Robotics
응용로봇공학및설계

Chapter 1

로봇 개론
(Introduction)

로봇의 정의 · 역사 · 응용과 분류 · Physical AI

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

Chapter 1. 로봇 개론

1.1 로봇이란

1.2 로봇의 역사

1.3 로봇의 응용과 분류

1.4 Physical AI

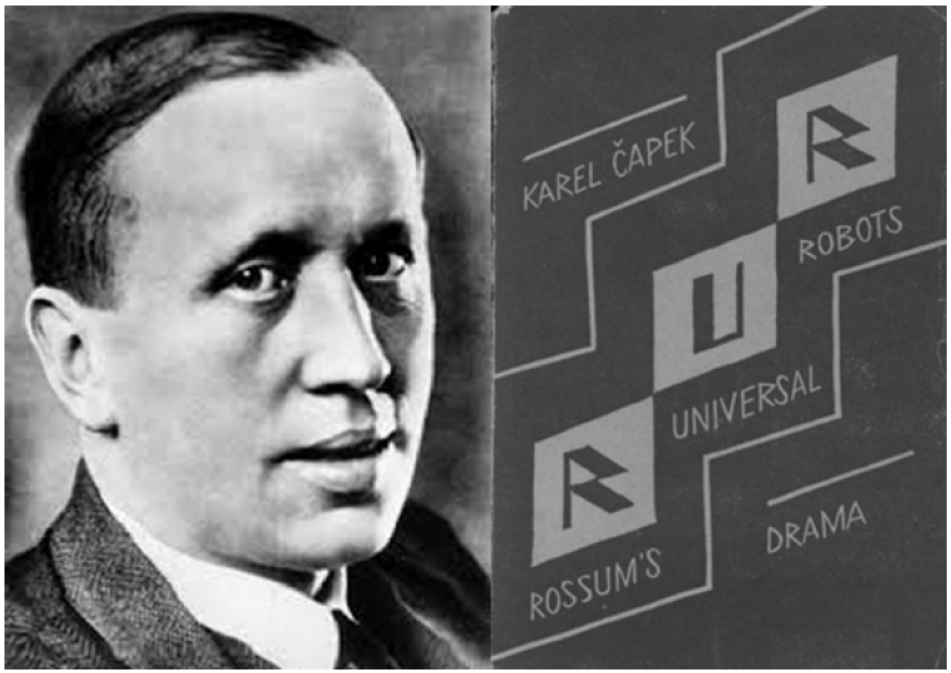
[왜 필요한가] 로봇청소기 · 수술 로봇 · 공장의 로봇팔을 모두 로봇이라 부른다. 무엇을 로봇이라 하는지 말의 기원과 국제 표준(ISO 8373)의 정의로 정리한다.

학습목표

- 로봇이라는 말의 기원을 알고 국제 표준이 정한 **로봇의 정의**를 설명할 수 있다.
- 자동기계에서 휴머노이드까지 **로봇의 역사**를 시대 순으로 설명할 수 있다.
- 4차 산업혁명에서 로봇의 역할과 **응용 분야**를 설명할 수 있다.
- 로봇을 **용도**와 **작업 환경 · 형태**에 따라 분류할 수 있다.

로봇이라는 말의 기원

체코 작가 **카렐 차펙**의 희곡 **R.U.R.**(1920)에서 "로봇"이라는 말이 처음 쓰였다.



