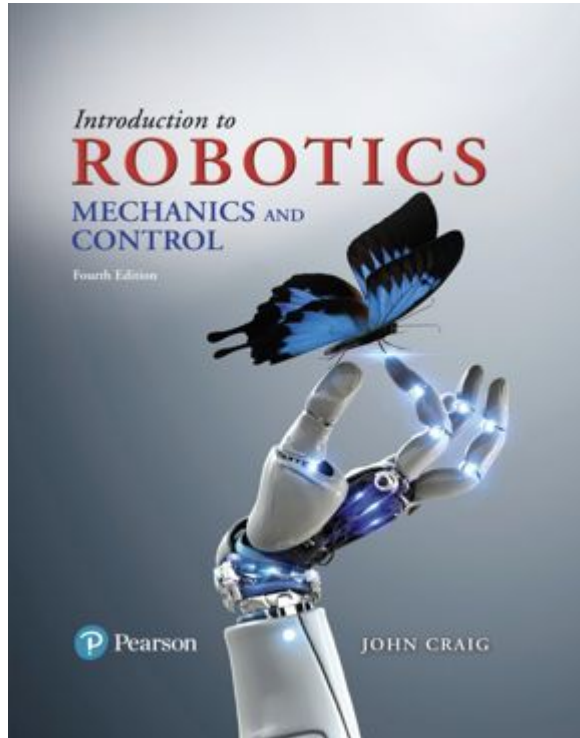


# Introduction to Robotics

Mechanics and Control

4<sup>th</sup> Edition



## Chapter 8

머니플레이터 기구 설계

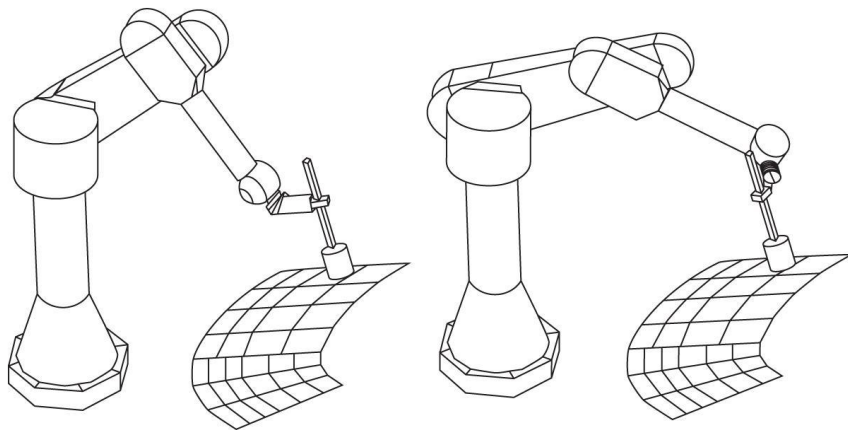
## 8.1 개요

- 어떤 기구학적인 형상은 풀기가 쉬운 반면, 어떤 기구학적인 형상은 폐형식의 기구학 해(**closed form kinematic solution**)를 갖는다. 마찬가지로 동역학 식의 난이도는 링크의 기구학적인 형상과 질량 분포에 따라 매우 다르다.
- 본 장들에서는 머니플레이터의 제어가 강성체의 동역학뿐만 아니라 구동 시스템의 마찰 및 유연성(**flexibility**)에도 관계가 있음을 알게 될 것이다.
- 본 장들에서는 머니플레이터를 설계할 때 발생하는 몇 가지의 문제점에 대하여 설명한다.
- 로봇 시스템의 요소는
  - 1. 내부와 자체(**proprioceptive**) 센서를 포함하는 머니플레이터
  - 2. 말단 효과 장치, 혹은 팔 끝의 공구(**end of arm tool**)
  - 3. 비전 시스템, 부품 공급 장치와 같은 효과 장치와 외부 센서들(**external sensor**)
  - 4. 제어기(**controller**)

## 8.2 작업 요구에 근거한 설계

- 자유도

- 모든 작업이 모두 6-자유도를 요구하지는 않음. 예를 들어 말단 효과 장치가 축 대칭을 가지면 6-자유도는 과다 혹은 여유로움(redundant) → 아크 용접, 스팟 용접, 디버링(deburring), 접착하기(glueing) 및 폴리싱(polishing)
- 임의의 말단 효과 장치를 특별한 방위로 위치시키기 위하여, 6자유도가 필요하지만 위의 예들에서 1개는 가상적인 관절이므로 실제의 머니플레이터는 5-자유도만이 필요 → 5-자유도

