



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0100211  
(43) 공개일자 2008년11월14일

(51) Int. Cl.

*B25J 9/04* (2006.01) *A61B 19/00* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-7021009

(22) 출원일자 2008년08월27일

심사청구일자      **없음**

번역문제출일자 2008년08월27일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2007/051044

국제출판의자 2007년02월02일

(87) 국제공개번호 WO 2007/088206

국제공개인증  
2007년08월09일

### (30) 유허가증

06101250\_6 2006년02월02일

06101250.6 2006년  
워터튜쳐(EPD)(EP))

(71) 출원인

더 유럽피안 애토믹 에너지 커뮤니티(이유알에이티오엠), 리프레젠티드 바이 더 유럽피안 커미션 벨기에, 브뤼셀 비-1049, 뤼 드 라 루이, 200

(72) 발명자

루이즈 모랄레스 에밀리오

이탈리아 아이-21020 타이노 16 비아 레오나르도  
다 빙치

(74) 대리인

### 유미특허법이

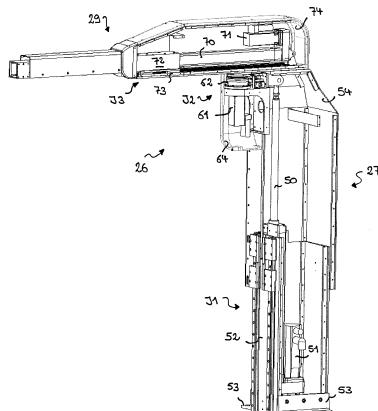
전체 청구항 수 : 총 19 항

#### (54) 워통좌표형 조작 암을 구비한 의료용 로봇 시스템

(57) 요약

본 발명은 의료 기구(18)를 로봇 보조식으로 조종하기 위한 로봇 매니퓰레이터(14)를 포함하는 의료 절차 수행용 의료용 로봇 시스템에 관한 것이다. 의료용 로봇 시스템의 로봇 매니퓰레이터(14)는, 기부(24); 이 기부에 의해 지지되는 본질적으로 수직인 수직부(27)와 이 수직부에 의해 지지되는 본질적으로 수평인 수평부(29)를 갖는 매니퓰레이터 암(26); 이 매니퓰레이터 암에 의해 지지되는 매니퓰레이터 손목(28); 및 이 매니퓰레이터 손목에 지지되어 의료 기구를 유지하도록 구성된 작동 유닛(28)을 포함한다. 매니퓰레이터 암(26)은 원통형 PRP 기구학적 구성을 갖고 있다. 더 구체적으로, 이 원통형 PRP 기구학적 구성은, 본질적 수직 축선을 따른 병진 자유도를 제공함으로써 수직부의 높이를 변화시키는 프리즘형(P)의 제1 조인트(J1)와, 본질적 수직 축선을 중심으로 한 회전 자유도를 제공함으로써 수직부와 수평부 간의 회전 각도를 변화시키는 제2 회전형 (R) 조인트(J2)와, 본질적 수평 축선을 따른 병진 자유도를 제공함으로써 수평부의 리치를 변화시키는 프리즘형(P)의 제3 조인트(J3)를 포함한다.

## 대표도 - 도9



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

의료 기구(18)를 로봇 보조식으로 조종하기 위한 로봇 매니퓰레이터(14)를 포함하는 의료 절차 수행용 의료용 로봇 시스템에 있어서,

상기 로봇 매니퓰레이터는,

기부(24);

상기 기부에 의해 지지되는 본질적으로 수직인 수직부(27)와 상기 수직부에 의해 지지되는 본질적으로 수평인 수평부(29)를 갖는 매니퓰레이터 암(26);

상기 매니퓰레이터 암에 의해 지지되는 매니퓰레이터 손목(wrist, 28); 및

상기 매니퓰레이터 손목에 지지되어 의료 기구를 유지하도록 구성된 작동 유닛(effector unit, 30)을 포함하며,

상기 매니퓰레이터 암(26)은 원통형 PRP 기구학적 구성을 갖고 있으며, 상기 원통형 PRP 기구학적 구성은 본질적 수직 축선을 따른 병진 자유도를 제공함으로써 상기 수직부의 높이를 변화시키는 프리즘형(P)의 제1 조인트(J1)와, 본질적 수직 축선을 중심으로 한 회전 자유도를 제공함으로써 상기 수직부와 상기 수평부 간의 회전 각도를 변화시키는 제2 회전형 (R) 조인트(J2)와, 본질적 수평 축선을 따른 병진 자유도를 제공함으로써 상기 수평부의 리치(reach)를 변화시키는 프리즘형(P)의 제3 조인트(J3)를 포함하는,

의료용 로봇 시스템.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 (P) 조인트(J1)는, 수직 선형 가이드(52) 및 상기 제1 (P) 조인트를 작동시키기 위한 제1 선형 액추에이터(50), 바람직하게는 선형 볼 스크루 축을 구비하는, 의료용 로봇 시스템.

### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제3 (P) 조인트는, 수평 선형 가이드(73) 및 상기 제3 (P) 조인트를 작동시키기 위한 제2 선형 액추에이터(7), 바람직하게는 선형 볼 스크루 축을 구비하는, 의료용 로봇 시스템.

### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 수평부는 수평 선형 가이드 및 제2 선형 액추에이터를 에워싸는 긴 커버링(74)을 포함하며, 상기 수평부는, 일측에서는 상기 커버링에 대해 신축자재식(telescopic)으로 되어 있는 한편, 타측에서는 상기 손목을 지지하는 빔(72)을 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 (R) 조인트(J2)는, 기어, 바람직하게는 하모닉 드라이브 기어(harmonic drive gear, 62), 상기 기어의 입력단에 연결된 모터(61), 바람직하게는 브러시리스 서보 모터(brushless servo-motor), 및 상기 기어의 출력단에 연결된 절대 위치 센서(65)를 구비하는, 의료용 로봇 시스템.

### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 암의 수평부(29)는 800mm의 최소 링크 오프셋을 갖는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 7**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 매니퓰레이터 손목(28)은 상기 작동 유닛(30)의 방위를 정하는 제4 회전형 (R) 조인트(J4) 및 제5 회전형 (R) 조인트(J5)를 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 제4 (R) 조인트(J4)의 회전 축선과 상기 제2 (R) 조인트(J2)의 회전 축선은 평행한, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 9**

제8항에 있어서,

상기 제4 (R) 조인트(J4)의 회전 축선은, 상기 제2 (R) 조인트(J2)의 회전 축선과 상기 제3 (P) 조인트(J3)의 병진 축선에 의해 형성되는 평면과 동일 평면에 있는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 제4 (R) 조인트(J4)는 상기 작동 유닛(30)의 편요 각도를 설정하도록 실질적 수직 축선을 따른 회전 자유도를 제공하며, 상기 제5 (R) 조인트(J5)는 상기 작동 유닛(30)의 페치 각도를 설정하도록 실질적 수평 축선을 따른 회전 자유도를 제공하는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 손목(28)은 상기 암의 수평부(29)에 연결된 지지판(80)과 실질적 L형 지지 부재(100)를 포함하며, 상기 제4 (R) 조인트(J4)는 상기 지지 부재의 제1 수평 부분을 상기 지지판(80)에 결합하고, 상기 제5 (R) 조인트(J5)는 상기 지지 부재(100)의 제2 수직 부분을 상기 작동 유닛(30)용 연결 수단(32)에 결합하며, 상기 손목은 상기 제4 (R) 조인트의 회전 축선과 상기 제5 (R) 조인트의 회전 축선이 교차점을 갖도록 구성되어 있는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 12**

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 작동 유닛(30)은, 상기 매니퓰레이터에 수술 기구(18)를 장착하는 수단을 갖는 복강경 기구 액추에이터(120; 1120), 및 장착된 수술 기구를 작동시키는 선형 작동 메커니즘(400; 1400)을 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

상기 작동 유닛(30)은, 상기 작동 유닛(30)을 상기 손목(28)에 연결하는 메인 지지 프레임(140), 및 상기 복강경 기구 액추에이터(120; 1120)를 상기 메인 지지 프레임에 결합하는 제6 회전형 (R) 조인트(J6)를 포함하며, 상기 제6 (R) 조인트(J6)는 장착된 수술 기구의 를 각도를 설정하도록, 상기 복강경 기구 액추에이터에 상기 장착된 수술 기구의 길이 방향 축선과 일치하는 축선을 따른 회전 자유도를 제공하는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 14**

제13항에 있어서,

상기 제6 (R) 조인트(J6)의 회전 축선과 상기 제5 (R) 조인트(J5)의 회전 축선은 직교하는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 15**

제13항 또는 제14항에 있어서,

상기 매니퓰레이터 손목(28)은 상기 제6 (R) 조인트(J6)의 회전 축선과 상기 제4 (R) 조인트(J4)의 회전 축선이 상기 복강경 기구 액추에이터(120; 1120)의 최대 단면에서의 직경과 대략 동일한 거리만큼 오프셋되도록 구성된, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 16**

제13항 또는 제14항에 있어서,

상기 작동 유닛(30)은 6 DOF의 힘/토크 센서 및 상응하는 6 DOF의 선 및 각 가속도계를 구비하는 센서 조립체(122)를 포함하며, 상기 조립체는 상기 복강경 기구 액추에이터를 상기 제6 (R) 조인트(J6)에 연결하는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 17**

제7항 또는 제13항에 있어서,

상기 제4 (R) 조인트(J4), 상기 제5 (R) 조인트(J5), 및/또는 상기 제6 (R) 조인트(J6)는, 모터(81; 101; 104), 바람직하게는 브러시리스 서보 모터, 상기 모터의 샤프트에 연결된 입력단을 갖는 기어(83; 103; 143), 해당 조인트에 운동을 전달하도록 상기 기어의 출력단에 연결되는 벨트 전동 장치(84; 104; 144), 및 상기 벨트 전동 장치에 연결되는 절대 위치 센서(88, 108, 148)를 구비하는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 18**

제1항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기부(24)는 상기 매니퓰레이터의 작업 공간 내로 사람의 침범을 검출하도록 레이저 레인지 스캐너(laser range scanner, 22)를 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

**청구항 19**

제1항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 프리즘형 (P) 조인트(J1) 및 상기 제2 프리즘형 (P) 조인트(J2)는, 각각 관련된 브레이크 및 절대 위치 센서를 구비하는, 의료용 로봇 시스템.

**명세서****기술분야**

&lt;1&gt;

본 발명은 의료 기기 분야에 관한 것이며, 더 구체적으로는 의료 절차, 특히, 최소 침습 의료 절차(minimally invasive medical procedures) 등의 외과적 절차를 수행하기 위한 의료용 로봇 시스템에 관한 것이다.

**배경기술**

&lt;2&gt;

복벽절개와 대비되는 것으로서, 최소 침습 의료 절차는 전단 또는 외과적 절차 중에 손상되는 외래 조직의 양을 감소시키는 이점이 있음이 공지되어 있다. 그에 따라, 환자 회복 시간이 짧고, 불만이 적으며, 입원비가 적게 된다. 현재, 일반 외과, 비뇨기과 및 심장의학 전문의들에게 있어서, 복강경 검사 기술과 같은 최소 침습 기술에 의해 수행되는 외과 수술이 증가하고 있다.

&lt;3&gt;

하지만 일반적으로 최소 침습 기술, 그리고 구체적으로 복강경 검사는 수술을 수행하는 외과의사에게 더욱 엄격한 요건을 제시한다. 외과의사는 불편하고 피곤한 자세로, 시야가 제한되고, 운동 자유도가 감소되며, 촉감이 불량한 조건에서 수술한다. 이러한 문제들 이외에도, 종종 외과의사는 하루에 여러 차례의 연속적인 시술을 수행해야 하고, 각각의 시술은 예컨대 30분에서 몇 시간까지 지속된다. 이와 같은 어려움들에도 불구하고, 최소 침습 절차에 대한 경향은 노령화와 의료 분야의 비용 압박에 기인하여 해마다 가파르게 증가할 것이다.

&lt;4&gt;

복강경 검사는 외과의사에게 복벽절개만큼의 정밀한 동작을 명백히 요구하고 있다. 동작 민첩성이 4 자유도로

감소한 상태로 긴 샤프트 기구를 기구 접근 포트, 즉, 환자 신체의 절개부의 지점(fulcrum) 둘레로 조작하는 것으로는 이 과정을 경감시키지 못한다. 특히 요구되는 자세가 매우 괴롭하고 기구와 조직 사이의 상호 작용력의 이미 제한된 인식력이 감소된다는 사실에 기인해 곤란한 문제들이 생긴다. 예컨대, 외과의사가 환자 옆에 서있을 때 의사는 환자의 반대측에서 삽입된 기구를 유지하도록 한쪽 팔을 뻗은 상태로 들고 유지해야 한다. 그 결과, 외과 의상의 근육 능력(motorial capability)이 20분 내지 30분 후에 쇠퇴함으로써, 무엇보다 멀림, 정밀도의 손실 및 촉감의 손실이 생기는데 이는 환자에게 위험을 초래한다. 따라서, 시술의 효율, 품질 및 안전성을 개선하는 것을 목적으로 하는 로봇 보조식 복강경 검사와 같은 새로운 기술들이 출현하고 있다.

- <5> 그러한 이유로, 로봇 보조식 복강경 검사는 90년대 초반 이래로 현저히 발전한 것으로 알려졌다. 상업적으로 입수 가능한 2개의 대표적인 수술 로봇 시스템으로는 Intuitive Surgical Inc(캘리포니아, Sunnyvale)에서 개발한 상표명 'DA VINCI'의 수술 시스템과 Computer Motion Inc(캘리포니아, Goleta)에서 원천 개발한 상표명 'ZEUS'의 수술 시스템이 있다. 'DA VINCI'로 알려진 수술 시스템은 Mo11 등에 허여된 미국특허 제6,659,939호 및 제6,837,883호와 동일한 양수인의 다른 특허문현에 기재되어 있다. 'ZEUS'라는 명칭의 수술 시스템은 Wang 등에 허여된 미국특허 제6,102,850호, 제5,855,583호, 제5,762,458호 및 제5,515,478호와 Computer Motion Inc(캘리포니아, Goleta)에 양수된 다른 특허문현에 기재되어 있다.
- <6> 이와 같은 원격 조정 로봇 시스템에 의해 콘솔 상의 시각적 피드백을 사용하여 수술대에서 직접 또는 원격으로 외과적 시술을 제어할 수 있다. 어느 경우에서건 외과의사의 괴롭한 자세가 제거된다.
- <7> 이들 로봇 시스템의 높은 구입비와 유지보수비는 별개로 하더라도, 로봇 시스템은 무엇보다 융통성이 결여되어 있기 때문에 의료계에서의 보급과 수용이 제한적이다. 양쪽 시스템은 엄밀히 말하면 해부학적 토플로지(topological anatomy)가 일정하고, 작업공간이 작으며, 그에 따라 제한된 공간에서만 정밀한 기구 이동과 민첩성이 요구되는 심장외과를 위해 설계되었다. 따라서, 이들 시스템의 기계적 설계는 작업 공간이 심장외과의 경우보다 크고, 해부학적 토플로지가 (심지어 종종 예측 불가능할 만큼) 가변적이며, 조직과 장기의 기계적 성질이 상이한 (산부인과, 비뇨기과 및 일반 외과를 비롯한) 다른 형태의 외과 수술에 사용하기에는 적절하지 않다.
- <8> 이러한 2가지 특정 시스템과 무관하게, 수술 로봇 시스템의 매니퓰레이터(manipulator)의 기계적 설계는 여전히 여러 측면으로 개선의 여지가 상당히 남아 있는데, 시스템의 융통성이 그 가운데 하나이다.

### 발명의 상세한 설명

- <9> 따라서, 본 발명의 목적은, 개선된 기구학적(kinematic) 구성을 갖는 로봇 매니퓰레이터를 포함하는 의료 절차 수행용 로봇 시스템을 제공하는 데에 있다.
- <10> 이러한 목적을 달성하기 위해, 이하에 개시하는 바와 같이 의료 기구, 특히 복강경 수술용 기구를 로봇 보조식으로 조종하기 위한 로봇 매니퓰레이터를 포함하는 의료 절차, 특히 복강경 절차 수행용 의료용 로봇 시스템을 제공한다. 본 발명의 하나의 양태에 따르면, 로봇 매니퓰레이터는, 기부; 이 기부에 의해 지지되는 본질적으로 수직인 수직부와 이 수직부에 의해 지지되는 본질적으로 수평인 수평부를 갖는 매니퓰레이터(manipulator) 암; 이 매니퓰레이터 암에 의해 지지되는 매니퓰레이터 손목(wrist); 및 이 매니퓰레이터 손목에 지지되어 의료 기구를 유지하도록 구성된 작동 유닛(effector unit)을 포함한다. 본 발명의 또 다른 양태에 따르면, 매니퓰레이터 암은 매니퓰레이터 손목을 위치 설정하기 위한 원통형 PRP 기구학적 구성을 갖고 있다. 보다 구체적으로, 제안된 PRP 기구학적 구성을, 다음과 같은 세 개의 조인트, 즉 본질적 수직 축선을 따른 병진 자유도를 제공함으로써 수직부의 높이를 변화시키는 제1 프리즘형 (P) 조인트와, 본질적 수직 축선을 중심으로 한 회전 자유도를 제공함으로써 수직부와 수평부 간의 회전 각도를 변화시키는 제2 회전형 (R) 조인트와, 본질적 수평 축선을 따른 병진 자유도를 제공함으로써 수평부의 리치(reach)를 변화시키는 제3 프리즘형 (P) 조인트를 차례대로 포함하고 있다.
- <11> 이러한 매니퓰레이터 암의 특별한 기구학적 구성을, 본 명세서에서 후술하는 다른 이점들 중에서 특히 다음과 같은 이점을 가능하게 한다.
- <12> - 환자 위에서 하나의 매니퓰레이터 암이 필요로 하는 공간을 감소시켜, 무엇보다도 특히 소정 시술(intervention)에서 증가된 개수의 개별 매니퓰레이터 암을 이용할 수 있게 한다.
- <13> - 매니퓰레이터의 기부를 환자로부터 어느 정도 거리를 두고 배치할 수 있어, 응급 상황의 경우에 로봇 매니퓰레이터를 여유 위치(clearance position)에 배치하는 것은 단지 암의 수평부를 방해받지 않는 위치(unobstructive position)로 회전시키는 것을 필요로 하게 된다.

- <14> - 직원들의 환자에 대한 접근 및 예를 들면 기구의 교환을 위한 수술 기구의 영역에 대한 접근을 용이하게 할 수 있다.
- <15> - 암 간의 충돌 방지를 용이하게 할 수 있다.
- <16> - 매니퓰레이터 암 자체에 최소의 조인트의 사용, 즉 손목의 위치 설정을 위한 3 DOF를 제공하는 단지 3개의 조인트의 사용을 가능하게 하여, 임의의 여분의 조인트, 특히 패시브 조인트를 제거할 수 있다.
- <17> PRP의 다양한 축 구성이 가능하다는 것을 이해할 것이다. 전술한 축 구성은 본 발명을 위해 가장 적합한 기구 학적 구성인 것으로 간주된다. 또한, 무엇보다도 특히 기구학적 액추에이터 요건 및 로봇 제어의 측면에서, 원통형 로봇 구성은 예를 들면 미국 특허 제5,351,676호에 개시된 PRR 구성 및 미국 특허 제6,120,433호에 개시된 RPP 구성과는 근본적으로 다르다는 점을 이해할 할 것이다.
- <18> 또한, 당업자라면, 본 명세서에서 제안하는 기구학적 구성은 SCARA, 즉 PRR 구성의 특정 형태가 복강경 용례를 위해 가장 적합한 것으로 되고 있는 확립된 믿음에 이의를 제기하는 것이라는 점을 이해할 것이다. 그러한 오래된 확립된 믿음은 특히 및 학술 문헌에서, 특히, 다음 논문에서 확립되었다(특히 2.2.절 참조). A. Faraz 및 Sh. Payandeh, "A Robotic Case Study: Optimal Design For Laparoscopic Positioning Stands," Proceedings of the 1997 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation; April 1997.
- <19> 게다가, 제안하는 기구학적 구성은 시스템의 융통성의 증가에도 기여한다. 다시 말해, 로봇 매니퓰레이터의 전술한 구조는 시스템이 각종 용례, 특히 최소 침습 수술뿐만 아니라 정형외과적 또는 생체 검사 시술, 경피 치료술, 피부 채취(skin harvesting), 진단 등에 적합하게 한다.
- <20> 이해하는 바와 같이, 개시하는 로봇 시스템은, SCARA 기구학적 구성이 로봇 수술 시스템의 특정 경우에 가장 적합한 선택이라는 패러다임을 버리고 있다. SCARA 구성을 갖는 매니퓰레이터를 이용하는 의료용 로봇 시스템의 대표적인 예는 예를 들면 미국 특허 제6,102,850호; 제5,855,583호; 제5,762,458호 및 제5,515,478에 개시된 상표명 "ZEUS"로 공지된 전술한 시스템이 있다.
- <21> 의료용 로봇 시스템의 융통성과 관련하여, 종래의 의료용 로봇 시스템은 일반적으로 특정 형태의 시술을 위해 구성되어 있다. 예를 들면, "DA VINCI" 및 "ZEUS" 시스템은 특히 심장 수술을 위해 구성되어 있다. 따라서, 전술한 바와 같이 그러한 시스템들은 특별한 관절식 기구를 위해 구성되어 있다. 또한, 심장 시술에서 제한된 수술 공간으로 인해, 기구 운동은 통상 외과의사의 명령에 의해 그러한 시스템의 햅틱 인터페이스(haptic interface)에서 축소된다. 일반적으로, 복강경 수술(산부인과, 비뇨기과, 일반외과 수술을 포함)에서, 작업 공간은 심장 수술에서보다 크며, 해부학적 토플로지(anatomical topology)는 변화할 수 있으며(심지어 때로는 예측할 수 없음), 조직 및 기관의 역학적 특성은 다양하다.
- <22> 수술 작업 공간이 크게 되면, 기구의 운동 범위가 커지고, 1:1의 운동 스케일이 필요하다. 따라서, 일반적인 복강경 수술에서, 외과의의 손의 운동을 정확하게 따르도록 하기 위해 운동 역학 관계의 증가가 필요하다. 시험적 실시로부터, 외과의사의 손은 작은 작업 공간에 높은 속도 및 이에 따른 높은 가속도를 야기하는 것으로 확인되었다. 속도는 피벗, 피치 및 편요(yaw) 축선을 따라서는  $100^{\circ}$  /초에 이르고, 침투 방향에서는  $200 \text{ mm/s}$ 에 이를 수 있다. 1:1의 운동 스케일 및 전술한 조건에서, 전술한 시스템은 진동, 요동 및 정밀도의 손실을 보인다. 이하의 본 명세서에서 보다 상세하게 설명하는 로봇 매니퓰레이터는 그러한 문제점을 감소시키고, 나아가서는 일반적인 복강경 수술의 각종 시술을 위해 적합하도록 구성될 수 있다.
- <23> 또한, 많은 종래 시스템은 내시경을 위한 매니퓰레이터 외에 수술 기구 자체를 위해서는 단지 2개의 매니퓰레이터를 갖고 있다. 이는 빈번하고 복잡한 기구 교환 과정으로 인해 시술 시간의 증가를 초래한다. 통상의 시술에서, 외과의사는 5개 내지 7개의 상이한 기구를 이용하며, 종종 그러한 기구의 수십 회의 교환을 필요로 한다. 통상, 기구 교환은 외과의사 보조원의 능력에 따라 5 내지 10초가 걸리며, 이러한 교환은 실질적으로 총 시술 시간에 기여한다(약 10% 내지 20%). 많은 종래 로봇 시스템은 3개 또는 4개의 기구 접속 포트를 필요로 하는 통상의 시술에 적합하기에는 쉽지 않다. 다른 시스템들은 보통 시간이 짧게 걸리는 진단 시술(약 20분)로 제한되어 있어, 종종 로봇 시스템의 비용을 정당화하지 못하고 있다. 이상적으로는, 로봇 수술 시스템은 모듈이어야 하고, 4개 기구 접속 포트와 1개의 내시경 접속 포트 정도는 관리할 능력을 갖고 있어야 한다. 적합한 매니퓰레이터의 구조와 관련한 중요한 제약은 일부 접속 포트가 단지 수 센티미터만큼 떨어져 있어, 해당 기구들이 거의 평행하게 배치하거나, 하나를 다른 하나의 위에 배치해야 할 수 있다는 점이다. 게다가, 매니퓰레이터는 환자의 신체 및 접속 포트에 대한 외과의사의 시야를 과도하게 제한하지 않는 것이 바람직하다. 전술한 의료용 로봇 시스템은 특히 그 매니퓰레이터 암의 기구학적 구성뿐만 아니라, 본 명세서에서 이하에 기재하고 그 자체

로 독창적인 것으로 간주되는 기타 다양한 특징으로 인해, 무엇보다도 특히 전술한 문제점을 해결하는 한편, 복수 개의 매니퓰레이터를 동시에 사용할 수 있게 한다.