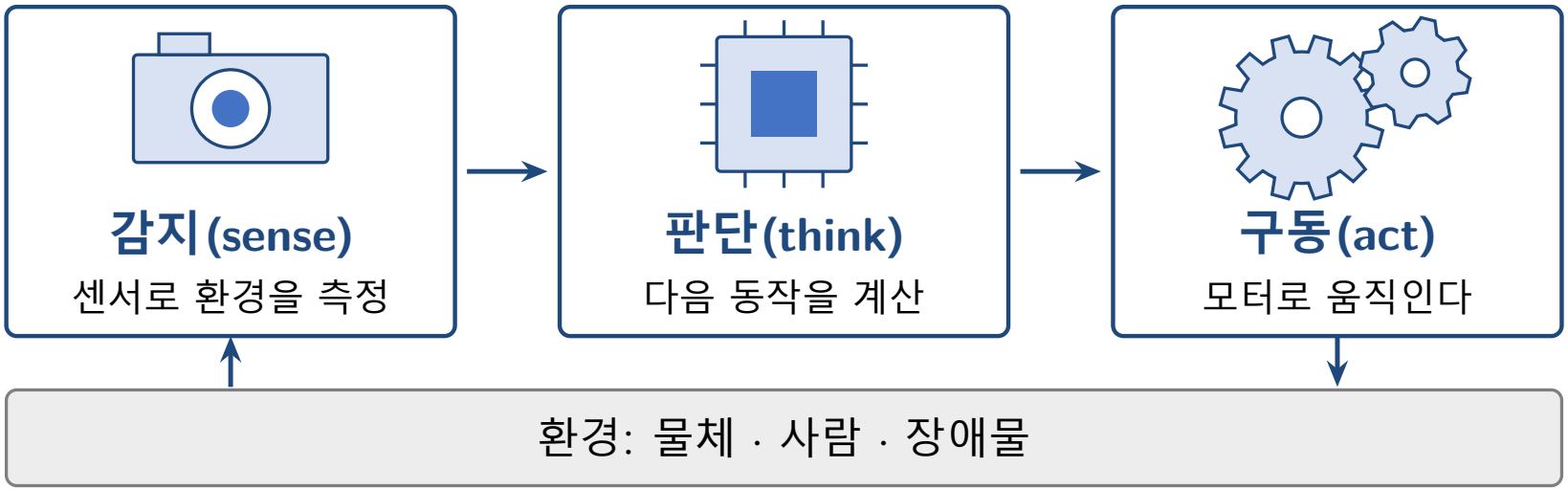
카렐 차펙과 희곡 R.U.R.

[어원] 체코어 **robota**: **노동(고된 일)**

로봇의 정의 — 감지 · 판단 · 구동

CONCEPT 정의 (ISO 8373:2021)

로봇: 일정 수준의 **자율성**으로
이동 · 조작 · 위치 결정을 수행하는 프로그램된 구동 기구



[직관] **자율성**: 사람이 매번 조종하지 않아도 감지 → 판단 → 구동을 스스로 반복한다.

Chapter 1. 로봇 개론

1.1 로봇이란

1.2 로봇의 역사

1.3 로봇의 응용과 분류

1.4 Physical AI

[왜 필요한가] 오늘의 산업용 로봇과 휴머노이드는 오래전의 자동기계에서 출발했다. 주요 사건을 시대 순으로 정리한다.

로봇의 역사 — 자동기계에서 산업용 로봇으로 (1/2)

자동기계(오토마타) | 산업용 · 연구용 로봇

헤론의 자동기계
1세기

18세기
보캉송의
"자동 오리"

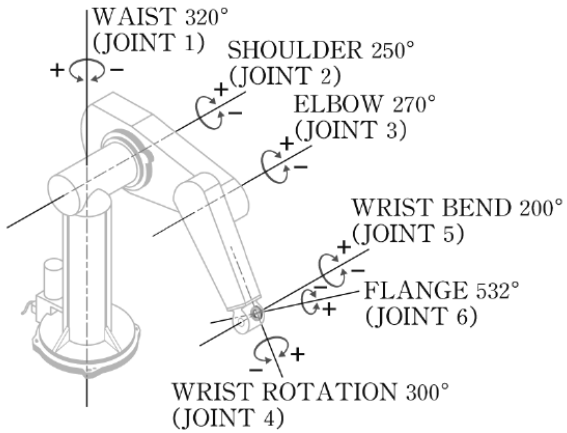
조지 데볼 특허 출원
자기 기록 방식의 기계 제어
1946

1961
유니메이트(GM)
최초의 실용 산업용 로봇

셰이키(Shakey)
연구용 이동 로봇
1966

1973
파뮬러스(KUKA)
최초의 6축 로봇





유니메이션 사의 PUMA 500 로봇

로봇의 역사 — 휴머노이드와 보행 로봇 (2/2)