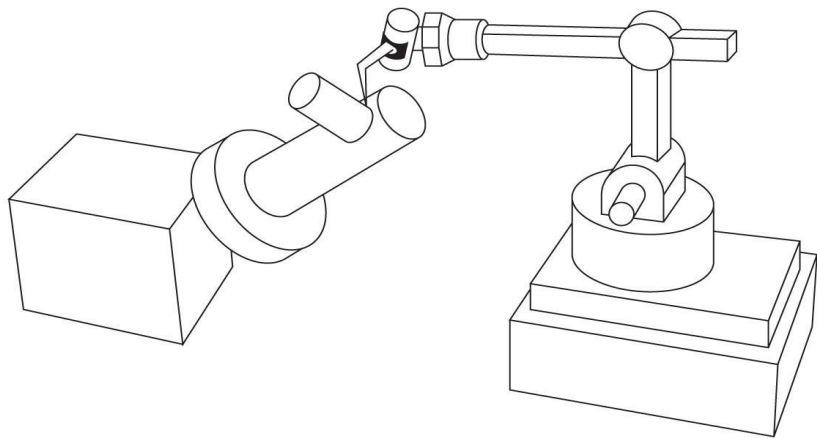


**Figure 8.1**  
A 6-DOF manipulator with a symmetric tool contains a redundant degree of freedom.

## 8.2 작업 요구에 근거한 설계

- 자유도

- 반도체 기판에 부품을 삽입하는 작업에는, 기판(circuit board)이 일반적으로 평면이고 여러 가지 높이의 부품을 포함한다. 평면에 부품을 놓는 일은 3-자유도( $x, y, \theta$ )에를 요구하며, 부품을 들어 올리거나 삽입시키기 위하여 평면에 수직인( $z$ ) 네 번째의 운동이 부가 → 4-자유도 로봇이면 충분함
- 능동적인 추가 배열 장치를 사용하면 작은 자유도의 로봇으로 작업 수행 가능



**Figure 8.2**

A tilt/roll platform provides two degrees of freedom to the overall manipulator system.

## 8.2 작업 요구에 근거한 설계

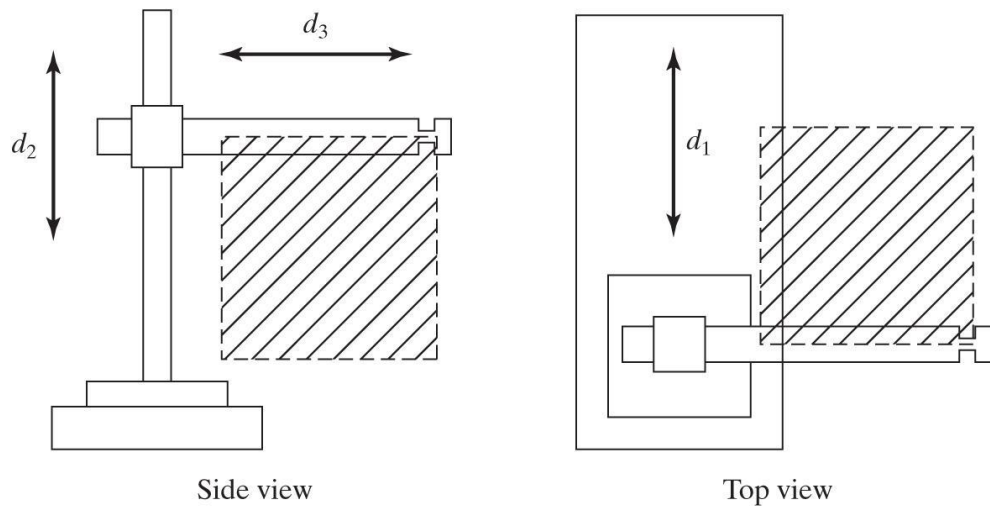
- 작업공간
- 하중 용량
- 속력
- 반복성과 정밀성

## 8.3 기하학적인 형상

- 많은 산업용 머니플레이터의 구조는
  - 위치를 정하는 구조: 간단하게 설계 → 링크 비틀림(link twist,  $\alpha$ )이 0 혹은 90도, 링크 길이(link length,  $a$ )와 링크 오프셋(link offset,  $d$ )이 0이 되도록 설계
  - 방위를 정하는 구조 혹은 손목
  - 마지막  $n-3$  관절은 말단 효과 장치의 방위를 취하도록 설계되었고, 팔목 점(wrist point)에서 교차하는 축들을 가지며, 처음 3개의 관절은 이 팔목 점을 위치시키도록 설계 (예: PUMA 560)

## 8.3 기하학적인 형상

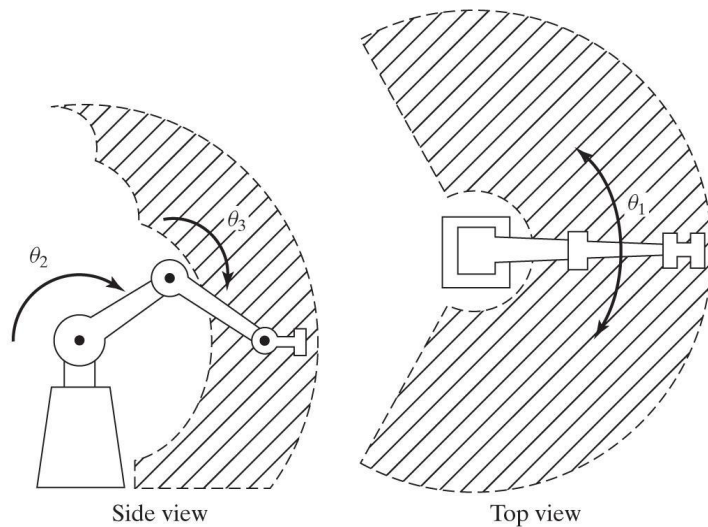
- 직교좌표 머니플레이터(갠트리 로봇)



