

미세수술 동작분석을 통한 원격제어 수술로봇 설계

송세경·권동수

한국과학기술원 기계공학과
(1999년 4월 12일 접수, 1999년 4월 22일 채택)

Telerobotic Microsurgical Robot Design based on the analysis of Microsurgery

S.K. Song, D.S. Kwon

Dept. of Mechanical Eng., KAIST
(Received August 12, 1999, Accepted April 22, 1999)

요약 : 미세수술용 원격로봇 시스템은 육체적 피로, 눈의 피로, 손떨림, 진염성이 있거나 방사능이 있는 위험성으로부터 의사를 보호하고 돕기 위해 개발되어 왔다. 본 논문은 진보된 미세수술영역 중에서 4개를 선정하여 미세수술작업을 대상으로 동작과 수술도구, 정밀도와 작용력을 분석하여, 미세수술로봇의 개발을 위한 요구사항을 제안하였다. 미세수술의 작업분석은 수술로봇의 기본적인 개념디자인을 분류하고 체계화하는데 도움을 줄 수 있다. 분석된 결과로부터 미세수술에 적합하도록 특수하게 디자인된 병렬 머니플레이터를 개발하였다.

Abstract : A microsurgery telerobotic system has been developed to aid surgeons from physiological tremor, eye strain, hand tremor, contagious and radioactive hazard. This paper identifies four general areas of advanced microsurgery and analyzes the motion, tools, accuracy and applying forces with respect to microsurgery tasks, and proposes the criteria to design the microsurgical robot. The analysis of microsurgery can be helpful to clarify some basic concept and design of surgical robots. Based on this analysis results, we propose an efficient in-parallel-platform manipulator having a special kinematic structure suitable for microsurgery.

Key words : Microsurgery, Telesurgery, Medical robot, Parallel manipulator, Telerobotic

서론

외과수술은 고도의 전문성, 숙련성과 수술의 신속성을 요구하는 분야이므로 전문의가 되기 위해서는 다년간의 수련의 과정을 거친다. 외과수술에는 이런 수련과정의 어려움뿐만 아니라, 여러 명이 협소한 수술실에서 동시에 작업을 수행하면서 발생하는 환경적, 공간적 문제점과 의사가 수련과정중 느끼는 육체적 고통이 있다. 수술실에서 발생하는 환경적, 공간적 문제점들은 장시간 X-ray나 유해한 물질 등에 의사와 보조사들이 노출되기 쉬운 유해성과 의사와 여러명의 보조사들이 작은 환부에서 수술작업을 진행하는 과정에서 환부의 시야를 가리거나 동작의 상호간섭으로 인한 간섭성 등이 있다. 의사가 수술을 집중하는 과정에

서는 발생하는 육체적 어려움들은 장시간 내시경에 눈과 자세를 고정하고 높은 집중도로 수술작업을 진행해야 하는 동작의 제약성, 고정된 자세로 장시간 수술하면서 느끼는 눈, 팔과 어깨의 피로감과 누적된 피로감으로 인한 손 떨림과 집중도 저하 등이 있다. 이런 외과수술 과정의 공간적 문제점들과 육체적 어려움들은 수술의 성공률을 저하시키는 주 원인이다[1,2].

특히 미세수술(microsurgery)은 작은 환부를 대상으로 수술을 수행하기 때문에 다음과 같은 더욱 많은 수술과정의 어려움이 존재한다. 손으로 0.1mm이하의 정밀도를 지니는 수술작업을 장시간 지속적으로 수행하기 어렵다[1]. 손의 촉감과 손바닥의 근육동 감각의 분해능의 한계로 손가락에서는 80mg이하, 손바닥에서는 150mg이하의 촉감을 느끼기 어렵다[3].

이런 외과수술 분야의 수술과정의 문제점들을 극복하기 위하여 자동 생산공정에서 국한되어 사용하던 산업용 로봇의 정밀제어 능력, 우수한 반복성(repeatability)과 사용의 용이성들을 의

료분야에 활용하기 위한 많은 연구가 수행되었다[3,4,5]. 그 중 가장 활발하게 연구되고 있는 분야가 수술용 로봇(robot for surgery)이다[5]. 수술용 로봇은 의사의 전문적 경험과 로봇의 높은 정밀제어능력을 결합한 것으로 각각의 발달된 기술을 상호 보완적으로 결합한 것이다. 수술분야의 전문화와 과학화를 위하여 미국, 일본, 독일 등의 선진국들은 중심으로 지난 10여년 동안 수많은 관련 연구들이 수행되었다[4,5,6].