<24> 종래 시스템의 또 다른 관련 한계점은 다른 매니퓰레이터들 간의, 매니퓰레이터와 수술실 내의 직원 간에, 그리고 기구들과 내시경 간의 충돌 방지의 신뢰성 및 안전 수단의 결여에 관한 것이다. 그러나, 임의의 잠재적인 충돌은 환자의 건강에 대해, 어쩌면 수술 직원의 건강에 대해서도 심각한 위협이 되어, 로봇 수술 시스템에서의 충돌을 효율적으로 방지하는 것이 상당히 중요하다. 이러한 문제점은 소정 시술 중에 사용되는 로봇 매니퓰레이터의 개수가 증가함으로써 훨씬 더 중대해진다는 점은 명백하다. PRP 기구학적 구성으로 인해, 한편으로는 잠재적인 충돌 위협이 매니퓰레이터 암 자체에 의한 장애물의 감소로 인해 감소되고, 다른 한편으로는 충돌 검출 및 방지 방법이 단순화된다.

<25> 본 발명의 시스템은 최소 개수의 조인트를 갖고 요구되는 기동성을 제공하는 데, 다시 말해 단지 6개의 조인트로 6 DOF를 제공한다는 점을 이해할 것이다. 어떠한 추가적인 여분의 조인트가 제공되지 않는다. 특히, 관절식 기구 말단을 갖는 특정 기구가 요구되지 않는다. 게다가, 모든 조인트가 작동되는 데, 다시 말해 어떠한 패시브 또는 자유 회전 조인트가 로봇 매니퓰레이터에 존재하지 않아, 로봇 제어를 상당히 개선시킨다. 투관침 스트레스(trocar stress)를 피하기 위해 공지의 시스템에서 통상 사용되고 있는 여분의 패시브 조인트의 제거는 무엇보다도 특히 제6 조인트와 복강경 기구 액추에이터 사이의 인터페이스에 센서 조립체를 마련함으로써 달성한다. 이러한 구성의 센서 조립체는 기구의 팁 레벨에서뿐만 아니라 투관침 레벨에서 힘 측정 및 압박 억제(constraint restriction)를 가능하게 한다. 또 다른 특징은 손목과 작동 유닛 조인트가 모두 회전, 즉 이들 부분에 어떠한 프리즘형 조인트도 마련되지 않는다는 점에서 확인될 것이다.

<26> 무엇보다도 특히 매니퓰레이터의 강성을 증가시키는 유리한 실시예에서, 제1 (P) 조인트는 수직 선형 가이드 및 제1 (P) 조인트를 작동시키기 위한 제1 선형 액추에이터, 바람직하게는 선형 볼 스크루 축을 구비한다. 마찬가지로, 유리하게는 제3 (P) 조인트는 수평 선형 가이드 및 제3 (P) 조인트를 작동시키기 위한 제2 선형 액추에이터, 바람직하게는 선형 볼 스크루 축을 구비한다. 게다가, 제1 및 제2 조인트는 모두 이들에 각각 관련된 브레이크 및 절대 위치 센서를 구비하는 것이 바람직하다.

<27> 수직부의 구성 요소들을 보호하고, 환자 위의 수직부의 최전방 부분의 치수를 최소화하기 위해, 수평부는 수평 선형 가이드 및 제2 선형 액추에이터를 예워싸는 긴 커버링을 포함하며, 수평부는 일측에서는 커버링에 대해 신축자재식(telescopic)으로 되어 있고 타측에서는 손목을 지지하는 빔(beam)을 포함하는 것이 바람직하다.

<28> 유리하게는, 제2 (R) 조인트는 기어, 바람직하게는 하모닉 드라이브 기어(harmonic drive gear)와, 기어의 입력단에 연결된 모터, 바람직하게는 브러시리스 서보 모터(brushless servo-motor)와, 기어의 출력단에 연결된 절대 위치 센서를 구비한다. 이에 의해, 제2 (R) 조인트의 작동 기구의 고장을 추가적으로 검출할 수 있는 콤팩트한 구조가 달성된다.

<29> 다른 바람직한 실시예에서, 매니퓰레이터 손목은 작동 유닛의 방위를 정하는 제4 회전형 (R) 조인트와 제5 회전형 (R) 조인트를 포함한다. 따라서, 매니퓰레이터 암 및 매니퓰레이터 손목은 정확하게 제어 가능한 5 자유도를 제공한다.

<30> 예를 들면 응급 상황의 경우에 직원의 접근을 용이하게 하는 환자로터의 소정 거리를 보장하기 위해, 암의 수평부는 800mm의 최소 링크 오프셋, 즉 제2 및 제4 (R) 조인트의 회전 축선들 간의 소정 최소 거리가 갖는 것이 바람직하다. 기부가 차지하는 공간은 직원이 방해받지 않고 지나가기 위해 요구되는 오프셋을 계산하는 데에 고려되어야 한다는 점을 유념해야 한다.

<31> 바람직하게는, 제4 (R) 조인트의 회전 축선과 제2 (R) 조인트의 회전 축선은 평행하다. 또한, 제4 (R) 조인트의 회전 축선은 제2 (R) 조인트의 회전 축선과 제3 (P) 조인트의 병진 축선에 의해 형성되는 평면과 동일 평면에 있는 것이 바람직하다.

<32> 보다 구체적으로, 바람직한 구성에서, 제4 (R) 조인트는 작동 유닛의 편요 각도를 설정하도록 실질적 수직 축선을 따른 회전 자유도를 제공하며, 제5 (R) 조인트는 작동 유닛의 퍼치 각도를 설정하도록 실질적 수평 축선을 따른 회전 자유도를 제공한다. 물론, 편요 각도는 또한 제2 (R) 조인트의 실제 구성에 의존한다. 따라서, 이 제2 (R) 조인트는 제4 (R) 조인트에 의해 편요 각도를 설정하는 데에 고려된다. 이러한 구성은 매니퓰레이터의 기구학적 구성과 조합하여, 이하의 명세서에서 보다 명백해지는 바와 같이 매니퓰레이터의 특이성을 피할 수 있다. 손목이 암의 수평부에 연결된 지지판과 실질적 L형 지지 부재를 포함하며, 제4 (R) 조인트가 지지 부재의 제1 수평 부분을 지지판에 결합하고, 제5 (R) 조인트가 지지 부재의 제2 수직 부분을 작동 유닛용 연결 수단에

결합하며, 손목은 제4 (R) 조인트의 회전 축선과 제5 (R) 조인트의 회전 축선이 교차점을 갖도록 구성되어 있는 바람직한 실시예에서 단순화한 역기구학 및 개선된 기동성이 달성된다.

<33> 복강경 기구의 로봇 보조식 조작을 위해, 작동 유닛은 바람직하게는, 매니퓰레이터에 수술 기구를 장착하는 수단을 갖는 복강경 기구 액추에이터와, 장착된 수술 기구를 작동시키는 선형 작동 기구를 포함한다. 복강경 기구를 위한 전술한 구성에서, 작동 유닛은 작동 유닛을 손목에 연결하는 메인 지지 프레임과, 복강경 기구 액추에이터를 메인 지지 프레임에 결합하는 제6 회전형 (R) 조인트를 포함하며, 제6 (R) 조인트는 장착된 수술 기구의 롤 각도를 설정하도록, 복강경 기구 액추에이터에 장착된 수술 기구의 길이 방향 축선과 일치하는 축선을 따른 회전 자유도를 제공한다. 이 실시예에서, 제6 (R) 조인트의 회전 축선과 제5 (R) 조인트의 회전 축선은 직교하는 것이 바람직하다. 하지만, 예를 들면 최소 침습 수술 이외의 로봇 시스템의 용례에서는 그러한 축선이 예를 들면 제6 (R) 조인트와 제4 (R) 조인트의 가능한 정렬로 인한 특이성을 방지하기 위해 경사지게 할 수 있다는 점 또한 생각할 수 있다.

<34> 바람직하게는, 매니퓰레이터 손목은 제6 (R) 조인트의 회전 축선과 제4 (R) 조인트의 회전 축선이 복강경 기구 액추에이터의 최대 단면에서의 직경과 대략 동일한 거리만큼 오프셋되도록 구성된다. 이 실시예는 2개의 로봇 매니퓰레이터가 가깝게 위치한 절개부에서 충돌 위험성을 감소시킨 채로 작동할 수 있게 한다.

<35> 외과의사의 햅틱 인터페이스에서 힘을 피드백할 수 있도록, 작동 유닛은 유리하게는 6 자유도(DOF) 힘/토크 센서 및 6 DOF 가속도계를 구비하는 센서 조립체를 포함하며, 이 조립체는 복강경 기구 액추에이터를 제6 (R) 조인트에 연결한다. 이러한 센서 조립체는 복강경 기구 액추에이터의 선 및 각 가속도와 기울기를 측정할 뿐만 아니라, 장착된 기구에 의해 환자의 신체에 가해지는 임의의 힘 또는 토크를 측정할 수 있다. 선 및 각 가속도계는 힘-토크 센서에 대한 중력 및 가속도의 영향을 보상하는 데에 사용된다.

<36> 많은 종래 의료용 로봇 시스템은 힘 피드백이 힘 피드백이 결여되어 있고, 이에 의해 외과의사는 환자의 조직에 가해지는 힘을 인지할 수 없게 된다. 따라서, 외과의사는 단지 그의 움직임의 시각적 피드백에 의존하여 기구와 조직의 상호 작용을 제한할 수 있다. 실제로, 힘 피드백은 복강경 수술용 로봇의 이용에 있어서의 안전성에 상당히 기여한다. 게다가, 촉각적 감지는, 기관을 촉진하는 것, 내시경의 시야 내에 있지 않는 기구로 점성의 기관을 잡는 것, 봉합부에 적절한 장력을 가하고 와이어의 끊어짐을 방지하는 것, 기관에 가해지는 과도한 힘을 검출하고 이에 따라 움직임을 중단 또는 제한하는 것, 트로카 절개부에 가해진 힘을 제한하는 것 등에 관련이 있다. 기구의 팁에 설치되는 소형 6 DOF 힘/토크 센서가 다음 문현에 개시되어 있다. B. Kuebler, U. Seibold, 및 G. Hirzinger, "Development of actuated and sensor integrated forceps for minimally invasive robotic surgery," Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft fur Computer-und Roboterassistierte Chirurgie (CURAC), October 8-9, 2004, Munich, Germany. 이러한 개념은 다수 단점이 있는 데, 그 중에서도 증가된 기구 비용, 멸균에 대한 확고함의 결여, 그리고 전기 구동식 기구가 사용되는 경우에 EMI 차폐 문제와 같은 단점이 있다.

<37> 액추에이터 구조와 관련하여, 제4 (R) 조인트, 제5 (R) 조인트, 및/또는 제6 (R) 조인트는 유리하게는, 모터, 바람직하게는 브러시리스 서보 모터와, 모터의 샤프트에 연결된 입력단을 갖는 기어와, 해당 조인트에 운동을 전달하도록 기어의 출력단에 연결되는 벨트 전동 장치와, 벨트 전동 장치에 연결된 절대 위치 센서를 구비한다. 이러한 구조는 전동 체인의 단부에서 조인트의 고장을 검출할 수 있게 한다.

<38> 매니퓰레이터의 작업 공간 내로 직원의 침해를 검출하기 위해, 각 로봇 매니퓰레이터의 기부는 바람직하게는 레이저 레인지 스캐너(laser range scanner)를 포함한다.

## 실시예

<70> 도 1은 참조 번호 10으로 표시한 일반적 외과 복강경 검사용 의료용 로봇 시스템을 보여준다. 무균 시트를 덮은 환자(P)가 수술대(12)에 누워 있고 그 둘레에 복수의 로봇 매니퓰레이터(robot manipulator, 14)가 배치되어 있다. 도 1의 예에서, 의료용 로봇 시스템(10)은 골반 부위의 시술을 위해 설치된다. 외과의사(S)가 수술용 마스터 콘솔(surgical master console, 15)을 동작시키고, 외과의사 보조원(A)이 수술대(12)에 인접하여, 적응식 복강경 기구(laparoscopic instruments, 18) 세트가 놓인 트레이(16) 가까이에 서 있다. 로봇 매니퓰레이터(14)는 다양한 종류의 복강경 기구(18)를 지원하고 작동 가능하게 작동 유닛을 위치시키고 및 방향 조정하도록 설계된다. 수술 중에, 로봇 매니퓰레이터(14)는 제어 유닛(도시 생략)에 연결된 하나 이상의 수술용 마스터 콘솔(15)을 통해 한 명 이상의 외과의사(S)에 의해 원격 조종(tele-operating)된다. 의료용 로봇 시스템(10)은 외과용 시술의 형태에 따라 일반적으로 5대까지의 매니퓰레이터로, 보통은 2대의 최소 구성으로 된 모듈로 구성

됨을 알 수 있다. 5대의 매니퓰레이터(14)를 포함하는 의료용 로봇 시스템(10')의 구성이 도 2에 예시된다. 도 1에 도시한 시스템(10)은 각각의 로봇 매니퓰레이터(14)의 기부에 위치한 복수의 레이저 레인지 스캐너(laser range scanner, 22)를 구비한다. 이를 레이저 레인지 스캐너(22)는 수술실에서 외과의사 보조원 안전성을 위해 사용된다. 도 3은 의료용 로봇 시스템(10)의 하나의 기계적 유닛을 형성하는 로봇 매니퓰레이터(14)의 3차원도이다. 로봇 매니퓰레이터(14)는 수술실의 바닥에 부착 가능하고 부착되지 않을 때는 이동 가능한 기부(24)에 장착된다. 3개의 좌표계, 즉, 기부, 공구 플랜지(TF: Tool Flange) 및 복강경 기구 팁(LIT: Laparoscopic Instrument Tip) 좌표계 또한 도 3에 도시된다. 도 3에 도시한 것과 같이, 로봇 매니퓰레이터(14)는 매니퓰레이터 암(26)과 매니퓰레이터 손목(wrist, 28)을 포함한다.

<71> 도 4에는 로봇 매니퓰레이터(14)의 주요 부분들이 도시된다. 암(26)은 실질적으로 수직인 수직부(27)와 본질적으로 수평인 수평부(29)를 갖는다. 수직부(27) 상의 암(26)의 일단은 기부(24)에 부착되고, 손목(28)은 암(26)의 제2 단부인 수평부(29)의 말단에 부착된다. 적응식 복강경 기구(18)용 작동 유닛(30)이 손목(28)의 공구 플랜지(32)에 연결된다. 도 3에 화살표로 지시한 것처럼, 암(26)은 3 DOF(Degrees Of Freedom: 자유도)를 갖고 손목(28)은 2 DOF를 갖는다. 따라서, 로봇 매니퓰레이터(14)는 기본적으로 5 DOF 로봇 매니퓰레이터이다. 작동 유닛(30)에 장착된 복강경 기구(18)를 길이방향 축을 중심으로 회전시키기 위한 보조 DOF가 작동 유닛(30)에 의해 제공된다. 로봇 매니퓰레이터(14) 및 작동 유닛(30)의 DOF의 구성은 아래의 도 5의 설명을 통해 더 잘 이해할 수 있을 것이다.

<72> 도 5의 기하학적 모델에 가장 잘 도시된 것과 같이, 암(26)은 프리즘형 활주(P) 조인트( 또는 직선 병진(並進) 조인트)인 제1 조인트(J1)에 의해 기부(24)에 관절 연결된다. 제1 조인트(J1)는 기부 링크(L0)에 의해 기부(24)에 연결되어 본질적으로 수직인 수직 축을 따라 병진 DOF를 제공한다. 따라서 제1 조인트(J1)에 의해, 본질적으로 수직인 제1 수직 링크(L1) 및 이에 부착된 후속하는 요소들이 기부(24) 및 링크(L0)에 대해 수직 위치 조정될 수 있다. 달리 말하면, 조인트(J1)는 수직부(27)의 높이를 결정한다. 회전 관절(revolute joint)인 제2 조인트(J2)가 제1 링크(L1)를 암(26)의 본질적으로 수평인 수평 링크(L2)에 연결한다. 회전 조인트(J2)의 회전축은 본질적으로 수직이다. 조인트(J2)에 의해 링크(L2)와 그 초기 각위치(angular position) 사이의 상대 각도가 수평면 내에 설정될 수 있다. 제3 프리즘형 활주(P) 조인트(J3)가 링크(L2)를 본질적으로 수평인 제3 수평 링크(L3)에 연결한다. 이 활주(P) 조인트(J3)는 본질적으로 수평인 축을 따라 병진 DOF를 제공하여 링크(L2)에 대한 링크(L3)의 수평 변위에 의해 암(26), 더 정확하게는, 수평부(29)의 리치(reach) 또는 연장 범위가 설정될 수 있게 한다. 이를 링크(L2, L3)는 활주(P) 조인트(J3)와 함께 로봇 매니퓰레이터(14)의 본질적으로 수평인 연장 가능한 지브(jib) 또는 봄(boom)을 구성한다.

<73> 도 5에 도시한 바와 같이 배치된 2개의 활주(P) 조인트와 하나의 활주(R) 조인트에 의해, 암(26)은 본질적으로 수직인 축에 대해 1 병진 DOF를 갖고, 2개의 수직 축에 대한 2 병진 DOF가 암(26)에 연계된다. 따라서, 로봇 매니퓰레이터(14)의 암(26)은 원통 형태를 갖는다. 즉, 매니퓰레이터(14)의 기구학적 구성은 프리즘형-회전-프리즘형(PRPR: Prismatic-Revolute-Prismatic) 형태의 원통형 로봇 종류에 속한다. 더 정확히, 3개의 제1 조인트(J1, J2, J3)는 원통 좌표(z, θ, r)에 각기 해당한다. 여기서, z는 승강( 또는 높이) 좌표이고, θ는 회전( 또는 방위각) 좌표이며, r은 방사상 연장( 또는 반경) 좌표이다.

<74> 도 5에 도시한 바와 같이, 손목(28)은 2개의 회전 조인트(J4, J5)를 포함하고, 작동 유닛(30)은 하나의 회전 조인트(J6)를 포함한다. 회전 조인트(J2, J4, J5, J6)는 작동 유닛(30)에 부착된 적응식 복강경 기구(18)의 방향을 각각 결정한다. 회전 조인트(j4)는 링크(L3)를 링크(L4)에 연결하여, 조인트(J2)의 회전축에 평행한 실질적으로 수직인 축을 중심으로 링크(L4)가 후속하는 요소들과 함께 회전할 수 있게 한다. 따라서, 회전 조인트(J4)에 의해, 작동 유닛(30)의 편요 각도(yaw angle)를 조인트(J2)의 실제 설정과 조합하여 설정할 수 있게 된다. 유의할 점으로서, 회전 조인트(J4)의 회전축이 회전 조인트(J2)의 회전축과 프리즘형 조인트(J3)의 병진 축에 의해 형성된 평면과 공면이다. 회전 조인트(J5)는 링크(L4)를 공구 플랜지(32)에 연결하여, 조인트(J4)의 회전축에 수직인 실질적으로 수평인 축을 따라 공구 플랜지(32)가 후속하는 요소들과 함께 회전할 수 있게 한다. 따라서, 회전 조인트(J5)에 의해 작동 유닛(30)의 피치 각(pitch angle)을 설정할 수 있다. 작동 유닛(30)은 링크(L5)를 통해 공구 플랜지(32)에 연결된다. 회전 조인트(J6)의 회전축은 조인트(J5)의 회전축에 실질적으로 수직이고, 링크(L5)를 링크(L6)에 연결한다. 회전 조인트(J6)의 회전축은 링크(L6)와 정렬되어 초기 각위치에 대한 링크(L6)의 상대 각도를 결정한다. 적응식 복강경 기구(18)가 링크(L6)에 연결된다. 링크(L7)로 표현한 검사 기구(18)는 링크(L6)와 정렬된다. 링크(L7)의 끝점은 검사 기구 팁(17)을 나타낸다.

<75> 매니퓰레이터(26)의 원통형 PRP 기구학적 구성은 아래와 같은 여러 가지 장점을 갖는다.