**Figure 8.3**  
A Cartesian  
manipulator.

## 8.3 기하학적인 형상

- 다관절형 머니플레이터(articulated manipulator)
  - 작업장 내로 가장 적게 침입하는 구조. 직교좌표 로봇보다 훨씬 작은 구조 필요

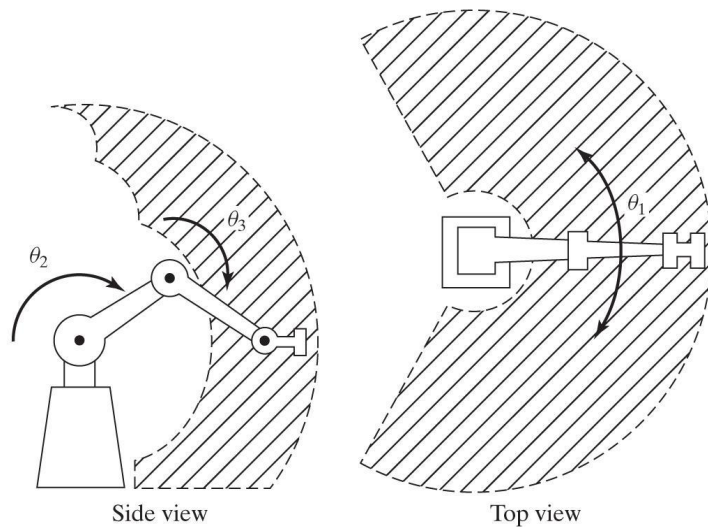


**Figure 8.4**  
An articulated manipulator.



## 8.3 기하학적인 형상

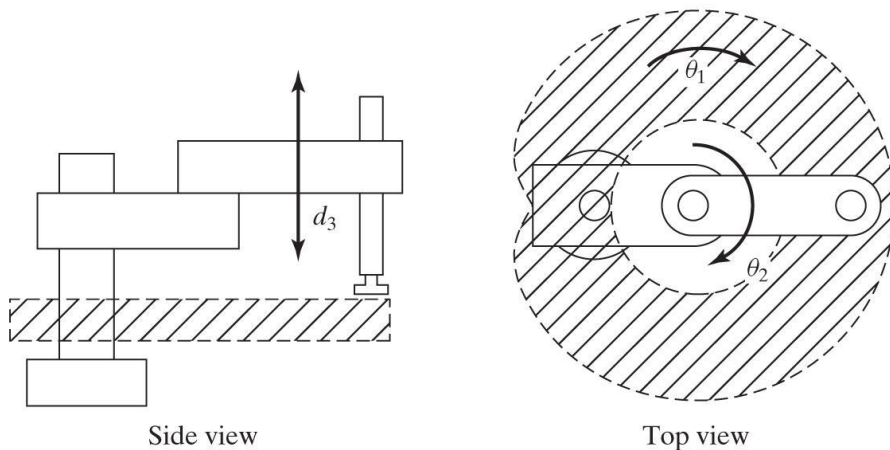
- 다관절형 머니플레이터(articulated manipulator)
  - 작업장 내로 가장 적게 침입하는 구조. 직교좌표 로봇보다 훨씬 작은 구조 필요



**Figure 8.4**  
An articulated manipulator.

## 8.3 기하학적인 형상

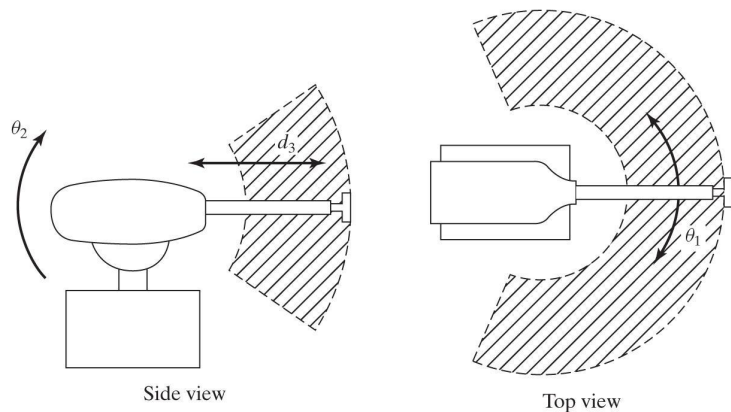
- 스카라형 머니플레이터(SCARA)
  - 다관절형 로봇보다 약 10배 정도 빠름.평면 작업에 가장 적당하다.
  - 3개의 평행인 회전 관절과 마지막 프리즘 관절



