플레이장치로 구성되어 있다. 로봇팔은 각각 아주 작은 카메라가 설치된 내시경과 의사가 제어하는 수술 도구들이 설치되어 있다. 그리고 작은 카메라가 가슴속으로 들어가고 음성을 통하여 제어되어 사람에게 영상을 보여 준다.

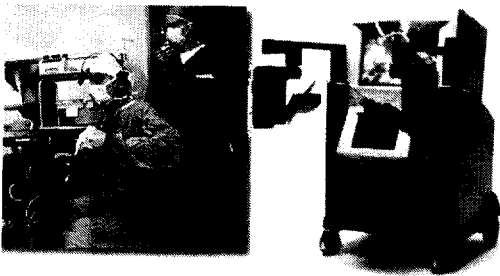


Fig. 12 ZEUS system

c) Da Vinci™ Surgical System

의사들이 3차원 영상을 보면서 편하게 미세 수술을 할 수 있는 다빈치 시스템(da Vinci™ Surgical System)이 미국의 Intuitive Surgical 회사에 의해 개발되었다. 다빈치 시스템도 의사가 편하게 힘 되먹임 기능을 이용하여 MIS(Minimal Invasive Surgery)를 가능하게 한다^[16].

1999년 6월, 이탈리아의 파비아에 있는 San

Matteo병원에서는 다빈치 시스템을 이용하여 복강경수술을 성공적으로 수행하였다. 그리고 1999년 8월 24일 독일 Frankfurt에 있는 von Goethe 대학병원에서는 세계최초로 심방중격결손(Atrial-Septal Defect, ASD) 수술을 처음으로 다빈치 시스템을 이용하여 수술하였다.

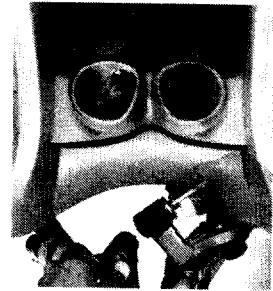


Fig. 13 Da Vinci™ Surgical System

3.3 고관절 전치환 수술용 로봇 시스템

고관절 전치환 수술은 회복 불능인 고관절을 인공 관절로 대체하는 수술로써 환자의 대퇴골두를 잘라낸 후 대퇴부와 골반부에 각각 구멍을 뚫고 인공관절을 삽입하는 수술이다. 삽입하는 인공관절은 접착물을 사용하는 방법과 접착물을 사용하지 않는 두 가지 방법이 존재하는데, 요즘은 부작용이 작고 수명이 긴 접착물 비침가식 인공관절을 더 많이 사용하고 있다. 접착물 비침가식의 경우 인공관절의 표면과 가공된 뼈의 표면사이의 일치도가 수술의 성공여부와 환자의 회복에 큰 영향을 미치게 된다.^[17] 기존의 수작업에 의한 접착물 비침가식 인공관절의 수술은 대퇴골의 가공 시 가공 표면과 인공관절 표면의 일치도가 30 % 미만으로 수술후 환자의 회복을 더디게 하며, 인공관절의 사용기간을 단축시켜 재수술을 받는 시기를 앞당긴다^[18]. 이를 위하여 뼈를 정확한 형태로 가공하여 주는 고관절 수술용 로봇 시스템들이 필요하다.

a) ROBODOC

미국의 정형외과 의사인 Bargar는 IBM의 재정적인 도움을 받아 캘리포니아 대학의 Davis와 팀을 이루어 고관절 전치환 수술용 로봇인 ROBODOC을 개발하였다^[19]. ROBODOC(fig14)은 높이 2m, 113Kg의 몸체에 천공 장치를 부착한 하나의 로봇 팔로

구성되어 있는데 이 장치를 이용하여 세 개의 핀을 뼈에 박아 넣고 이 핀의 위치를 기준으로 하여 20여분만에 정확한 위치, 크기로 구멍을 뚫을 수 있게 되었다. 그 후, 미국의 세 곳의 병원에서 100회 이상의 고관절 교체 수술이 실험적으로 이루어지자 보조물과 뼈 사이에 평균 97퍼센트의 접촉율을 갖는 결과를 얻게 되었다. 과거, 전통적인 방식의 수술은 보통 20퍼센트 정도였던 것에 비하면 비약적인 발전이 아닐 수 없다. 미국 캘리포니아의 ROBODOC 생산회사인 Integrated Surgical Systems Inc.에서는 벌써 유럽의 각 병원에 11대의 머신을 판매하여 독일에서는 1400회 이상의 ROBODOC을 이용한 수술이 행해졌다. 또한 Integrated Surgical Systems에서는 뇌수술시 크기의 정확도를 가지고 위치안내를 하는 NeuroMate FM을 개발하여 일본과 프랑스에서 1500명 이상의 뇌수술 환자의 집도에 사용했으며 1997년 5월에는 미국의 FDA에 공인을 얻기도 했다.²⁰⁾