혼다

직립 보행 연구 시작 **1986**

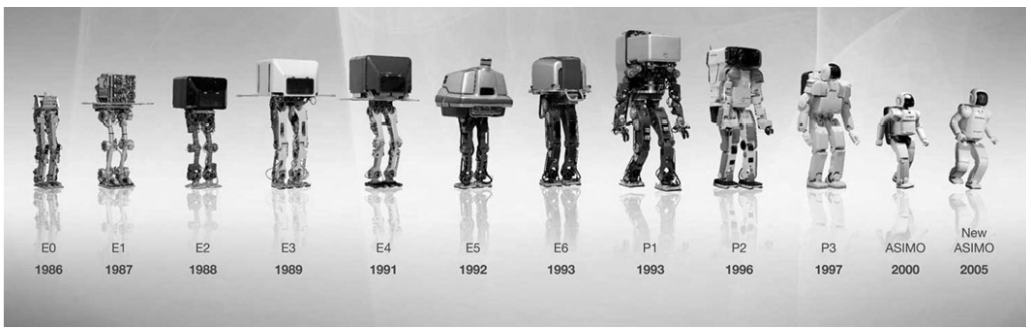
P2 **1996**

아시모 (ASIMO) **2000**

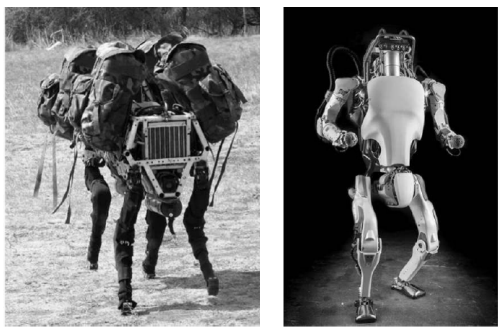
보스턴 다이내믹스

빅독(BigDog) 4족 보행 **2005**

아틀라스 (Atlas) **2013**



혼다 아시모의 변천



빅독 · 아틀라스

[결론] 고정된 로봇팔에서 **보행 로봇**으로: 이동성과 균형 제어가 새 과제가 되었다.
국내에서는 KAIST 가 이족 보행 휴머노이드 **휴보**(HUBO)를 개발했다.

Chapter 1. 로봇 개론

1.1 로봇이란

1.2 로봇의 역사

1.3 로봇의 응용과 분류

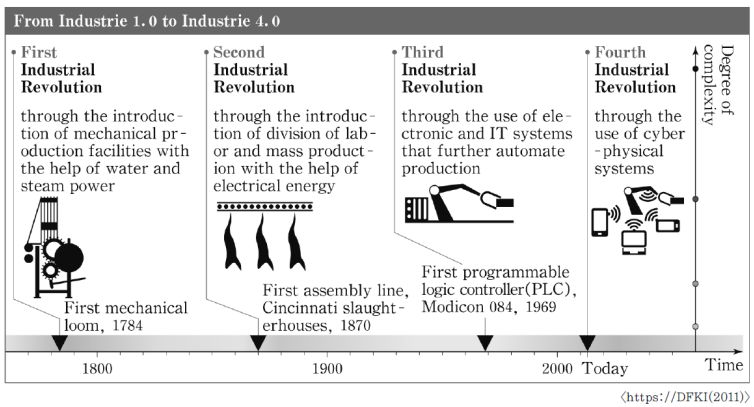
1.4 Physical AI

[왜 필요한가] 로봇은 공장을 넘어 의료 · 국방 · 가정 · 우주에서 쓰인다.
용도에 따라 요구되는 정밀도 · 안전성 · 내구성이 달라진다.

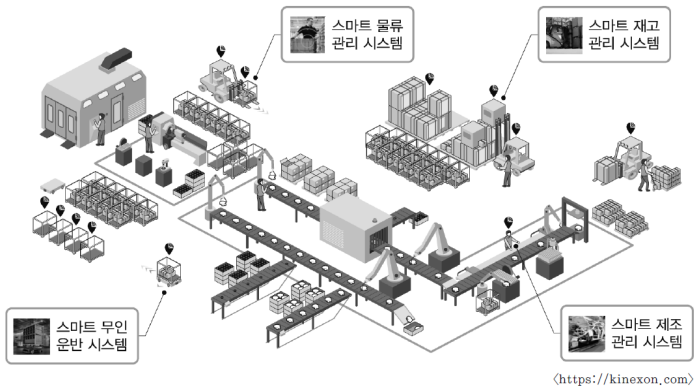
4차 산업혁명과 로봇

CONCEPT 정의

4차 산업혁명: 사이버-물리 시스템(CPS) · IoT · 인공지능의 융합으로 생산과 서비스가 **지능화** · **자동화**되는 산업 변화



4차 산업혁명(Industry 4.0)

