Robotics
응용로봇공학및설계

Chapter 2

로봇의 구성과 구동
(Robot Components and Actuators)

구성 요소 · 구동장치 · 감속기 · 형상과 분류

Department of Control & Instrumentation Engineering
Pukyong National University, Busan, Korea
pnj@pknu.ac.kr

Chapter 2. 로봇의 구성과 구동

2.1 산업용 로봇의 구성

2.2 구동장치

2.3 감속기

2.4 로봇의 형상과 분류

[왜 필요한가] 로봇을 설계하고 운용하려면 로봇의 구성부터 알아야 한다.
산업용 로봇의 구성 요소와 로봇팔을 이루는 링크 · 관절을 정의한다.

학습목표

- 산업용 로봇의 구성 요소와 **링크 · 관절**을 설명할 수 있다.
- 전기식 · 유압식 · 공압식 **구동장치**의 특징을 비교할 수 있다.
- **감속비**로 기어의 회전수와 토크의 변화를 구할 수 있다.
- **백래시**와 정밀 감속기(사이클로이드 · RV · 하모닉 드라이브)를 설명할 수 있다.
- 관절의 조합에 따른 로봇의 **형상**과 작업공간을 구별할 수 있다.

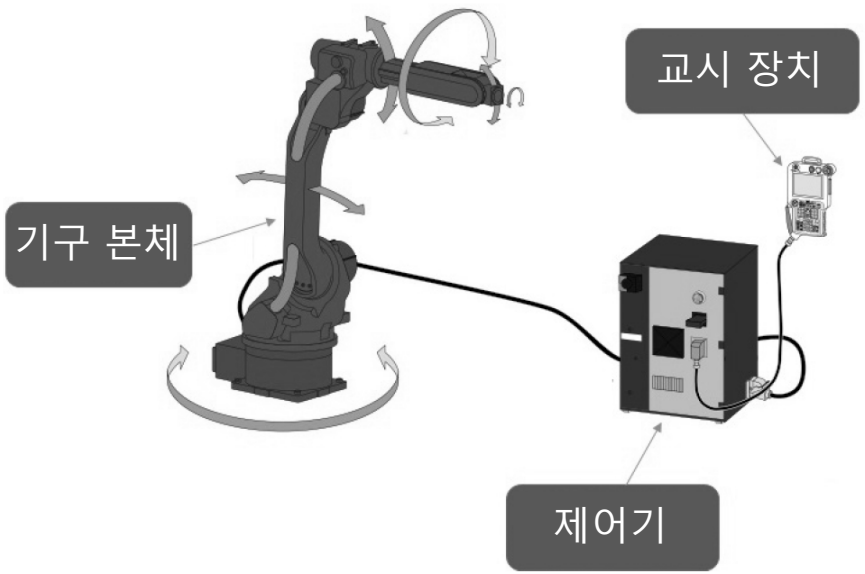
산업용 로봇의 구성 요소

CONCEPT 정의

기구 본체: 작업을 수행하는 로봇팔. 팔 끝의 **말단장치**에 그리퍼 · 공구를 장착

제어기(controller): 각 관절 모터의 지령을 계산해 출력하는 장치

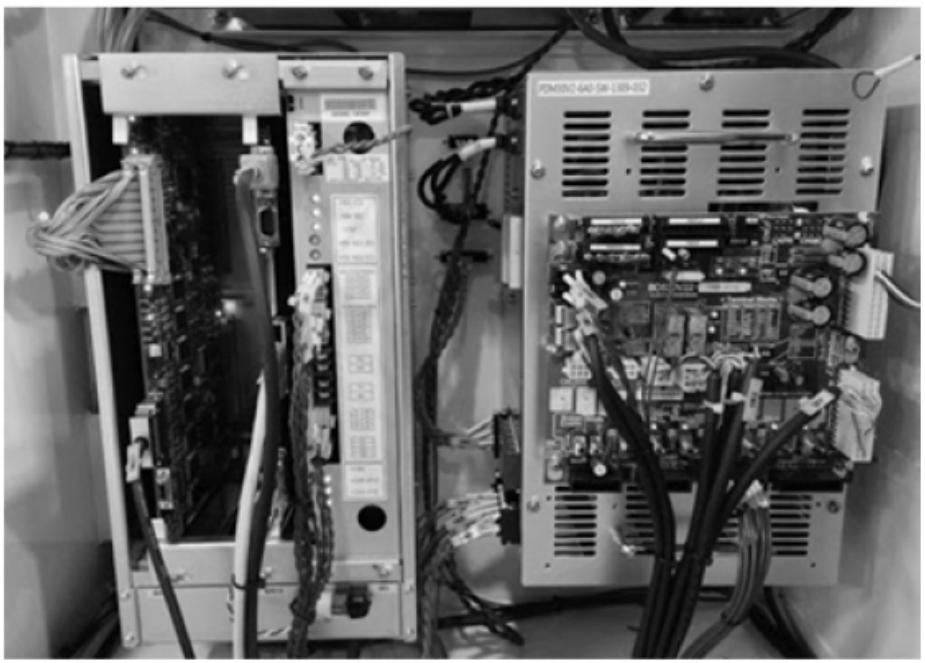
교시 장치(teaching pendant): 작업자가 로봇 동작을 입력하는 휴대형 조작기



제어기 — 외부와 내부

산업용 로봇 제어기(현대로보틱스 Hi5a): 왼쪽은 외부, 오른쪽은 내부다.





[읽는 법] 내부: 관절 모터를 구동하는 **서보 드라이브**와 지령을 계산하는 **제어 보드**

교시 장치 — 동작을 교시하고 재생한다

교시(teaching): 교시 장치로 로봇을 작업 위치로 움직여 그 동작을 저장하는 것.





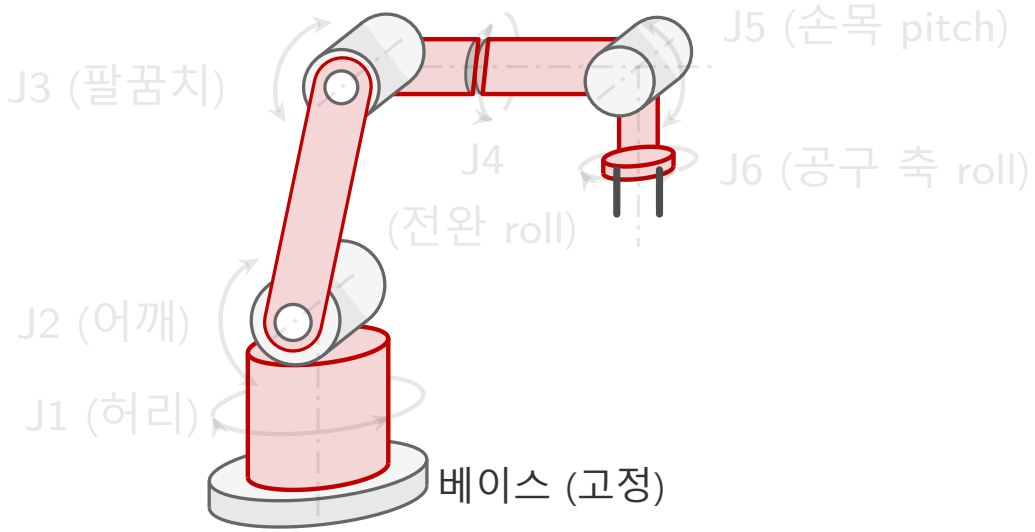
[결론] 교시 장치로 동작을 **교시 · 저장**하고, 제어기가 그 동작을 **반복 재생**한다.