- <76> - 수술대 위의 매니퓰레이터 구조체가 점유하는 공간이 비교적 작음
- <77> - 매니퓰레이터 기부가 (800m의 수평부(29)의 최소 링크 오프셋에 의해) 수술대로부터 충분한 거리를 두고 있어 외과의사가 수술대에 용이하게 접근하고 환자를 용이하게 수술대로 또는 그로부터 옮길 수 있음
- <78> - 용이하고 신속한 매니퓰레이터 상호 충돌 감지 연산
- <79> 이와 같은 여러 가지 특징은 다음 설명으로부터 더 잘 이해할 수 있다.
- <80> 로봇 매니퓰레이터 암(26)의 선택된 PRP 기구학적 구성에 따른 장점은 수술대(12)(도 1 및 도 2) 둘레에 작업 공간이 교차하도록 배치된 복수의 매니퓰레이터(14) 사이의 충돌 감지 연산의 단순화이다. 원통형 구성에 따라, 로봇 매니퓰레이터(14)는 2차원(2-D) 수평면 내의 단순한 평면적인 기하학적 형태로 근사 처리(approximation)될 수 있다. 도 6에 가장 잘 도시한 것과 같이, 암(26)의 기계적 링크는 J3+J2+L3 및 J2에 각각 해당하는 길이와 방향이 가변되는 직사각형으로 둘러싸일 수 있다. 여기서, 직사각형 운동범위(envelope)의 폭은 기계적 링크의 기하학적 형상에 허용범위(마진)를 더해서 정해지며, 이 허용범위는 예컨대 로봇을 최대 속력으로부터 정지 제동하는데 필요한 공간과 이에 더한 안전역치(safety threshold)를 따른 것이다. 직사각형 운동범위의 각 측면의 허용범위는 동작의 방향과 속력에 따라 동적으로 결정한다. 즉, 운동범위의 변 방향의 속도가 클수록 이 운동범위의 변에 대한 허용범위가 크게 된다. 손목(28)은 링크(L4)의 본체와 링크(L5)의 부분을 둘러싸면서 조인트(J4)의 현재 각위치에 의해 정해지는 가변 공간 방향을 갖는 직사각형 운동범위에 의해 근사 처리된다. 마찬가지로, 작동 유닛(30)은 2-D 수평면에 대한 투사되고 투사각이 조인트(J5)의 현재 각위치에 해당하는 직사각형 운동범위에 의해 근사 처리될 수 있다. 동일한 원리가 작동 유닛(30)에 연결된 검사 기구(18)의 스템에 적용된다. 그와 같은 단순한 기하학적 2차원 형태에 의해, 라인 교차에 기초한 충돌 감지를 위한 간단하고도 효율적인 알고리즘을 수립할 수 있다. 제1 단계로, 충돌 감지 방법은 2D 수평 투사에서 충돌 여부를 조사한다. 이를 2D 형태 중에서 하나라도 다른 로봇 매니퓰레이터(14)의 형상과 충돌하는 경우에만, 실제 충돌의 유효 위험이 3차원을 포함하여 실질적으로 검증된다. 따라서 3D 연산은 로봇 매니퓰레이터(14)의 관련 부분의 교차면에 대해서만 수행할 필요가 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 3D 연산에서, 관련 부분은 예컨대 삼각형 기반 모델(triangular based model)로 둘러싸인다. 그 결과, 다음 논문에서 제안되는 것과 같은 신속 교차 검출 알고리즘을 용이하게 구성할 수 있다. Moller, "A Fast Triangle-Triangle Intersection Test," Journal of Graphics Tools, 2(2), 1997. 실제로, 이를 검사 기구(18)의 스템 사이의 충돌 검출은 동력 기구로부터 내시경(endoscope)을 보호하기에 특히 적절하다.
- <81> 로봇 매니퓰레이터(14) 사이의 충돌 검출의 정밀한 결과를 위해, 공통 참조 좌표계(common reference coordinate system)에 대한 모든 로봇 매니퓰레이터(14)의 위치와 방향이 수술실 내의 매니퓰레이터(14)의 위치 조정 이후에 교정절차(calibration procedure)를 통해 결정된다. 기능상의 관점에서, 충돌 위험 검출 이후에, 제어 시스템은 관련 매니퓰레이터(14)를 정지시키고 마스터 콘솔(150) 상의 적절한 정보 표시 및/또는 카드뮴 피드백을 통해 외과의사(S)에게 경고해야 한다. 그러면 외과의사(S)는 매니퓰레이터들 중의 하나를 안전한 방향으로 원격 조종하여 간단하게 복구할 수 있다. 다른 실시예로서, 각각의 부분들의 세트들, 예컨대, 암(26), 손목(28), 작동 유닛(30) 및 검사 기구(18) 중의 적어도 하나에 대해 서로 다른 허용범위를 갖는 2 이상의 운동범위를 이용하여 몇 가지 충돌 안전 레벨을 달성할 수 있다. 더욱 둘출한 운동범위에서 충돌 위험이 감지된 후에는 외과의사(S)가 충돌 방향으로 지시한 동작에서 허용범위 영역 내의 투입의 기능은 급격히 감소한다.
- <82> 암(26)의 구성과 관련된 다른 장점은 조인트(J1, J2, J3)에 연관된 액추에이터의 개선된 제어 능력이다. 다른 부류의 로봇(예컨대 극좌표 또는 관절 로봇)과 비교할 때, 암 구성에 따라, J1, J2, J3 및 J4가 변화하는 중력 하중을 받지 않을 뿐만 아니라 J1, J3 및 J5는 변화하는 관성 하중을 갖지 않기 때문에 이를 액추에이터의 제어는 개선된다. 이에 따라, 제어 루프(예컨대, 피드포워드를 갖는 PID)의 최적화가 가능해지고, 매우 낮은 위치 동역학 추적 오차(position dynamics tracking error), 예컨대, 더 작은 모터 인코더 계수를 달성할 수 있다. 설명한 장점 이외에, 기계설계에서는 조인트(J1, J2) 중의 적어도 하나가 급작스런 동작을 하는 경우 편향과 진동을 제한하도록 링크(L2, L3)를 위한 강건하지만 경량의 구조체를 고려해야 한다.
- <83> 로봇 매니퓰레이터(14)의 기하학적 형상에 따른 다른 2가지 장점에 대해 언급한다. 첫 번째, 매니퓰레이터 기부(24)가 수술대(12)로부터 충분한 거리(예컨대, 600mm 이상)를 두고 배치되고 암(26)이 (브레이크가 해제되어) 조인트(J2)를 중심으로 대기 위치로 수동 회전될 수 있도록 설계되므로, 외과의사(S)는 인서플레이션(insufflation), 해부학적 장기 절제(anatomic organ removal) 및 최종 봉합 등의 수작업을 위해 수술대(12)에 쉽사리 신속하게 접근할 수 있다. 또한, 환자(P)를 수술대(12)로 또는 그로부터 신속하게 옮길 수 있다. 두 번째로, SCARA 기하학이 예컨대 일정한 수평 위치에 도달하도록 유사한 길이의 2개의 공면 링크를 연결하는 팔

꿈치 회전 조인트(elbow rotation joint)를 갖는 상표명 ZEUS로 알려진 매니퓰레이터 암에 사용되는 것에 비해, 매니퓰레이터(14)의 원통형 구성은 손목(28)을 환자(P)의 신체 위로 배치하는데 필요한 공간을 상당히 감소시키는 단일의 방사상 연장 조인트(J3)를 갖는다. 도 6에 도시한 것과 같이, 이 형태에 따라, 환자 신체 위의 이용 가능한 작업 공간 내에 충분히 포함되는 공간만을 차지하도록 손목과 작동 유닛의 치수가 충분히 작아서, 5개 이상의 매니퓰레이터(14)가 수술대(12)에 배치될 수 있다.

<84> 후속하는 단락에서는 도 7 내지 도 15를 참조하여 로봇 매니퓰레이터(14)의 구성을 더 상세히 설명한다.

<85> 도 7은 기부(24)의 몇 가지 형태를 보여준다. 기부(24)는 주 바닥판(40)을 포함하며, 주 바닥판(40) 코너의 개구들에 설치된 네 개의 훨(42)에 의해 이동 가능한 구조로 구성된다. 각각의 훨(42)은 훨을 인출 또는 인입하는 핸들에 접근하기 위한 개구가 있는 커버(43)로 둘러싸여 있다. 훨(42)이 인입된 때에, 기부(24)는 훨(42)의 쿠션 지지체(도시 생략)에 의해 수술실의 바닥에 안착된다. 훨(42)이 인출된 후에, 로봇 매니퓰레이터(14)를 포함하는 기부(24)는 손으로 이동될 수 있다. 다른 설계에서는 기부(24)가 이동 가능한 또는 고정형 선형 레일 축에 장착되거나, 몇몇 기부(24)를 지지하고 매니퓰레이터(14)에 연계된 카트에 장착될 수 있다. 주 바닥판(40)은 필요한 경우 로봇 매니퓰레이터(14)에 추가의 안정성을 부여하기 위해 예컨대 구멍(44)을 이용한 나사 결합에 의해 고정될 수 있도록 설계된다. 로봇 매니퓰레이터(14)는 나사 구멍(45) 내의 볼트 삽입을 통해 기부(24)에 부착된다. 바닥판(40)에는 몇 개의 고정밀 보어(46)가 가공된다. 이들 보어(46)는 "Robot calibration[R. Bernhardt and S. Albright, Chapman & Hall 발행, 1993]"에 기재된 것과 같이 광학 측정 시스템에 의해 기부(24)의 위치와 방향을 결정하도록 사용되는 광학 교정 리플렉터를 지지하는 역할을 한다. 기하학적 모델을 정밀하게 결정하기 위해 로봇 매니퓰레이터(14)는 공장 초기화 과정(factory set-up procedure) 중에 교정되는 것에 유의한다. 또한, 기부는 브러시리스 모터의 전원 공급 장치 및 서보 드라이브(servo-drive), 신호 조정 장치, 암 장착 센서들의 국부적 처리 수단 및 원격 시스템 제어 유닛에 대한 통신 채널을 위한 외장물(enclosure, 48)을 포함한다. 도 1에 도시되고 도 8에 가장 잘 도시한 것과 같이, 예컨대 보조원(A)이 링크(L2, L3) 둘레의 안전 경계선 내에 침입하는 것을 감지할 수 있도록 2D 레이저 레인지 스캐너(22)가 기부(24), 더 정확히는 외장물(48)에 설치된다.

<86> 일반적으로 서로 다른 2개 형태의 로봇 매니퓰레이터(14)가 의료용 로봇 시스템(10)에 사용되는 것에 유의한다. 비록 2개 형태의 로봇 매니퓰레이터(14)가 본질적으로 동일한 기하학적-기구학적 PRP 구성의 암(26)을 갖지만, 제1 형태는 구체적으로는 시각화에 사용되는 내시경을 다루도록 구성됨이 좋고, 그에 비해 제2 형태는 그 자체로 동작에 사용되는 다양한 종류의 적응식 복강경 기구(18)를 다루도록 구성된다. 복강경 검사를 위해, 제1 형태의 로봇 매니퓰레이터(14)는 하나가 사용됨이 보통이지만, 제2 형태의 로봇 매니퓰레이터(14)는 여러 개가 사용된다. 의료용 로봇 시스템(10)에서, 2개 형태의 로봇 매니퓰레이터(14) 사이의 주요 차이점은 다음과 같다.

<87> - 내시경 매니퓰레이터가 (검사 목적으로) 접근 포트 둘레로  $360^{\circ}$  회전을 요하므로 그에 대한 조인트(J3)의 왕복운동이 더 길다(약 750mm).

<88> - 내시경 매니퓰레이터가 접근 포트 둘레로  $360^{\circ}$  회전을 요하므로 그에 대한 조인트(J4)의 왕복운동이 무한이다. 이는 J4 축 상에 신호 수집기를 사용하여 달성한다.

<89> - 조인트(J6)는 내시경 매니퓰레이터에 필요하지 않다. 즉, 내시경이 조인트(J5)에 직접 부착될 수 있다.

<90> - 내시경 매니퓰레이터의 작동 유닛(30)은 내시경 및 여분의 힘(extra forces)을 검출하는 힘/토크 센서로 이루어지는 것이 보통이다.

<91> - 모든 조인트에 대한 속력/가속 요건은 내시경만을 위한 위치 조정 능력을 요하므로 내시경 매니퓰레이터에 비해 최소 60%만큼 낮다.

<92> 이러한 차이점을 고려하여, 제2 형태 로봇 매니퓰레이터(14)에 대해 기재하는데, 이는 제2 형태가 더욱 엄격한 설계 요건을 갖기 때문이다.

<93> 도 9를 참조하여, 각각의 액추에이터를 포함하는 액추에이터 암(26)의 조인트(J1-J3)의 구성에 관한 세부사항을 아래에 기재한다.

<94> 연계된 선형 액추에이터로서, 암 승강을 위한 (P) 조인트(J1)는 볼 스크루 선형 축(50)을 포함하며, 적절한 모델의 예로는 Parker Hannifin(영국, Germany & Poole, Offenburg)의 전기기계 부문(Electro-Mechanical Division)에서 제조되는 ET 시리즈가 있다. 이 볼 스크루 선형 축(50)은 증가형 모터 위치 인코더(incremental motor position encoder) 및 브레이크가 구비된 브러시리스 서보 모터(51)에 의해 구동된다. 선형 축(50)은 추

가의 절대 선형 위치 센서(도시 생략)를 출력단에 추가로 구비하고, 리미트 스위치들과 기계식 왕복운동 끝 범퍼(end-of-travel bumper)(도시 생략)를 추가로 구비한다. 축의 직선성과 뒤틀림 강성(torsion stiffness)을 보장하기 위해 수직 선형 가이드(52)가 선형 축(50)에 동작 연계된다. 암(26)을 기부(24)에 장착하기 위해 선형 축(50)이 브래킷(53)에 부착된다. 신호선 및 전력선은 조인트(J1)의 커버 안쪽의 수직 케이블 채널(도시 생략) 내에서 안내된다. 외부 커버(54)가 도 3에 가장 잘 도시된 프리즘형(P) 조인트(J1)의 요소들을 둘러싼다. 조인트(J1)의 액추에이터 조립체에 관해서, 모터 브레이크가 풀리거나 서보 모터(51)에 동력이 공급되지 않을 때 수평부(29)의 원치 않는 추락을 방지하도록 모터/하중 감속비가 설정되는 것에 유의한다. 또한, 외부 커버(54)에는 비상시 모든 로봇 조인트의 동작을 정지시키게 되는 비상 정지 버튼(도시 생략)이 배치된다. 도 9에 도시한 바와 같이, 매니퓰레이터 암(26)의 전술한 요소들은 본질적으로 수직부(27)를 구성한다.

<95> 도 9에는 암(26)의 어깨 조인트를 구성하는 (R) 조인트(J2)도 역시 도시된다. 도 10에 가장 잘 도시된 것과 같이, 조인트(J2)는 하중을 구동하도록 Harmonic Drive[#등록상표] 형태의 기어(62)가 인라인으로 구비된 브러시리스 서보 모터(61)의 조립체를 구비한다. 브러시리스 모터(61)에는 위치 인코더 및 고장 안전 브레이크(fail-safe brake)가 구비된다. 또한, 액추에이터 조립체는 추가의 회전 위치 센서(65)를 구비하며, 이 센서(65)는 기어(62)의 출력단에 연결된 벨트(66)에 의해 구동되는 추가의 절대 회전 위치 센서(65), 기계식 왕복운동 끝 범퍼 및 리미트 스위치들(도시 생략)을 포함한다. 조인트(J2, J3, J4, J5, J6)의 각각의 모터에 동력이 공급되지 않을 때 해당 브레이크를 풀을 수 있는 키 스위치(도시 생략)가 커버(64)에 제공된다. 이렇게 하면, 암(26)과 작동 유닛(30)을 수동으로 대기 위치로 이동시킬 수 있다. 하류 조인트(J3-J6) 및 작동 유닛(30)으로부터의 신호 및 동력 케이블들은 커버(64) 내부를 통과하는 가요성 케이블 덕트(도시 생략)를 통해 J3로부터 J1로 안내된다. 이와 달리, 해당 케이블들은 예컨대 적합한 기어와 모터 조립체의 중공형 샤프트를 통해 안내될 수 있다.

<96> 또한 도 9는 수평부(29)의 방사상 연장 범위, 즉, 리치를 설정하기 위한 (P) 조인트(J3)를 포함하는 암(26)의 수평부(29)의 설계를 보여준다. 조인트(J3)는 연관된 선형 액추에이터로서 예컨대 볼 스크루 선형 축인 선형 실린더 축(70)을 포함한다. 예컨대, 모터 위치 인코더 및 고장 안전 브레이크를 구비한 브러시리스 서보 모터(71)에 의해 구동되는 ET 모델 액추에이터(전술한 회사에서 제조됨)가 사용된다. 선형 실린더 축(70)의 로드는 선형 가이드(73)의 트롤리에 장착된 직사각형 관 형상의 빔(72)을 이동시킨다. 이 구성에 따라 선형 편향을 감소시킬 수 있다. 선형 실린더 축(70)에는 추가의 절대 선형 위치 센서가 출력단에 더 제공되고, 리미트 스위치들과 실행 끝(end of run) 기계식 범퍼들(도시 생략)이 더 제공된다. 신호 및 전력선들이 수평으로 배치된 케이블 채인 내에 안내된다. 커버링(74)이 제2 링크(L2)를 형성하는 부분들에 고정되어 (P) 조인트(J3)의 요소들, 특히, 선형 액추에이터(70)와 선형 가이드(73)를 둘러싼다. 따라서 암(26)에는 말단이 좁아지는 수평부(29)가 제공되어 환자(P) 위쪽의 한정된 공간만을 필요로 하게 된다. 또한, 동력과 작동 상태를 시각적으로 표시하도록 커버링(74)의 후상부에 램프들이 제공되면 좋다.

<97> 도 11 내지 도 13을 참조하여, 손목(28)과 더 구체적으로는 조인트(J4, J5)를 상세히 후술한다.

<98> 도 11 내지 도 13에 도시한 (R) 조인트(J4)의 기계적 작동 설계에 따르면, 브러시리스 서보 모터(81)가 수직으로 지지판(80)에 장착된다. 서보 모터(81)의 모터 샤프트에 위치 인코더(82)와 홀 센서가 제공된다. 서보 모터(81)로서 예컨대 MAXON MOTOR AG(스위스, Sachseln)에서 입수 가능한 EC 모터 시리즈의 적절한 모델이 사용된다. (R) 조인트(J4)는 기어(83)를 통해 서보 모터(81)에 결합되고, 연결 플랜지(87)에 결합된 하중 축 풀리(86)를 전동 벨트(84) 및 풀리(85)의 벨트-풀리 시스템을 통해 구동하는 전동 메커니즘을 더 포함한다. 역시 전동 벨트(84)에 의해 구동되는 풀리(89)에 연결된 추가의 절대 단일 회전 센서(88)가 지지판(80)의 바닥면에 부착된다. 케이블들을 조인트(J5)로부터 조인트(J4)로 용이하게 안내하기 위해, 하중 축 풀리(86)와 연결 플랜지(87)를 포함하는 조립체는 연결 플랜지(87) 상에 중공형 샤프트와 측면 창을 갖는다. 지지판(80)은 2개의 장착판(90)에 의해 빔(72)에 견고하게 부착된다. 도 14에 도시한 것과 같이, 커버(92)는 조인트(J4)의 부분들을 보호하게 된다. 커버 내부의, 작동 유닛(30)과 조인트(J5, J4)로부터 나온 케이블들에는 커넥터가 제공되어 유지보수를 위해 손목(28)을 분리할 수 있다. 조인트(J4)의 커버(92)에 비상 정지 버튼이 제공된다. 고장 안전 브레이크가 서보 모터(81)의 샤프트에 장착되면 좋다. 다중 로봇 구성의 제한 인자가 될 수 있는 측방향 오프셋(01)을 감소시키기 위해, 모터는 하중 축 풀리(86) 및 센서(88)의 축과 정렬될 수도 있다. 이 경우, 지지판(80)은 하중 축 풀리(86) 둘레로 둑근 가장자리를 가지면 좋다.

<99> (R) 조인트(J5)의 기계적 작동 설계는 또한 도 11 내지 도 13에 더 상세히 도시된다. 본질적으로 L자형 지지부재(100)는 조인트(J5)를 조인트(J4)에 연결하는데, 수평부가 조인트(J4)에 연결되고 수직부가 조인트(J5)를 위한 고정 프레임이다. 예컨대 MAXON MOTOR AG의 적절한 EC 모델인 브러시리스 서보 모터(101)는 위치 인코더

(102)와 홀 센서가 모터 샤프트에 배치된다. 도 13에 도시한 것과 같이, 서보 모터(101)는 지지 부재(100)에 측방향으로 장착된다. 도 12와 도 13에 도시한 것과 같이, (R) 조인트(J5)는 기어(103)를 통해 모터(101)에 결합된 전동 메커니즘, 그리고 하중 축 풀리(106)를 구동하도록 전동 벨트(104) 및 풀리(105)의 벨트-풀리 시스템을 더 포함한다. 또한 전동 벨트(104)에 의해 구동되는 풀리(109)에 연결된 추가의 절대 단일 회전 센서(108)가 지지 부재(100)의 내측면에 부착된다. 케이블들을 작동 유닛(30)으로부터 조인트(J4)로 용이하게 안내하기 위해, 다수의 요소들이 포함된다. 이들은 지지 부재(100)에 제공된 2개의 구멍(110, 112), 풀리(106) 내의 중공형 중심 통로(114), 및 풀리(106)를 위한 케이블 안내 지지체(116)이다. L자형 지지 부재(100)는 공구 플랜지(32)를 통해 작동 유닛(30)을 지지하기 위한 견고한 구조체를 제공하도록 측방향 보강부를 갖는다. 필요한 경우, (R) 조인트(J5)는 리미트 스위치들과 고장 안전 브레이크(도시 생략)를 포함하면 좋다. 이들 요소가 제공되는 경우, 다중 로봇 구성에서 제한 인자가 될 수 있는 측방향 오프셋(O2)을 감소시키기 위해 전동 벨트(104)에 의해 구동되는 풀리에 장착되면 좋다.

<100> 도 14와 도 15는 조인트(J5)의 공구 플랜지(32)에 연결되도록 설계되고 3개의 주요부로 된 작동 유닛(30)을 보여준다. 이들 3개의 주요부는 복강경 기구 액추에이터(120), 6 DOF 힘/토크 센서 및 6 DOF 선형/각 가속도계를 포함하는 센서 조립체(122), 및 조인트(J6)용 커버(124)이다. 조인트(J6)는 센서 조립체(122)에 연결된다. 복강경 기구 액추에이터(120)에는 적응식 복강경 기구(18)를 로봇 매니퓰레이터(14)에 장착하기 위한 시트(130)가 제공된다.

<101> 간략화를 위해, 복강경 기구 액추에이터(120)는 약어(두문자어) LIA로, 그리고 힘, 토크 및 가속도 측정 센서들을 포함하는 센서 조립체(122)는 약어 FTAS로 기재할 수 있다. 작동 유닛(30)의 요소들은 조인트(J6)가 적응식 복강경 기구(18)를 그 길이 방향 대칭축을 중심으로 회전시키고 이 축이 FTAS(122)의 법선 Z 축과 일치하도록 정렬된다. (R) 조인트(J5)의 회전축에 대한 작동 유닛(30)의 위치는 조인트(J5)가 정지되어 동력이 공급되지 않을 때 기울어짐(tilting)을 피하도록 작동 유닛(30)의 평형점으로 선택된다. 따라서, 손목(28)에 연결된 작동 유닛(30)의 주 지지 프레임(140)은 조립된 작동 유닛(30)이 (R) 조인트(J5)의 회전축 상에서 평형을 이루도록 구성된다. 조인트(J5)에 대한 모터/하중 감속비는 기울어짐 저항에도 역시 기여한다.

<102> 도 15는 조인트(J6)의 구성을 보여준다. [공구 플랜지(32)에 연결될] 주 지지 프레임(140)에는 증가형 인코더(142)와 기어 조립체(143)가 있는 브러시리스 모터(141)가 장착된다. 모터(141)에 연결된 모터 풀리(145)가 벨트(144)에 의해 하중 풀리(146)에 결합된다. 하중 풀리(146)는 조인트(J6)의 회전 DOF를 제공한다. 추가의 절대 위치 센서(148)가 (R) 조인트(J6)의 축과 일치하는 하중 풀리(146)의 축 상에 장착된다. 위치 인코더(148)는 LIA(120)와 FTAS(122)의 신호 및 동력선들이 "슬립 링(slip ring)" 또는 활주 접촉 형태의 회전 수집기(150)로 통과하는 중공형 샤프트를 갖는다. 이 슬립 링(150)에 의해, 조인트(J6)에 대한 무한 축 회전을 할 수 있다. 하중 풀리(146)는 연결 플랜지(152)를 통해 FTAS(122)에 연결된다. LIA(120)와 FTAS(122)를 위한 동력 및 신호선들을 위한 케이블들이 연결 플랜지(152) 내의 중공 통로를 통해 커버(124) 내에서 안내된다. 로봇 매니퓰레이터(14) 전체에는 예컨대 LIA(120) 및 FTAS(122)를 비롯한 조인트(J1-J6) 및 작동 유닛(30) 요소들의 모든 신호 및 동력선들의 보호 안내를 보장하도록 내부 채널들이 제공됨을 알 수 있다. 다른 실시예(도시 생략)로서, 조인트(J6)의 구성은 다음과 같이 2가지가 변형된다. 첫째, 모터-기어-풀리 조립체(141, 143, 144, 145)를 도 15에 도시한 방향에 대해  $-90^\circ$ 로 위치시킴으로써 오프셋(O3)을 감소시킨다. 둘째, 모터-기어 조립체(141, 143)를 LIA(120)에 인접 배치되도록 구성함으로써 오프셋(O4)을 감소시킨다.

<103> 조인트(J4, J5)의 회전축들은 설명한 실시예에서 공간 내의 동일 지점에서 교차함을 알 수 있다. 그에 따라, 링크(L5)에 의해 야기되는 잠재적인 오프셋이 제거된다.

<104> 도 23과 도 24에 도시한 것과 같이, 하지만 대체 설계는 예컨대 2개의 적응식 복강경 기구(18)가 인접 배치된 보수의 투관침(trocår)[접근 포트(20)]에 삽입되어야 하는 경우 조종성능을 개선하기 위해 링크(L5)에 따른 오프셋(O5)을 도입할 수 있다. 예컨대, 도 23과 도 24에 도시된 특정 설계는 링크(L)에 따른 음의 오프셋(O5)을 갖는 변형된 매니퓰레이터 손목(28')을 제공한다. 이 음의 오프셋(O5)에 의해 제1 로봇 매니퓰레이터(14)의 작동 유닛(30)을 손목(28') 사이의 충돌 없이 제2 로봇 매니퓰레이터(140)의 작동 유닛(30) 위에 배치할 수 있다. 하지만 이러한 변형된 구성은 조인트(J3)를 위한 리치 증가와 조인트(J2, J3, J4)를 위한 속력 및 가속 능력 증가를 요한다. 도 24에서 알 수 있는 것과 같이, 손목(28')의 구성은 다중의 인접 배치된 접근 포트(20)[투관침(200)]을 제어하기에 유리하다. 도 23에 도시한 것과 같은 J6과 J4의 회전축 사이의 오프셋(O5)의 바람직한 값이 LIA(120)의 최대 단면의 직경에 비슷함을 알 수 있다.