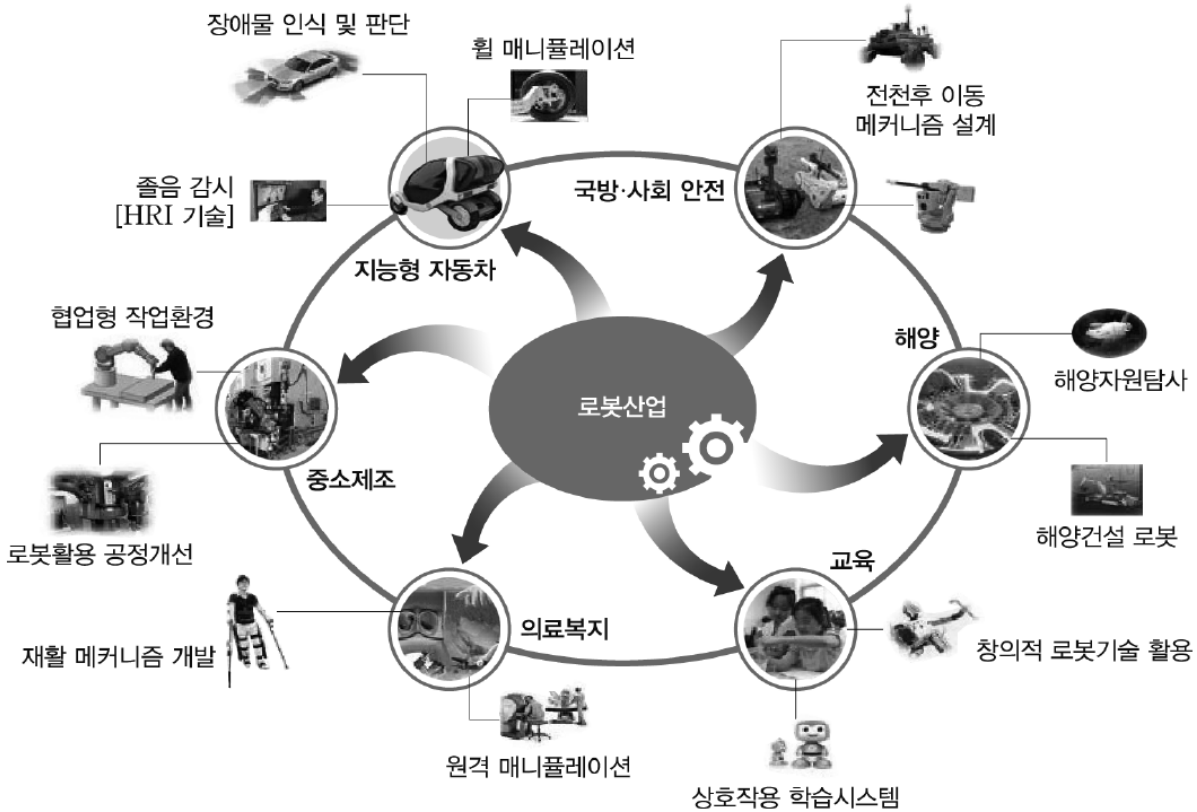


스마트 팩토리 개념도

[현황] 로봇은 **스마트 팩토리**의 핵심 요소로 제조 · 물류 · 검사를 유연하게 자동화한다.
한국의 제조업 **로봇 밀도**: 직원 1만 명당 **1,000대 이상**, 세계 최고 수준(IFR)

로봇의 응용 분야

제조 현장을 넘어 **협동 · 재활 · 서비스 로봇**으로 적용 범위가 빠르게 확대되고 있다.