기존의 수술용 로봇의 관련 연구들은 산업용 로봇의 발달에 수술도구를 장착하여 사용하거나, 특정 수술작업을 위하여 특수한 구조의 수술로봇을 개발하여 사용하고 있다. 그러나 산업용 로봇은 직렬 구조(serial structure)이므로 조인트들에서 누적된 위치에러가 발달에서 100 μ m 정도의 위치에러를 만들며, 동적효과(dynamic effect)가 크게 작용하는 문제점이 있다. 1995년에 Grace는 망막정맥 폐색수술을 위하여 Stewart 플랫폼의 상판위에 항응고제를 주입하는 바늘을 장착한 안구수술용 로봇을 개발하였다[11]. 본 연구와 유사하게 6자유도 병렬기구를 사용하였지만 안구수술 작업의 분석없이 기존의 Stewart 플랫폼에 단순히 항응고제 주입용 바늘을 장착한 것이므로 안구수술에 적합한 수술로봇의 개발이라고 보기는 어렵다.

본 논문의 목적은 미세수술의 작업분석과 수술도구의 동작분석을 토대로 로봇의 우수한 정밀위치제어기능이 잘 활용될 수 있는 미세수술용 원격수술 로봇 시스템에 사용될 수술용 로봇과 수술도구의 개발이다. 미세수술용 로봇의 개발을 위하여 미세수술의 분석을 통하여 대표적인 4개의 수술작업을 선정하여 이들의 수술도구, 자유도, 작업공간과 정밀도 등을 분석하여 수술용 로봇의 주요 요구사항을 제안하였다. 이를 토대로 6자유도를 지니며 높은 위치 정밀도를 지니는 병렬기구 형태의 수술로봇과 복강경 수술도구를 개조한 수술도구를 개발하였다. 또한 수술로봇의 링크에서 선형 구동을 만드는 선형 액추에이터를 볼 스크루를 활용하여 개발하였다.

2. 미세수술(Microsurgery)

미세수술(microsurgery)은 시술부위의 크기와 수술도구의 본질적인 설계형상과 시술방법에서 일반적인 외과수술(open surgery)이나 거시수술(macro-surgery)과는 많은 다른 특징들을 지니고 있다. 미세수술에서 의사는 현미경을 통하여 환부를 보면서 정밀하게 제작된 수술도구(핀셋, 가위, 바늘 등)를 사용하여 대상조직을 미세절개할 수 있어 환부의 손상을 최소화시킬 수 있다. 최근 의료기술의 발달로 미세수술의 대상이 될 수 있는 수술분야가 매우 광범위하게 증가하고 있다. 본 논문은 로봇을 사용하는 연구가 수행되었던 대표적인 미세수술로 최소침습수술(minimally invasive surgery), 안구 수술(ophthalmic surgery), 뇌 수술(brain surgery), 미세혈관 수술(microvascular surgery), 국소 마취(epidermal or spinal anesthesia) 등을 선정하여 각 수술의 주요 특징들을 조사하고 분석하였다[2].

2.1. 뇌 수술(Brain Surgery)

스테레오택틱 뇌 수술(stereotactic brain surgery)은 두개골에 천공된 조그만 구멍을 통하여 수술용 탐침이나 수술도구를 삽입하여 뇌종양이나 암세포 등을 절개하는 수술이다. 수술 중 집도의가 수술부위를 직접 관찰할 수 없으므로 수술부위의 3차원 정보를 획득하기 위하여 CT(computed tomography)나 MRI(magnetic resonance imaging)같은 영상진단 장치가 사용되고 있다. 정확한 수술부위의 3차원 형상을 측정하기 위하여 높은 위치 정밀도를 지니는 로봇이 사용되고 있다[12,13].

2.2. 미세혈관 수술(Microvascular Surgery)

미세혈관 수술은 절개되거나 이식될 혈관(직경 2mm이하)을 찾아 혈관 주위의 조직을 제거한 후 5 내지 8 바늘 정도로 2개의 혈관을 봉합하는 수술이다[24]. 수술하는 동안 눈을 현미경에 고정하고 장시간 수술을 진행하므로 육체적 피로가 가중되어 손에서 손떨림 현상이 발생한다. 따라서 손떨림을 제거할 수 있고 정밀한 위치제어가 가능한 수술로봇의 개발이 요구된다. 일반적으로 정상인의 경우 손떨림의 크기는 0.003mm, 진동수는 8~12Hz이지만, 외과의사처럼 장시간 손을 사용하는 경우에는 손과 팔목에서 피로감이 가중되어 손떨림의 크기가 수배에서 수십배이상 증가한다[2]. 1995년 Johns Hopkins MAD(microsurgery advanced design)에서는 손떨림 현상을 개선하기 위한 손떨림 제거용 인터페이스 알고리즘을 사용한 피에조 구동기(piezoelectric actuator)로 손떨림의 크기를 67%까지 줄였다[2].