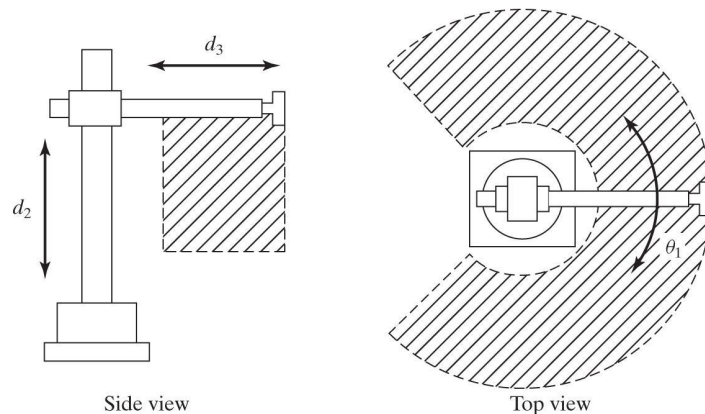
**Figure 8.5**  
A SCARA  
manipulator.

## 8.3 기하학적인 형상

- 구형, 원통형 머니플레이터



**Figure 8.6**  
A spherical  
manipulator.



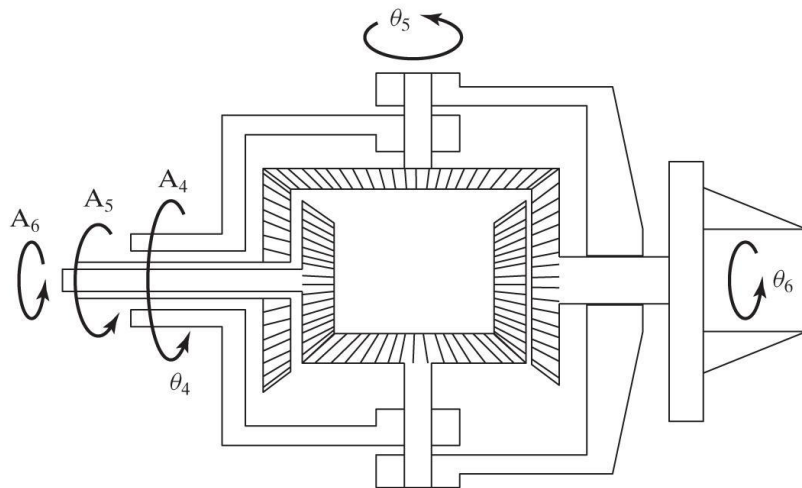
**Figure 8.7**  
A cylindrical  
manipulator.

## 8.3 기하학적인 형상

- 손목

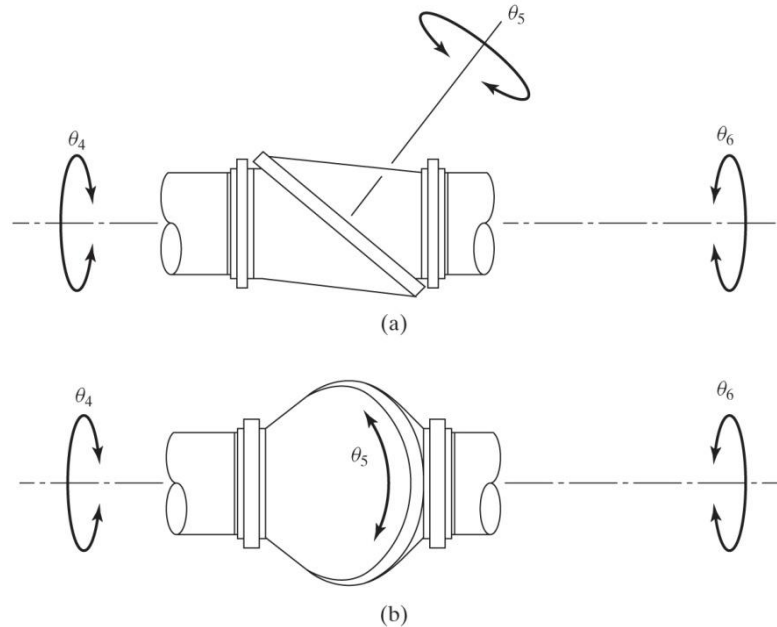
**Figure 8.8**

An orthogonal-axis wrist driven by remotely located actuators via three concentric shafts.