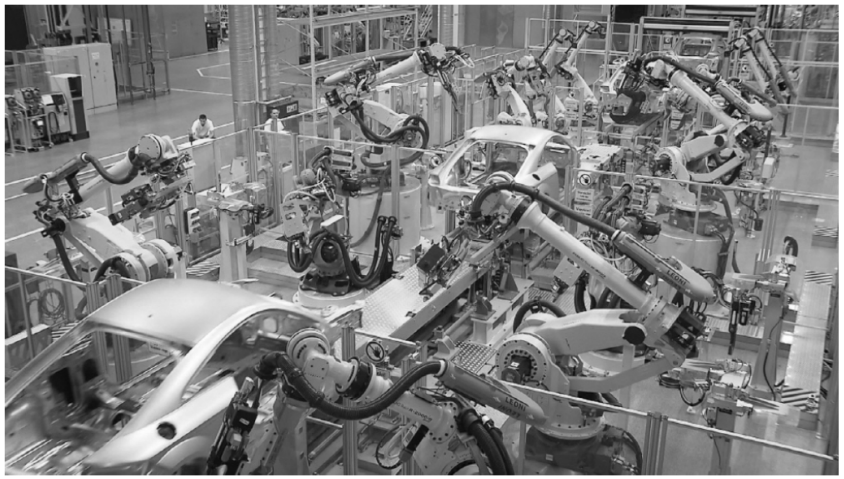


로봇 산업의 응용 분야

로봇의 분류 — 산업용 · 의료용 (1/3)

용도에 따른 분류 ①: 제조 현장과 의료 현장

▶ 산업용 로봇



자동차 생산 라인의 산업용 로봇

조립 · 용접 · 도장 · 이송 등 제조 공정 자동화

▶ 의료용 로봇



다빈치(da Vinci) 수술 로봇

수술 · 재활 · 간호 · 이송 지원

[직관] 같은 로봇팔이라도 용도에 따라 **정밀도** · **안전성** · **위생 조건**이 달라진다.

로봇의 분류 — 군사용 · 가사용 (2/3)

용도에 따른 분류 ②: 가혹 환경과 생활 공간

▶ 군사용 로봇



물품을 이송하는 보스턴 다이내믹스 LS3

지뢰 제거 · 정찰 · 감시

요구 조건: 내구성 · 험지 이동

▶ 가사용 로봇



가사 일을 돕는 로봇

청소 · 조리 · 반려

요구 조건: 자율주행 · 환경 인식 · HRI

[결론] 사람 곁에서 움직이므로 **안전성과 환경 인식**이 설계의 출발점이다.
HRI(human-robot interaction): 사람과 로봇의 상호작용

로봇의 분류 — 우주용 · 인간형 · 생체모방형 (3/3)

작업 환경과 **형태**에 따른 분류: 특수 환경과 생체 모방

▶ 우주용



화성 탐사 로봇

원격 제어 · 특수 보호장치

행성 탐사 · ISS 유지보수

▶ 인간형(휴머노이드)

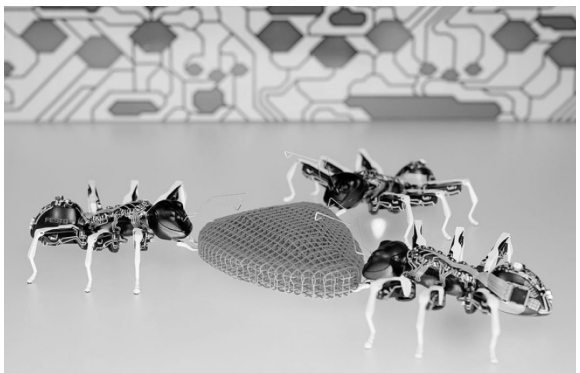


휴머노이드 로봇

사람의 행동을 모사

아시모 · 아틀라스 · 휴보

▶ 생체모방형



페스토(FESTO) 개미 로봇

동물 · 곤충의 구조를 모방

(bio-inspired)

[분류 기준] 로봇은 용도뿐 아니라 **형상** · **구동 방식** · **이동성**으로도 분류한다.

Ch 1 정리

주제	핵심
어원	카렐 차펙의 희곡 R.U.R.(1920), 체코어 robota(노동)
정의 (ISO 8373)	프로그램된 구동 기구, 일정 수준의 자율성으로 이동 · 조작 · 위치 결정
자율성	감지 $\rightarrow$ 판단 $\rightarrow$ 구동을 스스로 반복
산업용 로봇	1961 유니메이트(최초의 실용 산업용 로봇) $\rightarrow$ 1973 파뮬러스(최초의 6축)
보행 로봇	혼다 P2 · 아시모, 보스턴 다이내믹스 빅독 · 아틀라스, KAIST 휴보
4차 산업혁명	CPS · IoT · 인공지능의 융합, 로봇은 스마트 팩토리의 핵심 요소
용도에 따른 분류	산업용 · 의료용 · 군사용 · 가사용
작업 환경 · 형태	우주용 · 인간형(휴머노이드) · 생체모방형