기구 본체 — 링크와 관절 (1/2)

CONCEPT 정의

링크(link): 관절과 관절 사이를 잇는 강체

관절(joint): 두 링크를 연결하고 두 링크 사이의 상대 운동을 허용하는 부분



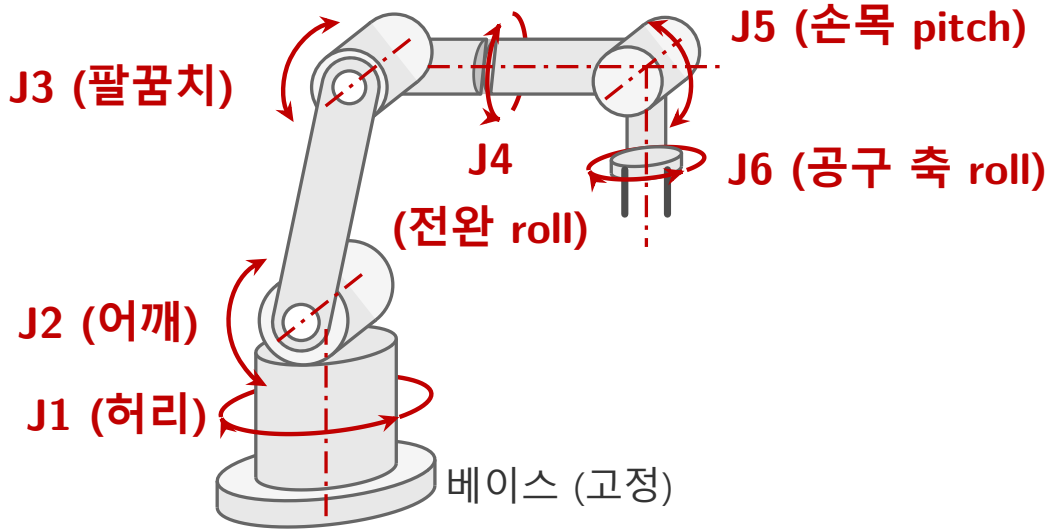
베이스는 바닥에 고정되고, 그 위로 링크와 관절이 번갈아 직렬로 이어진다.

기구 본체 — 링크와 관절 (2/2)

CONCEPT 정의

링크(link): 관절과 관절 사이를 잇는 강체

관절(joint): 두 링크를 연결하고 두 링크 사이의 상대 운동을 허용하는 부분



6축 수직 다관절 로봇: 회전 관절 6개(J1∼J6)를 베이스부터 링크로 직렬 연결한 로봇팔

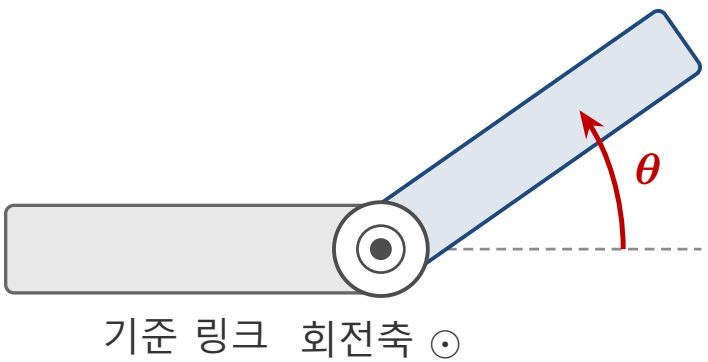
관절의 종류 — 회전 관절과 직동 관절

CONCEPT 정의

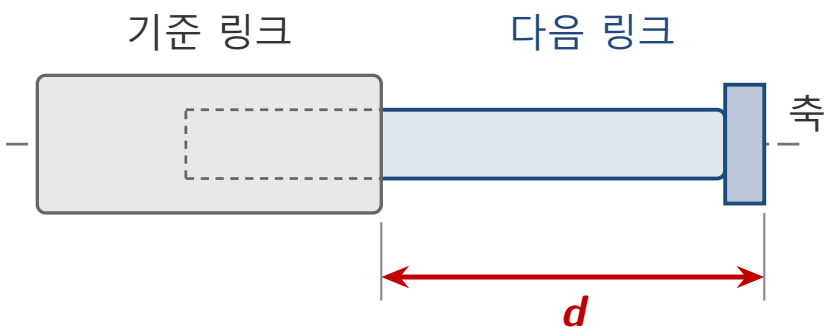
회전 관절(revolute joint, R): 축에 대한 회전 운동. 관절 변수는 각도 θ

직동 관절(prismatic joint, P): 축을 따라 직선 운동. 관절 변수는 길이 d

회전 관절 (R)



직동 관절 (P)



[특징] 각 관절의 **엔코더**가 관절 변수(θ, d)를 측정해 제어기로 피드백한다.

Chapter 2. 로봇의 구성과 구동

2.1 산업용 로봇의 구성

2.2 구동장치

2.3 감속기

2.4 로봇의 형상과 분류

[왜 필요한가] 관절을 움직이려면 동력을 만드는 장치가 필요하다.
전기식 · 유압식 · 공압식 구동장치의 원리와 특징을 비교한다.

구동장치 — 전기식

CONCEPT 정의

구동장치(actuator): 관절을 움직이는 동력 장치. 전기식 · 유압식 · 공압식

전기식: DC · AC · 스텝 · 서보 모터, 최근에는 BLDC(brushless DC) 모터



DC 모터



스텝 모터



서보 모터

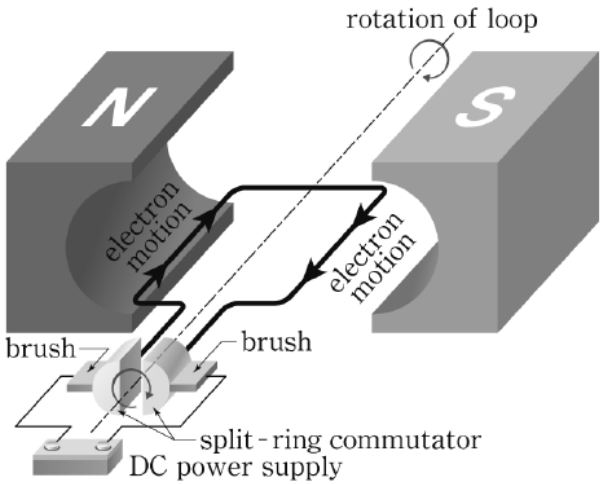
[특징] 정확성 · 반복성이 높아 로봇 관절에는 **전기 모터**가 표준이다.