2.3. 최소침습 수술(Minimally Invasive Surgery)

최소침습 수술(MIS)은 내시경을 사용하여 환부를 개복하지 않고 수술하기 때문에 개복수술(open surgery)보다 절개부가 매우 적고, 환부이외의 조직의 손상이 작아 환자의 회복이 빠르고 수술의 성공률이 높다. MIS는 신체에 세계의 작은 구멍을 뚫고 이 곳에 가늘고 긴 수술도구와 카메라를 삽입하여 수술한다. 의사는 개복수술과는 달리 내시경을 통한 2차원영상으로 환부를 보게되므로 환부의 입체감이 낮아 정확한 깊이정보를 얻기 어렵다. 긴 막대 형태의 수술도구를 사용하므로 미세동작이 어렵다. 또한 직접 손으로 만질 때 느끼는 촉감을 느낄 수 없고 수술도구를 통해 전달되는 힘만을 느끼게 된다. 이런 문제점들을 개선하기 위하여 미세촉감을 의사에게 전달하거나 환부의 3차원 영상을 획득하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다[8, 9,15,16,17].

MIS는 수술분야에 따라 흉부경(thoracoscopy), 관절경(arthroscopy), 골반경(pelviscopy), 혈관경(angioscopy), 복강경(laparoscopy)수술 등으로 분류된다. 이 중 가장 일반화된 복강경 수술은 다른 MIS에 비하여 큰 수술영역을 가지고 있다.

표 1. 미세수술 작업 분석

Table 1. Analysis of the microsurgical task

Content \ Field	Ophthalmic Surgery	Brain Surgery	Minimally Invasive Surgery	Microvascular Surgery
Task	Corneal graft	Stereotactic brain	Angioscopy	Microvascular
Tool	terphine	micro-forceps micro-scissors	micro-forceps micro-scissors arthroscope	micro-forceps micro-scissors
D.OF. of tool motion	4	5	6	6
Size of surgical section	10mm	2mm	2~5mm	0.7~2mm
Typical tool motion	screwing, cutting	puncturing, cutting	cutting, pushing, fitting	holding, fitting, cutting
Precision	20 μ m	50 μ m	100 μ m	50 μ m

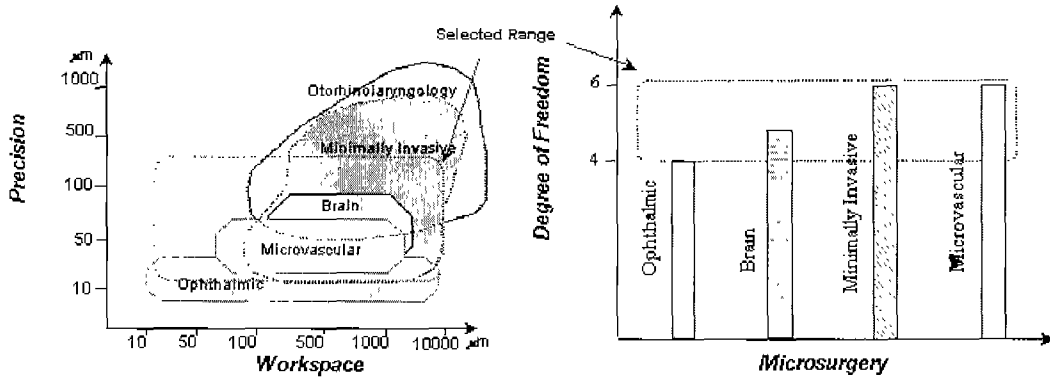


그림 2. 미세수술의 작업공간과 정밀도 및 자유도
Fig. 2. Degree of freedom, precision and workspace of microsurgery

최근 관련 기술과 장비의 발달로 대상수술의 범위가 비약적으로 확대되어 2010년경에는 전체 개복수술의 70~90%가 복강경 수술로 수행될 것으로 예상되고 있다. 의사나 보조자가 내시경을 직접 조종하지 않고 로봇으로 내시경을 조종하기 위한 연구가 많이 수행되었다[6,7,9,10].

2.4. 안구 수술(Ophthalmic Surgery)

안구내의 조직은 상처받기 쉬운 조직이므로 수술과정 중에 수술도구의 오동작에 의해 크게 손상될 수 있다. 안구의 손상을 방지하기 위해서는 수술대상인 혈관이나 세부조직을 정밀한 동작으로 정확히 선별하여 수술을 집도해야 한다. 안구내 조직을 낭합할 때 조직의 손상을 최소화하고, 흉터가 남지 않도록 아주 작은 수술도구와 바늘이 사용된다[18]. 따라서 안구의 손상을 최소화시키고 정밀한 수술동작을 위하여 미크론 단위의 정밀한 위치제어가 가능한 로봇의 활용이 적극 검토되고 있다. Grace는 망막 혈관 내의 혈전부에 항응고제를 주입하여 망막정맥폐색증(retinal venous occlusion)을 치료하기 위하여 항응고제를 주입하는 바늘을 장착한 변형 Stewart 플랫폼을 개발하였다[11].

