(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년03월20일
(11) 등록번호 10-1123129
(24) 등록일자 2012년02월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 19/00 (2006.01) *B25J 9/06* (2006.01)
B25J 9/02 (2006.01) *B25J 18/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0029236
(22) 출원일자 2010년03월31일
심사청구일자 2010년03월31일
(65) 공개번호 10-2011-0109475
(43) 공개일자 2011년10월06일
(56) 선행기술조사문헌
KR100695471 B1
KR100947491 B1
US20050096502 A1
US20090234369 A1

(73) 특허권자
한양대학교 산학협력단
서울 성동구 행당동 17 한양대학교 내
(72) 발명자
최영진
경기도 안산시 상록구 월피동 현대2차아파트 204동 102호
이병주
경기도 부천시 원미구 상동 415 사랑마을 1613동 702호
이호열
부산광역시 북구 구포2동 1103-16번지 천문그린빌라 가동 202호
(74) 대리인
특허법인충현

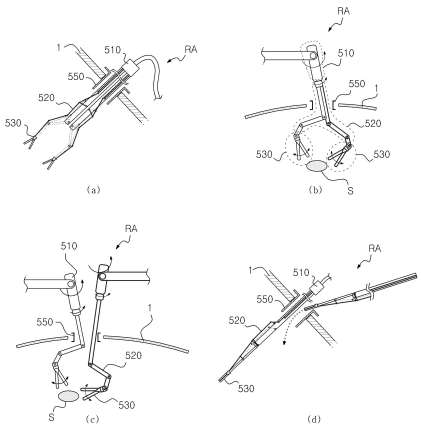
전체 청구항 수 : 총 13 항 심사관 : 오승재

(54) 발명의 명칭 **로봇암 및 이를 포함하는 수술용 로봇**

(57) 요 약

본 발명은 로봇암에 관한 것으로, 본 발명에 따른 로봇암은, 생체 내에 삽입되는 작업부; 상기 작업부를 작동시키는 액추에이터가 장착된 구동부; 상기 작업부와 상기 구동부 사이에 결합되어 상기 액추에이터의 힘을 상기 작업부로 전달하는 위치조절부를 포함하되, 상기 액추에이터에 의해 상기 작업부의 동작이 이루어지도록, 4절링크를 포함하는 복수개의 링크장치가 적층결합되고, 상기 위치조절부에는, 상기 링크장치의 4절링크가 적층결합되는 것을 특징으로 하며, 본 발명에 따른 로봇암을 사용함으로써, 생체 내에 삽입되는 로봇암의 부피가 축소되어 수술 부위의 절개 폭을 줄일 수 있고, 주변 장기와의 접촉을 최소화할 수 있으며, 로봇암의 재질 및 작업부에 장착되는 수술 도구를 용이하게 교체할 수 있다.

대 표 도 - 도4



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20090083875
부처명	교육과학기술부(과기부)
연구사업명	기초연구사업(중견연구자지원사업)
연구과제명	생체 모델링 기반 재활 로봇
주관기관	교육과학기술부(과기부)((재)한국연구재단)
연구기간	2009년 09월 01일 ~ 2010년 08월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

생체 내에 삽입되는 작업부;

상기 작업부를 작동시키는 액추에이터가 장착된 구동부;

상기 작업부와 상기 구동부 사이에 결합되어 상기 액추에이터의 힘을 상기 작업부로 전달하는 위치조절부를 포함하되,

상기 액추에이터에 의해 상기 작업부의 동작이 이루어지도록, 4절링크를 포함하는 복수개의 링크장치가 적층결합되고,

상기 위치조절부에는, 상기 링크장치의 4절링크가 적층결합되는 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 링크장치는 상기 구동부에 위치한 입력링크부, 상기 4절링크를 하나 이상 포함하는 4절링크부, 및 상기 4절링크부의 말단에 결합된 출력링크부를 포함하고,

상기 4절링크부는, 제1링크, 상기 제1링크의 맞은편에 위치한 커넥팅로드, 상기 제1링크와 커넥팅로드의 일측 단부를 연결하는 입력측 전달링크, 및 상기 입력측 전달링크의 맞은편에 위치한 출력측 전달링크로 구성되는 4개의 링크를 서로 힌지결합하는 4절링크를 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 4절링크부는 상기 제1링크가 위치가 고정된 고정링크인 고정4절링크 한 개를 포함하고,

상기 입력측 전달링크의 양단 사이에 힌지 결합되며, 액추에이터가 장착된 입력링크부, 및

상기 출력측 전달링크에 일정한 각도로 고정 결합된 출력링크부를 포함하는 1자유도 링크장치가 장착되는 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 1자유도 링크장치, 및

상기 고정4절링크와, 상기 제1링크가 가동링크인 가동4절링크를 하나씩 포함하되, 상기 고정링크와 가동링크가 힌지결합된 4절링크부, 상기 고정4절링크에 구비된 입력측 전달링크의 양단 사이에 힌지 결합되며 액추에이터가 장착된 입력링크부, 및 상기 가동4절링크의 출력측 전달링크에 고정결합되어 상기 출력측 전달링크에 의해 회동하는 출력링크부를 포함하는 2자유도 링크장치를 적층결합하되,

상기 고정4절링크의 출력측 전달링크의 구동을 상기 가동4절링크의 입력측 전달링크로 전달하는 연결관절이 상기 고정4절링크와 상기 가동4절링크 사이에 결합되고,

상기 2자유도 링크장치의 출력이 모두 제어 가능하도록 상기 1자유도 링크장치의 출력이 상기 2자유도 링크장치에 입력되는 2자유도 적층형 링크기구가 장착되는 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 1자유도 링크장치의 출력링크부가 상기 2자유도 링크장치의 상기 가동링크에 고정결합된 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 연결관절이 상기 고정4절링크의 출력측 전달링크와, 상기 가동4절링크의 입력측 전달링크에 고정결합된 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 1자유도 링크장치, 및

각각 2 내지 n개의 4절링크를 포함하되 상기 제1링크가 가동링크인 가동4절링크와 상기 고정4절링크를 포함하고 인접한 상기 제1링크가 서로 힌지결합된 4절링크부, 상기 4절링크부를 구성하는 첫번째 4절링크에 구비된 상기 입력측 전달링크의 양단 사이에 힌지결합되며, 액추에이터가 장착된 입력링크부, 및 상기 각각의 4절링크부의 마지막 4절링크의 상기 출력측 전달링크에 고정결합된 출력링크부를 포함하는 n-1개의 링크장치를 적층 결합하여 형성되되,

n자유도 링크장치의 출력이 모두 제어가능하도록 1 내지 n-1자유도 링크장치의 출력이, 각각 2 내지 n자유도 링크장치에 입력되도록 상기 n개의 링크장치가 적층결합되고,

인접한 상기 4절링크의 출력측 전달링크와 입력측 전달링크 사이에 결합되어 상기 4절링크 간의 구동력을 전달하는 연결관절을 포함하고,

각각의 상기 링크장치는, 상기 4절링크부의 첫번째 4절링크가 상기 고정4절링크이고, 나머지 4절링크는 가동4절링크인 n자유도 적층형 링크기구를 장착하는 것을 특징으로 하는 로봇암:

여기서, n은 3 이상의 정수임.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 n자유도 적층형 링크기구는 상기 연결관절이, 인접한 4절링크의 상기 출력측 전달링크와 상기 입력측 전달링크에 고정결합된 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 n자유도 적층형 링크기구는 상기 1 내지 n-1자유도 링크장치 각각의 출력링크부가, 각각의 상기 2 내지 n자유도 링크장치의 마지막 4절링크의 가동링크에 고정결합된 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 n자유도 적층형 링크기구는 동일한 순서에 위치한 제1링크가 적층결합되는 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 작업부는 방사선 투과물질로 형성되는 것을 특징으로 하는 로봇암.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 따른 로봇암과, 상기 로봇암의 위치를 조절해 주는 로봇암 스탠드를 포함하는 로봇구동부; 및

상기 로봇구동부의 동작명령을 입력하는 로봇콘솔을 포함하는 수술용 로봇.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 로봇콘솔에서 입력되는 동작명령을 상기 작업부에 전달하는 와이어; 및

상기 로봇암의 위치조절부에 결합되어 상기 와이어의 설치위치를 고정하는 가이드를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수술용 로봇.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 로봇암에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 절개부위를 최소로 하면서 수술도구가 장착된 작업부의 위치 이동이 원활하며 작업부가 안정적으로 지지되는 로봇암에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 수술용 로봇의 로봇암은, 생체 내에서 조직을 절개하거나 봉합하는 등의 작업을 수행하여야 하기 때문에, 공간적 제약을 많이 받는다. 따라서, 수술을 진행하는 로봇암은 크기에 제한이 있다. 일반적인 수술용 로봇의 로봇암은, 각 관절 부위 및 수술용 도구가 장착된 로봇암의 선단에 액추에이터를 장착함으로써 수술 부위 내에서 로봇암을 작동시켰다. 따라서, 생체 내에 삽입되는 로봇암의 부피가 증가하는 것을 방지하기 위해서는 로봇암에 장착되는 액추에이터의 숫자를 제한해야만 했다. 이로 인하여, 일반적인 로봇암이 수술하고자 하는 조직에 근접한 위치로 이동하기 위해서는, 도 1a에 도시된 바와 같이, 피부(1)의 여러 부위를 절개한 뒤 각각의 위치에서 수술이 진행되어야만 했다. 이러한 로봇암(r_1, r_2)의 경우, 절개 부위가 많이 필요하며 수술의 목적에 따라 절개부위의 위치가 달라져야만 했고, 이로 인하여 수술 부위의 흉터가 다수 개 남게 되어 미관상의 문제점이 발생하였다. 특히 수술부위가 일상적인 생활에 노출되기 쉬운 부위일 경우, 이러한 미관상의 문제가 더욱 심화되었다. 뿐만 아니라, 액추에이터로 인하여 로봇암(r_1, r_2)의 무게가 증가하기 때문에, 로봇암(r_1, r_2)에 걸리는 하중이 전체적으로 증가한다는 문제점이 발생하였다. 게다가, 상기 로봇암(r_1, r_2)이 장착되는 위치가 각각 다르기 때문에, 상기 로봇암(r_1, r_2)의 위치를 조정하는 로봇암 스탠드의 개수도 증가하기 때문에 설치 장소가 협소해져서 수술을 진행하기 어렵다는 문제점이 있었다.

[0003] 종래에는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 도 1b에 도시된 대한민국 공개특허공보 제2009-0124552호의 로봇암을 사용하였다. 상기 로봇암은 다수의 마디(20)와, 다수의 마디(20) 중 인접한 마디(20)를 연결하여 관절을 형성하는 탄성 부재(16) 및 다수의 마디(20)를 관통하여 구비되는 관절 구동 와이어(12, 14)를 포함하여, 관절 구동 와이어(12, 14)의 견인에 의해 탄성 부재(16)가 수축 또는 신장되어 관절이 절곡되게 하였다.