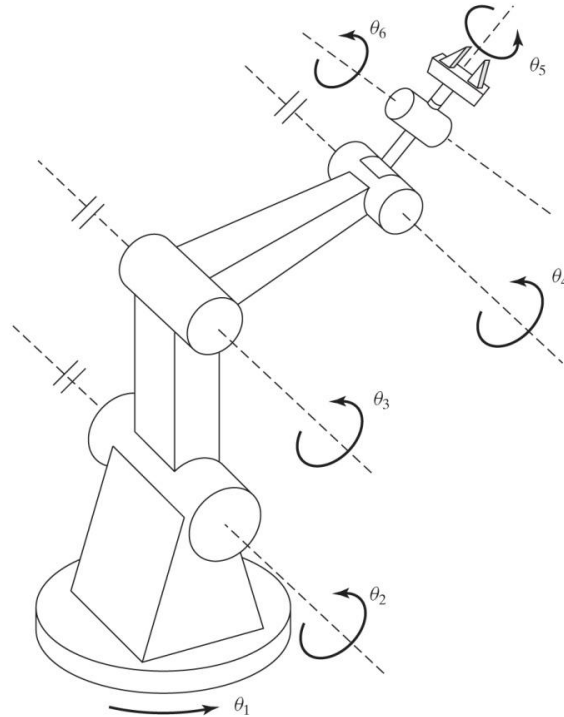
## Figure 8.9

Two views of a nonorthogonal-axis wrist [24]. Adapted from *International Encyclopedia of Robotics*, by R. Dorf and S. Nof (editors). From *Wrists* by M. Rosheim, John C. Wiley and Sons, Inc., New York, NY ©1988.



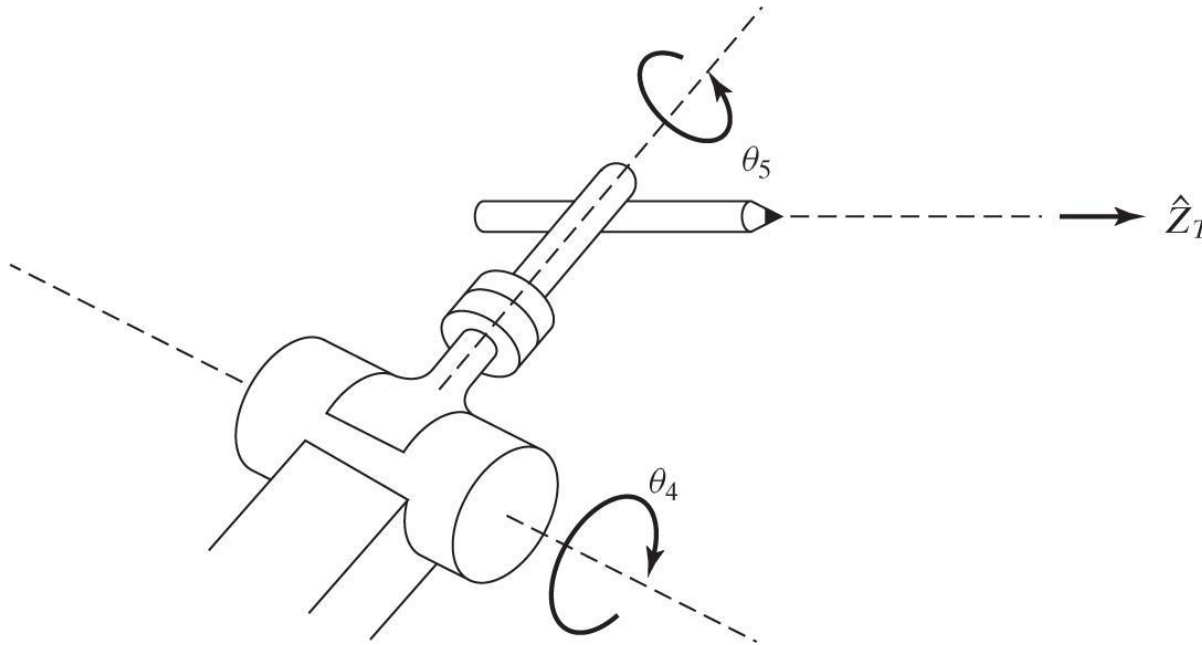
## Figure 8.10

A manipulator with a wrist whose axes do not intersect. However, this robot does possess a closed-form kinematic solution.



## Figure 8.11

Typical wrist design of a 5-DOF welding robot.



## 8.4 작업장 속성의 정량적인 측정


- 손작업 공간 생성 향으로 나타낸 설계 효율성
  - 길이 합

$$L = \sum_{i=1}^N (a_{i-1} + d_i)$$

- 구조 길이 지수

$$Q_L = L/\sqrt[3]{w}$$

- 잘 조절된 작업 공간의 설계(특이점에서 멀어지도록)
  - 조작성 지수(manipulability measure)  $w$

특이점에서  $\det(J(\Theta)) = 0$    $w = \sqrt{\det(J(\Theta)J^T(\Theta))}$   $w = |\det(J(\Theta))|$