<105> 로봇 매니퓰레이터(14)와 그 요소들의 설계에 관한 몇 가지 다른 특징과 장점을 후술한다.

- <106> 손목(28)과 작동 유닛(30)을 위해 사용되는 전동 메커니즘 및 모터의 전술한 구성에 관해서, 예컨대 케이블과 풀리를 전동 수단으로 사용하거나 토크 모터가 있는 콤팩트한 기어-모터-브레이크 조립체들을 사용하는 다른 구성도 역시 가능하다. 하지만 전동 메커니즘인 케이블과 풀리는 구현과 유지보수가 더 어려운 반면, 토크 모터에 기초한 조립체들은 일반적으로 덜 콤팩트하다. 기재한 시스템의 안전성을 위해, 비상 정지의 경우 모터(51, 61, 71, 81, 101, 141)를 정지시킬 수 있는 '동적 브레이크' 기능을 갖는 서보 드라이브들이 선택되었다. 로봇 매니퓰레이터(14)의 외부 커버는 적절한 세척 가능한 플라스틱 재료로 만들어지고 일부 알루미늄으로 될 수 있지만, 모든 외부 도체부들은 전기 접지에 연결된다. 모든 내부 요소들은 수신 및 방사와 관련된 EMI로부터 차폐된다. 수술실 내의 살균과 관련하여, 로봇 매니퓰레이터(14)를 완전히, 즉, 작동 유닛(30)으로부터 기부(24)까지 덜도록 무균 비닐봉지를 사용하는 것이 보통이다.
- <107> 작동과 관련하여, 전술한 로봇 매니퓰레이터(14)의 설계는 추가적인 2가지 장점을 나타낸다. 첫째, 로봇 매니퓰레이터(14)의 조인트들은 높은 정적 마찰 및 역 관성(reversed inertia)을 나타내는 조인트(J1)를 제외하고는 수동으로 작동될 수 있다. 다시 말하면, 모든 브레이크가 풀렸을 때, 플랜지(32)가 손목(28)에 장착된 작동 유닛(30)은 (수평 방향으로) 5kg 미만의 미는 힘만으로도 조인트(J2, J3, J4, J5, J6)를 수동 작동시켜 손으로 움직일 수 있다. 둘째, 시스템 안정성은 센서 중복(sensory redundancy)에 의해 증가된다. 전술한 바와 같이, 각각의 조인트(J1-J6)는 모터 샤프트 상의 위치 인코더와, 각각의 조인트의 유효 동작 출력을 측정하는 추가의 위치 센서(예컨대, 65, 88, 108, 148)를 갖는다. 실제로, 이 센서 중복은 (예컨대, 모터 라인, 벨트 또는 서보 드라이브의) 고장을 검출하는데 사용된다.
- <108> 또한, 설계는 각각의 조인트(J1-J6)에서 실행 끝 조건을 피한다. 실행 끝은 조인트가 동작 한계를 벗어날 때 발생하며, 구체적으로는 원격 조종되는 로봇 수술에서의 임계 조건이다. 이는 외과의사(S)가 환자(P)의 신체에 삽입된 검사 기구(18)를 복구시키기가 어렵고 부담스럽기 때문이다. 실행 끝 조건을 피하기 위해, 암(26)의 프리즘형 조인트(J1, J3)는 충분한 왕복운동을 하도록 설계되고, 작동 유닛(30)의 롤 조인트(J6)는 무제한 회전하도록 설계된다. 그 결과, 실행 끝 조건의 회피는 일정한 미리 정해진 초기 구성과 설정 조건들만을 중시하면 된다.
- <109> 도 16은 환자(P) 신체 외부의 투관침(200)과 그 작업 공간(202)을 개략적으로 보여준다. 도 16에는 데카르트 좌표계(x, y, z)에 의한 FRF(Fulcrum Reference Frame: 지점 참조 프레임)도 역시 도시되는데, z 축은 중력 방향에 대체로 평행한 상향이다. 투관침(200)은 204로 표시한 환자(P)의 복부의 작은 절개부를 통해 복강 안으로 삽입되는 것이 보통이다. 투관침(200)은 절개부와 함께 도 1과 도 2에 도시한 것과 같은 접근 포트(20)를 형성한다. 수술을 수행해야 할 장기 또는 부위에 도달하기 위해, z'로 표시한 투관침(200)의 길이방향 축을 FRF의 원점, 즉, 피벗점(206)을 중심으로 작업 공간(202) 내에서 피벗시킨다. 다시 말해서, 이 원점은 투관침(200)을 위한 지점(fulcrum)을 형성한다. 지점은 투관침(200)을 인출할 위험을 줄이기 위해 환자(P)의 복벽과 피부 사이에서, 미러 기울어짐 저항 위치(mirror tilting resistance location)에 결정됨이 바람직하다.
- <110> 다음의 최대 힘과 토크 범위가 변형된 복강경 기구의 핸들에 배치된 6DOF 힘/토크 센서에서 실험적으로 기록되었다. 참조문헌: J. Rosen 등, "Surgeon-Tool Force/Torque Signatures - Evaluation of Surgical Skills in Minimally Invasive Surgery," Proceedings of Medicine Meets Virtual REality, MMVR-7, IOS Press, San Francisco, CA, 1999년 1월.
- <111> 힘:  $F_x, F_y = \pm 10N; F_z = \pm 30N$
- <112> 모멘트:  $M_x, M_y = \pm 1Nm; M_z = \pm 0.1Nm$
- <113> 여기서,  $F_i$ 는 해당 축( $i = x, y$  또는  $z$ )을 따른 힘을 나타내고,  $M_i$ 는 도 16의 FRF의 해당 축( $i = x, y$  또는  $z$ ) 둘레의 모멘트를 나타낸다. FTAS(122) 내의 힘-토크 센서의 동작 범위는 이를  $\pm$ 과 함께 LIA(120)의 중량, 운동 동역학 하중(motion dynamics load), 및 투관침(200)에 가해지는 피벗 및 투입 저항을 고려해야 한다. 실제로, FTAS(122) 내의 힘/토크 센서는 외과의사(S)에 의해 제어되는 햅틱 인터페이스(haptic interface)로의 힘/토크 반향(reflection), 즉, 힘/토크 피드백을 위해 사용된다. 또한, FTAS(122)의 힘/토크 센서는 FTAS(122)를 조이스틱으로 사용하여 작동 유닛(30)을 수동으로 구동하기 위해, 그리고 작동 유닛(30)에 연결된 검사 기구(18)와 상호 작용하는 힘/토크, 예컨대, 검사 기구(18)의 팁 또는 도 4의 피벗점(206)의 힘/토크를 감시하기 위해 사용된다. FTAS(122) 내의 선형 및 방사상 가속도계는 힘-토크 센서 정보의 중력 및 가속 영향을 연산하기 위해 사용된다. FTAS(122) 내의 가속도계 및 힘-토크 센서의 측정 축들은 기하학적으로 서로 일치한다.
- <114> 수술 중에, 투관침(200)을 통해 복강경 기구(18)를 삽입한다. 대부분의 수술 절차에서, 외과의사(S)는 도 16의

FRF에 대해 아래의 최대 범위의 각도 작동 공간과 속력 내에서 검사 기구(18)를 조종한다.

<115> [표 1]

| 지점(fulcrum) 축 | 최대 왕복운동        | 최대 속도   |
|---------------|----------------|---------|
| 편요 피벗         | +/-70°         | 100° /s |
| 피치 피벗         | [+10° -80° ]   | 60° /s  |
| 투입            | [0 200mm]      | 200mm/s |
| 구름(roll)      | [-360° +360° ] | 300° /s |

<117> 일부 종래기술의 로봇 매니퓰레이터의 설계와 구성에 있어서, 투관침(200)의 피벗점은 고정점 둘레로 피벗하는 손목 구조체의 기계적 구성에 의해 손목 설치 이후에 고정 상태를 유지하며, 그 예로서 "Remote center of motion robot" [Taylor et al., 미국특허 제5667323호, 1995년 5월]을 참고한다. 다른 종래기술의 설계는 투관침에 가해지는 힘을 제한하기 위해 피벗 축들을 따라 기계적 컴플라이언스(mechanical compliance)를 가하며, 그 예로서 "Medical robotic system" [Wang et al., 미국특허 제6102850호, 2000년 8월]을 참고한다. 이에 반해, 본 명세서에서 제안된 로봇 매니퓰레이터는 기계적 컴플라이언스나 운동 중심이 없이 설계되지만, 특정한 절차에 의해 결정되는 피벗점(206)을 중심으로 한 정밀 분석된 운동과, 피벗점(206)의 위치를 최적화하기 위해 작동 유닛(30)에 가해지는 힘과 토크의 실시간 제어에 의존한다. 더욱이, 이 형태는 복부내(intra-abdominal) 작업 공간을 개선하기 위해, 외과의사(S)가 요구하는 경우, 피벗점(206)을 병진하는 가요성을 제공한다. 다른 장점으로는 예컨대 복부 압력의 손실에 따른 피벗점(206)의 절대 위치의 변동에 적응하는 능력이 있다.

<118> 로봇 매니퓰레이터(14)는 외과의사에 의한 복강경 기구의 수동 조종에 비교할 만큼 민첩한 작동 유닛(30)을 제공하기 위해 일정한 운동 능력을 가져야 하는 것을 알 수 있다. 표 1에 주어진 운동 조건에 기초하여, 구체적인 예에서 조인트(J1-J6)에 대해 발견된 바람직한 기구학적 능력이 표 2에 요약된다. 예컨대 지점 상의 절대 참조 시스템에 대해 구름 각(roll angle), 피치 각 및 편요 각도가 결정될 수 있다.

<119> [표 2]

| 조인트      | 최대 왕복운동        | 최대 속도   | 최대 가속                 |
|----------|----------------|---------|-----------------------|
| J1 - 상승  | 700mm          | 600mm/s | 4m/s <sup>2</sup>     |
| J2 - 쇼울더 | +/-90°         | 60° /s  | 400° /s <sup>2</sup>  |
| J3 - 방사상 | 600mm          | 600mm/s | 4m/s <sup>2</sup>     |
| J4 - 편요  | [-360° +360° ] | 260° /s | 1900° /s <sup>2</sup> |
| J5 - 피치  | [-60° +180° ]  | 75° /s  | 500° /s <sup>2</sup>  |
| J6 - 구름  | 무한             | 250° /s | 2400° /s <sup>2</sup> |

<121> 각각의 조인트를 위한 속력과 가속 능력이란 점에서 보면, 표 1에 주어진 값들은 비교적 높기 때문에 강한 액추에이터들, 견고한 구조의 암(26)과 손목(28), 그리고 기부(24)에 의한 적절한 바닥 고정이 필요하다. 요건을 감소시키는 낮은 값들을 선택할 수 있지만, 이렇게 하면 피벗점(206)에서 원동력이 감소하게 됨을 알 수 있다.

<122> 힘 반향을 갖는 원격 조종 의료용 로봇에 특히 관련된 다른 특징으로는 매니퓰레이터(14)에 대한 정밀도 요건이 있다. 충분한 정밀도는 투관침 절개에서 스트레스 감소에 기여하고, 정밀한 힘/토크 보상의 수행을 가능하게 해준다.

<123> 선택된 설계의 매니퓰레이터(14)에서, 작동 유닛(30)에 연결된 공구 플랜지(32)(도 4 참조)의 정적 정밀도는 FRF에서의 위치에 대해  $\pm 2\text{mm}$ 보다 우수하고 방향에 대해  $\pm 0.1^\circ$ 보다 우수하다. 본 명세서에서, 1.5kg의 외부 하중은 연결된 복강경 기구(18)의 텁에서의 값이고, FRF는 (R) 조인트(J5)의 축으로부터 280mm에 있는 것으로 한다. 동적 정밀도는 위치에 대해  $\pm 4\text{ mm}$ 보다 양호할 것이며, FRF에서의 배향에 대해서는  $\pm 0.5^\circ$ 보다 양호할 것이다. 이를 형태는 무엇보다도 구조 부분들의 정밀한 기계 가공, 링크(L1-L6) 및 조인트(J1-J6)의 강성, 위치 센서의 충분한 분해능, PID 모터 제어 루프의 적절한 회전, 매니퓰레이터의 기구학적 교정 등을 통해 달성된다.

<124> 이러한 정황에서, 각각의 조인트(J1-J6)의 출력에 제공된 전술한 절대 위치 센서들(예컨대 65, 88, 108, 148)은

다음의 장점을 제공한다.

<125> - 로봇 매니퓰레이터(14)의 조인트(J1-J6)를 작동시키지 않고 호밍(homing) 처리. 이는 모터들의 제어에 사용되는 증가형 센서들의 초기값이 절대 센서에 의해 제공됨을 의미한다. 절대 센서들이 이용 가능하지 않다면, 참조 신호를 발견하도록 주어진 방향으로 모든 조인트를 움직이면서 호밍 처리를 실행할 수 있다. 시동할 때의 호밍을 위한 어려운 자동화된 운동이라도 신속한 설정 절차와 개선된 안전성을 보장하지 못한다.

<126> - 전동 메커니즘에 의해 야기된 조인트 탄성 오차들을 피하는 작동 유닛(30)의 위치와 방향의 실시간 결정

<127> - 로봇 매니퓰레이터(14)의 FRF로부터의 편향 감시

<128> - 각각의 조인트(J1-J6)에서 제공되는 각각의 모터 인코더에 의해 표시되는 위치를 이용하여 데이터 일관성을 감시하는 것에 따른 조인트 전동장치 고장(예컨대 벨트 파열) 또는 다른 하드웨어 고장의 검출

<129> 로봇 공학의 다른 특징은 수학 모델을 사용하여 로봇 매니퓰레이터(14)를 제어하는 것이다. 로봇 매니퓰레이터(14)의 이론적인 모델로부터 벗어난 효과적이고도 정밀한 "구체적인" 모델이 교정 과정 중에 결정되는 것이 필요하며, 이 모델은 기구학적 구성의 오프셋, 조인트(J1-J6)의 탄성, 링크(L1-L7)의 탄성, 액추에이터 백래시 및 다른 선형 오차들과 같은 파라미터들을 포함한다. 전술한 "구체적인" 매니퓰레이터 모델은 3가지 목적으로 사용된다. 첫째, 실제 조인트 오프셋들과 링크 길이들을 갖(고 역 기구학적 계산을 단순화하)는 운동 제어기 내에 이론적인 모델을 사용하여 로봇 매니퓰레이터(14)의 정밀도를 향상시키고; 둘째, 6-DOF FTAS(122) 및 부착된 하중의 위치 및 방향(이러한 값들은 중력 및 가속 하중의 보상에 필요함)을 포워드 포뮬레이션(forward formulation)을 통해 실시간으로 정밀하게 연산하며; 셋째, 포워드 포뮬레이션을 통해 실시간으로 기구 팁의 위치 및 방향을 결정하고 힘 반향[예컨대 검사 기구(18)의 투입]에 필요한 파라미터들을 연역하는데 사용된다.

<130> 후속하는 단락에서는 복강경 기구 액추에이터 즉 LIA(120)를 더 상세히 설명한다.

<131> 도 14 및 도 15에 도시한 것과 같이, LIA(120)는 작동 유닛(30)의 일부를 구성한다. LIA(120)는 로봇 매니퓰레이터(14)로 핀셋, 가위 및 흡입/관주(suction/irrigation) 공구들과 같은 표준 복강경 기구를 사용하기 위한 일반적인 작동 인터페이스를 제공한다. 따라서, LIA(120)는 매니퓰레이터(14)의 말단을 형성하고 핸드 부분을 나타내는데, 이는 LIA(120)가 외과의사의 손동작을 재현하기 때문이다. LIA(120)는 후단이 FTAS(122)와의 연결을 위한 인터페이스 플랜지(156)를 형성하고 선단이 로봇 매니퓰레이터(14)의 말단을 형성 하우징(154)을 포함한다. 작동 유닛을 달리 구성하는 경우, LIA는 조인트(J6)를 포함할 수 있다. 하지만 이 구성은 개폐 메커니즘 및 동력전달장치와 함께 회전 메커니즘을 포함하는 더욱 복잡한 기계적 설계의 기구 어댑터를 요한다. 또한, 무균 영역(sterile field)이 회전 메커니즘에도 유지되어야 한다.

<132> 도 14와 15 및 도 18 내지 22에 도시한 LIA(120)는 일측의 핸들과 타측의 스템으로 분할될 수 있는 모든 표준 복강경 기구에 사용하기에 적합하다. 본 명세서에서, 스템은 팁에 예컨대 핀셋/가위 조 인서트들, 흡입/관주 수단, 칼과 같은 기본 공구, 또는 전기 소작기(cautery)/절단기를 갖춘 비교적 얇게 연장된 관으로 형성된다. 팁 반대편의 단부는 스템을 외과의사를 위한 핸들에 연결하도록 설계된 소켓을 포함한다.

<133> 표준 기구에 대한 로봇 매니퓰레이터(14)의 호환성은 LIA(120)의 설계와 해당 기구 스템 어댑터(이하 ISA로 약술함)의 설계에 의해 달성되며, 그 일례가 도 17에 부분 단면도로 도시된다.

<134> 도 17은 기구 스템(302)이 연결될 수 있는 ISA(기구 스템 어댑터, 300)를 보여준다. ISA(300)는 도 15에 도시한 시트(130)에 장착됨으로써 LIA(120)에 연결될 수 있다. 이를 위해, ISA(300)는 본질적으로 원통형인 외면을 갖는 케이스(303)를 포함한다. 도 17에 도시한 것과 같이, ISA(300)는 종래의 (복강경) 검사 기구의 기구 스템(302)과 LIA(120) 사이의 커플링 요소로서 설계된다. 이를 위해, ISA(300)는 스템 커넥터(304)를 그 선단에 구비한다. 스템 커넥터(304)는 실제 기구에 의존하는 스템(302)의 특정한 형태의 소켓(306)에 연결되도록 설계된다. 원래, 소켓(306)은 복강경 기구 핸들(도시 생략)에 연결되도록 설계된다. 도 17에 도시한 것과 같이, 스템 커넥터(304)는 오리지널 핸들의 커넥터를 재현하며, 스템(302)은 이 오리지널 핸들을 위해 설계되었다. ISA(300)는 커플링 수단으로서 커플링 부재(308)를 포함하여 LIA(120)에 견고하게 연결된다. 커플링 부재(308)는 케이스(303) 상에 측방으로 배치되고 그로부터 방사상으로 돌출함으로써 LIA(120)에 장착되면 ISA(300)의 회전을 봉쇄한다. LIA(120)의 유도형 존재 스위치(inductive presence switch)[후술하는 도면부호 404의 요소 참조]를 위한 금속 검출면을 제공하기 위해 커플링 부재(308)에 작은 금속 블록(309)이 포함된다. 선형 활주 피스톤(310)이 ISA(300) 내부의 원통형 가이드(312) 내에 배치된다. 원통형 슬라이더 펀(314)이 피스톤(310)에 측방으로 부착되어 피스톤(310)을 동작시키기 위한 케이스(303) 외부로 돌출한다. 피스톤(310)의 활주 동작은 기구 스템(302)의 팁에서 공구를 동작시키기 위해 로드를 기구 스템(302) 안으로 작동시킨다. ISA(300)는

LIA(120)와 함께 로봇 매니퓰레이터(14)에 연결 인터페이스를 제공하면서 기구 스템(302)의 동작과 관련하여 원래 스템(302)에 연결되는 핸들의 기능을 재현하는 것을 알 수 있다.

<135> 도 17에 도시한 ISA(300)의 구체적인 실시예는 기구 텁, 예컨대, 가위 및 집게를 위한 개폐 기능과 같은 기계적 작동을 요하는 기구를 위해 설계되었고 이 기계적 작동은 단극성 또는 양극성 전력 전송에 의해 또는 전력 전송 없이 이루어짐을 이해한다. 다양한 다른 형태의 유사한 어댑터들 또한 본 명세서의 개시에 포함되며, 각각의 어댑터는 LIA(120)에 연결될 특정한 형태의 복강경 기구, 즉, 특정한 형태의 스템(예 302)에 적합하다. 따라서, ISA는 기구의 요건에 따라 예컨대 기구의 조(jaw)의 작동을 위한 한 선형 슬라이더 핀(314), 예컨대 단극성 또는 양극성 소작 동력 등을 위한 적어도 하나의 전기 커넥터(318), 그리고 예컨대 관주 또는 흡입 기구를 위한 적어도 하나의 도관 연결부(들) 중의 하나 이상을 포함한다. 비록 도 17에 전기 커넥터(318)로 도시되었지만, 순전히 기계적인 기구(18)를 위해서는, 전기 커넥터(18)를 형성하는 ISA(300)의 부분들(도 17에 얇은 선쪽으로 도시)이 제공될 필요는 없음을 이해한다. 모든 형태의 ISA의 구성 재료는 예컨대 증기 오토클레이브를 통해 살균될 수 있도록 선택해야 한다. 실제로, LIA(120)의 설계 덕분에, ISA는 (물론 기구 스템을 제외하고) 의료용 로봇 시스템(10) 중에서 유일하게 살균하는 부분이다. 수술 중에, LIA(120)의 하우징과 작동 유닛(30)의 다른 부분들은 무균 비닐봉지로 둘러싸인다. 도시하지는 않았지만, 전기 메스 또는 나이프와 같이 기계적으로 작동되지 않지만 전기 구동되는 기구들의 경우, ISA는 슬라이더 핀(314) 및 연관된 기계적 전동 장치를 가질 필요는 없다. 간주 또는 흡입 캐뉼러(cannula)와 같은 기구의 경우, ISA는 로봇 제어 시스템에 의해 전기 작동되는 전기 밸브를 통해 원격 지시되는 2개의 관을 구비한다.

<136> 도 18에 도시한 LIA(120)는 약 90mm 또는 바람직하게는 75mm의 직경을 갖는 비교적 작은 원통형 엔벌로프(envelope)에 들어맞도록 경량(예컨대 800g 미만의 전체 중량)으로 설계되어, 인접한 접근 포트(20)에 대한 인접한 2개 공구의 이용 가능한 작업 공간을 증가시킨다. (특정 예에서 약 130mm인) LIA(120)의 전장은 주로 ISA(300)의 길이에 의해 결정된다. LIA(120)의 길이는 조인트(J5)의 회전축과 FRF의 피벗점(206) 사이의 거리를 제한하기 위해 최소화된다(도 7 참조). 실제로, 오프셋의 거리는 모든 매니퓰레이터 조인트(J1-J5)의 왕복 운동 거리 및 속력/가속 능력에 결정적이다. 하지만, LIA(120)의 길이는 수동 모드에서 손으로 [즉, FTAS(12)에 연결된 하우징(154)을 "조이스틱"으로 사용하여] LIA(120)를 잡을 수 있도록 6cm 이상이 권장된다.

<137> 도 18에 도시한 것과 같이, 하우징(154)의 외면은 평활한 가장자리를 갖는다. 용이하게 세척될 수 있고, 경량이며, 비전도성 재료로 만들어진다. 더욱이, LIA(120)는 ISA(300)를 이용해 장착된 적응식 검사 기구(18)의 스템(302)에 대해 부분적인 회전 대칭 설계를 갖는다. ISA(300)가 LIA(120)에 적절히 연결된 때에, 스템(302)의 축은 조인트(J6)의 구름 축(roll axis) 및 FTAS(122)의 수직 축과 일치된다.