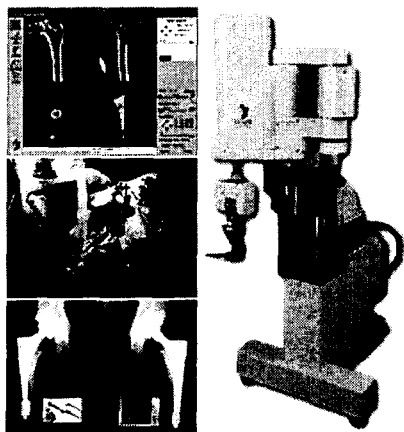


Fig. 14 ROBODOC system

b) ARTHROBOT

국내에서는 KAIST 텔레로보틱스 및 제어 연구실에서 1999년부터 과학재단의 지원으로 고관절 전치환 수술용 로봇 시스템(ARTHROBOT)을 개발 중에 있다. ROBODOC과 같은 기존의 로봇들은 실시간 정합의 필요성, CT촬영 및 영상처리 등의 복잡한 과정이 필요하고, 실제 수술시 가공중 뼈가 움직이는 경우가 쉽게 발생하여, 뼈의 위치를 다시

과약하여야 하며, 또한 가격이 높고 크기가 커서 잘 쓰이지 않고 있다.

따라서 수술실에서 의사들이 쉽게 사용할 수 있는, 직립하고 작은 크기를 갖는 수술용 로봇 시스템의 개발이 필요하다.

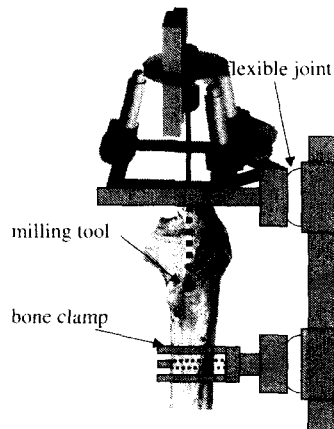


Fig. 15 Surgical robot system for total hip replacement surgery

그림 15는 텔레로보틱스 및 제어연구실에서 개발하려고 하는 전체 시스템의 개념도이다. 수술로봇을 위의 그림 15처럼 직접 뼈에 부착시킨후 수술작업을 수행한다²¹⁾. 이를 위하여 먼저 대퇴골에 인공관절이 위치할 부분의 뼈를 가공하기 위한 수술로봇의 작업 공간을 구하기 위해 고관절 전치환 수술에 사용되는 인공관절의 크기를 측정하였고 이와 함께 한국인의 평균적인 대퇴골 크기 자료를 기반으로 하여 로봇의 필요한 작업공간을 산출하였다. 그리고 필요한 작업공간을 만족하는 3자유도를 갖는 고관절 수술에 적용할 수 있는 로봇 후보들을 선정후 이들 후보중에서 로봇의 정밀도, 강성, 크기, 무게, 수술적용 가능성 등을 바탕으로 새로운 대퇴골에 직접 부착할 수 있는 3자유도를 갖는 고관절 전치환 수술로봇을 제안하고 이를 위하여 기구학적 해석을 수행하고, 최적형상을 설계하였고, 이를 바탕으로 로봇을 제작하고 실험을 할 예정이다.