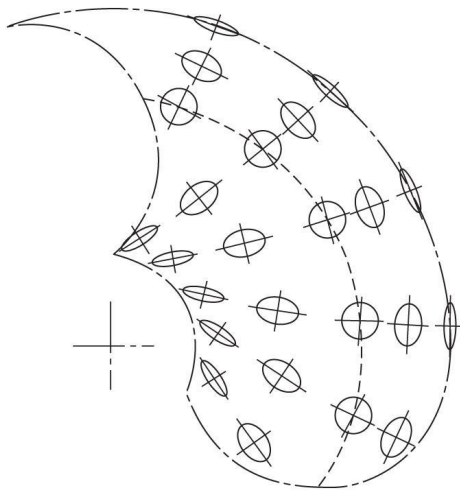
- Asada는 직교좌표 질량 행렬의 고유치를 검사하는 것을 제안함

$$M_x(\Theta) = J^{-T}(\Theta)M(\Theta)J^{-1}(\Theta) \quad \text{식 6.99}$$

- 머니플레이터가 여러 가지 직교좌표 방향으로 얼마나 잘 가속할 수 있는지의 측정으로 삼는 것을 제안

$$X^T M_x(\Theta)X = 1$$

- 로 주어지는 관성 타원체(inertia ellipsoid)를 이 측정의 그래픽 표현으로 할 것을 제안함



**Figure 8.12**

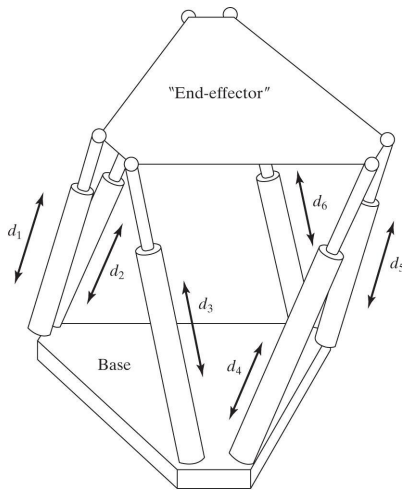
Workspace of a 2-DOF planar arm, showing inertia ellipsoids, adapted from [5] (©1984 IEEE). The dashed line indicates a locus of isotropic points in the workspace.

## 8.5 과다하고 폐연쇄인 구조

- 미소머니플레이터(micromanipulator)와 과다성(redundancy)
- 페루프 구조
  - 기구의 강성(stiffness)를 증가시킴
  - 관절운동의 허용 범위를 축소시키고 작업 공간의 크기를 감소시킴
  - 역기구학의 해는 매우 간단하나 정기구학의 해는 매우 복잡함

**Figure 8.14**

The Stewart mechanism is a six-degree-of-freedom fully parallel manipulator.

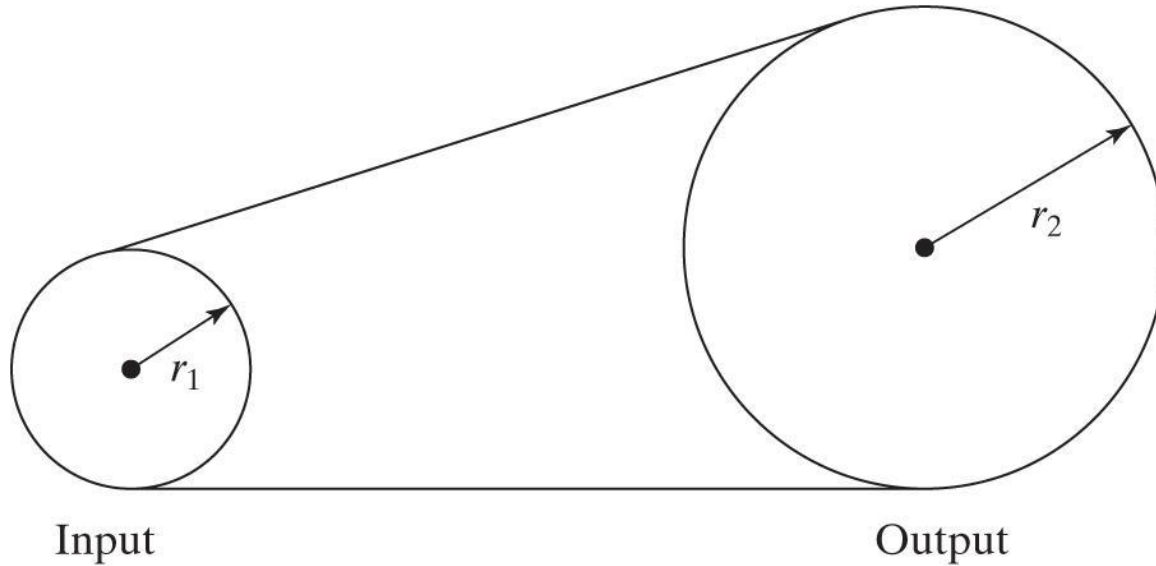


## 8.6 구동 방법

- 많은 액추에이터(모터 등)들은 높은 속력과 낮은 토크를 갖음. 따라서 속력 감속 시스템(기어)이 필요함
- 액추에이터로부터 관절로 운동을 전달하는 전달 시스템(transmission system)이 필요함
- 감속과 전달 시스템
  - 기어가 대표적임. 단, 기어의 문제점은 백래시(backlash)와 마찰임
  - 벨트와 풀리: 예하중(preloading) 기구 필요
  - 롤러체인
  - 리드 스크류와 볼 베어링 스크류(다음 슬라이드 그림 참조)
  - 기어비