[다음 장] Ch.2 로봇의 구성과 구동: 구성 요소 · 구동장치 · 감속기 · 형상과 분류

Chapter 1. 로봇 개론

1.1 로봇이란

1.2 로봇의 역사

1.3 로봇의 응용과 분류

1.4 Physical AI

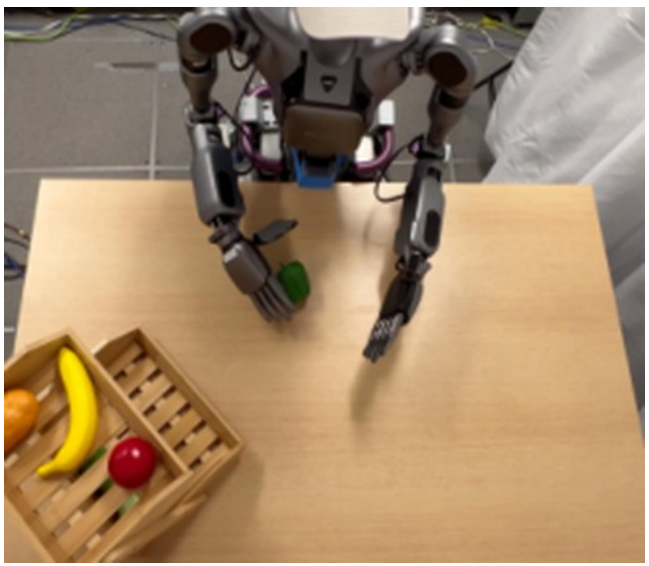
[왜 필요한가] 지금까지 본 로봇은 대부분 사람이 작성한 프로그램대로 움직인다. 로봇을 나누는 새 기준: 프로그램으로 움직이는가, 데이터로 학습해 움직이는가.

Physical AI — 데이터로 학습해 움직이는 로봇

CONCEPT 정의

Physical AI: 물리 세계를 인식하고 판단해 실제로 행동하는 AI

학계의 **체화 AI**(embodied AI)를 산업계에서 부르는 이름에 가깝다.