4. 재활 로봇 시스템

의학기술의 발달로 인류의 평균 수명이 연장되고 산업이 발달함에 따라 여러 재해로 인한 장애인 수의 증가로 재활을 위한 로봇 시스템이 필요하

게 되었다. 대표적인 시스템으로 HAL, MANUS, MOVAID, KAIST 휠체어 로봇 시스템등이 있다.

a) HAL

MIT AI연구소의 HAL시스템¹²³은 자신의 주변에서 발생하는 일상적인 사건들을 관찰하고 개입하고 고기능의 상호 작용 시스템을 개발하였다. 카메라, 마이크로폰, 컴퓨터 비전, 음성 및 제스처 인식 시스템을 채택함으로써 인간과 상호작용을 용이하게 한다¹²³.

b) MANUS

그림 16은 H.Kwee와 C.Stanger가 개발한 팔의 윗부분을 사용하지 못하는 장애인들을 위하여 휠체어에 로봇을 부착한 시스템인 MANUS시스템¹²⁴이다. MANUS 시스템은 조이스틱 형태의 조종기를 손을 사용할 수 있는 장애인의 경우 손으로 조종하고 그렇지 않은 경우 턱으로 조이스틱 형태의 조종기를 움직이는 방식을 취하고 있다.

c) MOVAID

그리고 그림 17은 이탈리아에서 개발된 MOVAID 시스템으로 심각한 장애를 갖고 있는 사람에게 이용되는 시스템이다.

미국 델라웨어 대학의 Kazi 등은 척추 손상자들이 가장 흔히 사용하는 헤드스틱 형태의 마스터와 그에 추종하는 슬레이브 로봇 시스템을 고안했다¹²⁵. 이 시스템은 미국 Cybernet Systems사에서 제작하는 PerForce[TM] handcontroller를 변형 하여 헬멧 형태로 머리에 고정시켜 힘반향이 가능한 마스터를 제작하여 헤드스틱과 동일한 방법으로 미국 IMI사에서 제작하는 Zebra-ZERO[TM] 슬레이브 로봇을 조종할 수 있도록 했다.



Fig. 16 The wheelchair-mounted MANUS manipulator



Fig. 17 An overview of the MOVAID system

d) KAIST 휠체어 로봇 시스템.

위에서 언급한 장애인을 보조하기 위한 장치들은 대부분 언어 인식이나 스위치를 통해 미리 정의된 몇 가지 작업을 반복하게 된다. 그리고 직접 조종을 위해 손을 움직일 수 있는 장애인의 경우는 손으로 조이스틱을 사용하고 손을 사용할 수 없는 장애인의 경우는 턱으로 조이스틱을 움직이는 방식을 사용하고 있다. 그러나 이와 같은 조종 방식은 미리 정의된 작업을 수행하는 경우에는 수행할 수 있는 작업의 수가 한정되게 되고, 또한 장애인이 원하는 조금씩 변화된 작업을 수행하기가 어렵고, 마지막으로 불편한 손이나 턱으로 조이스틱을 움직이는 것도 쉽지가 않다는 문제점이 존재한다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 1999년부터 한국과학기술원에서는 장애인과 보조장치 사이의 원활한 상호작용을 통하여 일상 생활을 도울 수 있는 로봇 시스템(Fig 18)을 개발하고 있다. 이 시스템은 장애인과 보조장치가 다양한 채널을 통해 정보를 교환할 수 있도록, 눈동자 움직임을 추적하여 작업 대상 물체를 지적할 수 있는 Eye-mouse 시스템¹²⁶, 근육이 움직일 때 발생하는 미세한 신호를 측정하여 보조 장치의 구동이 가능하도록 하는 생체신호 측정 시스템¹²⁷, 손상되지 않은 몸의 부위를 최대한 이용하여 보조장치를 조종할 수 있도록 하는 의복 형태의 힘반향 조종기¹²⁸, 음성으로 보조장치를 조작할 수 있는 음성인식 시스템, 시각 정보를 이용하여 로봇팔의 위치를 제어하고 장애인의 표정을 인식하여 현재 상황을 판단하는 비주얼 서보잉 시스템¹²⁹ 등을 개발하였고 이러한 시스템과 장애인과의 충돌해도 안전한 능동 컴플라이언스 제어가 가능한 소프트 로봇팔¹³⁰을 접목하여 장애인의 일상생활에서 필요한 기본적인 작업들을 도와주는 시스템을 개발하고 있다.