DC 모터 — 회전 원리와 내부 구조

CONCEPT 원리

로렌츠 힘: 자기장 $\mathbf{B}$ 속 길이 $\mathbf{L}$ 의 도체에 전류 I 가 흐르면 $\mathbf{F} = I\mathbf{L} \times \mathbf{B}$

정류자 · 브러시: 반 바퀴마다 전류 방향을 바꿔 한 방향 회전을 유지한다





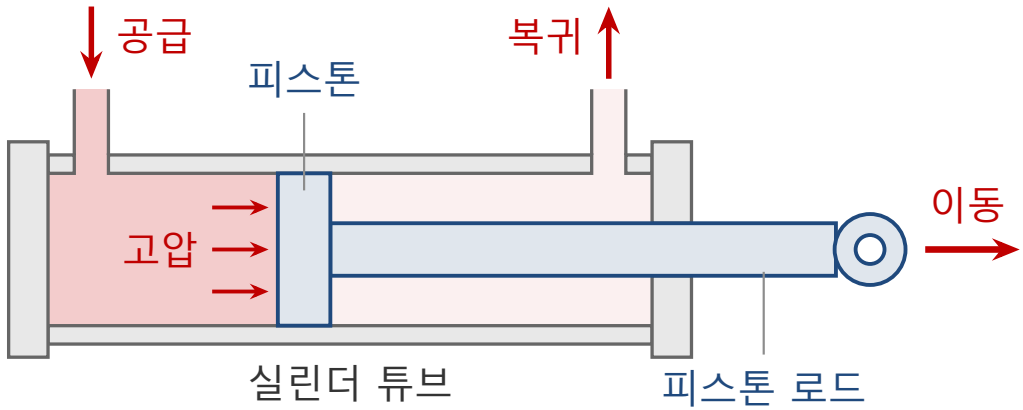
[특징] BLDC 모터는 브러시 없이 전자적으로 전류 방향을 바꿔 **마모 · 소음이 적다**.

구동장치 — 유압식

CONCEPT 정의

유압식(hydraulic): 비압축성 유체(유압유)의 압력으로 피스톤을 움직이는 방식





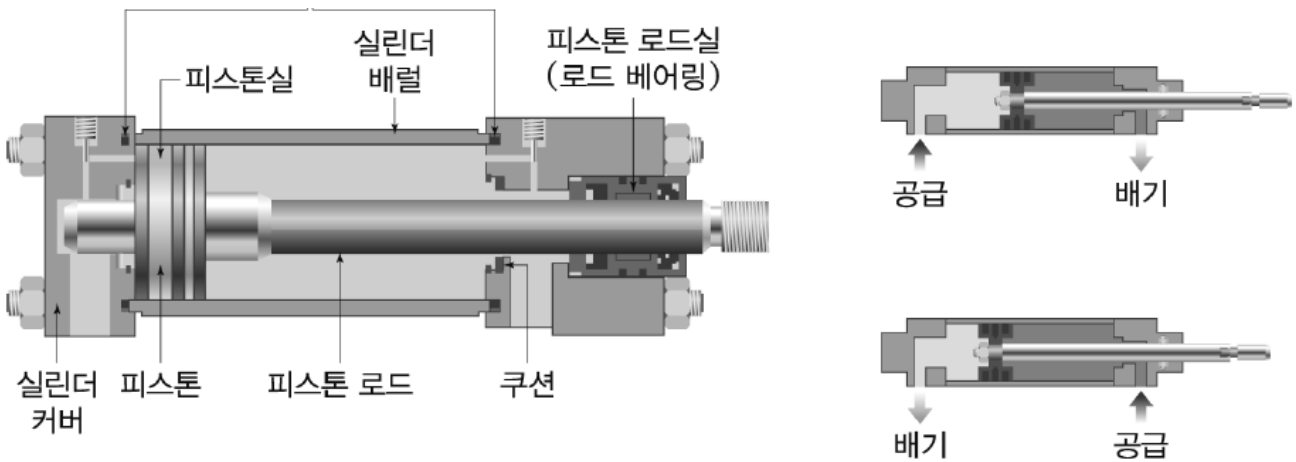
[특징] 큰 힘을 내고 응답성이 좋다.
구조가 복잡하고 발열 · 누유를 관리해야 한다.

구동장치 — 공압식

CONCEPT 정의

공압식(pneumatic): 압축 공기의 압력으로 피스톤을 움직이는 방식

공급 쪽과 배기 쪽을 바꾸면 피스톤의 운동 방향이 바뀐다



[특징] 과부하에 매우 강하고 깨끗하다.
공기가 압축되므로 **정밀 위치 제어가 어렵다**.

구동장치 비교 — 전기 · 유압 · 공압

구분	전기	유압	공압
구조	간단	복잡	간단
가격	저가	고가	저가
출력	중출력	**대출력**	소~중출력
발열	약간	큼	없음
부하 안전성	과부하에 민감	과부하에 강인	**과부하에 매우 강인**
응답성	보통~상	매우 좋음	나쁨
정확성	**높음**	보통	낮음
반복성	좋음	좋음	나쁨

[결론] 정밀 위치 제어가 필요한 관절에는 전기식, 큰 힘이 필요하면 유압식,
단순한 개폐 · 파지에는 공압식이 유리하다.

Chapter 2. 로봇의 구성과 구동

2.1 산업용 로봇의 구성

2.2 구동장치

2.3 감속기

2.4 로봇의 형상과 분류

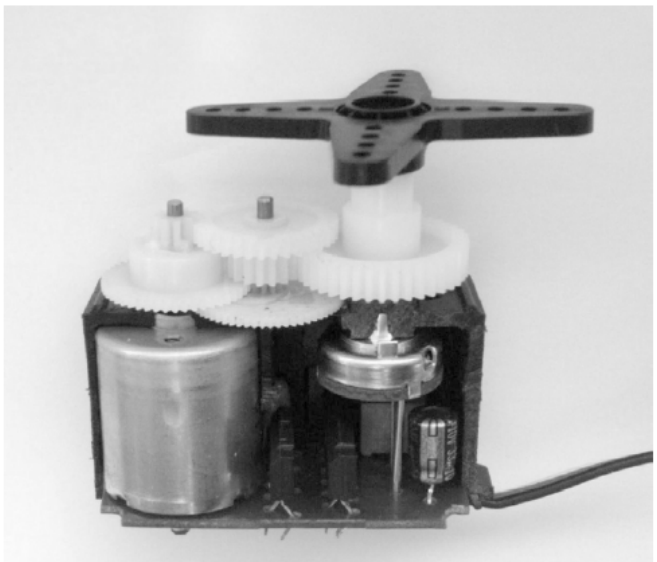
[왜 필요한가] 모터는 빠르지만 토크가 작고, 로봇 관절에는 큰 토크가 필요하다. 감속비, 기어의 종류와 틈(백래시), 로봇 관절에 쓰는 정밀 감속기의 원리를 다룬다.

감속기 — 서보 모터의 기어박스

CONCEPT 정의

감속기(reducer): 모터의 높은 회전수를 낮추고 토크를 키우는 장치

기어박스(gearbox): 맞물린 기어로 감속하는 감속기



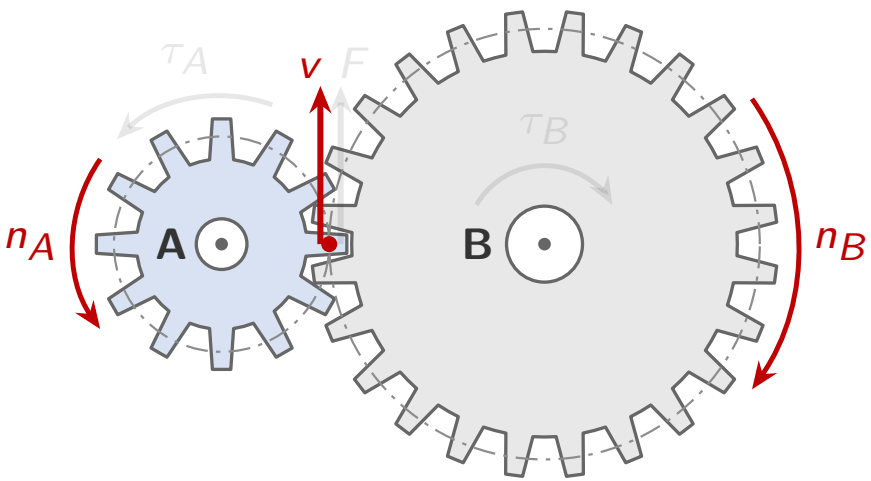
왼쪽 아래 모터의 회전이 여러 기어를 거쳐 위의 출력축으로 전달된다.