2.5. 기타 (국소 마취)

상피나 척추 마취(Epidermal or spinal anesthesia)는 수술중 환자가 느끼는 고통을 줄이기 위한 일종의 국소마취이다. 마취사는 마취부위까지의 거리와 중간에 대상 조직에 대한 정보가 부족한 상태에서 손끝에서 느끼는 촉감만으로 마취용 바늘을 삽입한다. 마취과정중 발생하는 의료사고는 환자에게 치명적이므로 정확한 바늘의 삽입과 조정이 매우 중요하다. 따라서 마취부위를 정확하게 선정하고 그곳까지 마취용 주사를 삽입하기 위하여 정밀한 위치제어와 삽입중에 발생하는 힘을 측정할 수 있는 정밀 위치제어와 힘반향 기능이 가능한 기구들이 연구되고 있다. Boston등은 약 1mm, 최대 10N정도의 힘반향(force reflecting)을 지니는 정밀한 위치제어가 가능한 3자유도 haptic 인터페이스를 제작하여 lumbar-puncture를 위한 모의실험 장치로 활용하였다[3].

3. 미세수술 작업분석 및 동작분석

미세수술용 로봇의 개발을 위한 주요 요구사항들을 파악하기

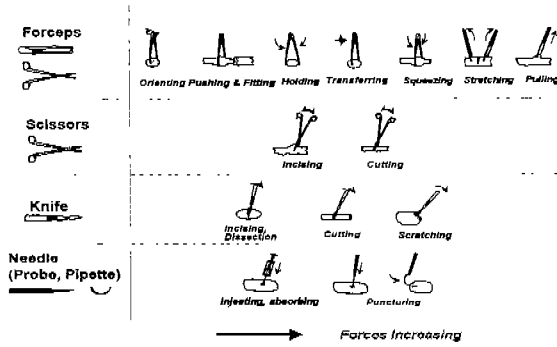


그림 3. 수술도구 동작의 모델링
Fig. 3. Modeling of surgical tool motions

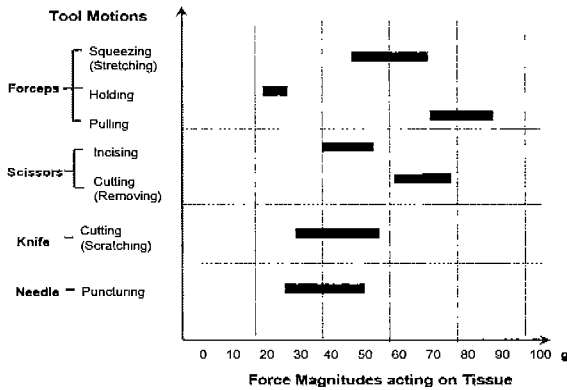


그림 4. 수술작업중 발생하는 작용력의 크기
Fig. 4. The sizes of manipulating forces in surgery

위하여 대상수술의 작업들을 분석하였다. 그러나 일반적으로 수술작업은 환자의 상태, 수술상황과 수술과정에 따라 크게 변화될 수 있기 때문에 이를 정량적으로 분석하기에는 많은 어려움이 따른다. 따라서 본 논문에서는 선정된 4개의 수술들의 대표적인 수술작업을 선정하여 위치정밀도(precision), 작업영역(workspace), 수술도구의 동작형태(tool motion), 수술중 필요한 자유도(degree of freedom)와 작용력(manipulating forces) 등을 분석하였다.

안구수술은 trephine을 사용하는 각막이식 수술, 뇌수술은 스테레오테틱 수술, 최소침습 수술은 혈관경 수술과 미세혈관 수술은 피부이식 수술을 위한 미세혈관이식 수술을 선정하였다. 선정된 수술작업들의 수술도구, 해당 수술을 수행하기 위한 수술도구의 동작에 필요한 자유도, 환부의 크기, 수술도구의 동작 형태와 요구되는 위치정밀도 등으로 수술작업을 표 1처럼 분석하였다.

미세혈관 수술에 사용되는 핀셋이나 바늘의 직경은 약 30~140 μ m, 미세혈관의 직경은 0.7~2mm이며[15], 안구수술에서의 이식 각막의 크기는 약 10mm이고 뇌수술에 필요한 두개골 구멍의 크기는 약 2mm인 점을 고려하면 미세수술의 작업공간은 약 20 \times 20 \times 20mm³이고 위치정밀도는 약 20 μ m이다. 또한 미

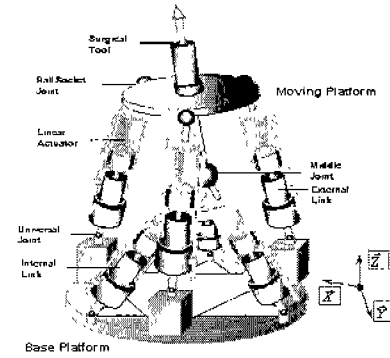


그림 5. 6자유도 병렬구조의 수술로봇 모델링
Fig. 5. A modeling of 6-D.O.F. parallel surgery robot

세수술과정에서 수술도구의 위치잡기와 수술부위의 비틀기나 방향틀기와 같은 위치와 회전동작이 요구되므로 수술작업에는 4자유도 이상의 운동이 필요하다.