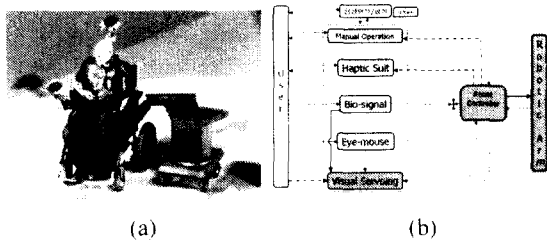


Fig. 18 Wheelchair Robot system for handicapped person (a) Conceptual design for developing system (b) input/output relationship of system

5. 결론

의료용 로봇 시스템을 구축하기 위해서는 다음과 같은 분야의 기술들이 필요하며, 여러 기관에서 관련 연구들이 활발히 진행되고 있다.

- 수술 방법에 대한 분석
- 수술 최적화 기술
- 원격 제어기술 및 시간지연 제어
- Human-Robot-Computer 인터페이스 기술
- 의료행위 중 발생하는 데이터의 실시간 전송 및 재생
- 3D Computer graphics 기술 및 visual rendering 기술
- 시각 및 촉감을 이용하여 형상을 인식하고 힘을 느낄수 있는 햅틱 렌더링(haptic rendering) 기술
- 촉감 영상등을 측정하고 재생하기 위한 고기능의 센서개발

의료용 로봇 시스템은 국내에서는 아직까지 관련 분야에 대한 연구가 이제 초보 단계에 있는 실정이다. 보다 나은 의료 서비스를 제공하기 위해서는, 의사의 풍부한 경험과 로봇의 정밀도를 결합시킨 의료용 로봇 시스템을 연구 개발하여 수술/재활등을 위한 고 정밀도, 고 반복성기술을 확보 하고 수술 시간 단축 등 수술계획(surgical planning) 기법을 통한 환자 개인에게 적합한 최적의 수술 방법을 가능하게 할 수 있고, 최첨단 미세 수술용 로봇 개발에 응용을 할 수 있다. 그리고 외과전문의사의 양성을 위한 훈련 시뮬레이터로도 활용이 가능하며, 장애인과 보조장치 사이의 원활한 상호 작용을 통하여 일상 생활을 도움 수 있는 재활로봇에 응용

할 수 있다. 또한 의료사고를 최소화하며 숙련된 전문의의 경험을 원격지에서 활용할 수 있는 등 날로 복잡 다양화 되어가고 있는 외과 수술에 있어서 의료 기술 개발에도 기여하여 기존의 의료 환경이 문제점들을 획기적으로 개선할 수 있다는 점에서 국민의 의료 복지 증진에도 크게 기여 할 수 있다.

참고문헌

1. Green, P.S., J.W. Hill, J.F. Jensen, and A. Shah, "Telepresence Surgery," IEEE Engineering in Medicine and Biology, May/June 1995, pp. 324-329. 1995.
2. Salcudean, S.E., et al., "Performance Measurement in Scaled Teleoperation for Microsurgery," CVR Med-MRCAS'97, pp. 789-798, Grenoble, France, 1997.
3. T. Kanade, A.M. DiGioia, O. Ghattas, B. Jaramaz, M. Blackwell, L.F. Kallivokas, F. Morgan, S. Shah, D.A. Simon, "Simulation, Planning, and Execution of Computer-Assisted Surgery," Proceedings of the NSF Grand Challenges Workshop, Washington, D.C., March, 1996.
4. Tendick F., and M. C. Cavusoglu, "Human Machine Interfaces for Minimally Invasive Surgery," In Proceedings of the 19th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS'97), Chicago, IL, October 30-November 2, 1997.
5. Hari Das, Tim Ohm, Curtis Boswell, Guillermo Rodriguez, Eric Paljug, Robert Steele, Ed Barlow, Telerobotics for Microsurgery," Proceedings of the 1996 IEEE Engineering in Medicine and Biology 18th Annual International Conference, October-November, Amsterdam, The Netherlands, 1996.
6. Kevin Cleary, Robert Greco, "Development and Evaluation of a Spine Biopsy Simulator Proceeding of Medicine Meets Virtual Reality 6, pp. 375-376, 1998.17.
7. Sunil K. Singh, Mikael Bostrom, "Design an Interactive lumbar Puncture Simulator with Tactile Feedback" IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 1993.