[0004] 그러나 이러한 경우, 상기 관절 구동 와이어(12, 14)가 수술도구(30) 뿐만 아니라, 로봇암의 관절 부위의 구동도 제어해야만 했기 때문에, 로봇암의 부피가 극히 제한된 상태에서 관절의 제어를 위해 장착할 수 있는 구동와이어(12, 14)의 개수가 제한되고, 이로 인하여, 여전히 로봇암이 수술 부위에 근접하기 위해서는 이전에 사용되던 로봇암과 마찬가지로 여러 부위를 절개해야만 한다는 문제점이 있었다. 뿐만 아니라, 로봇암의 길이가 길어지면, 상기 로봇암에 걸리는 하중이 증가하여 수술도구(30)가 작업을 진행할 때 걸리는 하중에 의하여 상기 로봇암에 진동발생하게 되고, 이로 인하여 로봇암의 세밀한 제어가 어렵다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 첫 번째 과제는 부피를 최소화하면서 관절의 구동 능력이 향상된 로봇암을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 두 번째 과제는 상기 로봇암을 장착함으로써, 수술부위의 절개를 최소화할 수 있고, 설치면적이 감소되고, 로봇암이 안정적으로 제어되는 수술용 로봇을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 첫 번째 과제는, 생체 내에 삽입되는 작업부;

[0008] 상기 작업부를 작동시키는 액추에이터가 장착된 구동부;

[0009] 상기 작업부와 상기 구동부 사이에 결합되어 상기 액추에이터의 힘을 상기 작업부로 전달하는 위치조절부를 포함하되,

[0010] 상기 액추에이터에 의해 상기 작업부의 동작이 이루어지도록, 4절링크를 포함하는 복수개의 링크장치가 적층결합되고,

[0011] 상기 위치조절부에는, 상기 링크장치의 4절링크가 적층 결합되는 것을 특징으로 하는 로봇암을 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 링크장치는 상기 구동부에 위치한 입력링크부, 상기 위치조절부에 위치한 4절링크부, 및 상기 4절링크부의 말단에 결합된 출력링크부를 포함하고,

[0013] 상기 4절링크부는, 제1링크, 상기 제1링크의 맞은편에 위치한 커넥팅로드, 상기 제1링크와 커넥팅로드의 일측 단부를 연결하는 입력측 전달링크, 및 상기 입력측 전달링크의 맞은편에 위치한 출력측 전달링크로 구성되는 4개의 링크를 서로 힌지결합하는 4절링크를 포함할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 4절링크부는 상기 제1링크가 위치가 고정된 고정링크인 고정4절링크 한 개를 포함하고,

[0015] 상기 입력측 전달링크의 양단 사이에 힌지 결합되며, 액추에이터가 장착된 입력링크부, 및

[0016] 상기 출력측 전달링크에 일정한 각도로 고정 결합된 출력링크부를 포함하는 1자유도 링크장치가 장착될 수 있다.

[0017] 또, 상기 1자유도 링크장치, 및

[0018] 상기 고정4절링크와, 상기 제1링크가 가동링크인 가동4절링크를 하나씩 포함하되, 상기 고정링크와 가동링크가 힌지결합된 4절링크부, 상기 고정4절링크에 구비된 입력측 전달링크의 양단 사이에 힌지 결합되며 액추에이터가 장착된 입력링크부, 및 상기 가동4절링크의 출력측 전달링크에 고정결합되어 상기 출력측 전달링크에 의해 회동하는 출력링크부를 포함하는 2자유도 링크장치를 적층결합하되,

[0019] 상기 고정4절링크의 출력측 전달링크의 구동을 상기 가동4절링크의 입력측 전달링크로 전달하는 연결관절이 상기 고정4절링크와 상기 가동4절링크 사이에 결합되고,

[0020] 상기 2자유도 링크장치의 출력이 모두 제어 가능하도록 상기 1자유도 링크장치의 출력이 상기 2자유도 링크장치에 입력되는 2자유도 적층형 링크기구가 장착될 수 있다.

[0021] 이때, 상기 1자유도 링크장치의 출력링크부가 상기 2자유도 링크장치의 상기 가동링크에 고정결합되는 것이 바람직하다.

[0022] 또한, 상기 연결관절이 상기 고정4절링크의 출력측 전달링크와, 상기 가동4절링크의 입력측 전달링크에 고정결합되는 것이 바람직하다.

[0023] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 로봇암은 상기 1자유도 링크장치, 및

[0024] 각각 2 내지 n개의 4절링크를 포함하되 상기 제1링크가 가동링크인 가동4절링크와 상기 고정4절링크를 포함하고 인접한 상기 제1링크가 서로 힌지결합된 4절링크부, 상기 4절링크부를 구성하는 첫번째 4절링크에 구비된 상기 입력측 전달링크의 양단 사이에 힌지결합되며, 액추에이터가 장착된 입력링크부, 및 상기 각각의 4절링크부의 마지막 4절링크의 상기 출력측 전달링크에 고정결합된 출력링크부를 포함하는 n-1개의 링크장치를 적층 결합하여 형성되되,

[0025] n자유도 링크장치의 출력이 모두 제어가능하도록 1 내지 n-1자유도 링크장치의 출력이, 각각 2 내지 n자유도 링크장치에 입력되도록 상기 n개의 링크장치가 적층결합되고,

[0026] 인접한 상기 4절링크의 출력측 전달링크와 입력측 전달링크 사이에 결합되어 상기 4절링크 간의 구동력을 전달하는 연결관절을 포함하고,

[0027] 각각의 상기 링크장치는, 상기 4절링크부의 첫번째 4절링크가 상기 고정4절링크이고, 나머지 4절링크는 가동4절링크인 n자유도 적층형 링크기구를 장착하는 것이 바람직하다. 여기서, n은 3 이상의 정수임.

[0028] 또한, 상기 n자유도 적층형 링크기구는, 상기 연결관절이 인접한 4절링크의 상기 출력측 전달링크와, 상기 입력측 전달링크에 고정결합될 수 있다.

[0029] 또, 상기 n자유도 적층형 링크기구는 상기 1 내지 n-1자유도 링크장치 각각의 출력링크부가, 상기 2 내지 n자유도 링크장치 각각의 마지막 4절링크의 가동링크에 고정결합되는 것이 바람직하다.

[0030] 이때, 상기 n자유도 적층형 링크기구는 동일한 순서에 위치한 제1링크가 적층결합되는 것이 바람직하다.

[0031] 여기서, 상기 작업부는 방사선 투과물질로 형성될 수 있다.

[0032] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 두 번째 과제는, 상기 로봇암과, 상기 로봇암의 위치를 조절해 주는 로봇암 스탠드를 포함하는 로봇구동부; 및

[0033] 상기 로봇구동부의 동작명령을 입력하는 로봇콘솔을 포함하는 수술용 로봇을 제공하는 것이다.

[0034] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 로봇콘솔에서 입력되는 동작명령을 상기 작업부에 전달하는 와이어; 및

[0035] 상기 로봇암의 위치조절부에 결합되어 상기 와이어의 설치위치를 고정하는 가이드를 더 포함하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0036] 본 발명에 따르면, 액추에이터가 구동부 위치에만 구비되어도 위치조절부가 작업부의 구동위치를 자유롭게 조정할 수 있기 때문에, 로봇암이 삽입되는 절개위치 및, 절개폭이 감소될 뿐만 아니라, 체내에서의 로봇암의 위치와 상관없이 수술 상태를 확인할 수 있고, 위치조절부에 포함되는 병렬형 링크인 4절링크에 의해 로봇암의 하중이 고르게 분산되어 로봇암의 구동을 안정적으로 조절할 수 있고, 액추에이터 및 액추에이터를 제어하는 장치의 무게 및 크기의 제약없이 로봇암을 구동할 수 있고, 작업부를 제어하는 와이어의 개수를 최소화할 수 있기 때문에, 로봇암의 부피가 축소되며, 동일한 위치에 복수개의 로봇암이 장착되어도 작업부의 작동위치를 자유롭게 조절할 수 있기 때문에 로봇암 스탠드가 설치되는 면적을 최소화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1a 및 도 1b는 일반적인 로봇암의 정면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 로봇암을 구성하는 링크장치가 결합된 정면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 로봇암을 구성하는 링크장치의 정면도이다.

도 4는 본 발명의 여러가지 실시예에 따른 로봇암의 정면도이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 로봇암의 사시도이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 수술용 로봇의 일부 사시도이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 로봇암에 장착되는 1자유도 링크장치의 개념도이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 로봇암에 장착되는 2자유도 적층형 링크기구의 동작 원리가 도시된 개념도이다.

도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 로봇암에 장착되는 n자유도 적층형 링크기구의 동작원리가 도시된 개념도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 이하, 본 발명을 상세하게 설명한다.

[0039] 본 발명에 따른 로봇암은, 생체 내에 삽입되는 작업부;

[0040] 상기 작업부를 작동시키는 액추에이터가 장착된 구동부;

[0041] 상기 작업부와 상기 구동부 사이에 결합되어 상기 액추에이터의 힘을 상기 작업부로 전달하는 위치조절부를 포함하되,

[0042] 상기 액추에이터에 의해 상기 작업부의 동작이 이루어지도록, 4절링크를 포함하는 복수개의 링크장치가 적층결합되고,

[0043] 상기 위치조절부에는, 병렬형 링크인 상기 링크장치의 4절링크가 적층결합되어 있다.

[0044] 본 발명에 따른 로봇암은, 상기와 같이 병렬형 링크인 4절링크를 포함하는 복수개의 링크장치를 적층하여 결합하기 때문에, 큰 힘을 지지할 수 있는 구조적 특성이 있다. 즉, 로봇암의 관절에 액추에이터를 구비하지 않아도, 상기 링크장치에 포함된 상기 4절링크를 구성하는 각 링크에 하중이 분산되는 것과 동시에, 복수개의 링크장치가 적층 결합되어 있기 때문에 로봇암의 작업부에서 걸리는 힘이 각각의 링크장치에 고르게 분산되어 본 발명에 따른 로봇암이 큰 힘을 지지할 수 있는 것이다.

[0045] 본 발명에 따른 로봇암은, 수술도구가 장착되는 상기 작업부가 수술부위로 용이하게 이동하도록, 복수개로 적층된 링크장치를 구동하여 상기 위치조절부가 절곡되는 각도를 조절한다. 따라서, 종래와 같이 위치조절부의 각 관절에 액추에이터나 와이어를 설치하지 않아도, 상기 위치조절부가 안정적으로 구동된다. 즉, 본 발명에 따른 로봇 암은 수술 부위를 한 곳만 절개하여도 수술이 원활하게 진행될 수 있기 때문에, 수술 흉터가 생기는 것을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라, 수술 부위에서 다소 거리가 먼 곳을 절개하여도 수술이 원활하게 진행될 수 있기 때문에 일상 생활에 노출되지 않는 부위를 절개하여 수술을 진행할 수 있다는 장점이 있다.

[0046] 또한, 상기 작업부의 동작을 제어하기 위하여 액추에이터나, 상기 액추에이터를 제어하는 제어회로 또는 와이어가 상기 로봇암에 설치되더라도, 상기 위치조절부는 상기 복수개의 링크장치만으로도 동작의 제어가 가능하기 때문에, 액추에이터가 별도로 구비될 필요가 없다. 따라서, 종래에 비해 로봇암의 위치조절부에 장착되는 액추에이터, 그 제어회로, 및 와이어의 개수가 감소하게 되고, 이로 인하여 수술부위에 삽입되는 로봇암을 소형경량화 할 수 있다. 게다가, 상기 로봇암은 상기 위치조절부에서 실제로 지지하는 하중이 감소하는 것과 더불어, 적층결합되는 복수개의 상기 링크장치 각각에, 상기 로봇암이 지지해야하는 하중이 분산되기 때문에, 상기 작업부의 위치를 보다 안정적으로 제어할 수 있다. 또한, 각각의 상기 링크장치는 병렬형 링크인 4절링크를 포함하기 때문에 상기 링크장치에 걸리는 각각의 하중이 한번 더 상기 4절링크에서 분산되기 때문에 본 발명에 따른 로봇암이 안정적으로 구동될 수 있는 것이다.