그림 2와는 달리 선정된 수술들의 여러 작업들을 대상으로 일반적인 동작정밀도와 작업영역으로 영역을 선정하여 분류하면 그림 2처럼 표현할 수 있다. 그림 2에 미세수술의 대상작업으로 선정된 영역(selected range)을 표시하였다.

외과수술에서 사용되는 수술도구를 기능별로 4가지로 분류하고 그것들을 모델링하여 그 특징을 분석하였다[1,18].

일반적인 수술작업에서 핀셋(forceps)은 환부를 잡고 당기는 작업, 가위(scissors)는 자르는 작업, 나이프(knife)는 자르고 긁는 작업, 바늘(needle)은 구멍을 뚫는 작업에 사용된다. 수술도구의 운동은 힘이 가해지는 동작(force motion), 위치잡기 동작(position motion)과 두 동작의 복합적인 동작(mixed motion) 등이 있다. 그림 3에서 수술도구별로 수술동작 형태를 작용력의 크기에 따라 분류하였다.

모델링된 수술동작 형태에서 수술도구를 사용하여 작업 중에 발생하는 힘의 크기를 측정하여 그림 4와 같은 결과를 얻었다. 그림 4에서 모델링된 수술도구의 동작형태들은 일반적인 외과수술에서 수행되는 것이고 작용력의 최대 크기가 약 90g정도이다. 미세수술에서는 이보다 작은 작용력으로도 수술작업에 필요한 작용력을 만들 수 있다.

위와 같은 분석결과로부터 미세수술에 사용될 수술로봇의 요구사항들을 정리하면 다음과 같다. 미세수술 로봇은 환부까지 수술도구를 정확히 위치시키기 위해 4자유도 이상의 위치잡기(positioning) 능력과 자르기(cutting), 잡기(holding)처럼 힘을 가하는 능력이 필요하다. 수술로봇은 수 마이크로 단위의 정확한 위치제어(micro-positioning) 기능과 90g정도의 작용력을 만들 수 있어야 하며, 집속력 제어를 위해 수술중 발생하는 힘이 측정될 수 있어야 한다.

이외함께 수술로봇은 20 \times 20 \times 20mm³이상의 작업영역, 20 μ m 이하의 위치 정밀도와 6자유도의 동작성을 지니고 있어야 한다. 수술도구의 분석에서 알 수 있듯이 수술작업 중 다양한 회전운

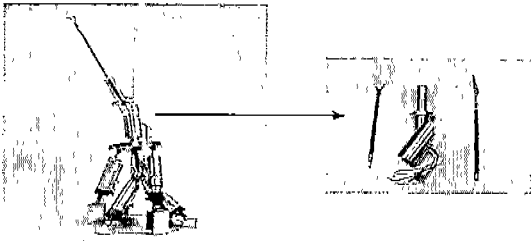


그림 6. 미세수술을 위한 6자유도 병렬 수술로봇과 수술도구
 Fig. 6. A 6-D.O.F. parallel manipulator and a surgical tool for microsurgery

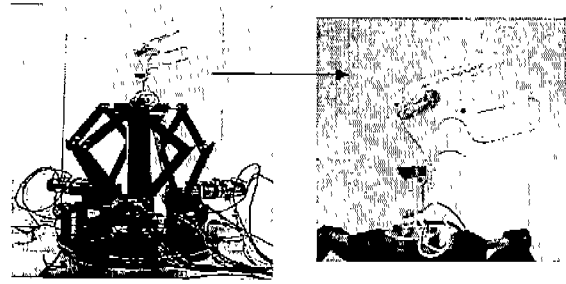


그림 8. 손잡이가 장착된 수술용 원격조종기
 Fig. 8. A master for surgery mounted a handle

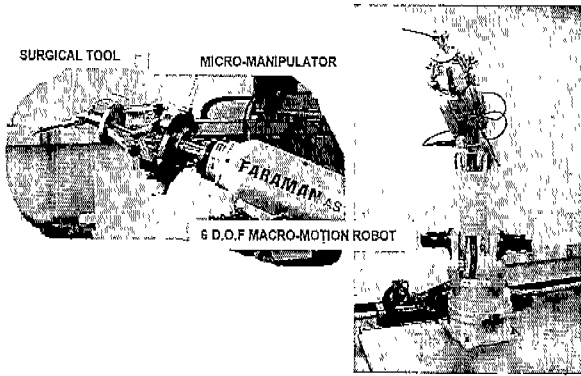


그림 7. 광역운동과 미세운동을 결합한 수술로봇 시스템
 Fig. 7. A surgical robot system combined micro motions with macro

동으로 수술을 수행하는 경우가 많으므로 국소적 동작성(local manipulability)이 우수해야 하며, 수술도구의 교환이 가능하고 수술도구의 장/탈착이 용이해야 한다. 수술작업을 수행할 때 주위환경과 내시경이나 카메라와의 간섭을 고려하여 크기가 작아야 한다. 이와함께 촉감확대 및 운동감쇄 기능 등의 원격수술용 로봇 시스템에 적합한 특성을 갖도록 설계되어야 한다.