<138> 또한 도 18에 도시한 것과 같이, LIA(120)의 하우징(154)은 ISA(300)에 의해 장착된 기구(18)를 작동시키기 위한 (후술하는 바와 같은) 선형 작동 메커니즘(400)을 포함한다. 시트(130)는 ISA(300)의 삽입과 추출을 용이하게 하도록 LIA(120)의 접근 표면(401)에 오목하게 연장된 반원통형 홈으로서 형성된다. ISA(300)를 수용하기 위한 시트(130)는 조인트(J6)의 회전축과 대체로 동축이고, 하우징(154)의 중심축을 따라 연장한다. LIA(120)에 대한 ISA(300)의 장착 및 분리 방향은 조인트(J6)의 회전축에 대해 방사상임을 알 수 있다. LIA(120)는 시트(130)가 접근 표면(401) 위의 전체 반평면으로부터 접근될 수 있게 구성된다. 도 18에 도시한 것과 같이, 시트(130)에는 길이방향 그루브(402)가 형성되어 LIA(120)의 본체 속으로 방사상으로 들어가게 된다. 이 추가의 그루브(402)는 ISA(300)의 커플링 부재(308)를 수용하도록 구성된다. 시트(130)에 연관된 로킹 메커니즘(406)의 맞물림부는 그루브(402) 내에 배치되어 커플링 부재(308)와 협동한다. 시트(130)는 ISA(300)의 케이스(303)의 외측 원통 형태와 합치하는 둑근 단부를 갖는 반원형 홈으로서 형성된다. 유도 존재 스위치와 같은 존재 검출기(404)가 금속 블록(309)(도 17 참조)을 감지하여 ISA(300)의 존재를 검출하기 위해 시트(130)에 배치된다. 데드맨 스위치 버튼(dead-man switch button, 408)이 로봇 매니퓰레이터(14)의 제어 시스템을 수동 모드로 전환할 수 있게 해준다. 수동 모드에서, LIA(120)[ 및 연결된 경우 기구(18)]는 LIA(120)의 하우징(154)을 다루는 보조원에 의해 생성되어 FTAS(122)가 판독한 정보를 사용하는 로봇 매니퓰레이터(14)에 의해 위치되고 방향 조정된다. 수동 모드는 투관침을 통해 기구를 삽입하거나 추출하기에 특히 유용하다.

<139> 선형 작동 메커니즘(400)의 상세는 도 20에 가장 잘 도시된다. 작동 메커니즘(400)은 벨트(418)에 의해 결합된 기어박스(412) 및 폴리(414, 416)를 통해 볼 스크루(420)에 연결된 소형 브러시리스 모터(411)를 포함한다. 도 19에 도시한 것과 같이, 볼 스크루(420) 상에 너트(422)가 배치되어 회전을 선형 운동으로 전환하도록 협동한다. 너트(422)는 볼 스크루(420) 상의 축방향 작용력을 감소시키기 위해 선형 가이드(424)에 의해 안내된다. 유도 리미트 스위치(426, 428)가 너트(422)의 왕복운동 끝 위치에 배치되어 작동 메커니즘(400)의 왕복

운동을 제한하기 위한 제어 유닛에 연결된다.

<140> 도 19에 도시한 것과 같이, 작동 메커니즘(400)은 후술하는 바와 같이 LIA(120)의 슬라이더 캐리지(430)에 선형 운동을 연결한다. 바람직한 실시예에서, 작동 메커니즘(400)에 대해 아래의 파라미터들이 선택되었다.

<141> - 슬라이더 캐리지(430)의 최대 기계적 왕복운동: 7mm(표준의 기구에 보통 5mm면 충분하지만, 동일한 형태의 여러 스템은 2mm까지의 왕복운동 길이 변화를 가질 수 있음이 밝혀졌다)

<142> - 왕복운동 속력 범위: 초당 1mm 내지 20mm

<143> - 최대 작동력: 200N

<144> LIA(120)에는 스템퍼 모터(stepper motor)를 가급적 사용하지 않는 것이 좋은데, 이는 스템퍼 모터가 FTAS(122)에 대한 상당한 소음원이 될 전동을 발생시키기 때문이다. 따라서, 샤프트 위치 인코더가 구비된 소형 브러시리스 모터(411)가 사용된다. 그와 같은 모터들은 Faulhaber GmbH(독일, Schoenaich)에서 입수 가능하다. 하지만, 케이블 구동형 전동장치와 같은 다른 비진동 선형 운동 메커니즘이 배제되는 것은 아니다.

<145> 도 20은 LIA(120)의 하우징(154)에 내장되고 예컨대 24V의 DC 전력이 공급되는 모터(411)를 위한 동력 및 제어 유닛(440)을 보여준다. 하우징(154)의 직경을 더 줄이기 위해, 동력 및 제어 유닛(440)은 플랜지(156)와 FTAS(122) 사이나 FTAS(122)와 조인트(J6)의 연결 플랜지(도시 생략) 사이에 배치되거나, 조인트(J6)의 커버(124) 내부에, 예컨대, 모터(411)에 인접한 슬립 릴 수집기(80) 후방에 배치될 수 있다. 동력 및 제어 유닛(440)은 그 중에서도 수신한 위치 지시에 따라 주어진 속력 프로파일로 슬라이더 캐리지(430)를 작동시키고, 사용자 요구에 따라 모터 전류를 제한하고, 리미트 스위치(426, 428)로부터의 신호에 기초하여 운동을 관리하고, 리미트 스위치를 사용하여 모터(411)의 호밍 처리를 하며, 하우징(154) 상의 존재 검출기(404)를 감시하기 위해 설계된다. 비상 정지 기능과 같은 다른 안전 기능들은 타깃 위치에서 유효 위치를 뺀 값인 모터(411)의 서보 오차와 모터(411)의 단열보호를 사용하여 실행된다. LIA(120)에 필요한 공간을 줄이기 위해, 선형 작동 메커니즘(400)은 절대 위치 센서를 구비하지 않는다. 그렇지만, 리미트 스위치(426, 428)를 홈센서(home sensor)로 사용하여 자동화된 호밍 처리를 보장하게 된다. 전원 차단 또는 중단 이후에 시스템의 신속한 복구를 위해, 수술 중에 슬라이더 캐리지(430)의 절대 위치를 예컨대 로봇 시스템의 적절한 메모리에 주기적으로 기록할 수 있다. ISA(300)의 존재, 즉, LIA(120)에 정확히 장착되었는지의 여부는 시트(130)에 배치된 유도 존재 스위치(404)(도 18 참조)를 통해 감지된다. 유도 존재 스위치(404)의 출력은 제어 유닛(440)의 이용 가능한 입력으로 공급된다.

<146> 도 17과 도 19에 가장 잘 도시된 바와 같이, 작동 메커니즘(400)의 슬라이더 캐리지(430)는 ISA(300)의 슬라이더 핀(314)을 수용하도록 되어 있다. 모터(411)가 작동하면, 슬라이더 캐리지(430)는 다시 위치 조정되고 나서 연결 ISA(300)의 슬라이더 핀(314)을 구동시킨다. 다음에 슬라이더 핀(314)은 피스톤(310)을 작동시켜 스템(302, 도시 생략)의 텁에 위치한 작업 요소 또는 공구, 예컨대 조 개폐 메커니즘(jaw open/close mechanism)을 조종한다. 달리 말하면, 선형 작동 메커니즘(400)과 ISA(300)의 조합체가 스템(302)으로부터 분리된 후에 ISA(300)로 대체된 핸들의 동작을 모방한다. 경사진 가이드 표면(434)이 슬라이더 핀(314)을 슬라이더 캐리지(430)로 삽입하는 것을 용이하게 한다.

<147> 도 21과 도 22는 도 18에만 부분적으로 도시되어 있는 LIA(120)의 롤링 메커니즘(406)의 구성을 더욱 세부적으로 도시하고 있다. 이 롤링 메커니즘(406)은 래치(latch)로서 구성되어 있고, 시트(130)의 그루브(402, 도 18 참조) 속에 배열된 활주식 캐치(450)를 포함한다. 이 캐치(450)는 그루브(402) 내에 있는 적당한 수단에 의해 안내된다는 것을 이해할 것이다. 그루브(402)는 활주식 캐치(450)와 함께 도 17에 도시된 ISA(300)의 커플링 부재(308)를 맞물림식으로 수용하도록 구성되어 있다. 이 캐치(450)는 커플링 부재(308, 도 17 참조)에 있는 슬롯에 의해 형성된 두 개의 돌출부(316)와 맞물리는 두 개의 노즈(452)를 포함한다. 커플링 부재(308)의 가장자리들은 둥글게 라운딩처리되어 그루브(402) 속으로/로부터 삽입 및 분리를 용이하게 한다.

<148> 캐치(450)의 구조는 도 22에 가장 잘 도시되어 있다. 스프링(454)은 캐치(450)를 FTAS(122) 쪽으로 탄력적으로 만다. 선형 안내 노브(456)는 ISA(300)가 분리될 때 커플링 부재(308)로부터 캐치(450)를 수동으로 맞물림 해제시키기 위해 선형 안내 캐치(450)에 결합되어 있는 피봇(458)을 회전시킬 수 있다. 캐치(450)의 노즈(452)는 경사져 있어서 단지 밀기만 해도 ISA(300)를 삽입시킬 수 있다. 노즈(452)와 돌출부(316)의 맞물림 부분들은 결합 결합 프로파일(conjugated profile)에 따라 둥글게 라운딩처리되어 LIA(120)를 덮는 데 사용되는 무균 플라스틱 시트의 손상을 제한한다. 이해할 수 있는 바와 같이, 기타의 균등한 커플링 또는 롤링 메커니즘들도 역시 사용될 수 있다. 예컨대 래치 메커니즘을 대체하기 위해 금속 플레이트들과 캠 기반 레버가 ISA에 장착된

상태에서 LIA 내에 설치된 영구자석이 사용될 수 있다. 예컨대 롤킹 메커니즘(406) 및 커플링 메커니즘(308)과 같은 고정 메커니즘이 ISA(300)가 LIA(120)에 장착되었을 때 LIA(120)로부터 분리되지 않고 아래의 힘과 모멘트에 저항할 수 있다는 것을 보장하도록 설계되는 것이 바람직하다.

<149> - 100N의 견인 및 압축력

<150> - 기구 팀에서 15N의 반경 방향 힘에 대응하는 비틀림 모멘트

<151> - 5Nm까지의 굽힘 모멘트

<152> LIA(120)과 각각의 연동 ISA[예컨대 ISA(300)]는 외과의사 보조원에 의해 ISA[예컨대 ISA(300)]와 조립된 적응식 복강경 기구(18), 즉 스템[예컨대 스템(302)]를 신속하면서도 용이하게 수동으로 설치 및 분리하도록 되어 있다는 것을 알 것이다. 전술한 바와 같이 원통형 외형이 필수적인 ISA(300), 이의 커플링 부재(308), 시트(130), 그루브(402) 및 롤킹 메커니즘(406)은 LIA(120)에 대한 ISA(300)의 안내 삽입 및 단순한 연결 절차를 제공한다. 이러한 디자인은 ISA가 삽입될 때 필요한 강성과 여러 번의 수동 조작(manual moves)에 의한 추출 절차를 보장한다. 이러한 디자인 덕분에, 보조원이 외과의사를 위해 종래의 기구를 약 6-9초 내에 대체하는 수동 외과 수술에서 적응식 기구(18, 즉 스템 및 ISA)가 필연적으로 신속하게 삽입 및 추출될 수 있다.

<153> ISA[예컨대 ISA(300)]와 스템[예컨대 스템(302)]을 구비한 적응식 기구(18)의 삽입 및 분리는 기구가 환자(P)의 신체 외부에 존재하는 경우 또는 기구가 환자(P)의 신체 내에 삽입된 경우 모두 안전하게 수행될 수 있다는 것을 알아야 한다. 또한 슬라이더 핀(314)이 구동되는 동안에도 기구를 분리하는 것도 가능하다.

<154> 적응식 기구를 LIA(120)에 장착하기 전에, 수많은 예비 조건들이 충족되어야 한다. 첫 번째, 기구가 투관침 내에 부분적으로 삽입되는 경우(투관침의 길이를 초과하지 않고), LIA(120)는 작동 유닛(effector unit, 30)[조인트(J6)]의 회전축을 투관침과 정렬시키는 학습 위치로 매니퓰레이터(14)에 의해 미리 위치 조정되고 배향되어야 한다. 두 번째, 슬라이더 캐리지(430)이 로봇 제어 시스템에 의해 "삽입 기준 위치", 예컨대 인터페이스 플랜지(156)에 가장 가까운 위치로 배치되어야 한다. ISA[예컨대 ISA(300)]가 분리될 때, 슬라이더 캐리지(430)는 로봇 제어 시스템에 의해 "삽입 기준 위치"로 자동으로 이동되어야 한다. 전술한 바와 같이, ISA의 존재, 부재(不在) 또는 비정상적인 해제는 존재 검출기(404)에 의해 검출될 수 있다. 세 번째, ISA가 존재하는 경우, ISA[예컨대 ISA(300)]의 슬라이더 핀 [예컨대 슬라이더 핀(314)]이 슬라이더 캐리지(430)의 "삽입 기준 위치"에 대응하는 "삽입 기준 위치"에 존재해야 한다. 슬라이더 핀(314)의 위치는 기구가 "닫힌" 구성을 가지도록, 예컨대 집게/가위 기구의 조가 이러한 위치에서 느슨하지만 충분하게 닫혀 있도록 정의되는 것이 바람직하다.

<155> 도 14에 가장 잘 도시되어 있는 바와 같이, ISA[예컨대 ISA(300)]와 스템[예컨대 스템(302)]을 포함한 적응식 복강경 기구(18)의 삽입 절차는

<156> ISA[예컨대 ISA(300)]를 그 시트(130) 상에 위치시키는 것과 커플링 부재(308)를 롤킹 메커니즘(406)과 맞물리도록 동일한 방향으로 ISA 상에서 약간 미는 것을 포함하여 화살표(460)를 따라 단지 한 번의 단순한 수동 조작에 의해 실시될 수 있다. 존재 검출기(404)는 커플링 부재(308)가 그루브(402) 내에 올바르게 설치되었을 때 긍정적인 출력을 제공한다. 이러한 삽입 절차 동안, 슬라이더 캐리지(430)는 전술한 조건들이 충족된 경우에 추가의 조치에 대한 요구 없이 슬라이더 핀(314)와 맞물린다.

<157> 외과의사(S)가 자신의 마스터 콘솔(15)을 통해 기구 변경을 요청하는 경우, 보통 4회의 동작이 로봇 제어 시스템에 의해 자동으로 실시된다. 첫 번째, 로봇 제어 시스템이 기구(18)를 제어하여 어느 조직(tissue)을 떼어낸다. 두 번째, 로봇 제어 시스템이 기구 축선 방향을 따라 투관침 포트(port) 근처로 기구를 이동시킨다. 세 번째, 공구 팀, 예컨대 기구 조가 투관침에서 팀의 걸림(hooking)을 피하는 구성으로 된다. 네 번째, 로봇 제어 시스템이 외과의사 보조원(A)이 LIA(120)을 자유롭게 회전시켜 LIA(120)으로부터 기구의 분리를 용이하게 하도록 조인트(J6)의 모터를 해제시킨다. 이러한 조작 후에 적응식 복강경 기구(18)의 분리는 2회의 단순한 조작으로 그리고 언제라도 안전하게 실시될 수 있다.

<158> 첫 번째 추출 조작은 노브(456)를 밀어서 롤킹 메커니즘(406)을 잠금 해제시키는 것으로 이루어진다. 두 번째 추출 조작은 ISA[예컨대 ISA(300)]와 스템[예컨대 스템(302)]을 스템 축선에 대해 수직인 축선을 중심으로 이루어지는 회전에 의해 스템의 팀을 중심으로 선회시켜 이를 양자 모두를 시트(130)로부터 분리시키고, 후속하여 여전히 삽입되어 있는 경우에는 환자(P)의 신체로부터 스템[예컨대 스템(302)]을 추출하는 것으로 이루어진다.

<159> 전술한 삽입 및 분리 절차로부터 알 수 있는 바와 같이, LIA(120)와 ISA[예컨대 ISA(300)]의 디자인은 심지어

적응식 기구(18)의 스템[예컨대 스템(302)]이 여전히 부분적으로 환자(P)의 신체 내에 투관침(200)을 통해 삽입되어 있는 경우에도(도 16 참조) 기구 삽입 또는 추출을 가능하게 한다. 알 수 있는 바와 같이, 추출에 필요한 조작들은 시트(130)의 길이방향 축선에 대해 수직인 선회 조작과 후속하는 추출 조작으로 이루어지지 때문에 환자(P)에 대한 투입 방향(penetration direction)으로 이루어지지 않는다. 게다가 주어진 선회 방향으로의 조작이 환자를 다치게 할 수 있는 경우, 이 방향은 조인트(J6)를 통해 LIA를, 손으로 LIA(120)을 회전시킴으로써 변경될 수 있다. 또한 정전(power failure)의 경우, ISA[예컨대 ISA(300)]는 자신의 스템[예컨대 스템(302)]과 더불어 해제되어 수동으로 추출될 수 있다.

<160> 전술한 바와 같은 LIA(120)와 관련하여, 매우 다양한 기준의 표준 복강경 기구가 단순한 기구 스템 어댑터(ISA)[예컨대 ISA(300)]에 의해 로봇 시스템(10)에서 사용될 수 있다는 것을 알 것이다. LIA(120)는 대응하는 ISA와 조합하여 작동 또는 파워 공급 능력의 손실 없이 주어진 복강경 기구의 핸들 부분을 대체시킨다. LIA(120)는 포괄적으로 설계되는데, 즉 로봇 매니퓰레이터(14)에 결합될 수 있는 기구의 형태에 독립적으로 설계된다. 따라서, 단지 ISA[예컨대 ISA(300)]만이 기구 요건에 따라 구체적으로 설계될 필요가 있다. 전술한 바와 같이, LIA(120)는 무엇보다도 아래의 기능들을 제공할 수 있다.

- 선형 작동 메커니즘(400)을 이용하여 기구-공구 텁들, 예컨대 기구 조들의 "개방/폐쇄" 작동시키는 기능

<162> - 모든 형태의 기구에 대해 필요한 "개방/폐쇄" 작동 길이를 맞추는 기능

<163> - 로봇 매니퓰레이터(14)의 작동을 통해 칼과 같은 비작동 기구를 다루는 기능

<164> 더욱이 LIA(120)는 여러 가지 인자들 덕분에 로봇 복강경 수술에서 유리한 비용 효과를 허용한다. 첫 번째, 기구와 이의 관련 액추에이터가 단일의 엔클로저 내에 단일 유닛으로서 조립되기 때문에 각각의 매니퓰레이터에 대해 수 개의 액추에이터를 필요로 하는 종래 기술의 디바이스들과는 반대로, 단지 하나의 LIA(120)가 각각의 매니퓰레이터(14)를 위해 요구된다. 이것은 무엇보다도 액추에이터 비용의 절감을 가능하게 한다. 두 번째, 표준 복강경 기구의 스템[예컨대 스템(302)]과 단순한 구성을 가진 대응하는 기구 스템 어댑터[예컨대 어댑터(300)]를 사용함으로써 기구 비용이 감소된다. 따라서 LIA(120)과 함께 사용하기 위한 적응식 기구(18)의 비용이 표준 수동 복강경 기구(즉 핸들 포함)의 비용과 거의 동일하다. 세 번째, 기구 유지 보수 비용이 ISA[예컨대 ISA(300)] 디자인의 살균 사이클에 대해 강력하기 때문에 표준 복강경 기구의 유지 보수 비용과 필연적으로 동일하다.

<165> 도 25를 참조로 하여 LIA(1120)에 대한 다른 실시예가 설명될 것이다. 이 명세서에서 전술한 LIA의 많은 특징과 장점은 마찬가지로 LIA(1120)에도 적용되기 때문에 주요 특징과 차이점만 이하에서 상세하게 설명될 것이다.

<166> 도 25에 도시된 LILA(1120)은 반원통형 하우징(1154)를 구비하며, 이 반원통형 하우징은 ISA를 LIA(1120)에 대해 장착 및 분리하는 것을 용이하게 하는 거의 평평한 상부 접근 표면(access surface)을 구비한다. 하우징(1154)의 반대쪽 표면(1155)은 J6의 회전축과 동축을 이루는 원통형 엔벌로프와 동일하게 반원통형이다. 반원통형 표면(1155)의 직경은 특히 로봇 매니퓰레이터(14)를 전술한 수동 모드로 지시하기 위해 예컨대 50mm 내지 135mm의 범위 내에서, 바람직하게는 약 90mm에서 취급할 수 있도록 시술자(human operator)에 의해 인간공학적으로 선택된다. 반원통형 하우징이 LIA(1120)가 FTAS(122)에 부착되도록 하는 인터페이스 플랜지(156)보다 실질적으로 더 작은 단면을 가지고 있기 때문에, 이 하우징(1154)은 완만한 보강 리브(1157)를 더 포함한다. 이들 보강 리브는 접근 표면(1401)에서 출발하여 인터페이스 플랜지(156)의 상부 에지까지 완만한 형상, 즉 서서히 증가하는 형상을 가진다. 이들 보강 리브(1157)는 반원통형 표면(1155)의 원통형 엔벌로프와 동일하게 추가로 만곡된다. 보강 리브(1157)는 접근 표면(1401)을 인터페이스 플랜지(156)에 연결하며, 이에 의해 하우징(1154)을 인터페이스 플랜지(156)에 부착하는 강성을 보강 및 증가시킨다. 이에 의해, 보강 리브(1157)는 힘과 토크를 ISA로부터 LIA(1120)을 경유하여 FTAS(122)까지 더욱 정확하게 전달한다는 것을 보장한다. 유사한 보강 리브가 도 14의 LIA(120) 내에 제공될 수 있다는 것도 알 수 있을 것이다.

<167> 도 25는 기구 스템 어댑터를 LIA(1120)에 장착하고 나서 작동 유닛(30)에 장착하기 위한 다른 커플링 메커니즘을 더 보여준다. LIA(1120)에서는 LIA(120)에서와 같이 시트(1130)가 J6의 회전축 상에 어댑터를 자동 중심 조정시키기 위해 접근 표면(1401) 속에 오목하면서 긴 반원통형 홈으로서 형성된다. 게다가 커플링 메커니즘은 다수의 자성(磁性) 디바이스(1423)를 구비하며, 이들 디바이스 중에서 두 개는 슬라이더 캐리지(1430) 쪽에 위치하고, 한 개는 시트(1130)의 다른 쪽에 위치하는데, 시트의 다른 쪽에 위치한 디바이스는 접근 표면(1401)을 벗어난 용기부(1425)에 배치된다. 용기부(1425)는 장착된 어댑터에 축선 방향으로 추가의 보유 구속(additional retaining constraint)을 제공하고, 접근 표면(1401) 쪽으로의 경사에 의해 어댑터의 축선 방향으

로 자가 조절식 위치 조정을 허용한다. 이해하는 바와 같이, 전자석, 영구자석 또는 이들의 조합으로 구성될 수 있는 자성 디바이스(1423)는 자력에 의해 대응하게 설계된 ISA의 체결을 보장한다. 기계적인 스냅-인 방식의 부착을 포함으로써 매니퓰레이터(14) 또는 적어도 작동 유닛(30)을 둘러싸기 위해 사용되는 무균 플라스틱 커버에 대한 손상을 제거한다.

<168> 도 25는 ISA 상에 제공되는 유도식으로 식별 가능한 소재 패턴에 의해 작동 유닛(30)에 장착된 기구를 식별하기 위한 다수의 유도성 존재 센서(inductive presence sensor, 1431)를 보여준다. 4개의 유도성 존재 센서(1431)가 일렬로 배열되어 있고, 이를 유도성 존재 센서(1431)와 마주보는 ISA 상에 일렬로 된 대응 지점에 전도성 소재의 존재 또는 부재를 기초로 하여 이진 코드(4 비트 단어)를 사용하는 경우에 16가지의 기구 형태를 구별 및 식별할 수 있다. 게다가, 이러한 목적으로 부재 상태의 기구에 대응하는 패턴 코드(4 비트 단어)가 사용되는 경우, 즉 어떠한 전도성 소재도 어느 유도성 존재 센서(1431)와 마주보지 않는 경우에 유도성 존재 센서(1431)도 존재 검출에 대비한다.