[0047] 이러한 수술용 로봇(Surgery robot)에 사용되는 로봇암은 가는 구조의 팔과 내시경 덕분에 최소침습수술(MIS,Minimum Invasive Surgery)을 수행할 수 있다. 따라서, 환자의 회복속도가 빨라지고, 최적의 수술부위를 정확하게 수술할 수 있어 수술 성공율을 높일 수 있다. 따라서, 로봇을 이용한 수술은 의료진, 환자 모두가 만족하는 새로운 수술방법으로 각광을 받고 있다. 현재 사용되는 수술용 로봇은 전립선이나 위장, 심장부위 등과 같은 연부조직(Soft Tissue)을 수술하는 복강경 수술로봇, 무릎관절과 같은 경부조직(Hard Tisssue)을 수술하는 인공관절 수술로봇, 혈관에 카테터등을 통해 수술하는 혈관 수술로봇 등으로 크게 나눌 수 있다.

[0048] 이러한 수술용 로봇을 사용함으로써, 손 떨림 없는 미세 봉합능력이 향상되고 기존 기구에 비해 기구의 회전 능력이 향상된다. 따라서, 최소침습수술(Minimal Invasive Surgery, MIS)이 가능해 진 것이다.

[0049] 이하, 바람직한 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다. 그러나 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이에 의하여 제한되지 않는다는 것은 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 자명할 것이다.

[0050] 도 2 및 도 3에는 본 발명의 일실시예에 따른 로봇암을 구성하는 링크장치가 도시되어 있다.

[0051] 본 발명에 따른 로봇암은 크게 구동부, 위치조절부, 작업부로 구분할 수 있는데, 상기 로봇암의 구동부, 위치조절부, 및 작업부 전체에 걸쳐 복수개의 링크장치가 적층결합된다. 상기 링크장치의 입력링크부는 상기 로봇암의 상기 구동부에 위치하고, 상기 4절링크를 하나 이상 포함하는 4절링크부는 상기 로봇암의 상기 위치조절부에 위치하게 되며, 상기 링크장치의 출력링크부는 상기 4절링크부의 말단에 결합된다. 상기 링크장치의 출력링크부의 일부는 상기 로봇암의 위치조절부에 위치하고, 나머지 일부는 상기 로봇암의 작업부에 위치하게 된다.

[0052] 도 2에 도시된 링크장치는 1자유도 링크장치(100)와, 2자유도 링크장치(200)로서, 여기서 상기 1자유도 링크장치(100)의 출력링크부(130)는 상기 로봇암의 위치조절부에 위치하고, 상기 2자유도 링크장치(200)의 출력링크부(230)는 상기 로봇암의 작업부에 위치하는 것을 알 수 있다.

[0053] 상기와 같이 병렬형 링크인 4절링크를 포함한 각각의 링크장치가 적층 결합하게 되면, 상기 링크장치가 결합하여 형성되는 상기 로봇암은, 상기 위치조절부의 길이가 길어져도 상기 작업부에서 큰 힘을 견딜 수 있는 구조적 장점이 있다.

[0054] 상기 링크장치의 4절링크부는 하나 이상의 4절링크를 포함할 수 있는데, 상기 1자유도 링크장치(100)의 4절링크부에는 한 개의 4절링크(122)가 구비되어 있고, 상기 2자유도 링크장치(200)의 4절링크부에는 두 개의 4절링크(222, 224)가 구비되어 있다.

[0055] 상기 링크장치가 결합된 적층형 링크기구는 상기 1자유도 링크장치(100)의 출력링크부(130)와, 상기 2자유도 링크장치(200)의 두 번째 4절링크(224)가, 일체로 결합된다. 따라서, 2 자유도를 갖는 상기 2자유도 링크장치(200)의 출력링크부(230)가 구동가능하다. 상기 2자유도 링크장치(200)는 자유도가 2인 링크장치이지만, 상기 입력링크부(210)에 의해 제공되는 입력값은 1개이다. 따라서, 상기 1자유도의 링크장치(100)와 상기 2자유도의 링크장치(200)의 결합에 의해, 상기 1자유도 링크장치(100)의 출력값이 상기 2자유도 링크장치(200)에 입력되도록 할 수 있고, 이로 인하여 자유도가 2인 상기 2자유도 링크장치(200)에 2개의 입력값이 제공되는 효과를 얻게 되는 것이다.

[0056] 4절링크는 4개의 링크가 회동가능하게 핀 결합되고, 어떤 링크를 고정하느냐에 따라 상기 4절링크의 구동방법이 달라진다. 본 발명에 사용되는 4절링크는, 입력링크부(110, 210) 측에 위치한 입력측 전달링크(122a, 222a, 224a), 출력링크부 측에 위치한 출력측 전달링크(122c, 222c, 224c), 상기 입력측 전달링크(122a, 222a, 224a)와 출력측 전달링크(122c, 222c, 224c) 사이에 결합된 커넥팅로드(122b, 222b, 224b) 및 상기 커넥팅로드(122b, 222b, 224b)의 맞은 편에 위치한 제1링크(122d, 222d, 224d)를 포함한다. 상기 4절링크를 구성하는 4개의 링크는 서로 힌지결합하는데, 상기 4절링크는 상기 제1링크가 고정링크인지 가동링크인지에 따라서 고정4절링크와 가동4절링크로 구분할 수 있다.

[0057] 상기 고정4절링크(122, 222)에 포함되는 상기 고정링크는 그 위치가 고정된 제1링크(122d, 222d)이고, 상기 가동4절링크(224)에 포함되는 상기 가동링크는 그 위치가 고정되지는 않지만, 타 링크장치와의 결합에 의해 그 이동궤적이 제한되는 제1링크(224d)를 지칭한다. 즉, 상기 2자유도 링크장치의 두번째 4절링크(224)에 위치한 제1링크(224d)는 가동링크이기 때문에, 상기 1자유도 링크장치(100) 및 2자유도 링크장치(200)의 첫 번째 4절링크(122, 222)에 위치한 제1링크(122d, 222d)와 같이 한 곳에 고정되지 않는다. 그러나 그 이동 궤적이 상기 출력링크부(130)에 의해 제한된다. 따라서, 1자유도 링크장치(100) 및 2자유도 링크장치(200)의 첫번째 4절링크(122, 222)는 고정4절링크이고, 상기 2자유도 링크장치(200)의 두 번째 4절링크(224)는 가동4절링크이다.

[0058] 상기 출력링크부(130, 230)는 상기 4절링크부의 말단에 위치한 4절링크(122, 224)의 출력측 전달링크(122c, 224c)에 고정결합되어 있기 때문에 4절링크부를 통해서 상기 출력링크부(130, 230)가 구동하게 된다. 이를 위하여, 본 발명의 일실시예에 따른 링크장치에서는 상기 출력측 전달링크와 상기 출력링크부 사이에 고정관절(J_1, J_2)을 고정결합하였다.

[0059] 또한, 상기 4절링크(222, 224)는, 제1링크(222d, 224d)가 서로 힌지 결합되어 있고, 상기 제1링크(222d, 224d)가 서로 힌지결합된 위치에는 연결관절(223)이 형성되어 있기 때문에, 앞에 위치한 4절링크(222)의 구동이 뒤에 위치한 4절링크(224)에 전달된다. 이때, 상기 연결관절(223)은, 서로 연결된 출력측 전달링크(222d)와 입력측 전달링크(224a)에 힌지결합될 수도 있고, 상기 출력측 전달링크(222d)와 입력측 전달링크(224a)가 일정한 각도를 유지할 수 있도록 고정 결합될 수도 있다.

[0060] 이러한 구조는 상기 2자유도 적층형 링크기구에 장착되는 링크장치(100, 200)뿐만 아니라, 후에 설명할 n자유도 적층형 링크기구에 장착되는 링크장치들에도 동일하게 적용가능하다.

[0061] 도 4는 본 발명의 여러가지 실시예에 따른 로봇암이 생체 내에서 작동되는 형상이 도시된 정면도로서, 도 4a 및 도 4b에는 동일한 위치에 결합된 복수개의 로봇암의 정면도가 도시되어 있고, 도 4c 및 도 4d에는 각각 다른 위

치에 결합된 복수개의 로봇암의 정면도가 도시되어 있으며, 도 5에는 본 발명의 다른 실시예에 따른 로봇암에 와이어가 장착된 정면도가 도시되어 있다.

[0062] 상기 로봇암(RA)은 복수개의 링크장치로 이루어진 적층형 링크기구에 의해, 생체 내에서 작동한다. 생체 내에 삽입된 상기 로봇암(RA)은, 도 4a 내지 도 4b에 도시된 바와 같이, 액추에이터가 장착된 구동부(510)로부터 힘을 전달받으면, 관절들이 절곡되면서 상기 위치조절부(520)의 형상이 변형됨과 아울러, 상기 작업부(530)에서 수술부위(S)에 가하고자 하는 동작을 수행하게 된다. 예를 들어, 절개가 필요할 때에는 상기 작업부(530) 위치에 수술용 가위 등을 장착하여 시술을 수행하고, 혈관 등을 잡는 동작이 필요시에는 집게를 장착하여 시술이 수행되도록 할 수 있다. 상기 수술이 진행될 때 생체 내에 삽입되는 로봇암(RA)은 복수 개일 수 있는데, 상기 로봇암(RA)은 상기 위치조절부(520)의 구동에 의해 상기 작업부(530)의 위치 이동이 자유롭기 때문에 도 4a 및 도 4b에 도시된 바와 같이, 동일한 위치에 장착된 복수 개의 로봇암(RA)이 하나의 절개부위에 동시에 삽입되어도 각각 수술 부위에 접근이 용이하다.

[0063] 또한, 도 4c 및 도 4d에 도시된 바와 같이, 상기 로봇암(RA)이 분리된 상태로 결합되더라도, 본 발명에 따른 로봇암(RA)은, 절개부위를 통해 삽입될 때의 로봇암(RA)의 각도와 상관없이, 상기 수술부위(S)에 근접한 위치에 상기 작업부(530)가 이동하도록 상기 위치조절부(520)를 조절할 수 있다.

[0064] 또한, 상기 로봇암(RA)은, 생체 내에 삽입될 때, 도 4d에 도시된 바와 같이, 그 부피를 최소화하여 삽입하는 것이 바람직하다. 상기 로봇암(RA)을 피부(1)의 최소 부위만 절개한 후, 그 절개 부위를 견인기(550)로 고정한 후에 삽입될 수 있다. 여기서 상기 견인기(550)의 형상은 여러가지가 될 수 있다.