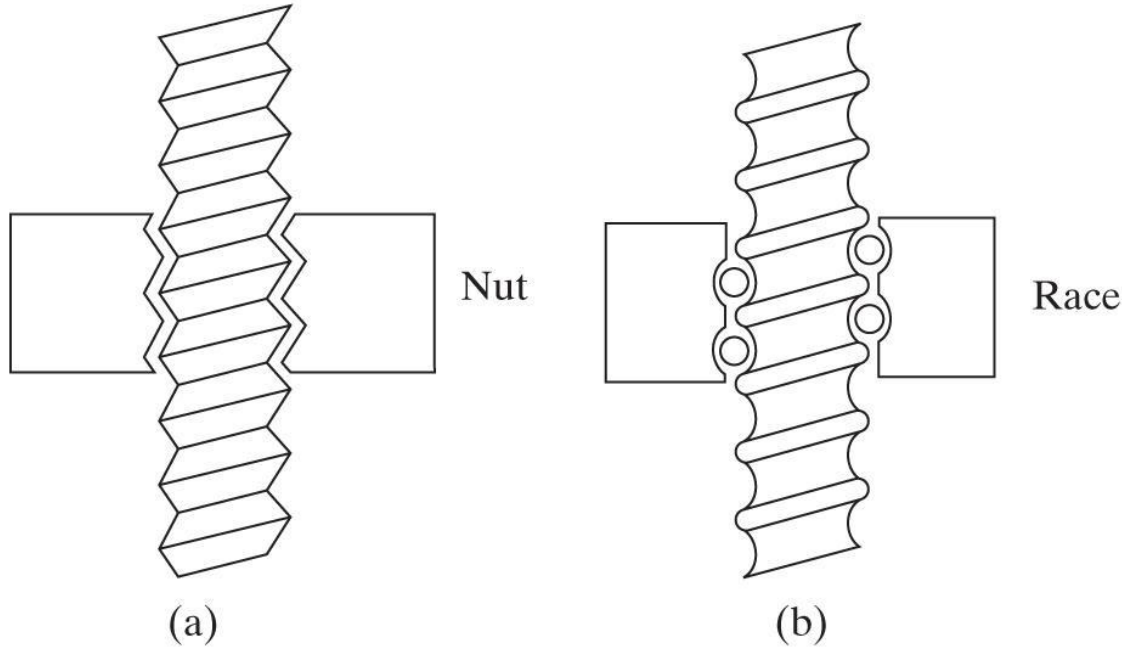
## Figure 8.15

Band, cable, belt, and chain drives have the ability to combine transmission with reduction.



## Figure 8.16

Lead screws (a) and ball-bearing screws (b) combine a large reduction and transformation from rotary to linear motion



## 8.7 강성도의 힘

- 머니플레이터 설계의 중요한 목표는 구조와 구동 시스템의 전체적인 강성도를 유지하는 것
  - 충분한 강성을 갖는 시스템은 다음의 이득이 있음
    - 중력이나 기타 하중에 의한 휨이 없어서 센서를 끝단에 달거나 할 경우, 계산이 정확해짐
    - 공진(resonance)이 안 생김
- 병렬 및 직렬로 연결된 유연한 요소(강성도  $k_1, k_2$ 를 갖는 2개의 물체 가정)
  - 병렬 연결하면,  $k_{\text{parallel}} = k_1 + k_2$
  - 직렬 연결하면,  $\frac{1}{k_{\text{series}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$
- 부품 별 강성도
  - 축  $k = \frac{G\pi d^4}{32l}$
  - 기어  $k = C_g b r^2$   $k_o = \frac{\tau_o}{\delta\theta_o} = \frac{\eta k_i \delta\theta_i}{(1/\eta)\delta\theta_i} = \eta^2 k_i$  기어 감속은 기어 비의 제곱으로 강성도를 증가
  - 벨트  $k = \frac{AE}{l}$
  - 링크  $k = \frac{3\pi E(d_o^4 - d_i^4)}{64l^3}$