8. 권동수, 경기옥, 강홍식, 김진국, 나종범, 대한기계학회, 2000년도 동역학 및 제어부분 하계학술대회 논문집, pp. 354-359, 2000.
9. Mamoru Mitsuishi, Yasuhiro Iizuka, et. al, "Remote operation of a micro-surgical system," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation Leuven, Belgium, May, pp. 1013 - 1019, 1998.
10. Internet site "http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/"
11. Paul Schenker, Steve Charles, Hari Das and Tim Ohm, "Development of a Telemanipular for Dexterity Enhanced Microsurgery," Proceedings of the Second Annual International Symposium on Medical Robotics and Computer Assisted Microsurgery, November, Baltimore, MD, 1995.
12. D.S. Kwon, K.Y. Woo, S.K Song, W.S. Kim, H.S. Cho, "Microsurgical Telerobot System," Proceedings of the IEEE/RSJ Int. Conf. On Intelligent Robots and Control Systems, 1998.
13. D.S.Kwon, KY.Woo, H.S.Cho, "Haptic Control of the Master Hand Controller for a Microsurgical Telerobot System," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1999.
14. Internet site "<http://cisstweb.cs.jhu.edu/web/>"
15. Internet site <http://computeremotion.com/zeus.html>
16. Internet site <http://www.intusurg.com>
17. R. Piston, C. Engh, "Osteonecrosis of the Femoral Head Treated with Total Hip Arthroplasty without Cement," J. bone Joint Surg. AM., 76A(2), pp. 202-214, 1994.
18. 이을호, 윤용산, "블록 게이지를 이용한 수술 로봇의 공간 좌표 인식 방법에 대한 연구," Proc. Conf. 14th Korea Automated Control, B-338~341, 1999.
19. Internet site <http://www.orthopaedics.nwu.edu/orthopaedics/research/robodoc.htm>
20. Peter Kazanzides, Brent B. Mittelstandt, et. al, "An Integrated System for Cementless Hip Replacement," IEEE Engineering in Medicine and Biology, May/June, pp. 307-312, 1995.
21. 권동수, 이정주, 정종하, 허관희, 김상연, 박영배, 윤용산 "고관절 전치환 수술용 의료로봇 설계," 대한기계학회, 2000년도 동역학 및 제어부분 하계학술대회 논문집, pp. 253-260, 2000.
22. Coen, M.H.; Wilson, K.W. "Learning spatial event models from multiple-camera perspectives," Industrial Electronics Society, IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE Volume: 1, pp. 149 -156 Vol. 1, 1999.
23. Zeungnam Bien, Jung-Bae Kim, Jin-Woo Jung, Kwang-Hyun Park, Won-Chul Bang "Issues of Human Friendly Man-Machine Interface for Intelligent Residential System," the 1st International Workshop on Human-Friendly Welfare Robotic Systems, pp. 10-14, 1999.
24. H.Keww, C.Stanger : The Manus Robot Arm, Rehabilitation Robotics Newsletter, 5, 2, pp.1-2, 1993.
25. Z. Kazi, M. Salganicoff, M. Beitler, S. Chen, D. Chen, D. Chester, and R. Foulds, "An intelligent telerobotic assistant for people with disabilities," Proceedings of SPIEs International Symposium on Intelligent Systems and Advanced Manufacturing: Telemanipulator and Telepresence Technologies II, Philadelphia, PA, USA (October, 1995), pp. 120-30, 1995.
26. 김도형, 김재현, 정명진, Eye Gaze Tracking from Sequential Images , International Symposium on AROB 2000, 2000.1.
27. Jeong-Su Han, Jong-Sung Kim, Won-Kyung Song, Heyoung Lee, and Zeungnam Bien, EMG Pattern Classification using Soft Computing Techniques and its Application to the Control of a Rehabilitation Robotic Arm , 1st Inter. Workshop on HWRS 2000, vol.1, pp.45-53, Taejon, Korea, January 20-21, 2000.
28. Kyoobin Lee, Dong-Soo Kwon, SENSORS AND ACTUATORS OF WEARABLE HAPTIC MASTER DEVICE FOR THE DISABLED, IROS 2000, Nov.
29. Won-Kyung Song, Heyoung Lee, Jong-Sung Kim, Zeungnam Bien, "Human-robot Interaction using Visual Servoing based on Space Variant Imaging," Proceedings of The 1999 Service Robot Workshop, pp. 107-127, Seoul, Korea July-15 1999.
30. 양정연, 석사학위 논문, "로봇의 기구적 설계를

위한 격자방법에 대한 연구와 전산 설계환경,"
한국과학기술원, 2000.