[0065] 본 발명에 따른 로봇암(RA)은 상기와 같이 위치조절부(520)에 형성된 상기 로봇암(RA)의 관절에 액추에이터를 구비하지 않아도 그 형상을 자유자재로 변경 가능하고, 로봇암(RA)의 관절과, 이를 구동하는 액추에이터 및 액추에이터 시스템의 위치가 분리되어 있기 때문에, 액추에이터의 무게 및 크기에 제약 없이 로봇암(RA)을 구동할 수 있다

[0066] 상기 로봇암(RA)의 상기 작업부(530)는 적층형성된 복수개의 링크장치와 결합함으로써, 상기 작업부(530)에 장착되는 수술도구의 구동을 제어할 수 있다. 이때, 상기 작업부(530)를 좀 더 세밀하게 제어하기 위해서, 상기 로봇암에는 상기 작업부(530)의 구동을 제어하는 액추에이터 또는 상기 액추에이터에 전기적 신호를 전달하는 와이어(w)가 더 구비될 수도 있다. 즉, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 로봇암(RA)은 상기 와이어(w)가 장착되는 공간을 확보할 수 있다. 이를 위하여, 상기 로봇암(RA)에는 상기 와이어(w)의 위치를 고정시키는 가이드(g)가 일정 간격으로 형성될 수 있다. 상기 가이드(g)는 도 5에 도시된 바와 같이, 관통된 부분을 상기 와이어(w)가 통과하도록 형성될 수도 있고, 상기 로봇암을 구성하는 링크장치의 제1링크가 관(管) 형상으로 형성되어 제1링크가 가이드의 역할을 수행하도록 할 수도 있다. 여기서, 상기 와이어(w)는 상기 작업부(530)에 장착된 수술도구의 구동만을 제어하기 때문에 상기 로봇암의 부피가 커지는 것을 최소 한도로 제한할 수 있다.

[0067] 상기 작업부(530)는 상기 링크장치의 출력링크부가 직접 수술도구 역할을 수행할 수도 있고, 상기 작업부(530)에 별도의 수술도구를 장착함으로써, 상기 링크장치의 출력링크부를 통하여 상기 수술도구가 작동하거나, 상기 출력링크부에 결합된 수술도구가 상기 와이어(w)를 통해 전달되는 제어 명령에 의해 구동될 수도 있다.

[0068] 여기서 상기 로봇암(RA)을 구성하는 상기 작업부(530)는 방사선 투과물질로 제조하여, 수술이 원활하게 진행되는지 확인할 수 있다. 예를 들어, 생체 내에 상기 로봇암(RA)을 삽입하여 수술을 진행한다고 할 때, 상기 로봇암(RA)에 의해 수술이 원활하게 진행되는지, 혹은 수술이 제대로 완료되었는지를 α선, β선, γ선, X선, 중성자선 등의 방사선을 투과하여 확인할 수 있다. 이때, 상기 작업부(530) 또는 상기 로봇암(RA) 전체를 방사선이 투과되는 물질로 형성하면, 상기 로봇암(RA)을 생체에서 배출시키지 않아도, 시야가 가려지지 않기 때문에 수술의 진행상태를 파악할 수 있다. 따라서, 상기 로봇암을 구성하는 상기 작업부(530) 또는 상기 로봇암(RA) 전체를 플라스틱과 같은 고분자 물질이나 세라믹 등의 방사선 투과물질로 형성하는 것이 바람직하다. 즉, 경우에 따라서는 상기 작업부(530)에 위치하는 수술도구 역시 방사선 투과물질로 형성된 것을 사용하여 수술이 진행되도록 할 수 있다.

[0069] 도 6에는, 본 발명의 일 실시예에 따른 수술용 로봇의 개략도가 도시되어 있다.

[0070] 본 발명에 따른 로봇암(RA)은, 도 6에 도시된 바와 같이, 수술용 로봇에 장착하여 사용한다. 본 발명에 따른

수술용 로봇은, 상기의 로봇암(RA)과, 상기 로봇암(RA)이 수술 부위로 이동하도록 위치를 조절하는 로봇암 스탠드(RS)를 포함하는 로봇구동부; 및, 상기 로봇구동부의 동작명령을 입력하는 로봇콘솔(RC)을 포함한다. 상기 로봇암(RA)에는 상기 로봇암(RA)의 삽입부위를 촬영하는 카메라가 설치될 수 있다.

[0071] 도 6에는 상기 로봇암 스탠드(RS)와 로봇암(RA)과의 결합관계를 용이하게 설명하기 위하여 하나의 로봇암(RA)이 상기 로봇암 스탠드(RS)에 장착된 것으로 도시되어 있지만, 실제로는 하나의 로봇암 스탠드(RS)에 여러개의 로봇암(RA)이 장착될 수 있다. 이는 상기 위치조절부에 의해 상기 작업부가 용이하게 위치를 변경할 수 있기 때문이다. 즉, 종래에는 생체내에 삽입되는 로봇암(RA)의 위치 및 각도가 한정되었어야 했던데 비해, 본 발명에 따른 로봇암(RA)은 복수 개의 로봇암(RA)이 하나의 로봇암 스탠드(RS)에 장착되어도 상기 작업부가 수술부위로 용이하게 위치 변경할 수 있다. 이로 인하여, 수술실에 로봇암 스탠드(RS)를 한대만 설치하여도 수술이 원활하게 진행될 수 있기 때문에, 본 발명에 따른 수술용 로봇은 종래의 수술용 로봇에 비해 수술용 로봇을 설치하는데 필요한 면적이 감소하게 되며, 수술실 내의 활동 공간이 넓어지기 때문에 수술이 보다 원활하게 진행될 수 있다.

[0072] 본 발명에 따른 수술용 로봇을 이용하여 수술을 진행하는 방법은 다음과 같다. 먼저 환자를 수술대에 눕혀 마취가 완료되면, 상기 로봇암 스탠드(RS)의 길이를 조절하거나 적절히 회전하여, 로봇암(RA)이 환자 복강내에 삽입되도록 한다. 설정된 삽입위치로 로봇암(RA)이 위치하게 되면, 로봇콘솔(RC)을 통해 상기 로봇암(RA)의 형상을 제어하면서 수술을 진행하게 된다.

[0073] 이하, 본 발명에 따른 로봇암의 동작원리를 더욱 상세히 설명하고자 한다.

[0074] 도 7에는 본 발명의 일실시예에 따른 로봇암에 사용되는 1자유도 링크장치의 개념도가 도시되어 있다.

[0075] 본 발명에 따른 로봇암은 다자유도를 갖는 적층형 링크기구를 포함하는데 이를 설명하기 전에 여기에 사용되는 용어 및 수학 기호 등을 1 자유도 링크장치를 통하여 설명하고자 한다.

[0076] 도 7a은 도 3에 도시된 1자유도 링크장치의 입력링크부를 상세히 표시하였다.

[0077] 여기서 L_{02}는 입력링크부의 2번째 링크의 길이를 나타내며 이를 일반화 하여 임의의 상수 L_{jk}와 임의의 변수 Θ_{jk}는 입력링크부에서 j번째 4절링크부의 k번째 링크와 관절을 각각 의미한다. 기구학적 해석을 위해 L_{03}의 가운데 지점을 임의의 목표점(P_0)으로 지정하고 X, Y 좌표 및 방향각 Φ를 Loop 1로 표현하면 다음 식과 같다.

수학식 1

[0078]
$$\begin{cases} X_{0P} = L_{01} + L_{02}\cos(\theta_{01}) + \frac{L_{03}}{2}\cos(\theta_{01}+\theta_{02}) \\ Y_{0P} = L_{02}\sin(\theta_{01}) + \frac{L_{03}}{2}\sin(\theta_{01}+\theta_{02}) \\ \Phi_{0P} = \theta_{01}+\theta_{02} \end{cases}$$

[0079] 또한 도 6a의 목표점(P_0)을 Loop 2로 표현하면 다음과 같다.

수학식 2

[0080]
$$\begin{cases} X_{0P} = X_{03} + \frac{L_{03}}{2}\cos(\theta_{03}) \\ Y_{0P} = \frac{L_{03}}{2}\sin(\theta_{03}) \\ \Phi_{0P} = \theta_{03}+\pi \end{cases}$$

[0081] 식 1과 식 2는 동일점에 대한 기구학을 각각 다른 경로로 표현하고 있다. 식 1과 식 2를 시간에 대해 미분하면 다음과 같다.

수학식 3

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_{0P} \\ \dot{Y}_{0P} \\ \dot{\Phi}_{0P} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -L_{02}S_{\theta_{01}} - \frac{L_{03}}{2}S_{\theta_{01}+\theta_{02}} & -\frac{L_{03}}{2}S_{\theta_{01}+\theta_{02}} \\ 0 & L_{02}C_{\theta_{01}} + \frac{L_{03}}{2}C_{\theta_{01}+\theta_{02}} & \frac{L_{03}}{2}C_{\theta_{01}+\theta_{02}} \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{L}_{01} \\ \dot{\theta}_{01} \\ \dot{\theta}_{02} \end{bmatrix}$$

[0082]

수학식 4

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_{0P} \\ \dot{Y}_{0P} \\ \dot{\Phi}_{0P} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{L_{03}}{2}S_{\theta_{03}} \\ \frac{L_{03}}{2}C_{\theta_{03}} \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_{03} \end{bmatrix}$$

[0083]

[0084] 식 3과 식 4는 동일 지점의 속도에 관한 식이기 때문에 다음과 같이 간략하게 표현 할 수 있다.

수학식 5

$$\begin{bmatrix} [A_0]_{1;} & [A_0]_{2;} & [A_0]_{3;} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{L}_{01} \\ \dot{\theta}_{01} \\ \dot{\theta}_{02} \end{bmatrix} = [B_0] \begin{bmatrix} \dot{\theta}_{03} \end{bmatrix}$$

[0085]

[0086] 여기서 $[A_0]_{1;}$, $[A_0]_{2;}$, $[A_0]_{3;}$ 는 식 3의 3X3 행렬의 첫 번째, 두 번째, 세 번째 열(column)벡터를 각각 의미한다. 입력링크부 <0>의 모빌리티(Mobility)가 1이므로 병진운동과 회전운동 관절로 구성된 4개의 관절 중에서 임의의 하나를 입력으로 하면 나머지 3개 관절의 운동 및 각도는 모두 결정된다. 여기서 입력을 제공하는 관절을 능동(Active)관절, 나머지 관절을 수동(Passive)관절로 정의 한다. 식 5의 능동관절을 우변, 수동관절을 좌변에 위치하도록 정리하면 다음 식 6과 같다. 여기서 $\dot{L}_{01}$ 을 능동관절로 설정하였다.

수학식 6

$$\begin{bmatrix} [A_0]_{2;} & [A_0]_{3;} & -[B_0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_{01} \\ \dot{\theta}_{02} \\ \dot{\theta}_{03} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A_0]_{1;} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{L}_{01} \end{bmatrix}$$

[0087]

[0088] 식 6에서 특이점(singular point)이 없다고 가정하면 식 6은 다음과 같이 변환된다.

수학식 7

[0089] $$\begin{bmatrix}\dot{\theta}_{01}\\ \dot{\theta}_{02}\\ \dot{\theta}_{03}\end{bmatrix}=[Q_0]\left[\dot{L}_{01}\right]$$

[0090] 여기서, $[Q_0]=\left[[A_0]_{2;}[A_0]_{3;}-[B_0]\right]^{-1}\left[-[A_0]_{1;}\right]$ 이다.

[0091] 식 7을 통해 입력 능동관절로부터 수동관절에 이르는 속도 관계식을 얻을 수 있다. 도 7a에서의 출력 θ_{03} 와 입력 L_{01} 의 관계식은 식 7로부터 다음과 같이 얻을 수 있다.

수학식 8

[0092] $$\left[\dot{\theta}_{03}\right]=\left[Q_{0(3,1)}\right]\left[\dot{L}_{01}\right]$$

[0093] 여기서 $[Q_{0(3,1)}]$ 는 열백터 $[Q_0]$ 의 세 번째 성분을 의미한다.

[0094] 식 8을 일반화하여 다음과 같이 표현 하고자 한다.