감속비 — 회전수는 $1/N$ (1/2)

CONCEPT 정의

감속비: 입력 회전수와 출력 회전수의 비 $N = n_A/n_B = Z_B/Z_A = d_B/d_A$

A: 원동기어(모터), B: 피동기어(관절). n 회전수, Z 잇수, d 기준원 지름



① 맞물린 점의 속도 v 가 같다

$$v = \pi d_A n_A = \pi d_B n_B$$
$$\Rightarrow \quad n_B = n_A/N$$

② 맞물린 점의 힘 F 가 같다

$$\tau_A = F d_A/2, \quad \tau_B = F d_B/2$$
$$\Rightarrow \quad \tau_B = N\tau_A$$

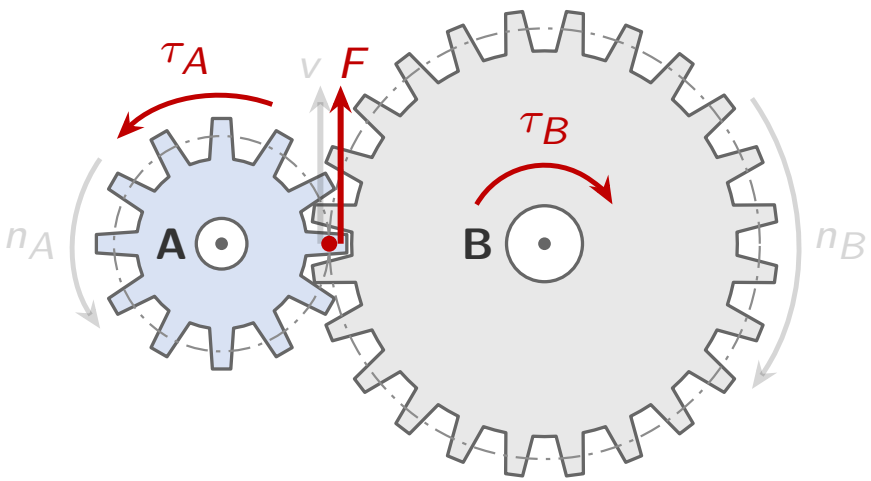
[수치 예] $Z_A = 12$, $Z_B = 24$ 이면 $N = 2$: 출력축은 모터 축의 **절반 속도**로 회전한다.

감속비 — 토크는 N 배 (2/2)

CONCEPT 정의

감속비: 입력 회전수와 출력 회전수의 비 $N = n_A/n_B = Z_B/Z_A = d_B/d_A$

A: 원동기어(모터), B: 피동기어(관절). n 회전수, Z 잇수, d 기준원 지름



① 맞물린 점의 속도 v 가 같다

$v = \pi d_A n_A = \pi d_B n_B$

$\Rightarrow \quad n_B = n_A/N$

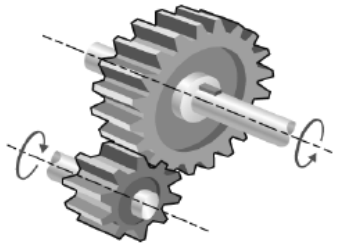
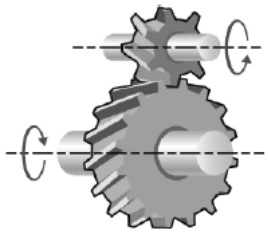
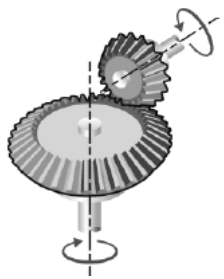
② 맞물린 점의 힘 F 가 같다

$\tau_A = F d_A/2, \quad \tau_B = F d_B/2$

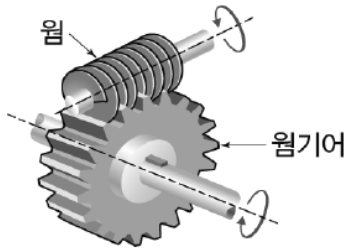
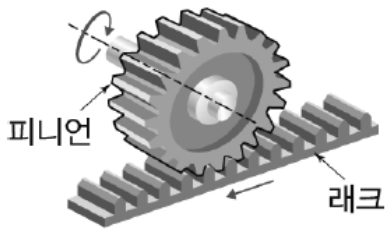
$\Rightarrow \quad \tau_B = N\tau_A$

[직관] 회전수를 $1/N$ 로 줄인 만큼 **토크가 N 배**가 된다 (손실 무시).

기어의 종류 — 두 축이 평행하거나 직교할 때 (1/2)

종류	모양	축 관계와 특징	용도
평기어		두 축이 평행할 때 동력 전달	시계, 선반, 내연 기관
헬리컬 기어		두 축이 평행할 때 물림이 원활해 소음이 적다	공작 기계, 내연 기관
베벨 기어		두 축이 직각으로 만날 때 회전 방향을 직각으로 바꿀 때	핸드 드릴, 자동차의 구동장치

기어의 종류 — 두 축이 엇갈릴 때와 직선 운동 (2/2)

종류	모양	축 관계와 특징	용도
웜과 웜기어		두 축이 엇갈릴 때 (평행하지도 교차하지도 않음) 큰 감속비를 얻을 수 있다	감속 장치
래크와 피니언		회전 운동 → 직선 운동 직선 운동 → 회전 운동	선반, 드릴링 머신, 사진기의 이송 기구

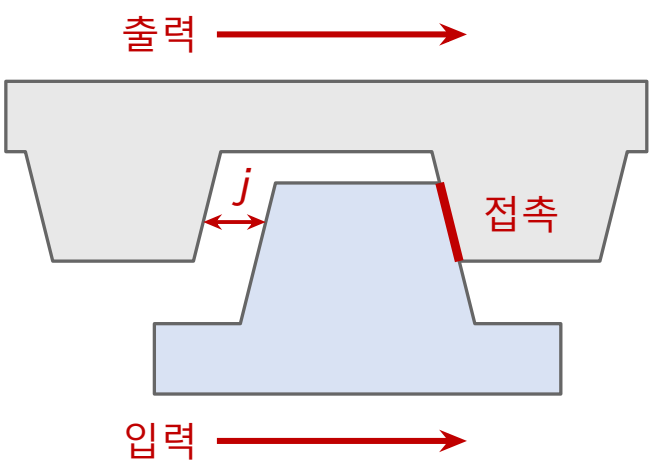
[결론] 두 축의 상대 위치(평행 · 직교 · 엇갈림)와 필요한 감속비로 기어를 정한다.