4. 미세수술용 로봇

미세수술의 작업분석, 수술도구의 동작분석과 수술중 발생하는 힘의 분석을 토대로 수술로봇의 개발을 위한 주요 요구사항들을 제안하였다. 제안된 요구사항들을 기반으로 다양한 수술작업을 수행할 수 있는 6자유도와 동작정밀도를 지니는 범용성있는 수술로봇과 수술도구를 개발하였다.

3장에서 분석된 수술로봇의 요구사항들을 만족하는 구조는 국소적 동작성과 위치 정밀도가 우수하고 관성의 영향이 작으며 콤팩트한 병렬구조(parallel manipulator)가 직렬구조(serial robot)보다 적합한 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 미세수술에 적합하도록 개량한 변형 스투어트 구조(modified stewart platform)의 병렬구조를 제안하였으며, 제안된 수술로

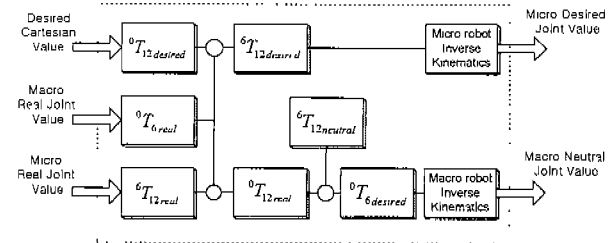


그림 9. 매크로/마이크로 공동작업제어기의 구조[23]
 Fig. 9. A structure of the macro/micro coordinated controller

봇의 보델링은 그림 5와 같다. 제안된 미세수술용 병렬 머니폴레이터(parallel manipulator)의 동작성(manipulability)을 높이기 위한 최적설계 과정을 통하여 상판과 하판의 크기비를 1:2로 결정하였고, 회전동작을 높이기 위하여 원판보양의 상판을 사용하였다. 상판의 직경은 60mm, 하판의 직경은 120mm이다. 선형 액추에이터의 길이는 80mm이고 직경은 25mm이고, 내부에 직경이 16mm이고, 길이가 50mm인 소형 DC 서보모터를 내장하고 있다. 링크를 구동하는 선형 구동기로 소형 액추에이터를 사용하여 그 크기가 콤팩트하다. 3개의 외부링크(external link)는 상판과 볼 소켓 조인트로 연결되어 있으며, 3개의 내부링크(internal link)는 중간조인트(middle joint)로 특수하게 설계된 구형 조인트에 의해 연결되어 있다. 원추꼭지점과 연결된 3개의 링크를 고정하고 외부에 연결된 3개의 링크에 장착된 선형 액추에이터의 구동만으로 상판의 회전이 가능하여 동작과 제어의 용이성을 확보할 수 있다[22].

6개의 링크를 구동하는 선형 액추에이터는 DC모터와 볼 스크루를 사용한 선형 구동 메커니즘을 활용하여 개발되었다. 개발된 선형 구동기의 최대 속도는 35mm/sec, 정밀도는 3µm, 구동력은 1500g이고, 스트로크는 25mm이다.

수술로봇의 작업공간의 해석을 통해서 분석된 평균적인 한 축 방향의 동작영역은 ±10mm 정도이다[22]. 그 이상의 영역에서 동작이 불가능하다. 따라서 ±10mm이상의 광역운동에서 수술로봇의 작업영역을 확장시킬 수 있도록 수술로봇(마이크로 로봇)의 베이스(base)와 산업용 로봇(매크로 로봇)의 달단을 결

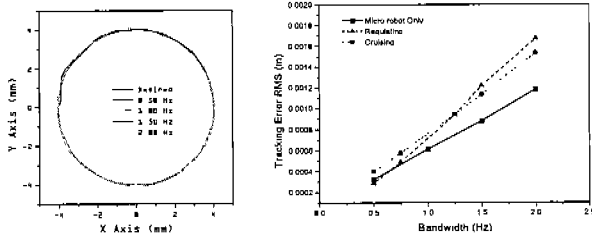


그림 10. 주파수대역에 따른 마이크로 로봇의 동작 실험과 매크로/마이크로 공동작업제어기의 궤적오차

Fig. 10. The circular motions of the micro robot and tracking errors of the coordinate controller with bandwidths of the input trajectory

함하여 ±10mm이상의 광역운동과 20µm이하의 위치 정밀도를 지니는 미세운동이 가능한 매크로/마이크로(macro/micro) 로봇 시스템을 구축하였다. 의사가 마스터(원격조종기)로 마이크로 로봇을 원격조종하다가 마이크로 로봇이 작업범위(20mm)를 벗어 나는 순간 광역운동을 담당하는 매크로 로봇이 마이크로 로봇을 작업범위내에 들도록 실시간으로 위치보상하여 20mm이상의 넓은 영역까지 마이크로 로봇의 작업영역을 확장하였다.