수학식 9

[0095] $$\left[\dot{\theta}_{0,out}\right]=\left[\dot{\theta}_{03}\right]=[G_0]\left[\dot{U}\right]$$

[0096] 여기서 $[G_0]$ 는 입력링크부에서의 입력에 대한 출력의 속도 관계식이며 $\dot{\theta}_{0,out}$ 는 입력링크부의 최종 출력이다. 예를 들어 웜 기어가 입력링크부에 위치한 경우, 입력에 대한 출력의 속도는 식 10과 같이 기어비로 표현된다.

수학식 10

[0097] $$[G_0]=[r_0]$$

[0098] 여기서 r_0 는 웜 기어의 기어 비이다. 본 발명에 따른 로봇암에 사용되는 링크장치는 다양한 입력방법에 대해서 식 9 및 식 10과 같이 입력링크부의 속도 관계식을 구할 수 있다.

[0099] 도 7b은 4절링크인 <1> 및 출력링크부인 <fix>를 나타낸 것이다. 일반적인 4절링크는 4개의 관절과 4개의 고정된 길이의 링크로 구성된다. 하지만 상기 로봇구동기구가 다자유도로 확장할 경우 제1링크(L_{14})의 각도가 변화될 수 있으므로 5개의 변수로 정의 한다. 식 1 내지 식 9의 입력링크부의 기구학 해석과 동일한 방법으로 4절

링크의 능동 관절에 대한 수동 관절의 속도 관계식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

수학식 11

[0100] $$\begin{bmatrix}\dot{\theta}_{12}\\ \dot{\theta}_{13}\\ \dot{\theta}_{14}\end{bmatrix}=[Q_1]\begin{bmatrix}\dot{\theta}_{11}\\ \dot{\theta}_{15}\end{bmatrix}$$

[0101] 여기서, $$[Q_1]=\begin{bmatrix}Q_{1(1,1)} & Q_{1(1,2)}\\ Q_{1(2,1)} & Q_{1(2,2)}\\ Q_{1(3,1)} & Q_{1(3,2)}\end{bmatrix}$$ 이며 $\dot{\theta}_{11}$ 는 4절링크의 입력인 능동관절이다. $\dot{\theta}_{15}$ 는 제1링크(L_{14})가 기준축과 이루는 각도이며 가상의 능동관절 이다. 즉, θ_{15} 는 수동관절이지만 기구학적 해석을 위해 우선 능동관절처럼 정의한다. 상기 4절링크의 입력에 대한 출력의 관계식을 표현하면 다음과 같다.

수학식 12

[0102] $$\begin{bmatrix}\dot{\theta}_{14}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}Q_{1(3,1)} & Q_{1(3,2)}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{\theta}_{11}\\ \dot{\theta}_{15}\end{bmatrix}$$

[0103] 만약 제1링크(L_{14})가 지면에 고정되어 있는 고정링크라면 식 12는 다음과 같이 축약하여 표현할 수 있다.

수학식 13

[0104] $$\begin{aligned}\begin{bmatrix}\dot{\theta}_{14}\end{bmatrix}&=\begin{bmatrix}Q_{1(3,1)}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{\theta}_{11}\end{bmatrix}\\ &=[G_1]\begin{bmatrix}\dot{\theta}_{11}\end{bmatrix}\end{aligned}$$

[0105] 상기 1자유도 링크장치와 도 7b에 도시된 4절링크인 <1>을 비교하여 다음의 관계를 알 수 있다.

수학식 14

[0106] $$\begin{Bmatrix}\theta_{11}=\theta_{0,out}\\ \dot{\theta}_{11}=\dot{\theta}_{0,out}\end{Bmatrix}$$

[0107] 그리고

수학식 15

[0108] $$\begin{Bmatrix}\phi_1=\theta_{1out}=\theta_{14}-\theta_{1,fix}\\ \dot{\phi}_1=\dot{\theta}_{1out}=\dot{\theta}_{14}\end{Bmatrix}$$

[0109] 식 14 및 식 15의 관계를 이용하여 입력링크부인 <0> , 첫 번째 4절링크인 <1>, 4절링크에 고정된 출력링크부인

<fix>의 결합에 의해, 첫 번째 4절링크 <1>의 입력 $\dot{\theta}_{11}$ 에 대한 출력 $\dot{\phi}_1$ 의 속도 관계식을 얻을 수 있다.

수학식 16

[0110] $$\left[\dot{\phi}_1\right]=[G_1]\left[\dot{\theta}_{11}\right]$$

[0111] 식 9를 이용하여 식 16을 입력 U 에 관한 식으로 정리하면 다음과 같다.

수학식 17

[0112] $$\left[\dot{\phi}_1\right]=[G_1][G_0]\left[\dot{U}\right]$$

[0113] 여기서 $[G_0]$ 는 식 9에서 설명한 것과 같이 입력링크부에 관한 관계식이며, $[G_1]$은 1개의 4절링크로 구성된, 1자유도 링크장치의 4절링크의 입력과 출력의 속도 관계식이다. 그러므로 식 17과 같은 1자유도 링크장치의 입력 $\dot{U}$ 에 대한 출력 $\dot{\phi}_1$ 의 속도 관계식을 얻을 수 있다.

[0114] 본 발명에 따른 로봇암을 구성하는 적층형 링크기구는 다양한 자유도를 갖게 된다.

[0115] 아래에서는 상기 링크장치의 첫 번째 4절링크의 입력에 대해서 상기 4절링크부의 말단에 위치한 4절링크가 어떻게 구동되는지 결정할 수 있는 관계식을 설명하고자 한다.

[0116] 본 발명에 따른 로봇암은 복수개의 링크장치를 결합하여 다자유도 적층형 링크기구를 구성한다. 이때, 상기 다자유도 적층형 링크기구는 입력이 한 개이고, 출력이 한 개 이상인 복수개의 상기 링크장치가 서로 순차적으로 결합하되, 결합된 상기 복수 개의 링크장치의 입력의 합과, 출력의 개수가 가장 많은 링크장치의 출력의 개수가 동일하게 형성되어 있다.

[0117] 먼저, 본 발명의 일 실시예에 따른 로봇암과 같이 2자유도 적층형 링크기구의 링크장치 결합방법에 대해 설명하고자 한다.

[0118] 도 8에는 본 발명에 따른 로봇암을 구성하는 2자유도 적층형 링크기구의 개략도가 도시되어 있다.

[0119] 상기 로봇구동기구는, 출력이 하나인 1자유도 링크장치(DOF_1)와, 출력이 두 개인 2자유도 링크장치(DOF_2)가 결합하되, 상기 2자유도 링크장치(DOF_2)의 출력이 모두 제어 가능하도록, 상기 1자유도 링크장치(DOF_1)의 출력링크부($_1L_{1,out}$)가 상기 2자유도 링크장치(DOF_2)에 입력될 수 있다. 상기 1자유도 링크장치(DOF_1)의 상기 4절링크부에는, 한 개의 4절링크인 <1, 1>이 구비되고, 상기 2자유도 링크장치(DOF_2)의 상기 4절링크부에는, 두 개의 4절링크인 <2, 1> 및 <2, 2>가 구비되는 것을 볼 수 있다. 특히, 상기 1자유도 링크장치(DOF_1)의 출력링크부($_1L_{1,\ out}$) 는, 상기 2자유도 링크장치(DOF_2)의 입력링크부인 <2, 0>으로부터 두 번째 위치한 상기 가동4절링크 <2, 2>의 가동링크인 제1링크($_2L_{24}$)에 일체로 고정 결합될 수 있다.

[0120] 도 8은 도 3과 같은 2자유도 적층형 링크기구의 각각의 링크장치를 자세히 나타낸 것이다. 여기서 각각의 링크장치는 적층결합되어 있다. 여기서 1자유도 링크장치(DOF_1)는 4절링크가 하나인 링크장치를 말하고, 2자유도 링크장치(DOF_2)는 4절링크가 두 개인 링크장치를 지칭하는 것이다. 상기 2자유도 적층형 링크기구는 1자유도 링크장치(DOF_1)의 출력링크부($^1L_{1,out}$)와 2자유도 링크장치(DOF_2)의 가동링크인 제1링크($^2L_{24}$)의 위치와 방향각이 항상 일치하도록 고정한다. 여기서 1자유도 링크장치(DOF_1)의 첫 번째 4절링크인 <1, 1>의 고정링크인 제1링크

(${}^{1}L_{14}$)는 지면에 항상 고정되어 있으므로 다음과 같이 표현 할 수 있다.

수학식 18

[0121] $$\dot{\phi}_1 = \left[{}_1\dot{\theta}_{14} \right] = \left[{}_1Q_{1(3,1)} \right] \left[{}_1\dot{\theta}_{11} \right]$$

[0122] 여기서 <1, 1>은 1자유도 링크장치(DOF_1)의 첫 번째 4절링크, 즉, 자유도가 1인 링크장치의 첫 번째 4절링크를 나타낸다. 이를 일반화 하면 <i, j>는 i자유도 링크장치의 j번째 4절링크를 나타내며 ${}_j\theta_{jk}$, ${}_jL_{jk}$ 는 i자유도 링크장치의 j번째 4절링크의 k번째 관절 및 링크를 각각 나타낸다. 도 8b는 2자유도 링크장치(DOF_2)를 나타낸다. 여기서 <2, 2>의 가동링크인 제1링크(${}^{2}L_{24}$)는 지면에 고정되지 않은 4절링크이므로 입력 ${}_2\dot{\theta}_{21}$에 대한 출력 ${}_2\dot{\theta}_{24}$의 관계식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

수학식 19

[0123] $$\left[\dot{\phi}_2 \right] = \left[{}_2\dot{\theta}_{24} \right] = \left[{}_2Q_{2(3,1)} \;\; {}_2Q_{2(3,2)} \right] \begin{bmatrix} {}_2\dot{\theta}_{21} \\ {}_2\dot{\theta}_{25} \end{bmatrix}$$

[0124] 여기에서 ${}_2\dot{\theta}_{25}$ 는 도 8b에 도시된 2자유도 링크장치(DOF_2)의 가상 입력인, 가상 능동 관절이다.

[0125] 또한 <2, 1>의 고정링크인 제1링크(${}^{2}L_{14}$)는 고정되어 있으므로 식 13으로부터 다음과 같이 표현 할 수 있다.

수학식 20

[0126] $$\left[{}_2\dot{\theta}_{14} \right] = \left[{}_2Q_{1(3,1)} \right] \left[{}_2\dot{\theta}_{11} \right]$$

[0127] 도 8b로부터 다음과 같은 관계를 알 수 있다.

수학식 21

[0128] $${}_2\theta_{21} = {}_2\theta_{14} - {}_2\theta_{1,fix}$$

[0129] 상기 2자유도 링크장치(DOF_2)의 첫번째 4절링크인 <2, 1>의 출력이, 두번째 4절링크인 <2, 2>의 입력으로 작용하므로 식 21을 속도에 관한 식으로 정리하면 다음과 같다.

수학식 22

[0130] $${}_2\dot{\theta}_{21} = {}_2\dot{\theta}_{14}$$

[0131] 또한 식 22의 관계와 식 20을 이용하여 식 19를 정리하면 다음과 같다.