백래시 — 맞물린 톱니 사이의 틈

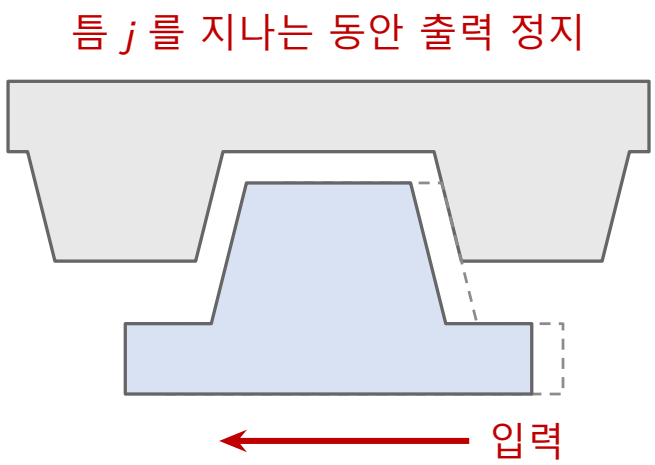
CONCEPT 정의

백래시(backlash): 맞물린 기어 톱니 사이의 틈(유격) j

① 한 방향으로 회전



② 회전 방향을 바꾸면

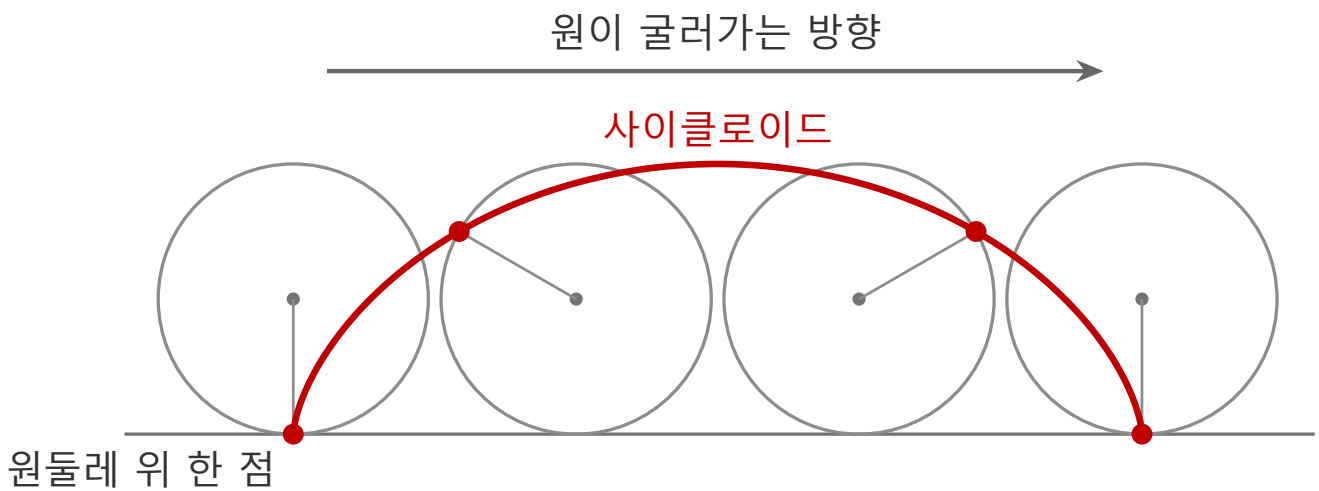


[주의] 틈이 크면 소음 · 진동 · 마모가 늘고 **위치 정밀도가 떨어진다**.
그래서 로봇 관절에는 백래시가 거의 없는 정밀 감속기를 쓴다.

사이클로이드 감속기 — 사이클로이드 곡선 (1/3)

CONCEPT 정의

사이클로이드(cycloid): 원이 직선 위를 미끄러지지 않고 굴러갈 때 원둘레 위 한 점이 그리는 자취



[읽는 법] 원이 한 바퀴 굴러가면 빨간 점은 아치 하나를 그린다.

사이클로이드 감속기 — 구조 (2/3)

CONCEPT 정의

사이클로이드 감속기: 사이클로이드 치형의 편심판이 굴러가며 바깥 핀 수와 잇수의 차이로 감속하는 감속기



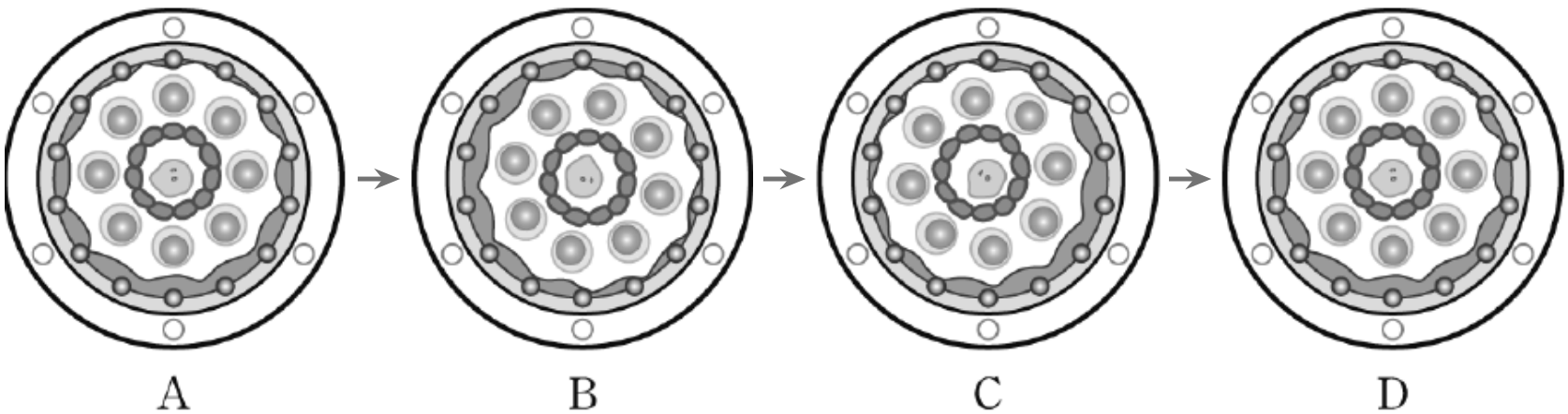




[특징] 동시에 맞물리는 이가 많아 **강성이 높고 과부하에 강하다**.

사이클로이드 감속기 — 구동 원리 (3/3)

입력축이 회전하면 편심판이 바깥 핀을 따라 굴러가며 천천히 회전한다 (A → D).



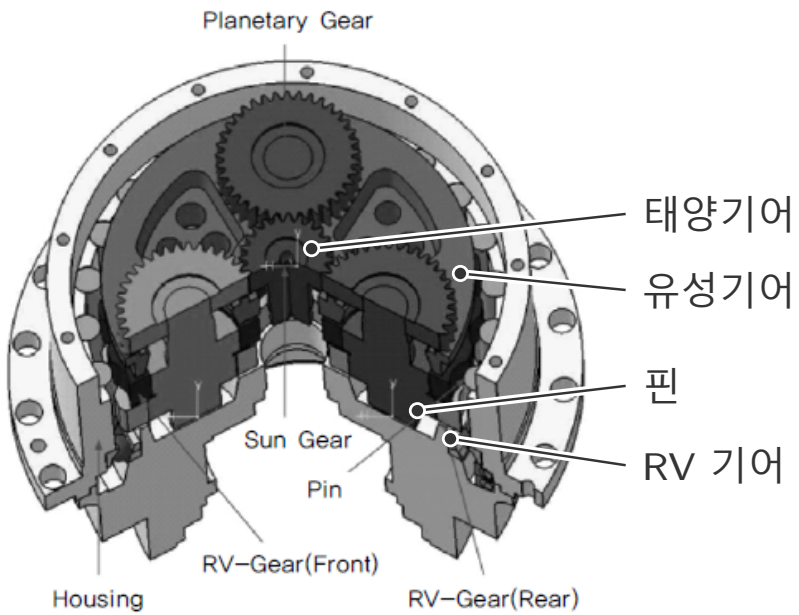
[특징] 이 사이클로이드 감속은 RV 감속기의 **두 번째 단**에 쓰인다.