학습된 모델로 물체를 건네는 휴머노이드

인식
카메라 영상에서 물체와 용기를 찾는다

↓

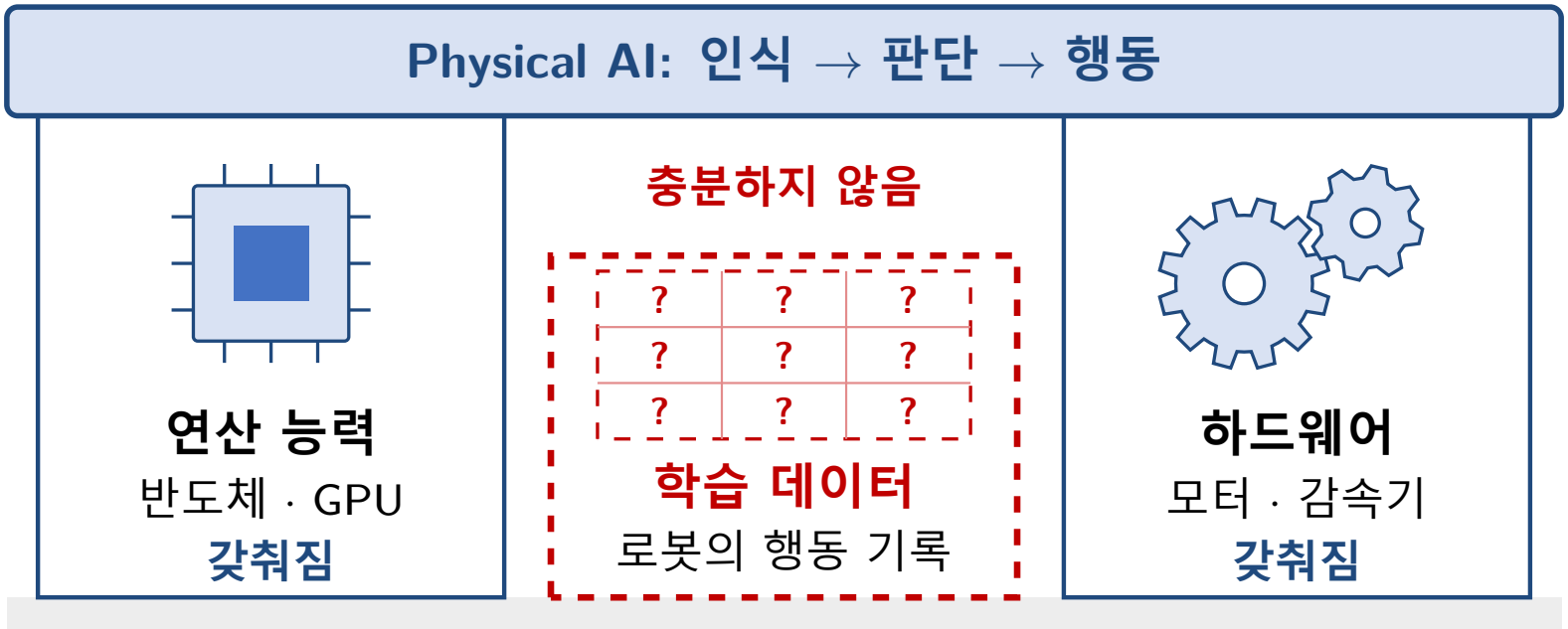
판단
어느 손으로 집어 어디서 건넬지 정한다

↓

행동
한 손으로 집어 다른 손에 건네고 넣는다

왜 지금인가 — 세 기둥 가운데 하나가 충분하지 않다

반도체 · GPU 의 연산 능력이 커져 대규모 학습과 물리 시뮬레이션이 가능해졌다.

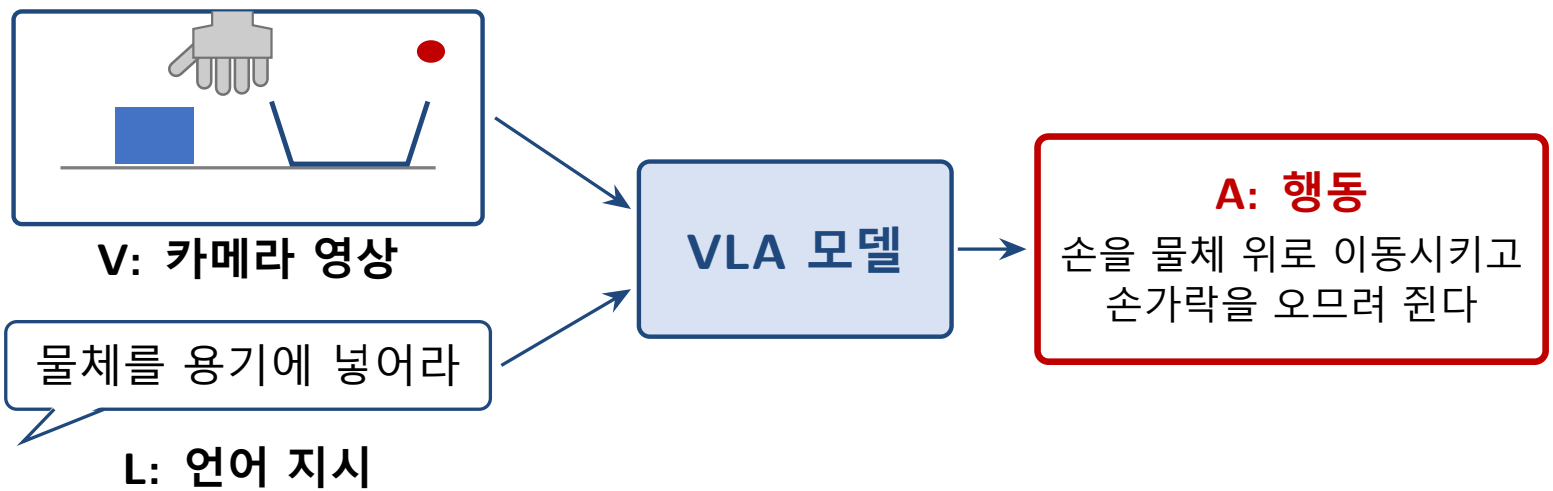


[국내 투자] 데이터: 피지컬 AI 트레이닝센터, 2027년 정부안 기준 **400억 원** 편성
하드웨어: K-휴머노이드 연합, 2029년 연 1,000대 양산 목표 공표