수학식 23

[0132]
$$\left[\dot{\phi}_2\right]=\left[{}_2\dot{\theta}_{24}\right]$$
$$=\left[{}_2Q_{2(3,2)}\ \ {}_2Q_{2(3,1)}\right]\begin{bmatrix}{}_2\dot{\theta}_{25}\\ {}_2\dot{\theta}_{21}\end{bmatrix}$$
$$=\left[{}_2Q_{2(3,2)}\ \ {}_2Q_{2(3,1)}\right]\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & {}_2Q_{1(3,1)}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}{}_2\dot{\theta}_{25}\\ {}_2\dot{\theta}_{11}\end{bmatrix}$$

[0133] 식 23과 같이 도 8b의 2자유도 링크장치(DOF_2)는 입력 변수 2개에 출력 변수 1개를 가지는 시스템으로 정의 됨을 알 수 있다. 즉, 여기서 ${}_2\dot{\theta}_{25}$ 는 가상의 능동관절이다. 이는, 입력 ${}_2\dot{\theta}_{11}$에 의해 ${}_2\dot{\theta}_{25}$와 $\dot{\phi}_2$의 각도가 모두 변화 될 수 있다는 것을 뜻한다. 따라서 입력 1개에 출력 2개인 자유도가 하나 부족한 시스템이기 때문에 다음과 같은 구속조건을 고려한다.

[0134] 1자유도 링크장치(DOF_1)와 2자유도 링크장치(DOF_2)는, 도 8에서 알 수 있듯이 고정링크인, 1자유도 링크장치(DOF_1)의 제1링크(${}^1L_{14}$)와 2자유도 링크장치(DOF_2)의 제1링크(${}^2L_{14}$), 및 1자유도 링크장치(DOF_1)의 출력링크부(${}^1L_{1,out}$)와 2자유도 링크장치(DOF_2)의 제1링크(${}_2L_{24}$)는 서로 결합되어 있다. 다시 말해서, 1자유도 링크장치(DOF_1)의 출력 ${}_1\dot{\theta}_{1,out}$ 는 2자유도 링크장치(DOF_2)의 두 번째 4절링크의 ${}_2\dot{\theta}_{25}$와 같으므로 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

수학식 24

[0135]
$$\phi_1={}_1\theta_{1,out}={}_1\theta_{14}-{}_1\theta_{1,fix}={}_2\theta_{25}$$

[0136] 식 24의 관계를 이용하여 1자유도 링크장치(DOF_1)의 관계식인 식 18과 2자유도 링크장치(DOF_2)의 관계식인 식 23을 정리하면 다음과 같다.

수학식 25

[0137]
$$\begin{bmatrix}\dot{\phi}_1\\ \dot{\phi}_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & 0\\ {}_2Q_{2(3,2)} & {}_2Q_{2(3,1)}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}{}_1Q_{1(3,1)} & 0\\ 0 & {}_2Q_{1(3,1)}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}{}_1\dot{\theta}_{11}\\ {}_2\dot{\theta}_{11}\end{bmatrix}$$

[0138] 이를 간략히 표시하면 다음과 같다.

수학식 26

[0139]
$$\begin{bmatrix}\dot{\phi}_1\\ \dot{\phi}_2\end{bmatrix}=\left[G_2\right]\begin{bmatrix}{}_1\dot{\theta}_{11}\\ {}_2\dot{\theta}_{11}\end{bmatrix}$$

[0140] 도 8과 같이 1자유도 링크장치(DOF_1) 및 2자유도 링크장치(DOF_2)로 구성된 로봇구동기구의 입력에 대한 출력의 속도 관계식은 식 26과 같이 구할 수 있다. 식 26은 입력 변수 2개에 출력 변수 2개의 관계식이다. 이와 같이 2개의 4절링크로 구성된 2자유도 링크장치(DOF_2)와 1개의 4절링크로 구성된 1자유도 링크장치(DOF_1)가 결합하면

직렬형 메니퓰레이터와 같이 작동할 수 있는 2자유도 시스템이 됨을 알 수 있다.

[0141] 또한 각각의 평면의 첫 번째 4절링크인 <1, 1>, <2, 1>의 입력에, 입력링크부인 <1, 0>, <2, 0>을 각각 적용하여 표현하면 다음과 같다.

수학식 27

[0142]
$$\begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \end{bmatrix} = [G_2] \begin{bmatrix} {}_1G_0 & 0 \\ 0 & {}_2G_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}_1\dot{U} \\ {}_2\dot{U} \end{bmatrix}$$

[0143] 여기서 ${}_iG_0$, ${}_i\dot{U}$ 는 각각 i자유도 링크장치 입력링크부인 <i, 0>의 입력에 대한 출력의 관계 식과 i자유도 링크장치의 입력을 각각 나타낸다. 그러므로 식 27과 같이 2자유도 적층형 링크기구의 속도 관계식을 얻을 수 있다. 앞서 언급한 2자유도 링크장치(DOF_2)의 ${}_2\dot{\theta}_{21}$ 는 실제로는 수동관절인 가상의 능동 관절이기 때문에 식 23은 1개의 자유도가 부족한 링크장치였지만, 1자유도 링크장치(DOF_1)를 적층함으로써 부족한 1자유도를 1자유도 링크장치(DOF_1)의 출력 $\dot{\phi}$ 으로 구속함으로써 완전한 2자유도 적층형 링크기구를 구성 할 수 있다.

[0144] 이하, n 자유도 적층형 링크기구에 대해 상세히 설명하고자 한다.

[0145] 도 9에는 본 발명에 따른 로봇암을 구성하는 n자유도 적층형 링크기구 결합방법의 개략도가 도시되어 있다.

[0146] 본 발명에 따른 로봇암에 적용되는 n자유도의 적층형 링크기구는 자유도가 1 내지 n인 링크장치들이 적층결합된다. 이때, n자유도 링크장치(DOF_n)의 출력이 모두 제어가능하도록 1 내지 n-1자유도 링크장치의 출력이 각각 2 내지 n자유도 링크장치에 입력된다. 여기서, n은 3 이상의 정수이다.

[0147] 따라서, 상기 n이 3인 경우, 1자유도 링크장치(DOF_1) 및 2자유도 링크장치(DOF_2)의 출력이 각각 2자유도 링크장치(DOF_2) 및 3자유도 링크장치(DOF_3)에 입력되도록 상기 적층형 링크기구를 구성하게 된다. 상기 n-1자유도 링크장치(DOF_{n-1})의 상기 4절링크부에는 <n-1, 1> 내지 <n-1, n-1>로 구성되는 n-1개의 4절링크가 구비되고, 상기 n자유도 링크장치(DOF_n)의 상기 4절링크부에는 <n, 1> 내지 <n, n>으로 구성되는 n개의 4절링크가 구비된다. 여기서 상기 적층형 링크기구가 완전한 다(多) 자유도 적층형 링크기구가 되도록, 상기 1 내지 n-1자유도 링크장치의 출력링크부는 각각 상기 2 내지 n자유도 링크장치의 4절링크부의 마지막에 위치한 상기 4절링크에 고정결합하는 것이 바람직하다. 특히 상기 2 자유도의 적층형 링크기구과 같이, 1 내지 n-1자유도 링크장치의 출력링크부(${}_1L_{1,out}$, ${}_2L_{2,out}$, ${}_3L_{3,out}$,…,${}_{n-1}L_{n-1,out}$)는, 2 내지 n자유도 링크장치 각각의 마지막 4절링크의 가동링크(${}_2L_{24}$, ${}_3L_{34}$,…,${}_nL_{n4}$)에 일체로 결합되는 것이 바람직하다. 즉, n-1자유도 링크장치(DOF_{n-1})의 출력링크부(${}_{n-1}L_{n-1,out}$)는, n자유도 링크장치(DOF_n)의 n번째 4절링크의 가동링크(${}_nL_{n4}$)에, n-2자유도 링크장치의 출력링크부는, n-1자유도 링크장치(DOF_{n-1})의 n-1번째 4절링크의 가동링크(${}_{n-1}L_{n-1,4}$)에, n-3자유도 링크장치의 출력링크부는, n-2자유도 링크장치의 n-2번째 4절링크의 가동링크에 일체로 결합되는 방식으로 나머지 링크장치의 출력링크부와 가동링크가 일체로 결합될 수 있는 것이다.

[0148] 또한, 상기 다자유도 링크장치는 적층결합될 때, 동일한 순서에 위치한 4절링크의 제1링크가 서로 일체로 결합되는 것이 바람직하다. 즉, 도 9에 도시된 바와 같이, 동일한 해칭으로 표현된 4절링크의 제1링크가 서로 적층결합되는 것이 바람직하다.

[0149] 또, 상기 각각의 다자유도 링크장치는 인접한 위치의 상기 4절링크의 제1링크가 서로 힌지결합하고, 상기 제1링크가 힌지결합된 위치에 연결관절을 형성함으로써, 앞에 위치한 출력측 전달링크의 구동이 뒤에 위치한 입력측 전달링크로 전달되도록 할 수 있다. 도 9에서는 제1링크가 힌지결합된 각각의 4절링크들이 서로 출력측 전달링크와 입력측 전달링크의 일부를 공유하도록 형성한다. 따라서, 인접해 있는 상기 4절링크의 상기 출력측 전달

링크와 상기 입력측 전달링크에 상기 연결관절이 고정결합된 것과 동일한 효과를 얻도록 각각의 링크장치를 형성할 수 있다.

[0150] 여기서, 상기 1 내지 n자유도 링크장치는 첫번째 4절링크의 제1링크가 고정링크일 수 있다. 또한, 상기 1자유도 링크장치의 제1링크만이 고정링크이고, 가동링크인 상기 2 내지 n자유도 링크장치의 제1링크가 상기 고정링크에 고정결합되는 형상으로 적층결합될 수도 있다.

[0151] 상기 2자유도 적층형 링크기구의 관계식을 통해 상기 다자유도 적층형 링크기구의 입력에 대한 출력 관계식을 구할 수 있다. 식 18 내지 식 26과 같은 과정을 반복하여 n자유도 적층형 링크기구의 입력 속도와 출력 속도의 관계식을 얻을 수 있다.

수학식 28

[0152]
$$\begin{bmatrix}\dot{\phi}_1\\ \dot{\phi}_2\\ \vdots\\ \dot{\phi}_n\end{bmatrix}=[G_n]\begin{bmatrix}{}_1\dot{\theta}_{11}\\ {}_2\dot{\theta}_{11}\\ \vdots\\ {}_n\dot{\theta}_{11}\end{bmatrix}$$

[0153] 여기서 $[G_n]$ 은 n자유도 적층형 링크기구의 n개의 출력링크부의 각도 $\dot{\phi}$ 과 1 내지 n자유도 링크장치의 첫 번째 4절링크의 입력측 전달링크와 입력링크부 연장선과의 각도를 나타내는 $\dot{\theta}$ 의 속도 관계식이다.

[0154] 다음 식 29는 n자유도 적층형 링크기구의 입력에 대한 출력의 속도 관계식이다. 이와 같은 방법으로 자유도가 n인 적층형 링크기구로 로봇암의 속도 관계식을 일반적으로 얻을 수 있다.

수학식 29

[0155]
$$\begin{bmatrix}\dot{\phi}_1\\ \dot{\phi}_2\\ \vdots\\ \dot{\phi}_n\end{bmatrix}=[G_n]\begin{bmatrix}{}_1G_0 & & & \\ & {}_2G_0 & & \\ & & \ddots & \\ & & & {}_nG_0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}{}_1\dot{U}\\ {}_2\dot{U}\\ \vdots\\ {}_n\dot{U}\end{bmatrix}$$

[0156] 본 발명의 단순한 변형 또는 변경은 모두 이 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의하여 용이하게 실시될 수 있으며, 이러한 변형이나 변경은 모두 본 발명의 영역에 포함되는 것으로 볼 수 있다.