RV 감속기 — 구조 (1/2)

CONCEPT 정의

RV 감속기: 1단 유성기어 감속 + 2단 사이클로이드 치형 감속

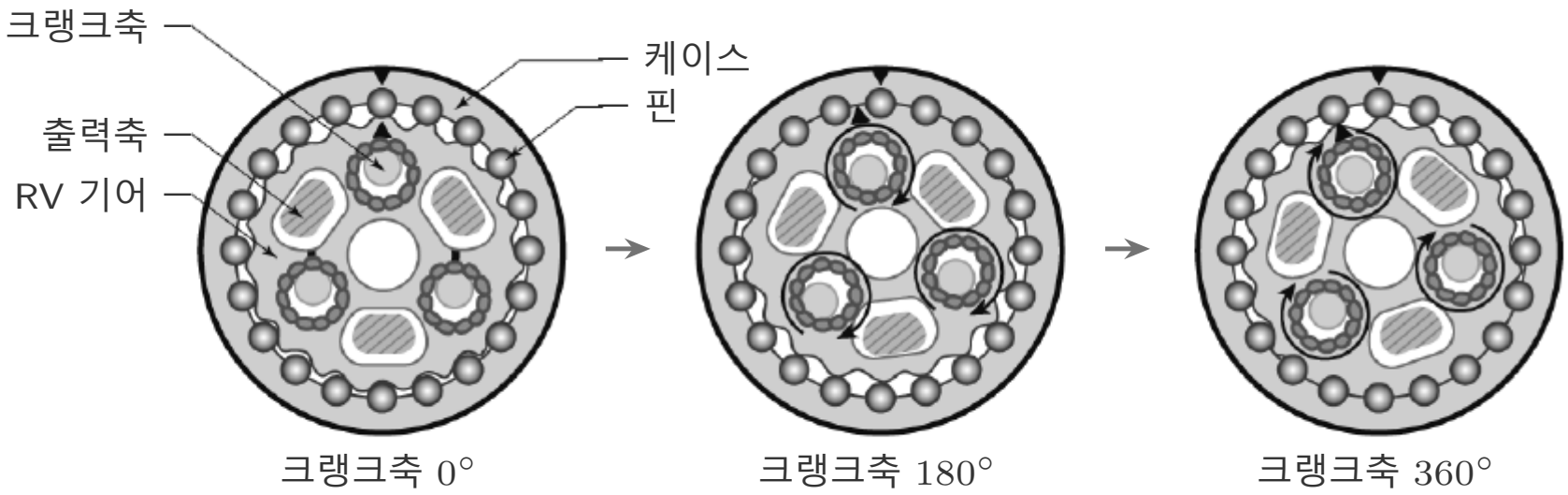




[읽는 법] 1단: 태양기어 · 유성기어, 2단: RV 기어 · 핀

RV 감속기 — 구동 원리 (2/2)

유성기어에 연결된 크랭크축이 회전하면 RV 기어가 핀을 따라 굴러가며 감속한다.



[특징] 강성이 높고 관성 · 백래시가 작아 **가속 성능과 위치 정밀도**가 좋다.
산업용 로봇의 대형 · 고부하 관절과 공작기계에 쓴다.

하모닉 드라이브 — 구조 (1/2)

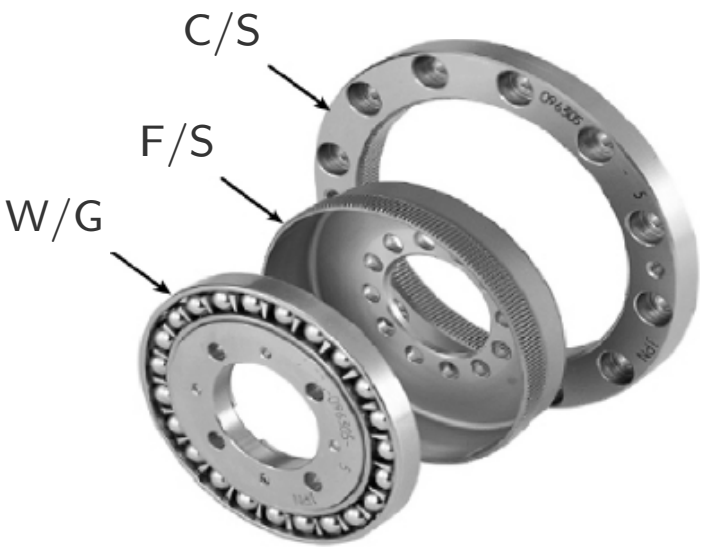
CONCEPT 정의

하모닉 드라이브(harmonic drive): 금속의 탄성 변형을 이용하는 감속기

W/G(wave generator): 타원형 입력부 · F/S(flexspline): 탄성 외치 기어

C/S(circular spline): 안쪽에 이가 있는 원형 기어(내치 기어)

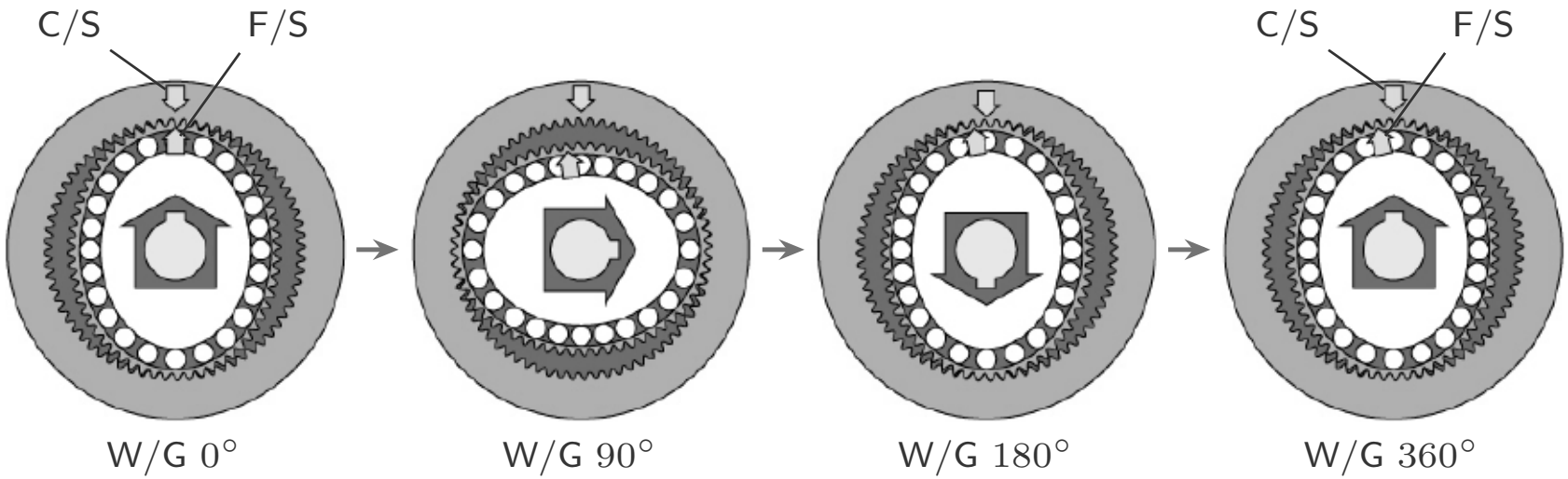






하모닉 드라이브 — 구동 원리 (2/2)

W/G 가 회전하면 F/S 가 타원으로 변형되며 C/S 와 맞물리는 위치가 함께 회전한다.