그림 9는 매크로/마이크로 공동작업제어기의 구조이다. 원격조종기의 동작명령에 따라 매크로 로봇은 현재의 말단위치에서 광동작업제어기에 의해 마이크로 로봇의 원하는 조인트의 동작 크기를 계산하고 마이크로 로봇의 작업공간을 확장하기 위해 움직인다.

공동작업제어기는 매크로/마이크로의 동작명령을 내리기 위하여 3자유도의 위치와 3자유도의 회전 값을 사용하지 않고 계산의 편리성을 위해 동차변환행렬을 사용한다[23].

그림 10의 왼쪽그림은 마이크로 로봇에 대해 직경 8mm의 원을 0.5~2.0Hz의 대역으로 동작하게 하였을 때의 동작실험이고, 오른쪽 그림은 매크로/마이크로 공동작업제어기의 주파수에 따른 중립위치 유지방법(regulating method)과 중립위치 추종방법(cruising method)의 추종오차의 RMS 값이다. 마이크로 로봇의 중립위치 추종방법은 마이크로 로봇만 가지고 하였을 경우와 같은 비율의 추종오차 대 대역폭의 관계를 갖는 반면 마이크로 로봇의 중립위치 유지방법은 낮은 대역폭에서는 마이크로 로봇만 사용한 경우보다 추종오차가 작은 반면 높은 대역폭으로 갈수록 그 오차가 급격히 커진다[24].

의사가 수술과정에서 발생하는 촉감을 느끼는 것은 수술환부의 진단뿐만 아니라 환부조직의 손상을 최소화시키는데 크게 기여할 수 있으므로 수술로봇의 말단장치에 6축 힘센서를 장착하였다. 이 힘센서는 수술작업중 발생된 접촉력을 측정하여 힘반향 제어(force reflecting control)로 시술자에게 힘을 전달하고, 수술부위에서 발생하는 접촉력을 제어하는데 사용된다. 수술로봇에서 사용되는 힘센서는 미국 ATI사의 Force/Torque Sensor

System으로 직경이 17mm, 높이가 14mm인 원기둥 형태의 초소형이다. 그림 4에서 분석된 수술작업중 발생하는 작용력을 크기는 대략 20~90g (0.2~0.9N)이다. 힘센서의 용량은 즉 X, Y 방향의 최대 크기는 ±80N이고, Z방향은 ±240N이고, 그 분해능은 각각 0.08N, 0.24N으로 미세수술작업에서 발생하는 힘을 적절히 측정할 수 있다[1,21].

수술로봇을 원격조종하는 마스터는 5각관절을 이용한 변형 병렬기구로 개발되었으며 상판위에 복강경 수술에서 사용되는 손잡이(handle)를 장착하였다. 의사는 기존의 복강경 수술도구를 사용하듯이 손잡이를 움직이면 그 움직임에 따라 수술로봇이 동작하고, 이 때 발생하는 접촉력이 힘센서에서 측정되어 힘반향 제어에 의하여 손잡이를 통해 의사에게 전달된다.

미세수술 작업분석을 토대로 제안된 미세수술용 로봇은 정밀 제어 능력과 높은 동작 반복성을 지니고 있으므로 의사의 손으로 수행되는 기존의 수술방법보다 더욱 정확하고, 더욱 적은 피부 절개로 정상피부의 손상을 최소화시켜 환자의 빠른 회복을 가능하게 할 수 있을 것이다. 개발된 원격수술 시스템은 비숙련 의사가 고도의 전문성과 숙련성을 요구하는 다양하고 복잡한 수술 과정을 쉽게 익힐 수 있도록 돕는 모의수술환경으로 활용될 수 있다.

결론

로봇을 활용한 미세수술 분야중 최소침습 수술, 안구 수술, 뇌수술과 미세혈관 수술을 선정하여 위치정밀도, 작업영역, 동작자유도 등을 분석하였다. 또한 외과수술에서 사용되는 수술도구의 동작형태를 모델링하고 그 특징과 작용력의 크기를 분석하여 미세수술 로봇을 개발하기 위한 주요 요구사항들을 제안하였다. 제안된 요구사항들을 토대로 미세수술용 수술로봇과 복강경 수술 도구를 개조한 수술도구를 개발하였다.