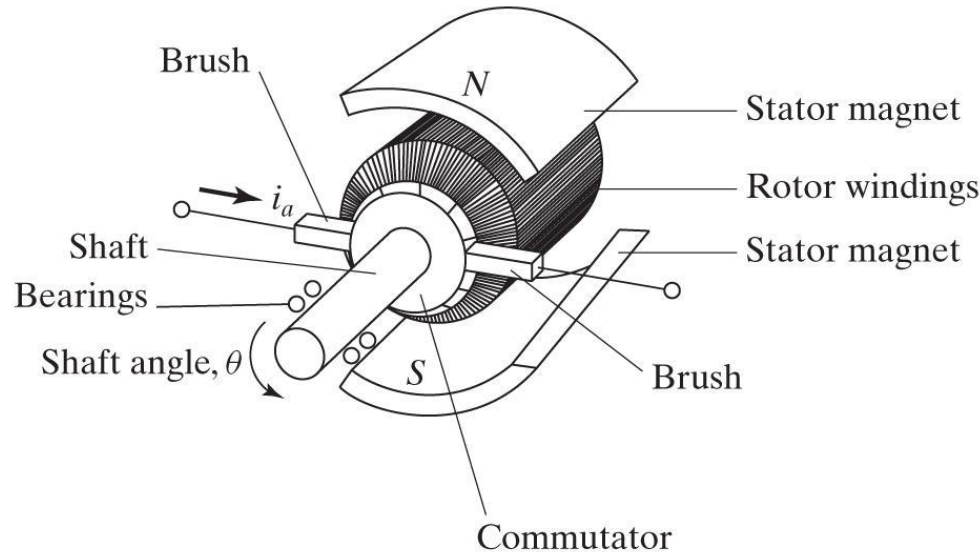
## 8.7 강성도의 힘

- 액추에이터: 유압, 공압, 전기모터

- 유압: 비교적 간결한 구조로 기어 없이도 관절을 구동하기 위한 충분한 힘을 발생시킬 수 있다. 속력은 일반적으로 머니플레이터로부터 떨어진 펌프와 축적 장치(**accumulator**) 시스템에 의하여 결정된다. 유압 시스템의 위치 제어는 비교적 간단하고 잘 된다. 초기의 산업용 로봇 거의 모두와 현재의 커다란 로봇은 유압 액추에이터를 사용한다. 단점은 유압은 펌프, 축적 장치 (**accumulator**), 호스와 서보 밸브와 같은 많은 장비를 필요로 한다. 그리고 유압 시스템은 자연적으로 커지는 경향이 있으므로, 어떤 응용에는 부적당하다. 액추에이터의 힘의 정확하게 적용되어야 하는 로봇이 필요하면서 유압은 실(**seal**)의 마찰 때문에 불리하다는 것이 증명됨
- 공압: 유압이 비슷한 장점이 있으면서 유압보다 깨끗하다는 이점이 있다(유압 액체 대신에 공기가 흘러나온다). 그러나 공압 액추에이터는 공기의 압축성과 실(**seal**)의 높은 마찰 때문에 정확히 제어하기가 어렵다는 것이 증명
- 결국엔 전기 모터 뿐임
  - brush motor
  - brushless motor
  - AC motor
  - stepper motor

## Figure 8.18

DC brush motors are among the actuators occurring most frequently in manipulator design. Adapted from Franklin, Powell, Emami-Naeini, *Feedback Control of Dynamic Systems*, © 1988, Addison-Wesley, Reading, MA.



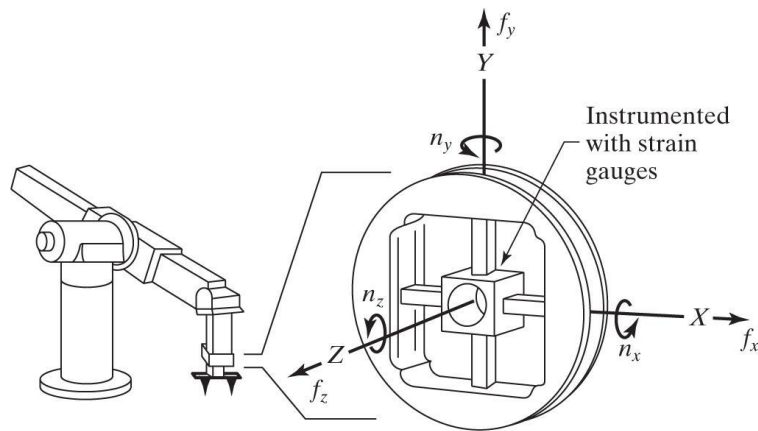


## 8.8 위치 센싱과 8.9 광학 인코더

- 가장 흔한 위치 센서는 증분 회전 광학 인코더(incremental rotary optical encoder)
  - 인코더의 원판에 있는 홈이 광원을 지날 때 광센서가 이를 측정하면, 사인 파형의 진폭을 가진 전압이 출력
  - 위의 센서를 2개, 90도 차이나게 만들면 회전 방향도 알 수 있음
  - 보간법(interpolation)을 사용해서 해상도(resolution)을 높임
  - 본 교재 4판에서는 오차에 대해 설명을 추가했지만 불필요해보임(참고만 할 것)
- 리졸버
- 전위차계
- 타코미터

## 8.10 힘 센싱

- 반도체 또는 금속 박판 스트레인 게인(strain gauge) 사용
  - 응력을 받아서 굴곡의 변형을 측정하는 것
  - 십자로 된 구조에 반도체로 된 스트레인게이지 여덟 쌍이 부착되었다. 각 쌍은 전압 분할(voltage divider) 방법으로 연결되었다. 감지 요구가 있을 때마다 8개의 전압은 디지털화되어 컴퓨터로 읽음
  - 센서의 강성도가 높으면 감도가 낮음(박판 게이지)



**Figure 8.24**  
The internal structure of a typical force-sensing wrist.