[특징] C/S 를 고정하면 W/G 1회전에 F/S 는 **잇수 차만큼 반대 방향**으로 회전한다.
소형 · 경량 · 고감속비 · 저백래시 ⇒ 로봇 손목 · 소형 관절에 쓴다.

Chapter 2. 로봇의 구성과 구동

2.1 산업용 로봇의 구성

2.2 구동장치

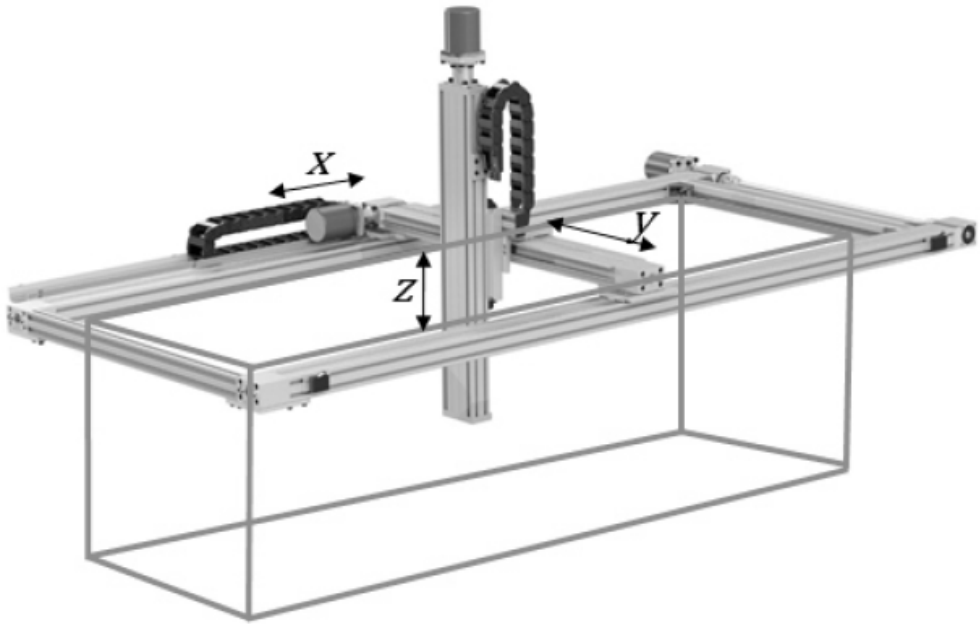
2.3 감속기

2.4 로봇의 형상과 분류

[왜 필요한가] 관절(R · P)의 조합에 따라 로봇의 형상과 작업공간이 달라진다. 형상에 따른 네 가지 로봇과 협동 · 병렬 · 이동 로봇을 정리한다.

로봇의 형상 — 직교좌표 로봇 (1/4)

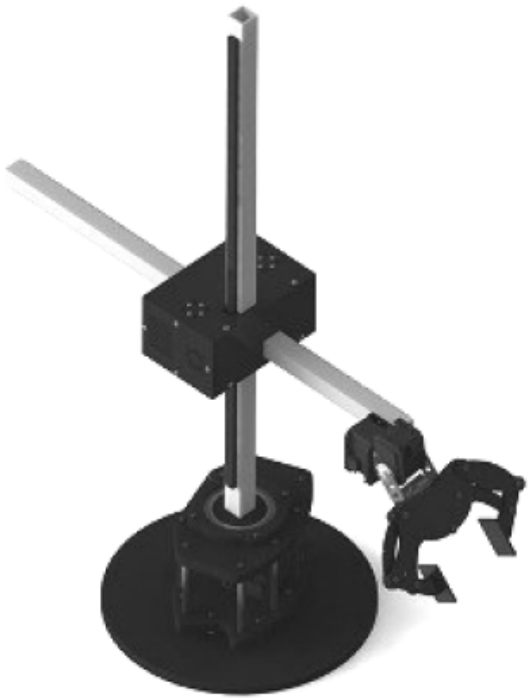
작업공간(workspace): 로봇팔 끝이 도달할 수 있는 공간.
직교좌표 로봇(PPP): 서로 수직인 직동 관절 3개로 움직이는 로봇.

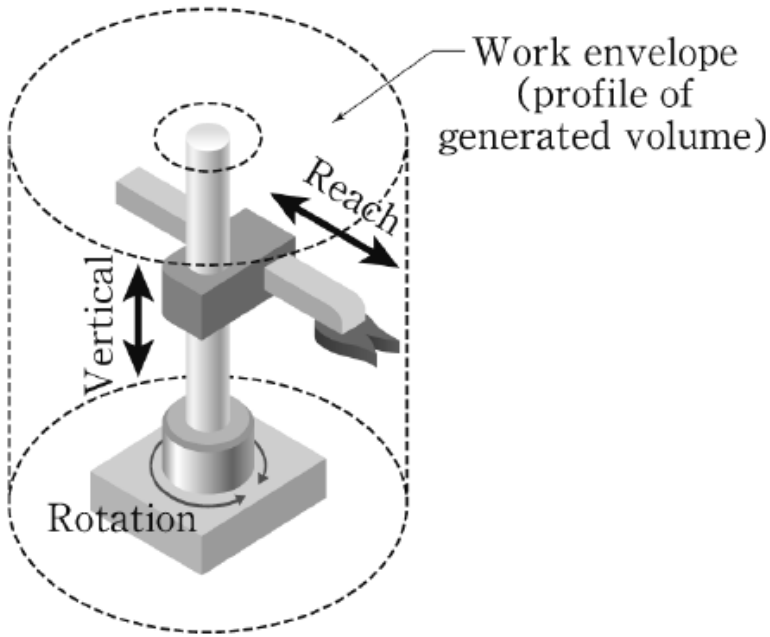


[특징] 작업공간은 **직육면체**. 구조가 단순하고 정밀하나 설치 공간이 크다.

로봇의 형상 — 원통좌표 로봇 (2/4)

원통좌표 로봇(RPP): 회전 관절 1개(수직축) + 직동 관절 2개(상하 · 전후)