<169> 도 25에는 맞물림 부재(1433)가 별도로 도시되어 있다. 맞물림 부재(1433)는 슬라이더 캐리지(1430)를 구비한 작동 메커니즘의 일부이고, ISA의 슬라이더 핀(134)과 맞물리게 하기 위한 슬릿으로 안내되는 경사진 포획 표면(1434)을 포함한다. 이를 경사진 포획 표면(1434)은 ISA의 슬라이더 핀(134)의 삽입을 용이하게 한다. 알 수 있는 바와 같이, 맞물림 부재(1433)는 슬라이더 캐리지(1430)로부터 분리 가능하고, 살균 호환성 소재로 만들어진다. 이에 의해 맞물림 부재는 무균 랩이 LIA(1120)을 덮고 난 후에만 캐리지(1430) 상에 설치될 수 있다. 캐리지(1430)의 운동 범위가 제한되어 있기 때문에, 무균 랩에 대한 어떠한 손상도 발생하지 않는다.

<170> 도 26은 도 25의 LIA(1120)에 장착된 ISA(1300)의 다른 실시예를 보여준다. ISA(1300)는 LIA(1120)의 다른 디자인과 호환될 수 있도록 설계되고, 이하에서 상세하게 설명될 것이다. ISA(1300)는 그 베이스가 접근 표면(1401)에 가워지도록 치수 조정된다. ISA(1300)의 기능은 도 17에 도시된 ISA(300)의 기능과 동일하며, 즉 수동 시술에 유용한 기능성의 손실 없이 로봇 매니퓰레이터(14) 상에 표준 수동 복강경 기구의 스템(302)을 사용할 수 있게 하는 인터페이스를 제공하는 것이다. 또한 도 26은 시스템을 수동 모드로 전환하기 위해 LIA(1120)에 제공되는 스위치 버튼(408)을 보여준다. ISA(1300)에는 용이한 수동 분해를 위해, 즉 ISA(1300)을 LIA(1120)로부터 분리하기 위해 레버(1301)가 설치된다. 또한 ISA(1300)는 LIA(1120)를 통과하는 전선 없이 동력식 기구(예컨대 응고 또는 절단 기구)를 전력원에 직접 연결하기 위한 전기 커넥터(1308)를 구비한다.

<171> 도 25와 도 26으로부터 명백한 바와 같이, 이러한 디자인은 하우징(1154), 플랜지(156), 보강 리브(1157), FTAS(122) 센서 조립체, 그리고 레버(1301)를 포함한 장착 ISA(1300)의 모든 부품을 포함하여 LIA(1120)의 모든 구성요소가 반원통형 표면(1155)에 의해 형성된 원통형 엔벌로프 내에 위치하도록 해준다. 이것은 LIA(1120)가 J6에 의해 회전될 때 충돌 및 손상의 위험을 감소시킬 수 있다.

<172> 도 27은 도 19의 메커니즘과는 디자인 면에서 상이한, 슬라이더 캐리지(1430)로 선형 운동을 전달하기 위한 다른 작동 메커니즘(1400)을 보여준다. 이 작동 메커니즘은 기어박스(1412)와 볼 스크루 또는 웜 기어(1420)를 매개하여 너트 부재(1422)에 연결된 소형 브러시리스 모터(1411)를 포함한다. 캐리지(1430)는 힘 센서(1427)라는 매개물을 경유하여 너트 부재(1422)에 고정된다. 이 힘 센서(1427)는 캐리지(1430)에 의해 슬라이더 핀(314)에 인가되는 힘과 그 역순으로 인가되는 힘을 측정할 수 있다. 또한 슬라이더 캐리지(1430)를 길이방향 시트(1130) 쪽에 장착함으로써 모터(1411) 및 연결 기어들이 ISA(1300)의 길이방향 축선과 스템(302)에 평행하게 배열될 수 있다는 것을 알 것이다. 이것은 LIA(1120)의 전체 길이를 감소시킬 수 있게 하고, 이에 의해 어떤 조인트[예컨대 조인트(J4)]를 위한 액추에이터 동력학에 대한 요건이 감소된다. 더욱이 이러한 작동 메커니즘(1400)은 해로운 진동 발생에 대해 최적화되어 있다는 것을 알 것이다. 작동 메커니즘(1400)에 대한 기타 특징 및 장점들은 이 명세서에서 전술한 메커니즘(400)의 그것들과 유사하다.

<173> 도 28은 LIA(1120)으로부터 분리되었을 때 도 26의 ISA(1300)의 하측을 보여준다. 이 ISA(1300)는 그 선단에 스템 커넥터(1304)를 갖춘 긴 케이스(1303)를 포함한다(도 30 참조). 이 스템 커넥터(1304)는 어떤 형태의 착탈식 연결이 이루어지는 한 표준 수동 복강경 기구의 스템(302, 일부만 도시)에 고정되는 특정한 형태의 소켓(306)에 분리 가능하게 연결될 수 있다. 물론, 커넥터와 소켓은 각기 스템과 ISA에 위치할 수 있다. 케이스(1303)와 유사하게, 케이스(1303)도 시트(1130)와 연동을 위해 하측에 반원통형 표면을 가진다. 도 28에 도시된 바와 같이, 측방 날개(1305)가 케이스(1303)의 양측으로부터 돌출한다. 이를 측방 날개(1305)는 LIA(1120) 상의 접근 표면(1401)[예컨대 용기부(1425)]에 대한 결합되는 편평한 하면을 가진다. 도려낸 공간(1307)은 ISA(1300)가 LIA(1120)에 결합될 때 시인성 및 접근을 제공하기 위해, 예컨대 슬라이더 핀(314)을 수동으로 이동시키기 위해 슬라이더 핀(314) 상측에 있는 하나의 날개(1305) 속에 제공된다. 또한 도 28은 케이스(1303)의

양측에 각각의 날개(1305) 속에 배치된 편평한 강자성 요소(1311)를 보여주고 있다. 이들 강자성 요소(1311)는 도 25에 도시된 바와 같이 LIA(1120) 상의 대응하는 자성 디바이스(1423)와 각각 연동하는 결합 수단을 형성한다. 영역(1313)에서는 유도성 식별 패턴이 도 25에 도시된 유도성 센서(1431)를 통해 사용 기구를 식별하기 위해 ISA(1300) 상에 제공된다. 도 25에 도시된 실시예에서, 전체 금속 플레이트가 4 비트 단어(예컨대, 1111 또는 0000)에 대응하는 반면에, 다른 어댑터의 공동(void)은 예컨대 유도성 센서(1431)와 마주보는 위치들 중의 하나 이상에 구멍을 뚫어서 식별을 위한 다른 비트 단어를 제공함으로써 마련될 수 있다.

<174> 도 29는 도 28의 ISA(1300)을 부분 분해도로 보여준다. 도 29에 도시된 바와 같이, ISA(1300)는 어떤 수동 복 강경 기구의 피스톤(310)을 위한 원통형 가이드(1312)로서 역할을 하는 내부 중공(hollow)을 가진다. 통상적으로 피스톤(310)은 기구 핸들로부터 스템(302) 내에서 안내되는 샤프트까지 운동을 전달하기 위해 수동 기구에서 사용된다. 수동 기구의 기존 피스톤은 가이드(312) 내에서 미끄러지도록 배치될 수 있다는 것을 알 것이다. 도 28에 도시된 바와 같이, 장방형 관통 홀(1315)이 케이스(1303)에 제공되며, 피스톤(310)에 횡방향으로 부착된 슬라이드 핀(314)이 케이스(1303)로부터 돌출하여 피스톤(310)을 작동시키기 위해 케이스(1303)의 축방향으로 전후로 변위될 수 있다. 도 29에 도시된 피스톤(310)은 원래 양극성 수동 기구의 일부이며, 기구에 양극 전력(bipolar electric power)을 제공하고 기구를 잠금/잠금 해제하기 위해 사용된다.

<175> 도 30은 동일한 형태의 어댑터가 수동 시술을 위해 상업적으로 입수 가능한 복강경 기구의 다른 형태의 피스톤들, 도 30에 도시된 바와 같이 단극성 수동 기구용 피스톤(1310)을 수용하는 데에 사용될 수 있다는 것을 예시하는 것이다. 따라서 ISA(1300) [또는 ISA(300)]과 같은 어댑터는 로봇 매니퓰레이터(14) 상에 상업적으로 입수 가능한 상대적으로 저렴한 수동 기구의 필수 부품을 사용할 수 있게 된다. 또한 도 29는 레버(1301)의 두 연결편(tenon, 1317) 중의 하나와, 레버가 선회하는 샤프트(1319)를 보여주고 있다. 레버(1301)를 아래로 밀면, 연결편(1317)이 ISA(1300)의 하면, 특히 강자성 요소(1311)를 ISA(1200)의 접근 표면(1401)로부터 멀어지는 방향으로 들어올리며, 따라서 ISA(1300)가 J6의 회전축, 즉 기구 스템 축선에 대해 수직인 방향으로 수동으로 분리될 수 있다.

<176> 이 명세서에서 전술한 특징 외에도 의료용 로봇 시스템(10)은 아래의 특징을 추가로 제공한다.

<177> - 로봇 매니퓰레이터(14)는 그 디자인 덕분에 용이하면서도 신속하게 수축하여 외과의사(S)가 수술 테이블(12)에 접근할 수 있게 하거나, 방사선 기구의 설치를 허용할 수 있다.

<178> - 로봇 매니퓰레이터(14)는 그 디자인과 외부 센서로부터의 정보를 사용하는 덕분에 시술 시간의 현저한 증가 없이 시술 동안에 (반대) 트렌델렌버그 자세(Trendelenburg,  $\pm 20-35^\circ$ ) 또는 환자의 축방 배향을 위해 수술 테이블(12)의 각도 변경에 쉽게 맞춰질 수 있다.

<179> - 로봇 매니퓰레이터(14)는 그 디자인과 외부 센서로부터의 정보를 사용하는 덕분에 복강 내의 압력 변동으로 인한 투관침 위치 변경을 용이하게 관리할 수 있다.

<180> - 의료용 로봇 시스템(10)은 전체 시술 시간을 최소화하기 위해 기구 변경 시간을 줄일 수 있으며, LIA(120, 1120)과 로봇 매니퓰레이터(14)의 디자인 덕분에 내시경과 함께 사용될 때 수동 복강경 수술 절차에서 기구 변경 시간이 필연적으로 감소될 수 있다(6초 내지 9초의 범위 내에서), 또한 로봇 매니퓰레이터(14)의 디자인 덕분에 렌즈(optics)를 세척하기 위해 내시경이 신속하게 추출 및 재삽입될 수 있다.

<181> - 의료용 로봇 시스템(10)은 수술 테이블(12) 주위에 다수의 로봇 매니퓰레이터(14)의 배치를 포함하여 시스템의 신속하면서도 간단한 설치를 가능하게 한다.

<182> - 로봇 매니퓰레이터(14)는 최소 침습 외과 수술, 정형 외과술, 생검(biopsy), 경피 요법, 피부 수집, 초음파 진단 등과 같은 다양한 응용분야에 적합하도록 다양하게 설계된다.

<183> 제출된 본 발명 출원은 본 명세서에 첨부된 청구범위에 한정되어 있는 발명에 기본적으로 관심을 두고 있지만, 당업자라면 본 발명 출원이 본 발명 출원에서 보정된 청구범위의 주제로서, 또는 분할 및/또는 계속 출원에서 청구범위의 주제로서 청구될 수 있는 다른 발명의 한정을 위한 지지 부분을 포함하는 것을 쉽게 이해할 것이다. 그러한 주제는 여기에 개시된 어느 특징 또는 특징들의 조합에 의해 한정될 수 있다.

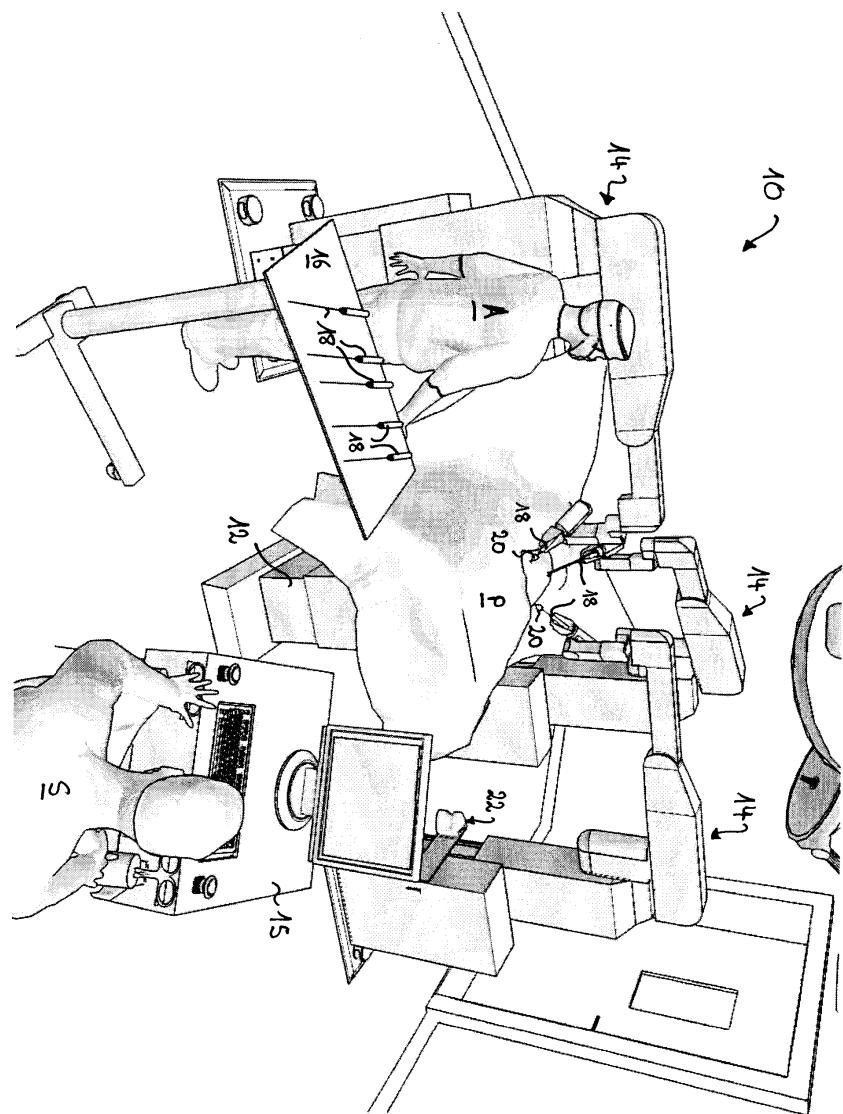
## 도면의 간단한 설명

<39> 본 발명의 다른 목적, 특징 및 장점을 더 잘 이해할 수 있도록 아래의 비제한적인 실시예를 첨부 도면과 연계하여 기술할 것이다.

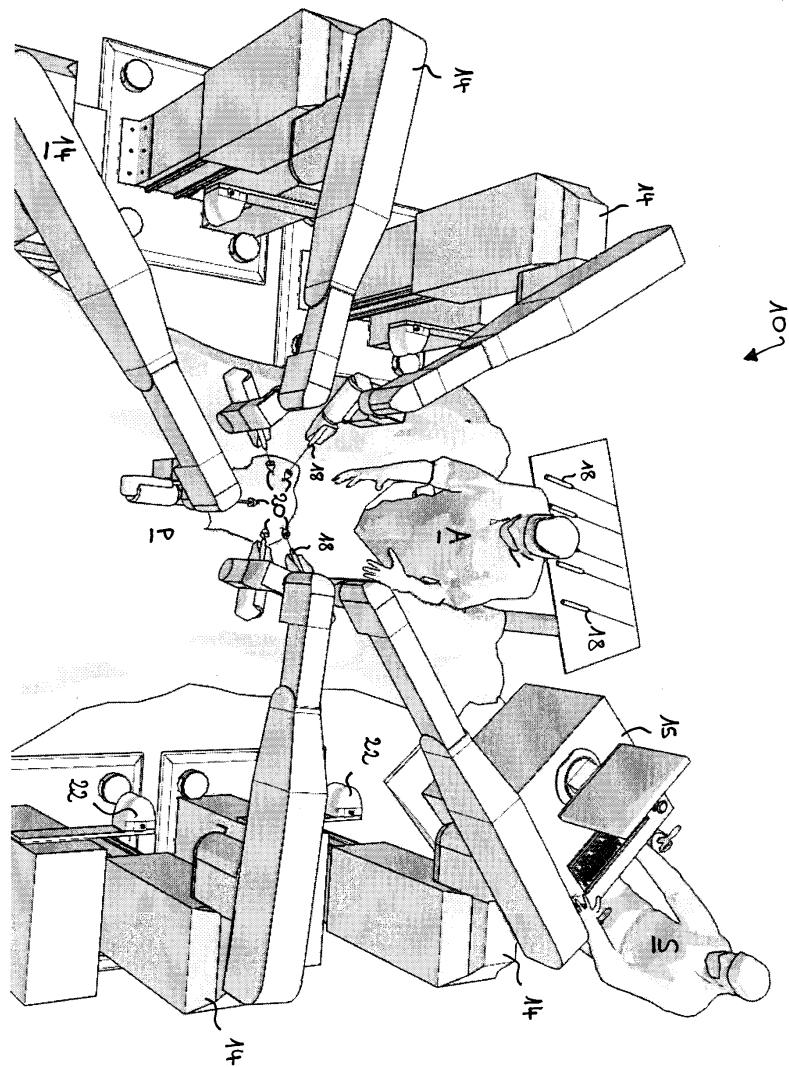
- <40> 도 1은 환자가 누워있는 수술대 둘레에 배치된 3대의 로봇 매니퓰레이터(robot manipulator)를 포함하는 수술실 내의 일반적 외과 복강경 검사용 의료용 로봇 시스템의 사시도이다.
- <41> 도 2는 5대의 로봇 매니퓰레이터를 포함하는 수술실 내의 일반적 외과 복강경 검사용 의료용 로봇 시스템의 사시도이다.
- <42> 도 3은 주좌표계가 도시된 도 1과 도 2의 의료용 로봇 시스템의 로봇 매니퓰레이터의 사시도이다.
- <43> 도 4는 도 3의 로봇 매니퓰레이터를 주요 부분으로 일부 분해한 사시도이다.
- <44> 도 5는 조인트(J1-J6)를 포함하는 도 3의 로봇 매니퓰레이터의 기구학적 구성(kinematic configuration)을 보여주는 개략도이다.
- <45> 도 6은 5대의 로봇 매니퓰레이터를 포함하는 외과 로봇 시스템의 평면도로서, 매니퓰레이터 요소들을 둘러싼 2D 충돌 감지 박스를 보여주는 도면이다.
- <46> 도 7은 도 3의 로봇 매니퓰레이터의 기부의 사시도이다.
- <47> 도 8은 의료용 로봇 시스템의 평면도로서, 외과의사 보조원(surgeon assistant)의 로봇 매니퓰레이터에 대한 인접 여부를 감지하는 2D 레이저 기반 감지 방식을 보여주는 도면이다.
- <48> 도 9는 도 3의 로봇 매니퓰레이터의 조인트(J1-J3)의 내부 요소들의 사시도이다.
- <49> 도 10은 도 3의 로봇 매니퓰레이터의 조인트(J2)의 내부 요소들의 사시도이다.
- <50> 도 11은 조인트(J4, J5)를 포함하는 매니퓰레이터 손목의 내부 요소들의 제1 사시도이다.
- <51> 도 12는 조인트(J4, J5)를 포함하는 매니퓰레이터 손목의 내부 요소들의 제2 사시도이다.
- <52> 도 13은 조인트(J4, J5)를 포함하는 매니퓰레이터 손목의 내부 요소들의 제3 사시도이다.
- <53> 도 14는 도 3의 로봇 매니퓰레이터의 작동 유닛(effector unit) 및 이 작동 유닛과의 연결되기 위한 적응식 기구를 보여주는 사시도이다.
- <54> 도 15는 도 14의 작동 유닛의 주요 내부 요소들의 사시도이다.
- <55> 도 16은 지점 참조 프레임(fulcrum reference frame)의 사시도이다.
- <56> 도 17은 ISA(Instrument Stem Adaptor: 기구 스템 어댑터) 및 해당 기구 스템의 사시도이다.
- <57> 도 18은 도 14에 도시한 LIA(Laparoscopic Instrument Actuator: 복강경 기구 액추에이터)의 확대 사시도이다.
- <58> 도 19는 도 18의 LIA 내의 구동 조립체의 사시도이다.
- <59> 도 20은 도 18에 도시한 LIA의 다른 내부 요소들을 보여주는 하부 사시도이다.
- <60> 도 21은 도 18에 도시한 LIA의 또 다른 내부 요소들을 보여주는 상부 사시도이다.
- <61> 도 22는 도 18에 도시한 LIA에 사용되는 커플링 메커니즘을 보여주는 사시도이다.
- <62> 도 23은 변형된 매니퓰레이터 손목을 포함하는 도 3에 따른 로봇 매니퓰레이터의 사시도이다.
- <63> 도 24는 도 23에 따른 4대의 로봇 매니퓰레이터 및 도 3에 따른 1대의 로봇 매니퓰레이터를 포함하는 일반적 외과 복강경 검사용 의료용 로봇 시스템의 사시도이다.
- <64> 도 25는 도 14에 도시한 작동 유닛에 사용되는 LIA(복강경 기구 액추에이터)의 다른 실시예를 보여주는 사시도이다.
- <65> 도 26은 도 24의 LIA 및 이에 연결된 ISA(기구 스템 어댑터)의 다른 실시예를 보여주는 사시도이다.
- <66> 도 27은 도 24의 LIA에 사용되는 구동 조립체의 다른 예를 보여주는 사시도이다.
- <67> 도 28은 도 26에 도시한 ISA의 다른 사시도이다.
- <68> 도 29는 도 26과 도 28에 도시된 ISA의 일부 분리 사시도이다.
- <69> 도 30은 도 26과 도 28에 도시된 ISA 및 이에 연결된 기구의 다른 예를 보여주는 일부 분리 사시도이다.