부호의 설명

[0157]

100: 1자유도 링크장치

200: 2자유도 링크장치

110, 210: 입력링크부

122, 222: 첫 번째 4절링크

122a, 222a, 224a: 입력측 전달링크

122b, 222b, 224b: 커넥팅로드

122c, 222c, 224c: 출력측전달링크

122d, 222d, 224d: 제1링크

130, 230: 출력링크부

223: 연결관절

224: 두 번째 4절링크

J_1 ,J_2: 고정관절

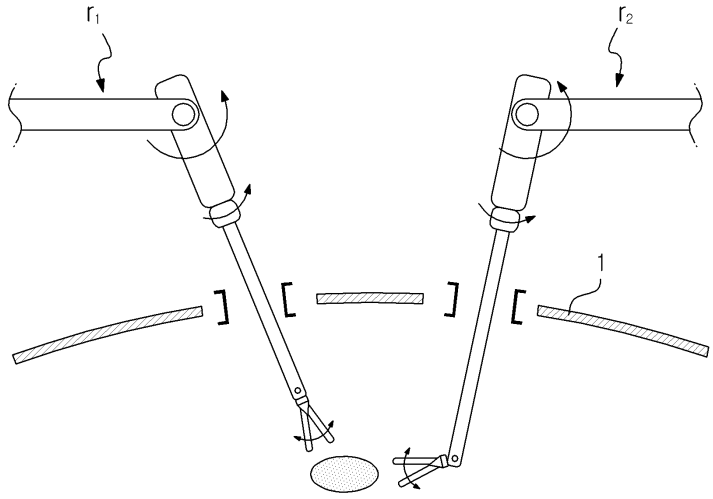
RA: 로봇암

RS: 로봇암 스탠드

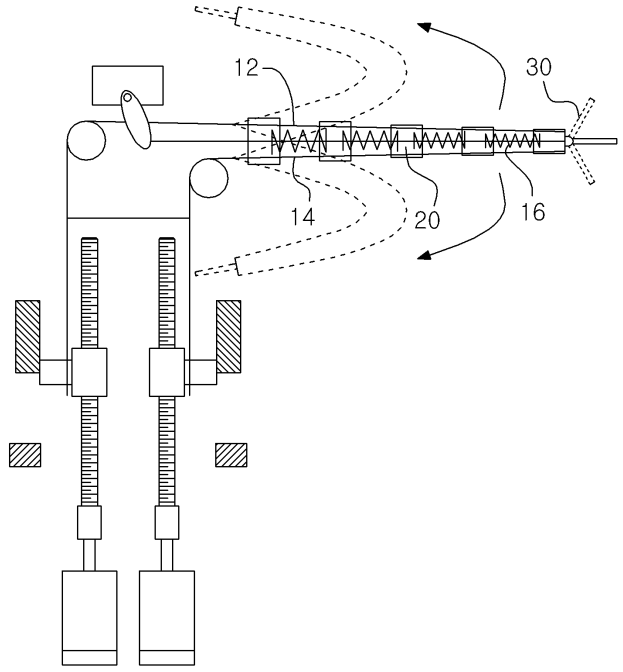
RC: 로봇콘솔

도면

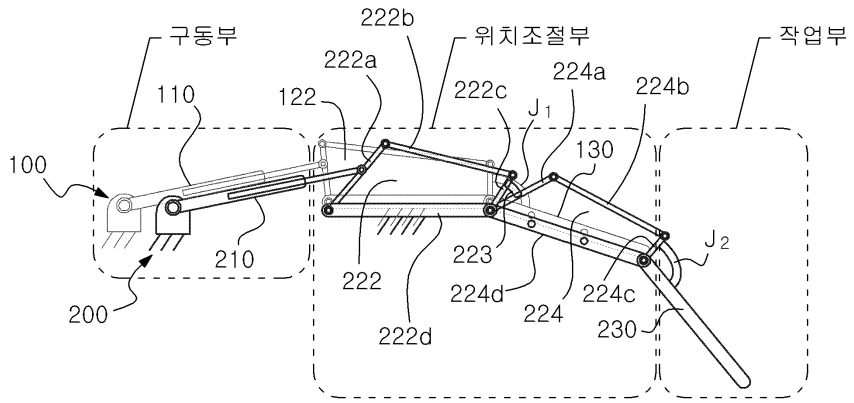
도면1a



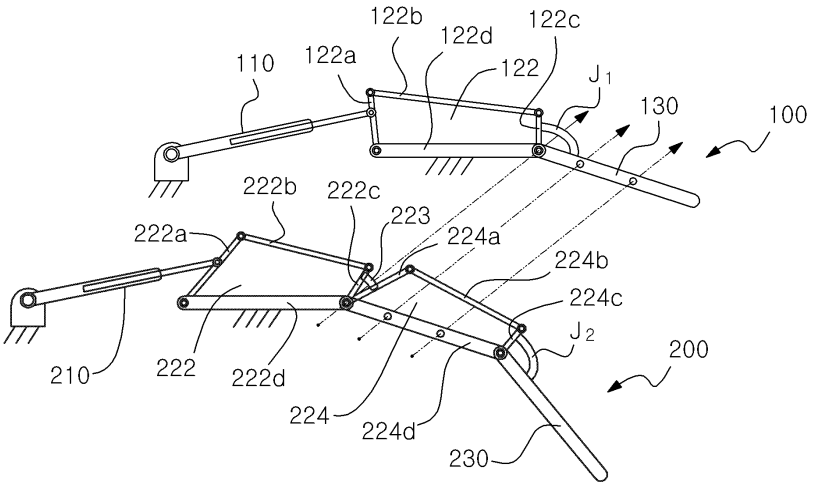
도면1b



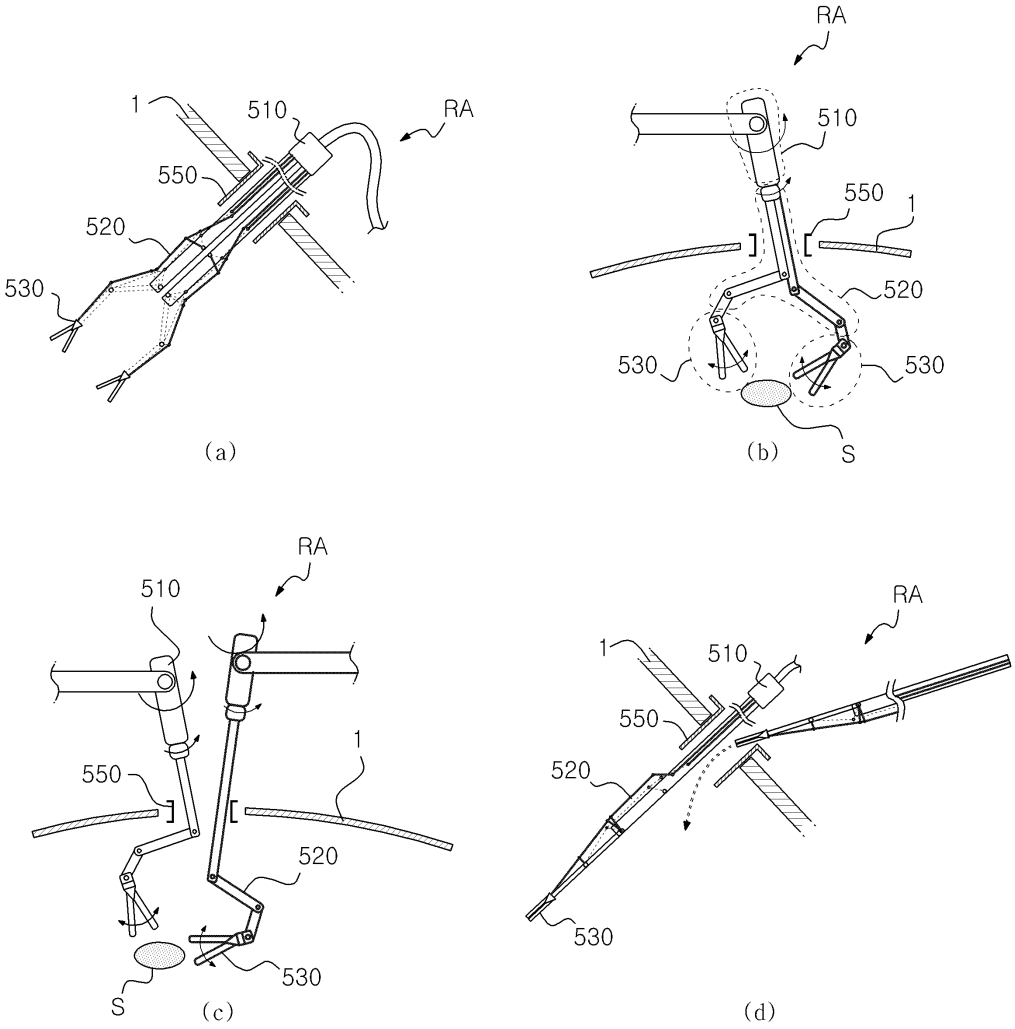
도면2


구동부
위치조절부
작업부
222b
222a
224a
224b
110
122
222c
J1
130
100
210
222
223
J2
224d
224
224c
200
222d
230

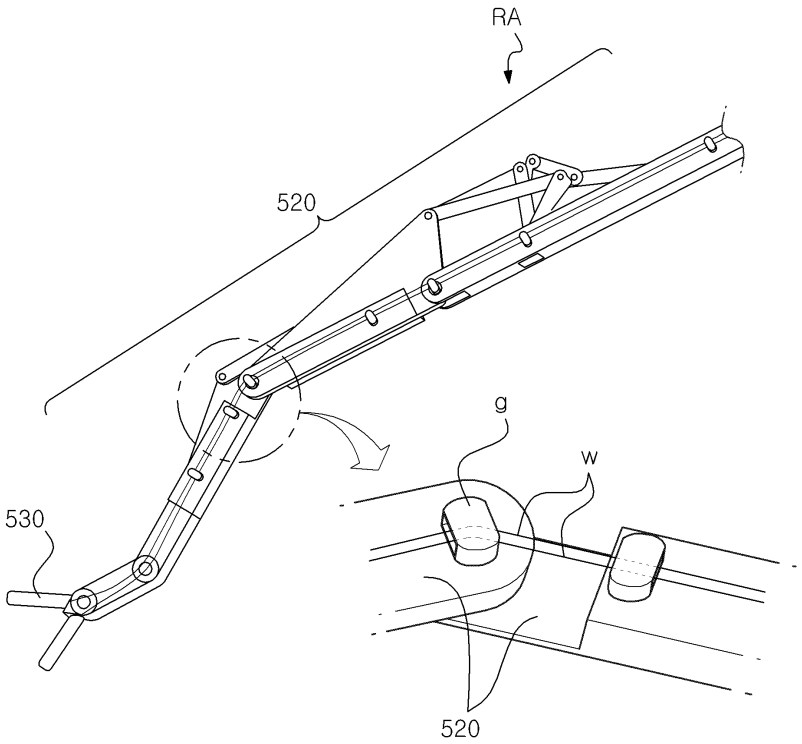
도면3


122b
122d
122c
110
122a
122
J1
130
100
222b
222c
223
222a
224a
224b
224c
J2
200
210
222
222d
224
224d
230