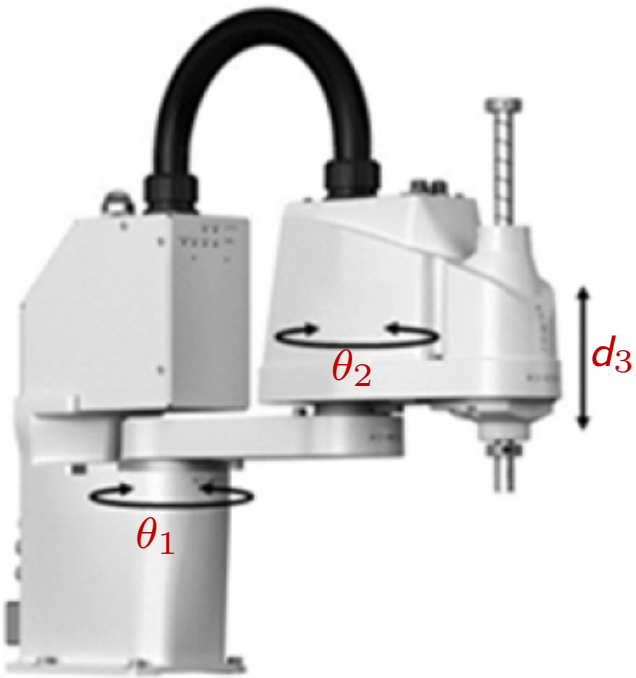


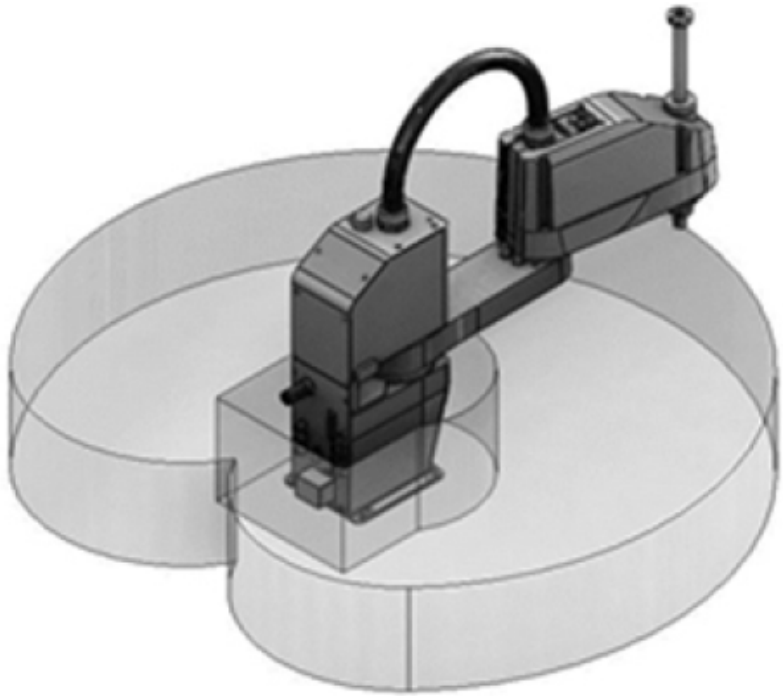


[특징] 작업공간은 **원통형**. 회전 1축과 직동 2축의 조합이라 구조가 간단하다.

로봇의 형상 — SCARA (3/4)

SCARA(수평 다관절, RRP): 회전 관절 2개(수직축) + 직동 관절 1개(상하)

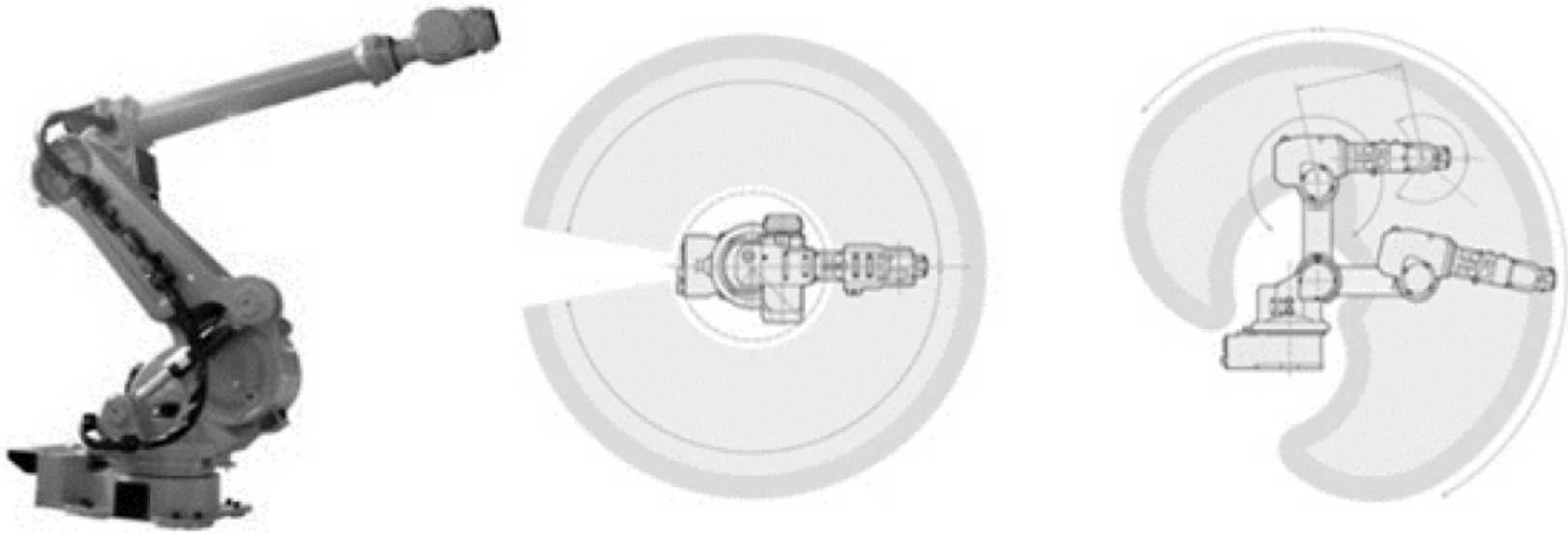




[특징] 수평면 운동이 자유롭고 **수직 방향 강성이 높다**.
조립 · 픽앤플레이스 작업에 적합하다.

로봇의 형상 — 수직 다관절 로봇 (4/4)

수직 다관절 로봇(6R): 회전 관절 6개를 직렬로 연결한 로봇팔. 사람 팔과 비슷한 구조.



[특징] 네 형상 중 관절이 가장 많고 **작업공간이 넓다**.
산업용 로봇의 표준 형상이다.

기타 분류 — 협동 로봇 (1/3)

협동 로봇(cobot): 안전 펜스 없이 사람과 같은 공간에서 함께 작업하는 로봇.





[특징] 사람과 접촉할 수 있어 **힘 · 충돌 감지**가 필수다.

기타 분류 — 병렬 로봇 (2/3)

병렬 로봇(parallel robot): 베이스와 이동 플랫폼을 여러 링크 사슬로 병렬 연결한 로봇.





[특징] 고속 · 고강성. 왼쪽은 델타 로봇, 오른쪽은 스튜어트 플랫폼이다.

기타 분류 — 이동 로봇 (3/3)

이동 로봇(mobile robot): 바퀴 · 다리 · 궤도로 이동하는 로봇.







[특징] 핵심 기술은 **자율주행**과 **SLAM**(위치 추정과 지도 작성을 동시에 수행)이다.

Ch 2 정리

절	핵심
2.1 구성	기구 본체 · 제어기 · 교시 장치
	링크와 관절: 회전 관절 R (각도 θ) · 직동 관절 P (길이 d)
2.2 구동장치	전기식(로봇 관절의 표준) · 유압식(대출력) · 공압식(과부하에 매우 강인)
2.3 감속기	감속비 $N = n_A/n_B = Z_B/Z_A = d_B/d_A$: $n_B = n_A/N$, $\tau_B = N\tau_A$ (손실 무시)
	백래시 $\Rightarrow$ 정밀 감속기: 사이클로이드 · RV · 하모닉 드라이브
2.4 형상과 분류	직교좌표(PPP) · 원통좌표(RPP) · SCARA(RRP) · 수직 다관절(6R)
	협동 로봇 · 병렬 로봇 · 이동 로봇

[다음 장] Ch.3 위치와 방향: 직렬 로봇팔이 다루는 물체의 위치와 방향을 좌표계로 나타낸다.