도면

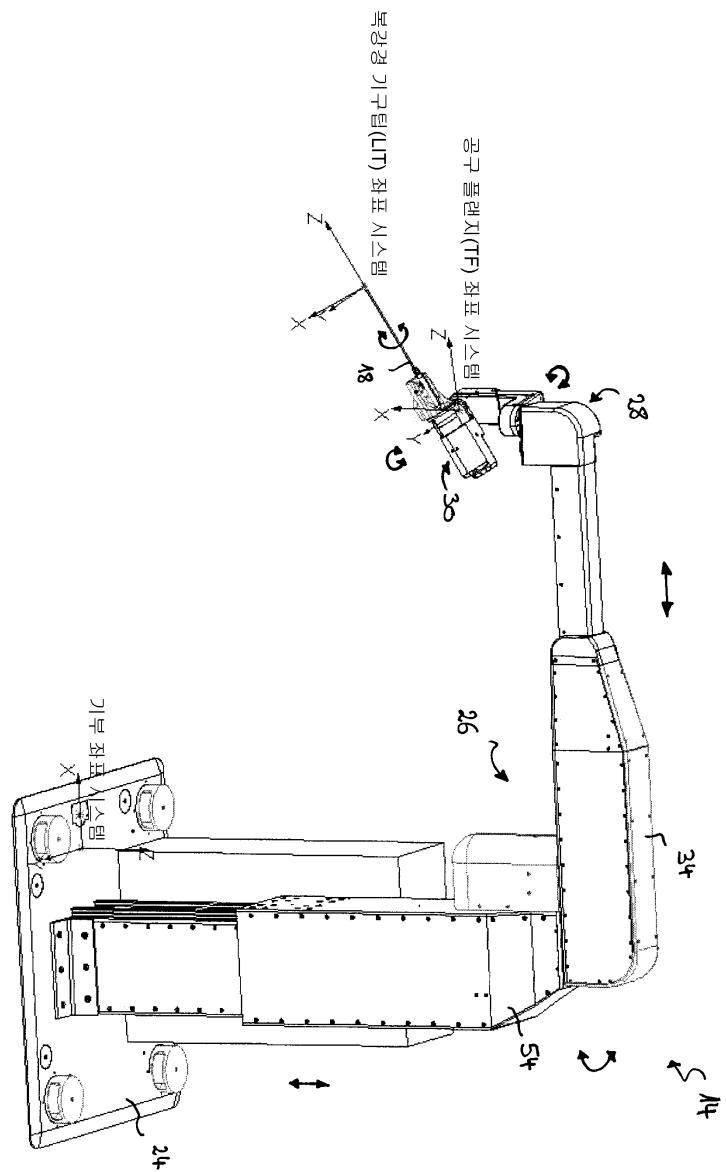
도면1



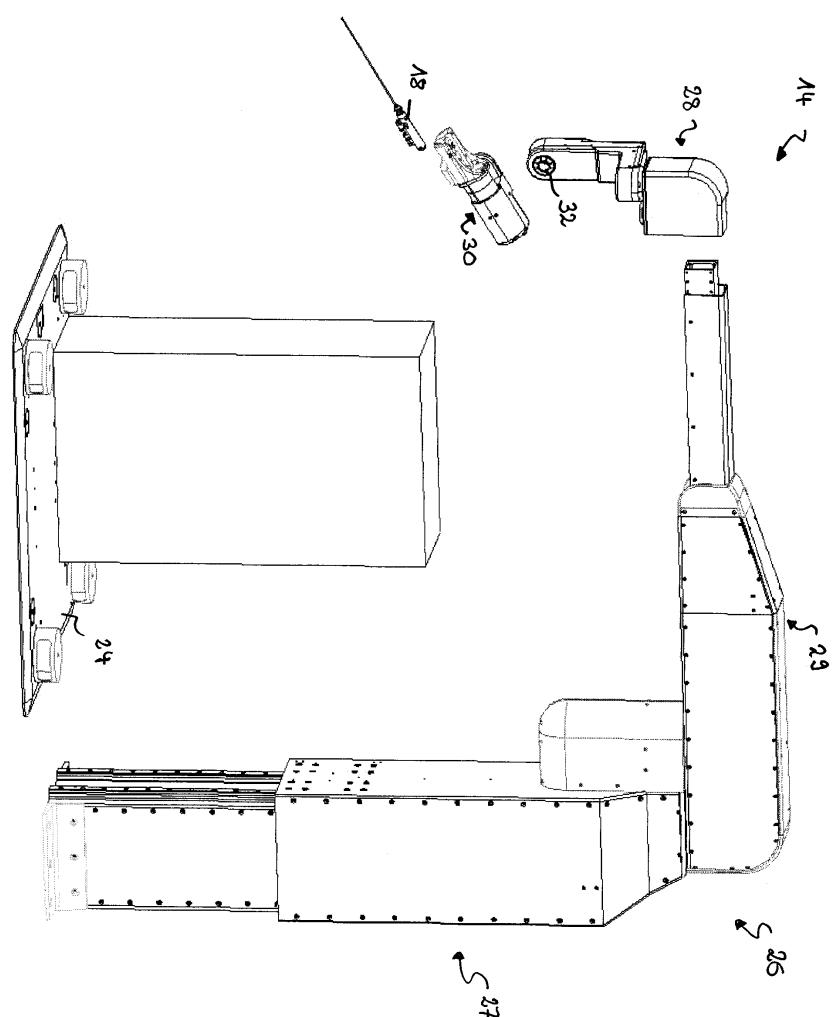
도면2



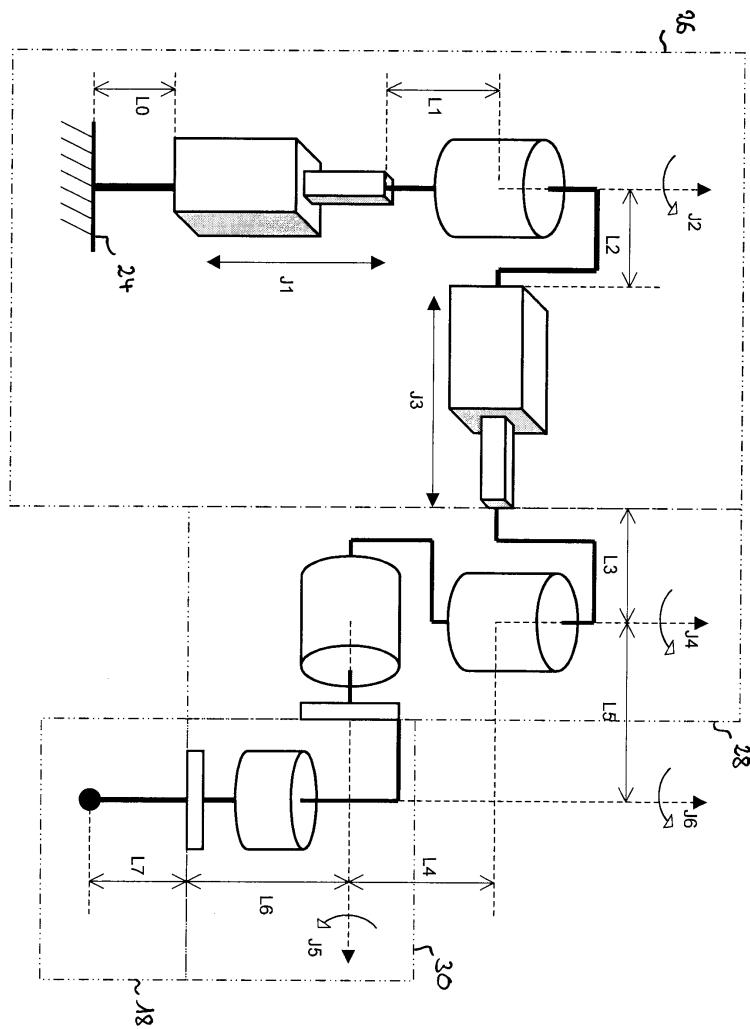
도면3



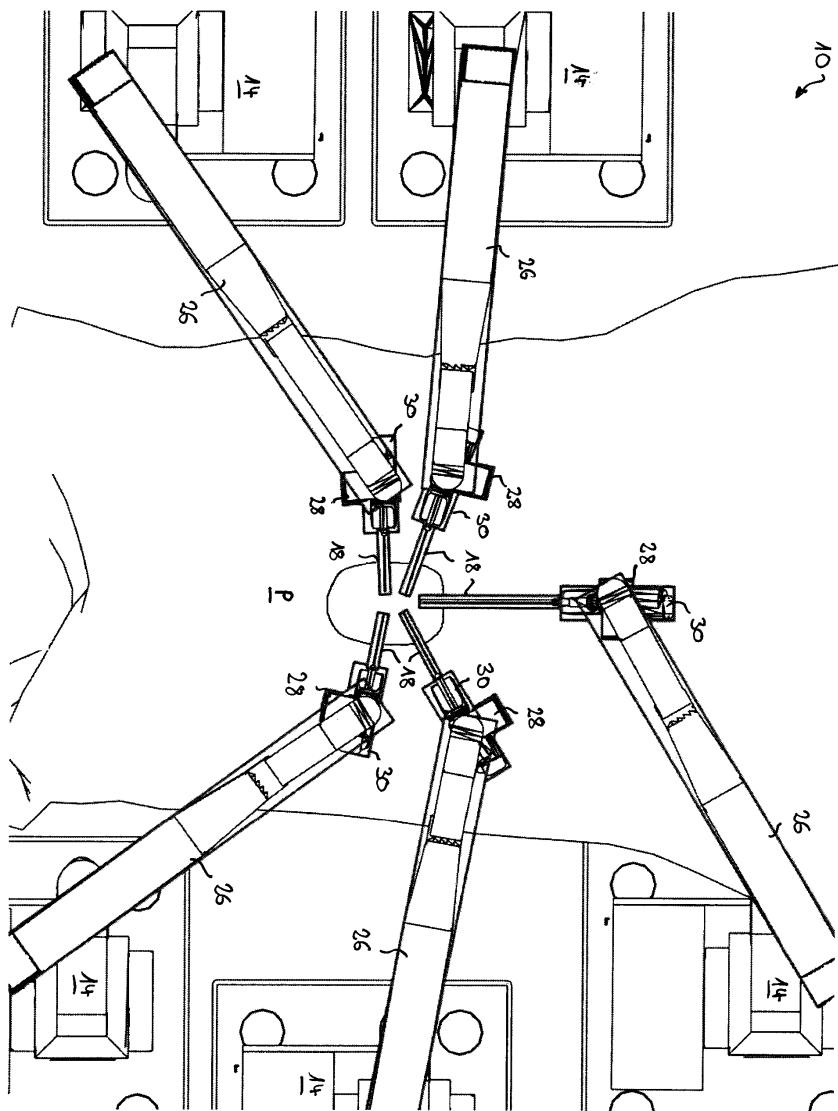
도면4



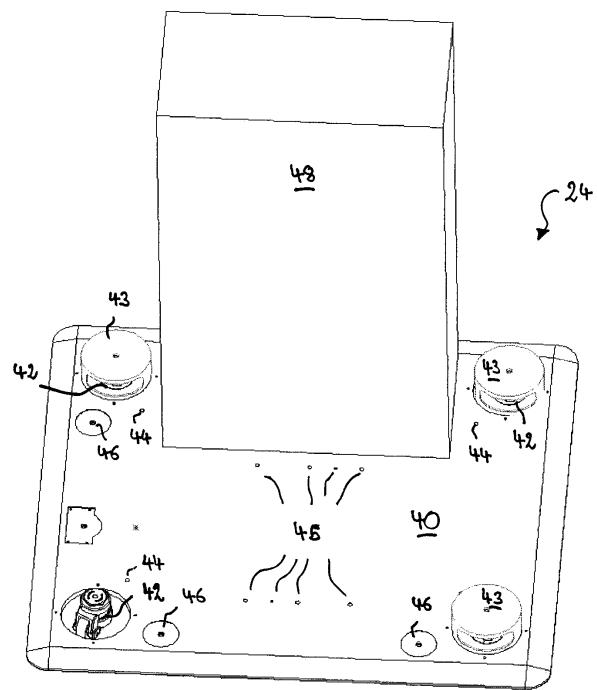
도면5



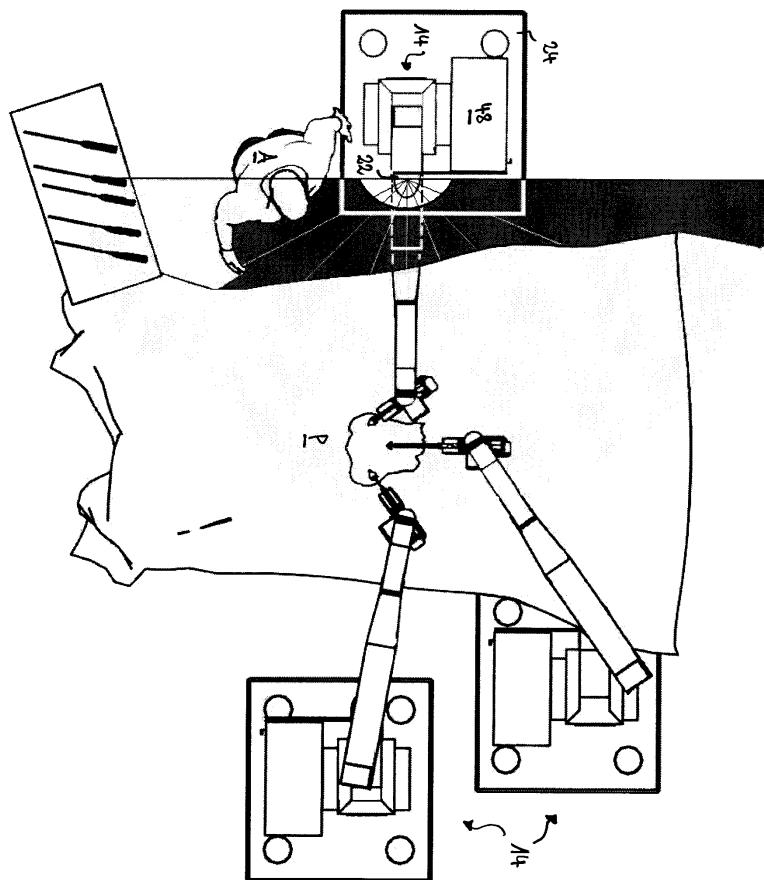
도면6



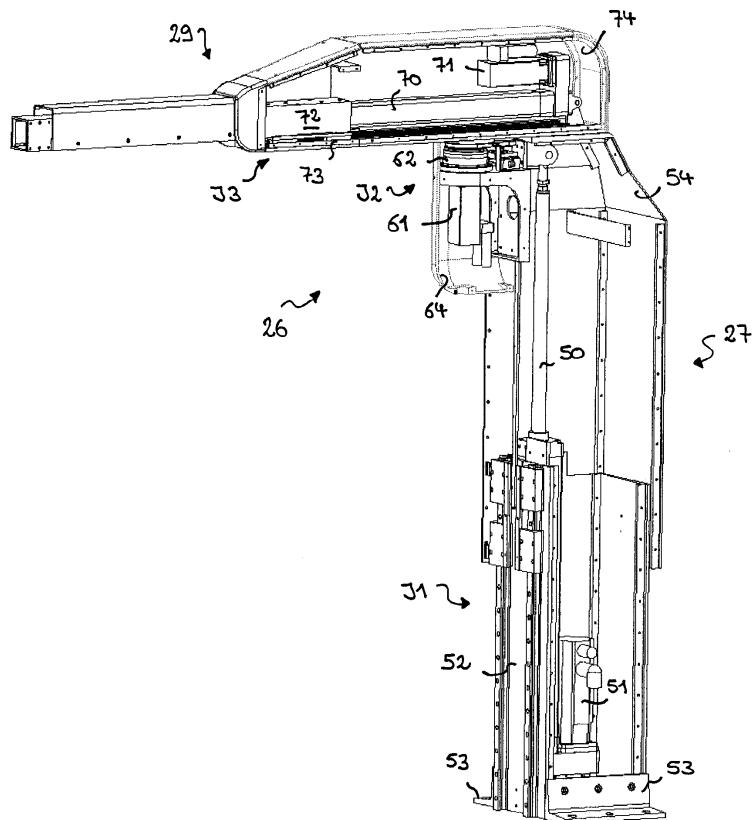
도면7



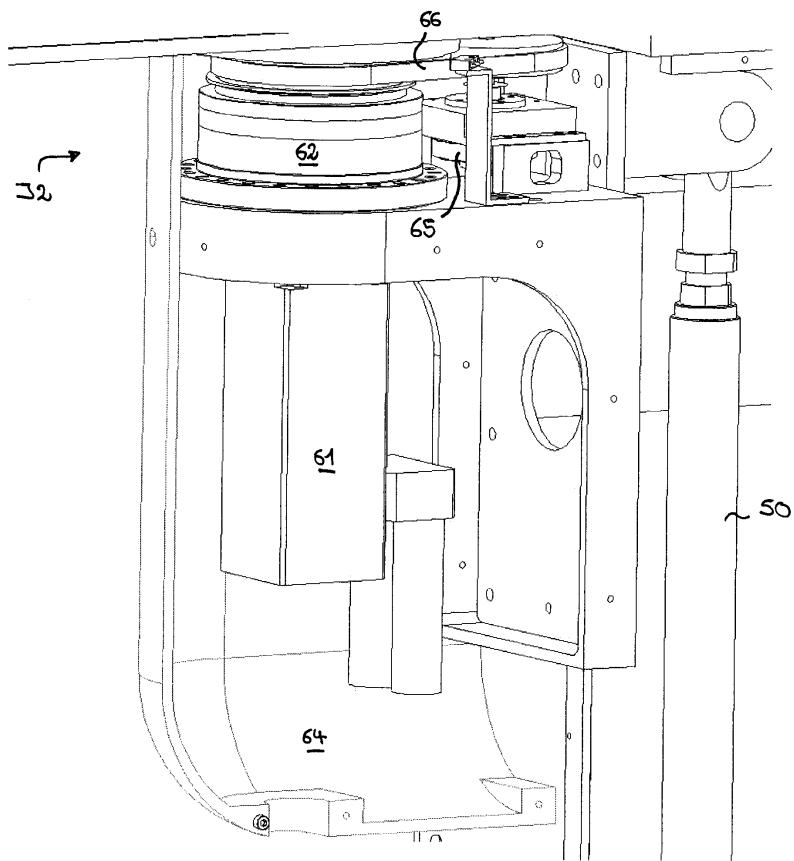
도면8



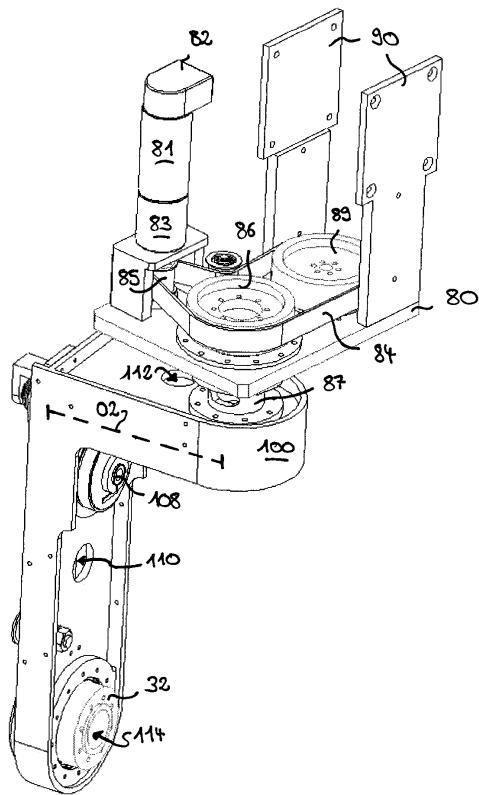
도면9



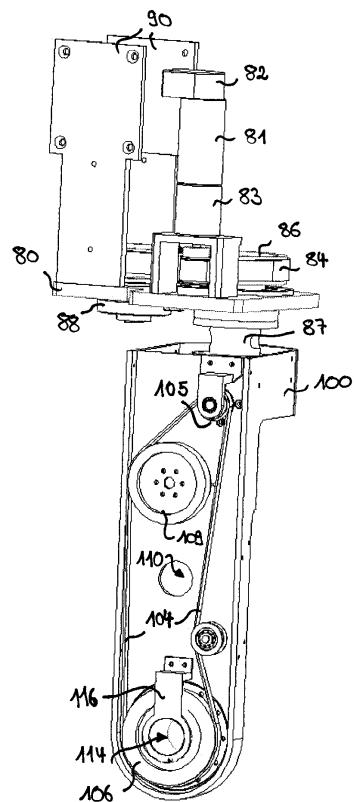
도면10



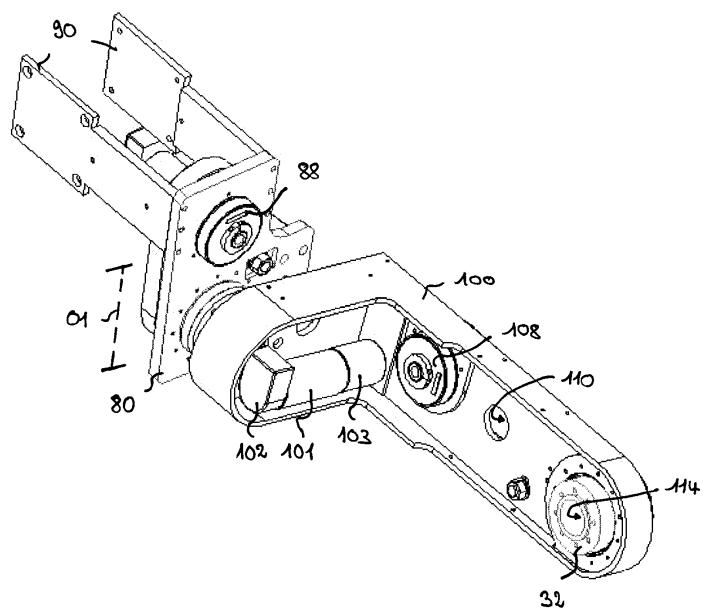
도면11



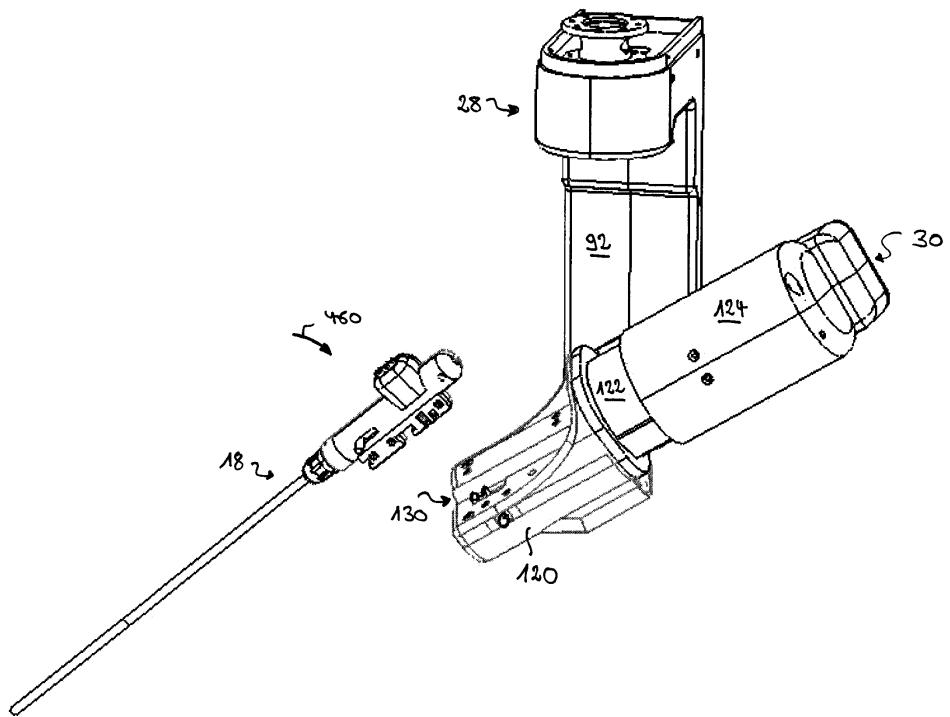
도면12



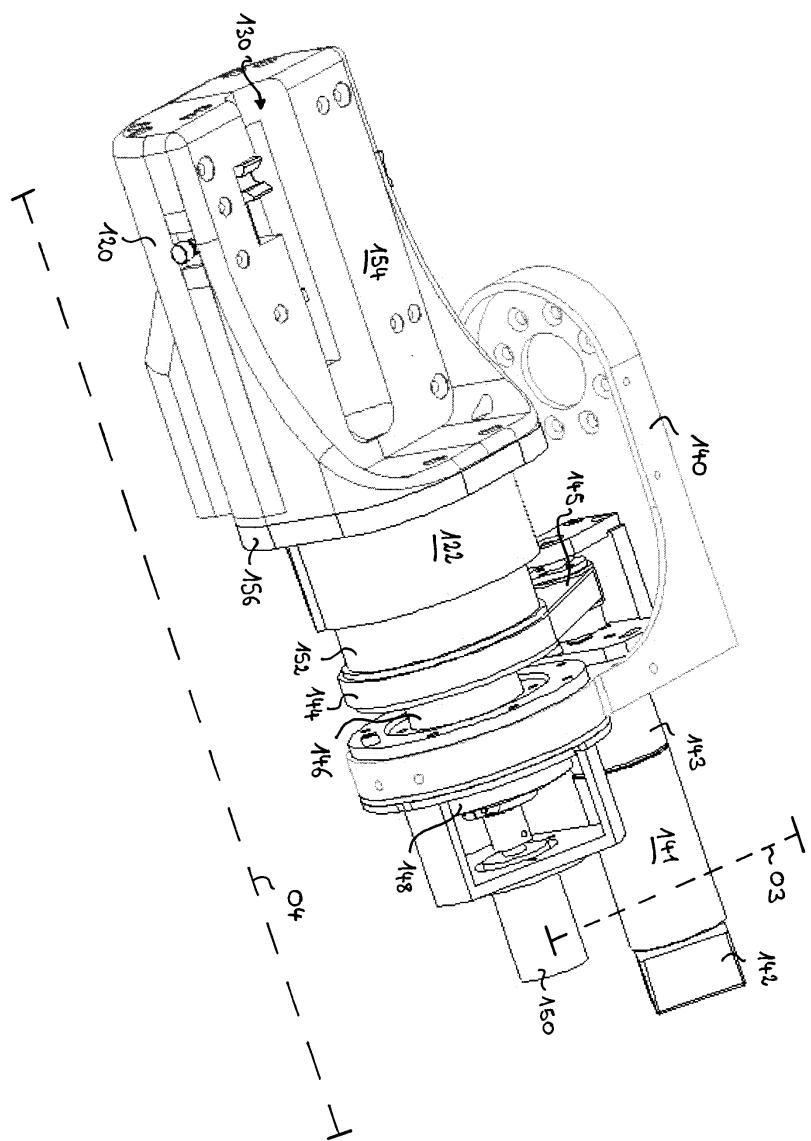
도면13



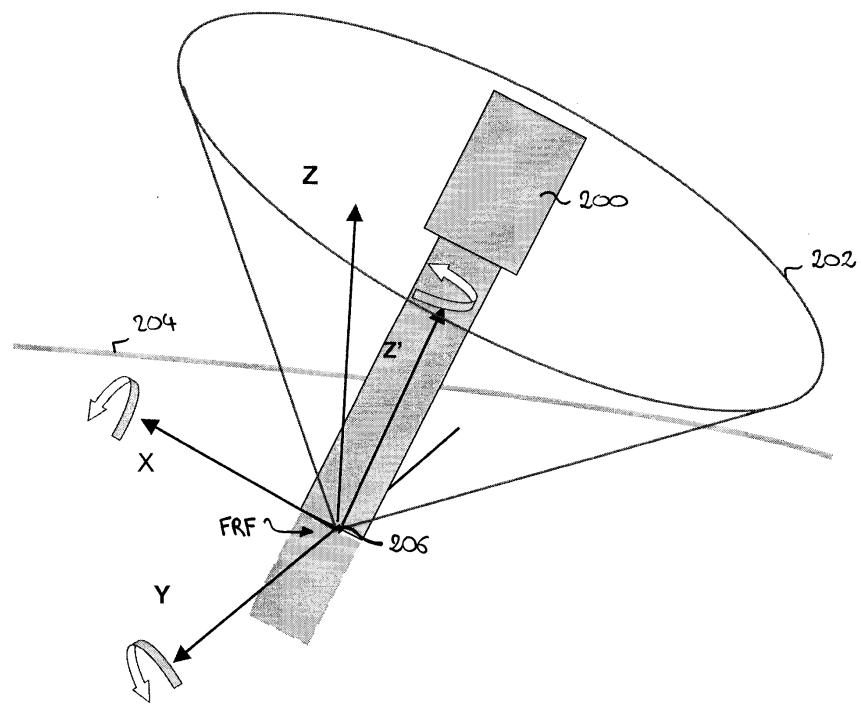
도면14



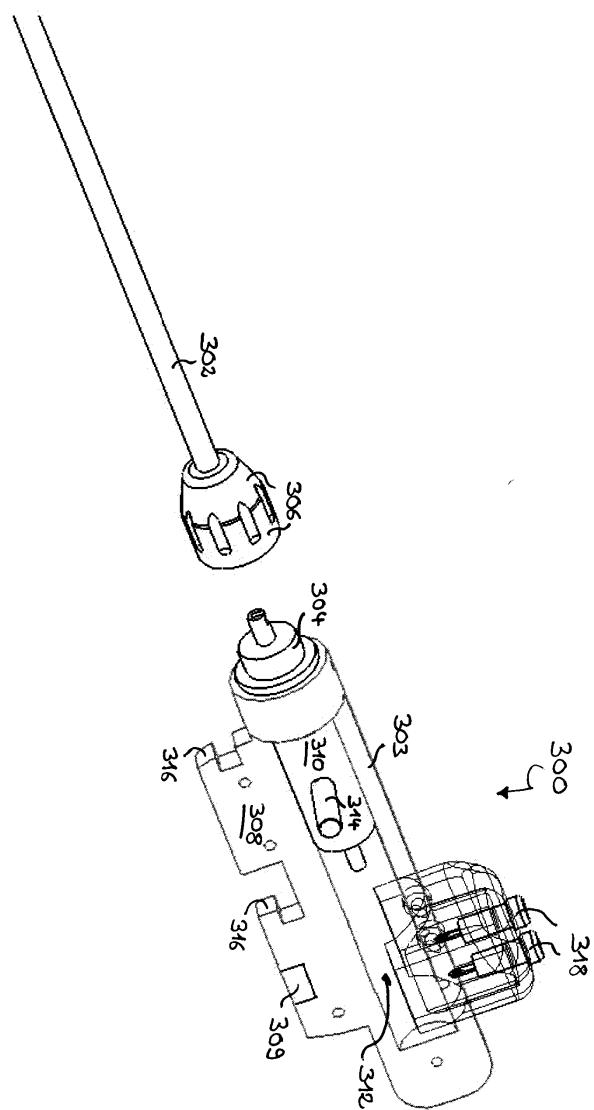
도면15



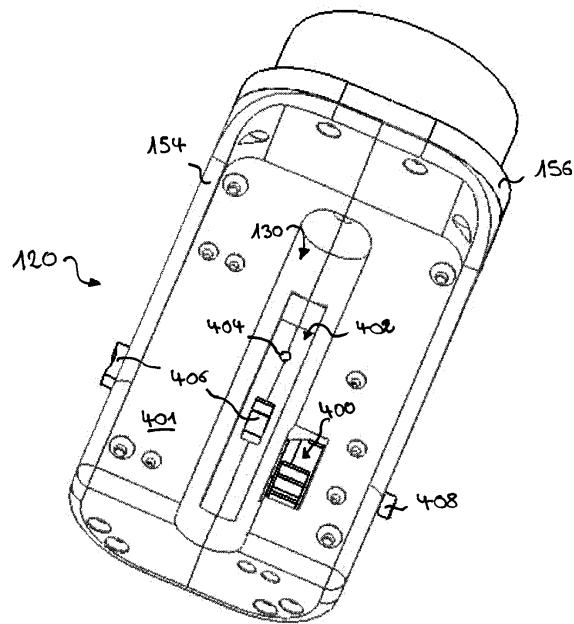
## 도면16



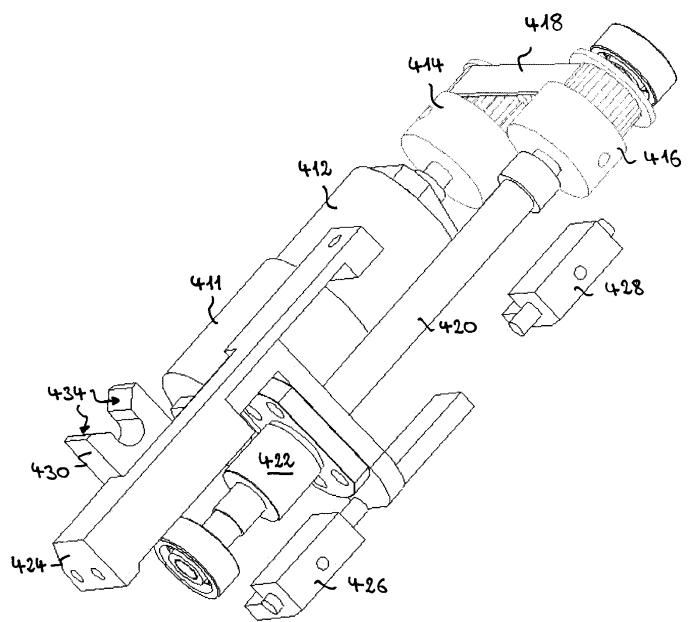
### 도면17



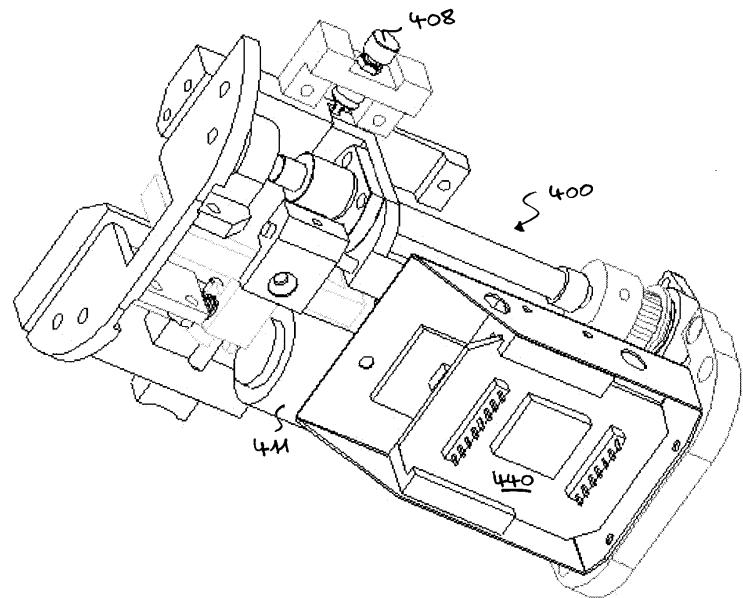
도면18



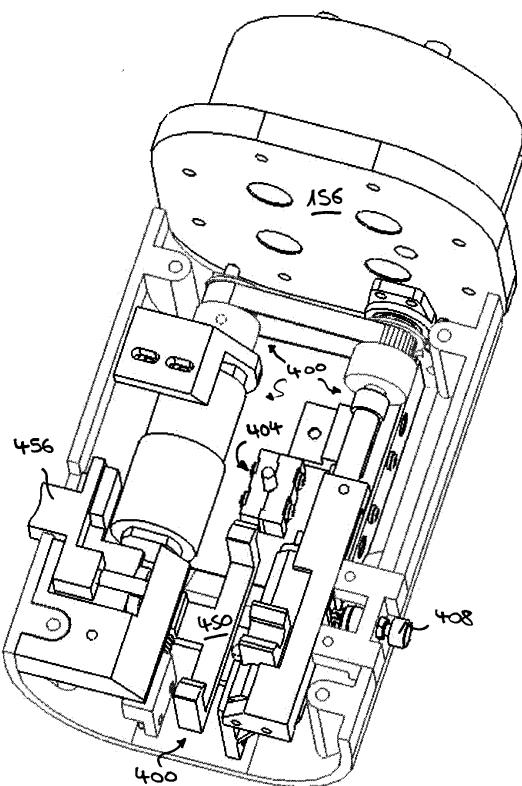
도면19



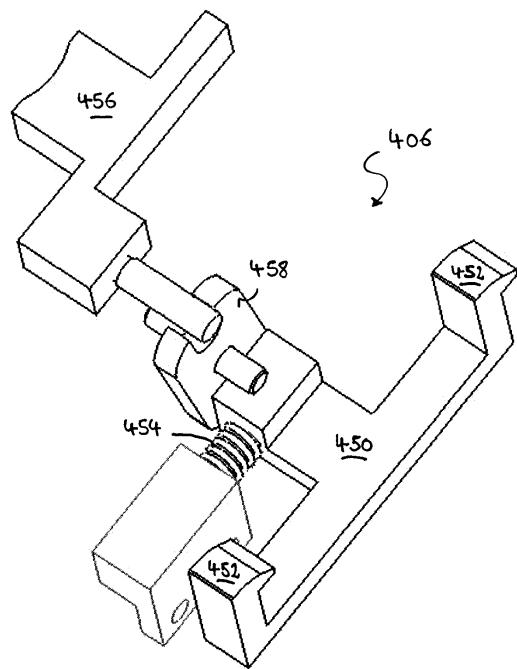
도면20



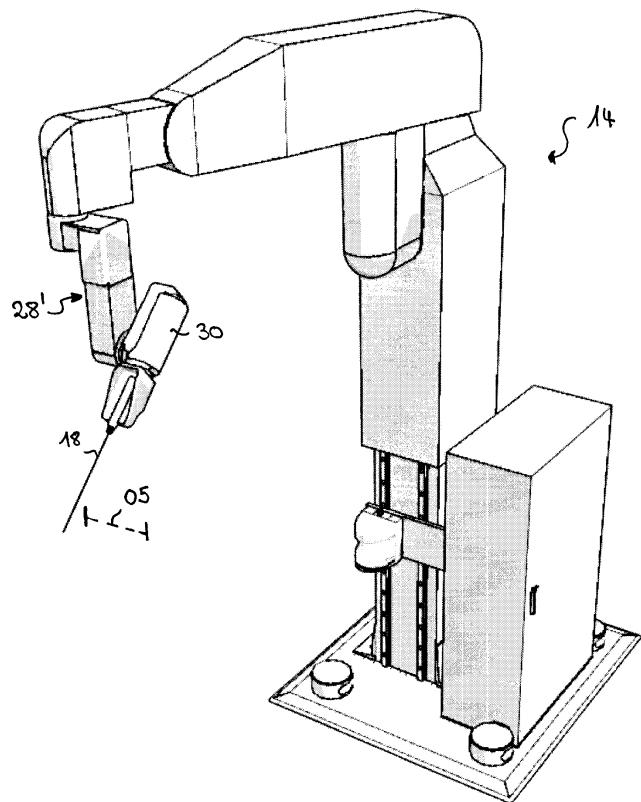
도면21



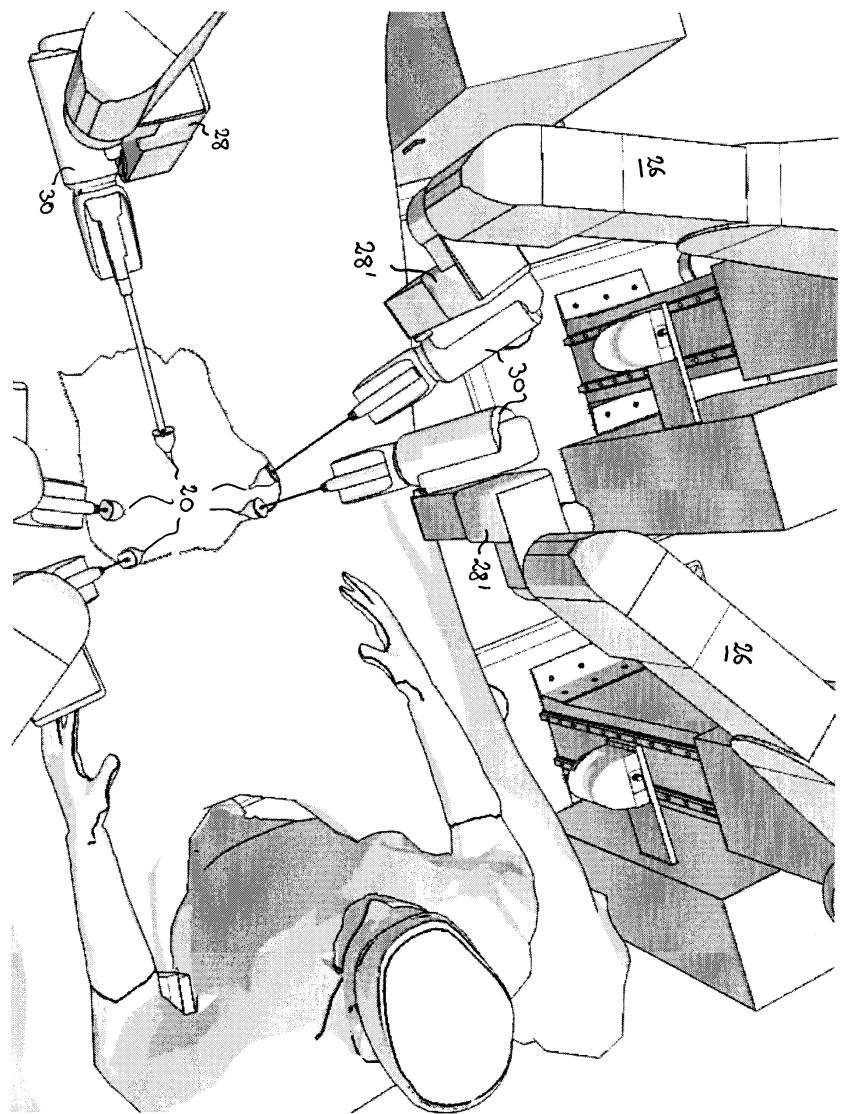
도면22



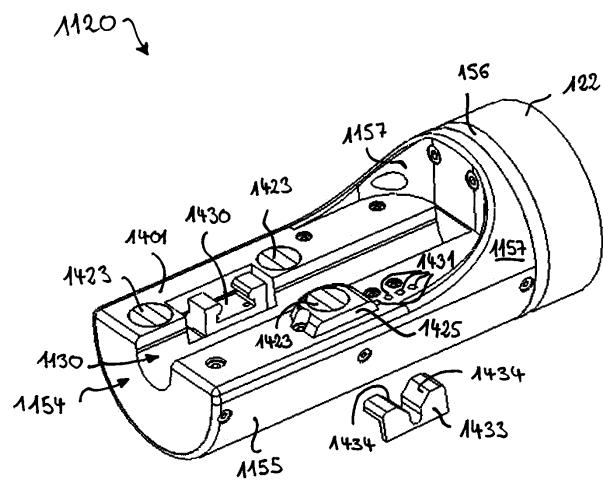
도면23



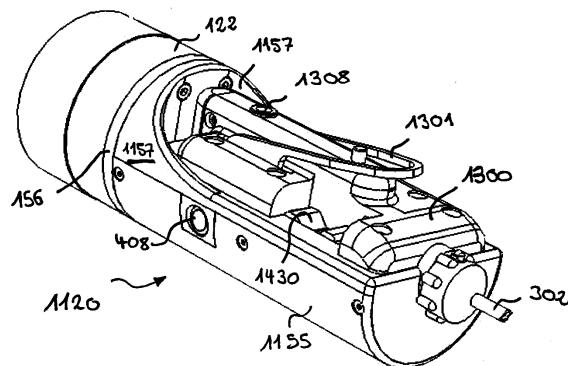
## 도면24



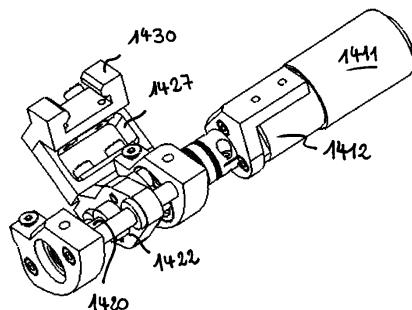
### 도면25



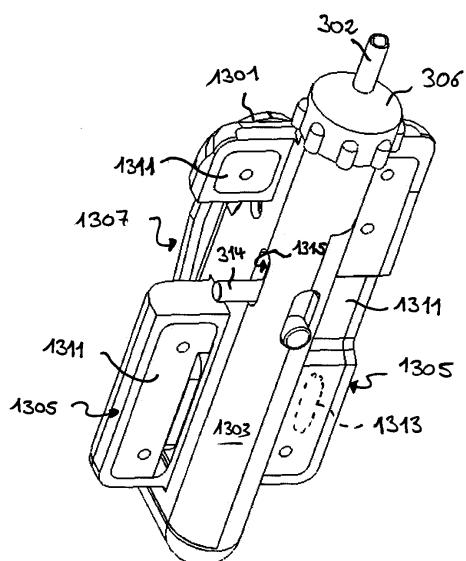
도면26



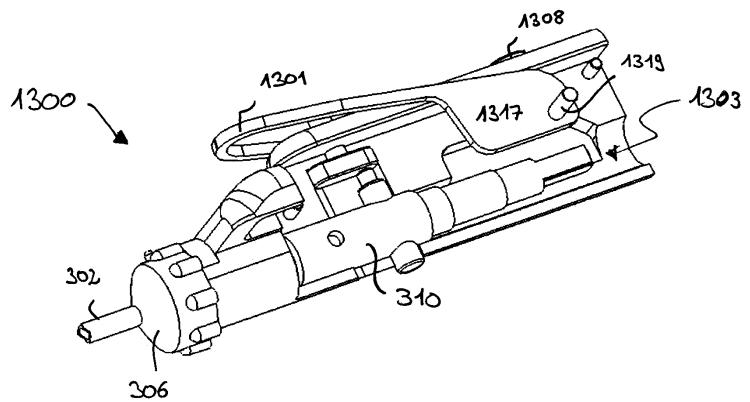
도면27



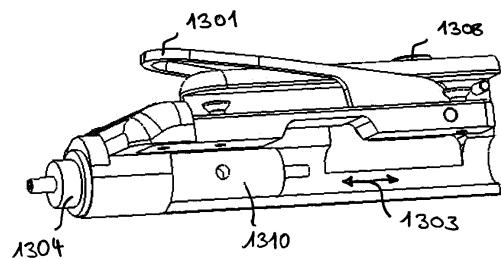
도면28



도면29



도면30



|               |  |         |            |
|---------------|--|---------|------------|