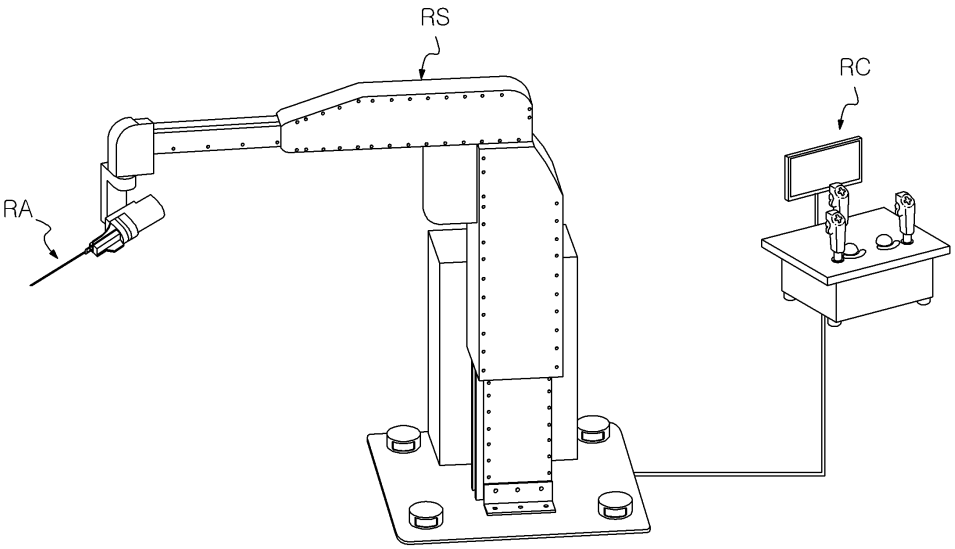
도면4


1
510
RA
550
520
530
(a)
RA
510
550
1
520
530
530
S
(b)
RA
510
1
550
520
530
S
(c)
RA
1
510
550
520
530
(d)

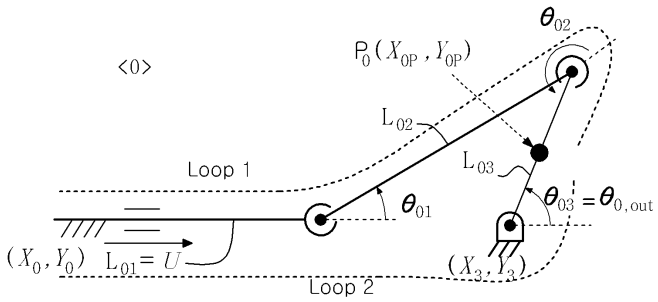
도면5



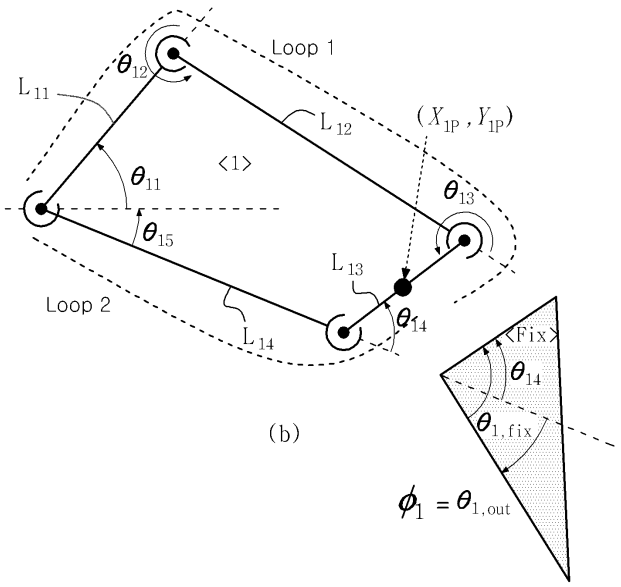
도면6



도면7

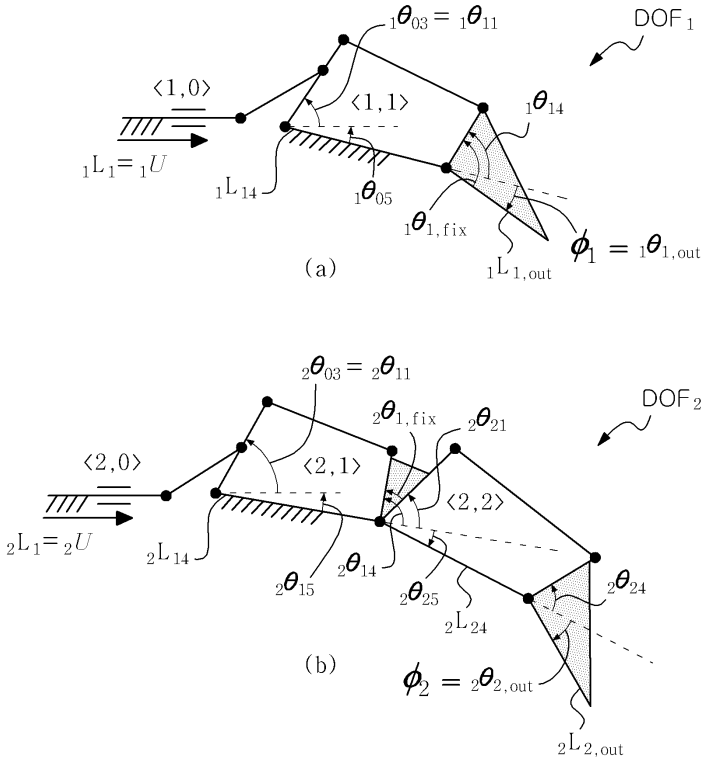

<0>
$P_0(X_{0P}, Y_{0P})$
θ_{02}
L_{02}
L_{03}
Loop 1
θ_{01}
$\theta_{03} = \theta_{0,out}$
(X_0, Y_0)
$L_{01} = U$
(X_3, Y_3)
Loop 2

(a)

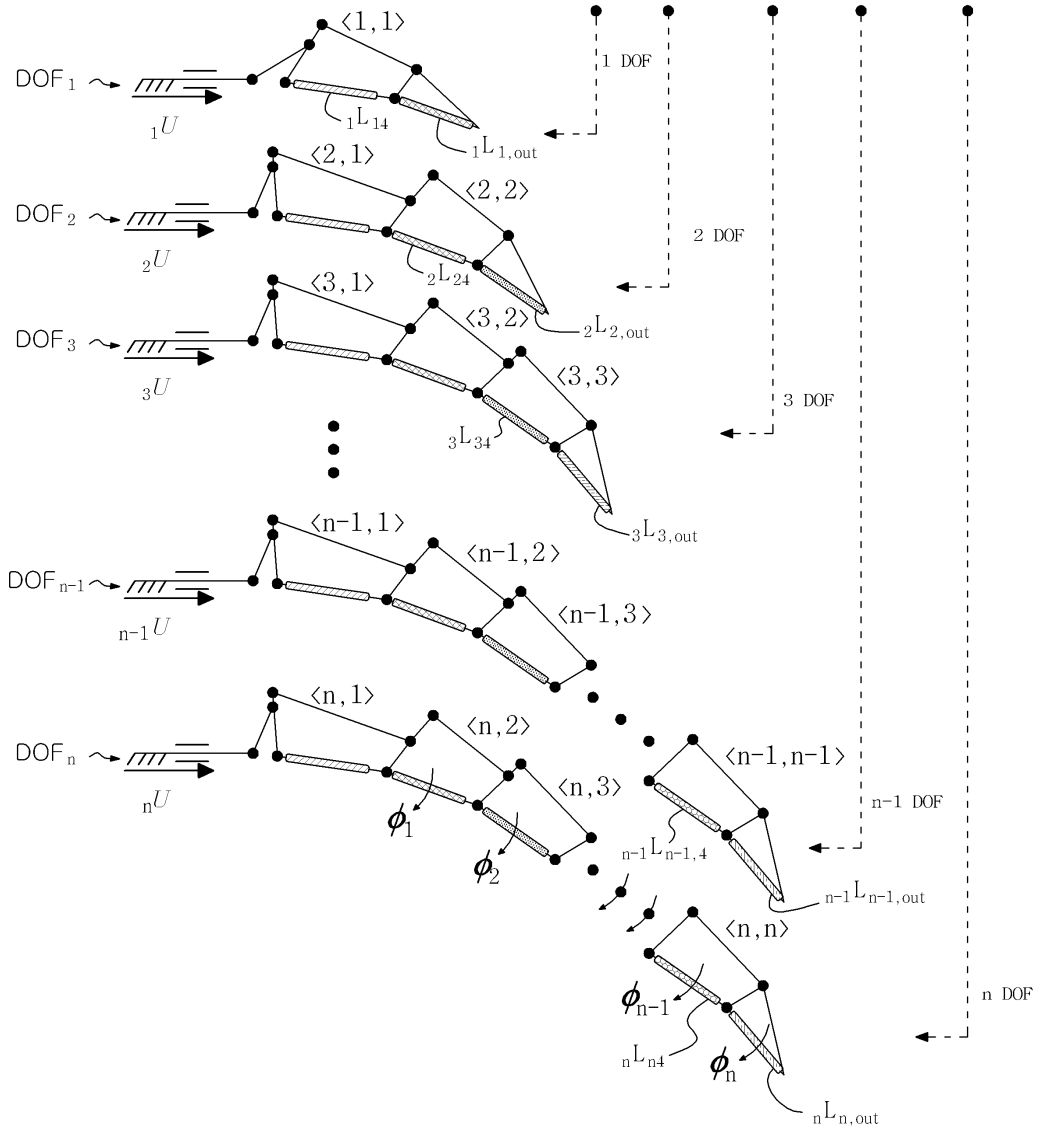

Loop 1
θ_{12}
L_{11}
L_{12}
(X_{1P}, Y_{1P})
<1>
θ_{11}
θ_{13}
θ_{15}
L_{13}
Loop 2
θ_{14}
L_{14}
<Fix>
θ_{14}
$\theta_{1,fix}$
$\phi_1 = \theta_{1,out}$

(b)

도면8


DOF 1
$_1\theta_{03} = {}_1\theta_{11}$
$\langle 1,0\rangle$
$\langle 1,1\rangle$
$_1\theta_{14}$
$_1L_1 = {}_1U$
$_1L_{14}$
$_1\theta_{05}$
$_1\theta_{1,fix}$
$\phi_1 = {}_1\theta_{1,out}$
$_1L_{1,out}$
(a)
DOF 2
$_2\theta_{03} = {}_2\theta_{11}$
$_2\theta_{1,fix}$
$_2\theta_{21}$
$\langle 2,0\rangle$
$\langle 2,1\rangle$
$\langle 2,2\rangle$
$_2L_1 = {}_2U$
$_2L_{14}$
$_2\theta_{15}$
$_2\theta_{14}$
$_2\theta_{25}$
$_2\theta_{24}$
$_2L_{24}$
(b)
$\phi_2 = {}_2\theta_{2,out}$
$_2L_{2,out}$

도면9


DOF 1
DOF 2
DOF 3
DOF n-1
DOF n
1 DOF
2 DOF
3 DOF
n-1 DOF
n DOF
⟨1,1⟩
⟨2,1⟩
⟨2,2⟩
⟨3,1⟩
⟨3,2⟩
⟨3,3⟩
⟨n-1,1⟩
⟨n-1,2⟩
⟨n-1,3⟩
⟨n,1⟩
⟨n,2⟩
⟨n,3⟩
⟨n-1,n-1⟩
⟨n,n⟩