현재 동작감쇠 기능과 손떨림이나 급격한 동작을 필터링하는 기능으로 안전하고 정밀한 수술자입을 위한 제어알고리즘 개발과 수술로봇시스템과 원격조종기로 구성된 원격수술 로봇시스템의 구축을 위한 연구를 진행중이다[3].

본 연구는 보건복지부(HMP '96-B-5-1015)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. D.S. Kwon, K.Y. Woo, S.K Song, W.S. Kim, H.S. Cho, "Microsurgical Telerobot System", Pro. of the IEEE/R SJ Int. Conf. On Intelligent Robots and Control Systems, 1998
2. B.Bose, A.K. Kalra, S.Thukral, et. al, "Tremor Compensation for Robotics Assisted Microsurgery", Pro. of the 14th IEEE Engineering in Medicine and Biology, Paris,

- Vol. 3, pp. 1061-1068, 1992
3. Grigore C. Burdea, Force and Touch Feedback for Virtual Reality, John Wiley & Sons, Inc. 1996.
 4. 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.
 5. P.Dario, E.Guglielmelli, B.Allotta, M.C.Vamoza, "Robotics for Medical Applications", IEEE Robot and Automation Magazine. pp.44-56 1996.
 6. A. Casals, J. Amat, F. Laporte, "Automatic Guidance of an Assistant Robot in a Laparoscopic Surgery", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation,, Minneapolis, Minnesota, April, pp. 895-900, 1996.
 7. R. Hurteat, S.Dcsanits, E. Begin and M.Gagnier, "Laparoscopic Surgery Assisted by a Robotic Cameraman: Concept and Experimental Results", Proc. of IEEE Conf. on R&A, pp. 2286-2289, Sandiego, May 8-13, 1994.
 8. 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.
 9. Steele, RJC, Hosking, SW, Chung SCS, "Graded Exercises for Basic Training in Laparoscopic Surgery", Journal of the Royal College of Surgery, Edinburgh, 39, pp. 112-117. 1994.
 10. R.H.Taylor, J.Funda, B.Eldridge et. al, "A Telerobotic Assistant for Laparoscopic Surgery", IEEE Engineering in Medicine and Biology, May/June pp. 279-288, 1995.
 11. K.W.Grace, J.E.Golgate, M.R.Glucksberg, "A Six Degree of Freedom Micro-manipulator for Ophthalmic Surgery", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 630-635, 1993.
 12. Y.S. Kwoh, J. Hou , E. Jonkheere, "A Robot with Improved Absolute Positioning Accuracy for CT Guided stereotactic Brain Surgery", IEEE Trans. on Biomedical Engineering: 5(2): 1988.
 13. C.W.Burckhardt, P.Flury, D.Glauser, "Stereotactic Brain Surgery", IEEE Engineering in Medicine and Biology, May/June pp. 314-317, 1995.
 14. Green, P.S., J.W. Hill, et.al, "Telepresence Surgery", IEEE Engineering in Medicine and Biology, May/June 1995, pp. 324-329. 1995.
 15. P. L. Yen, R. D. Hibberd and B. L. Davies, "A Telemanipulator System as an Assistant and Training Tool for Penetrating Soft Tissue", Mechatronics Vol.6, No.4, pp.423-436,1996
 16. A. Bicchi, et. al, "A sensorized Minimally Invasive Surgery Tool for detecting Tissue Elastical Properties", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Minneapolis, April, 1996.
 17. Elmar Holler, Helmut Breitwieser, "Telepresence Systems for Application in Minimally Invasive Surgery", Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality II. San Diego, 1993.
 18. Russell H. Taylor, Stephone Lavallee, Grigore C. Burdea, Ralph Mosges, Computer integrated surgery, Technology and Clinical Applications, The MIT press. 1996.
 19. S. Terry Canale, Campbells Operative Orthopedics, Ninth Edition, Vol. 4, Mosbytear Book Inc. 1998.
 20. T.Arai, R.Stoughton, "Micro hand module using parallel link mechanism", Proc. of the Japan U.S.A 1992.
 21. W. S. Kim, "Developments of New Force Reflecting Control Schemes and an application to a teleoperation training", Proc. of the IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation, pp.1412-1419, 1992.
 22. 송세경, 권동수, "정밀작업용 6자유도 병렬 매니플레이터의 기구학 해석," 제13차 한국자동제어학술회의 논문집, Vol.2, pp.1786-1789. 1998.
 23. 황정훈, 권동수, 조형석, "매크로/마이크로 매니플레이터의 공동작용 제어," 제 13차 한국자동제어학술회의 논문집, Vol. 1. pp.224-227, 1998.
 24. 황정훈, "매크로/마이크로 로봇의 공동작용 제어," 석사학위 논문, KAIST, 1999.