| 专利名称(译)       | 具有圆柱坐标型操作臂的医疗机器人系统   |         |            |
| 公开(公告)号       | <a href="#">KR1020080100211A</a>   | 公开(公告)日 | 2008-11-14 |
| 申请号           | KR1020087021009  | 申请日     | 2007-02-02 |
| 申请(专利权)人(译)   | 孩子更欧洲彼岸群制原子能源社区 ( 知道为什么A硫标志 ) , 真的很痛 , 更是欧洲彼岸佣金  |         |            |
| 当前申请(专利权)人(译) | 孩子更欧洲彼岸群制原子能源社区 ( 知道为什么A硫标志 ) , 真的很痛 , 更是欧洲彼岸佣金  |         |            |
| [标]发明人        | RUIZ MORALES EMILIO<br>루이즈모랄레스에밀리오   |         |            |
| 发明人           | 루이즈모랄레스에밀리오  |         |            |
| IPC分类号        | B25J9/04 A61B19/00   |         |            |
| CPC分类号        | A61B34/30 A61B34/37 A61B34/71 A61B34/77 A61B90/361 A61B2034/305 A61B2090/064 B25J9/041 |         |            |
| 代理人(译)        | 专利法的优美   |         |            |
| 优先权           | 2006101250 2006-02-03 EP   |         |            |
| 其他公开文献        | KR101306215B1  |         |            |
| 外部链接          | <a href="#">Espacenet</a>  |         |            |

#### 摘要(译)

用于执行医疗程序的医疗机器人系统 ( 10 ) 包括用于机器人辅助处理医疗器械的机器人操纵器 ( 14 ) , 特别是腹腔镜手术器械 ( 18 ) 。机器人操纵器 ( 14 ) 包括底座 ( 24 ) ;操纵臂 ( 26 ) , 具有由基部支撑的基本上垂直的部分 ( 27 ) , 并且具有由垂直部分 ( 27 ) 支撑的基本水平的部分 ( 29 ) ;由操纵臂 ( 26 ) 支撑的操纵器腕部 ( 28 ) ;效应器单元 ( 30 ) 由操纵器手腕支撑并且构造成用于保持医疗器械。操纵臂 ( 26 ) 具有圆柱形PRP运动构造 , 用于定位机械手腕部。更具体地 , PRP运动学配置具有以下联合序列 : 棱柱 ( P ) 第一关节 ( J1 ) , 用于通过沿基本垂直轴提供平移自由度来改变垂直部分 ( 27 ) 的高度 , 旋转 ( R ) 通过提供围绕基本垂直轴的旋转自由度来改变垂直部分 ( 27 ) 和水平部分 ( 29 ) 之间的旋转角度的第二关节 ( J2 ) , 以及棱柱 ( P ) 第三关节 ( J3 ) 通过沿基本水平的轴提供平移自由度来改变水平部分的范围。