VLA 모델 — 영상과 지시를 입력받아 행동을 출력한다

CONCEPT 정의

VLA(Vision-Language-Action) **모델**: 카메라 영상(V)과 언어 지시(L)를 입력받아 로봇의 행동(A)을 출력하는 모델

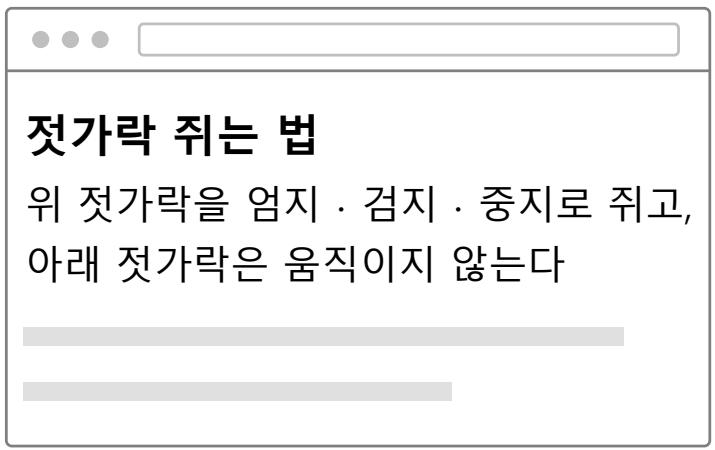


[용어] 파운데이션 모델: 방대한 데이터로 미리 학습해 여러 작업에 쓰는 큰 모델
VLA 모델은 파운데이션 모델을 로봇 행동으로 확장한 것이다.

몸짓의 기록 — 글은 많고 숫자는 드물다

자전거 균형 잡기 · 젓가락질 · 신발끈 묶기를 설명한 글은 많다.

글: 방법을 적은 페이지



몸짓: 숫자로 기록한 값

시각	검지 관절 각	손끝 힘
0.00 s	?	?
0.01 s	?	?
0.02 s	?	?
⋮	⋮	⋮

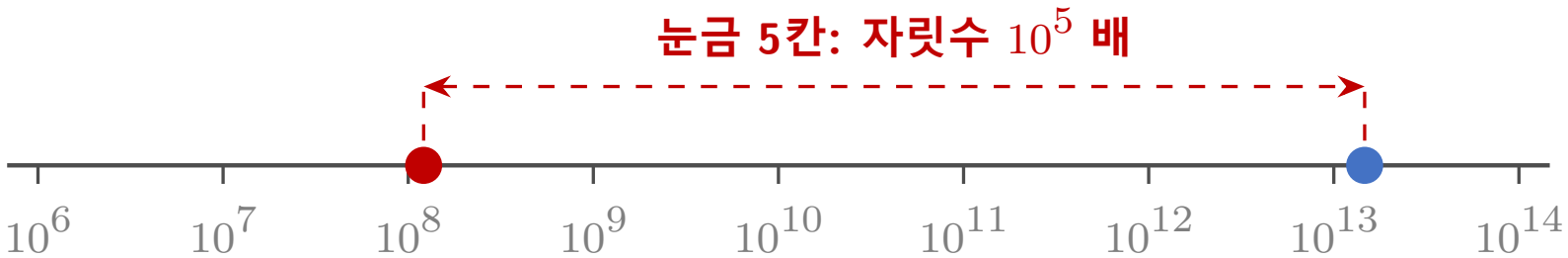
[결론] 매 순간의 **관절 각과 힘**을 기록한 값은 로봇이 학습할 양만큼 없다.

두 숫자 — 텍스트와 로봇 행동 데이터는 10^5 배 차이

CONCEPT 정의

토큰: 모델이 글을 처리하는 단위(단어나 단어 조각 하나)

궤적: 작업 한 번 동안 명령(**스텝**)마다 로봇의 관측과 행동을 기록한 데이터



로봇 행동 $\approx 1.2 \times 10^8$ **스텝**

Open X-Embodiment (21개 기관 · 로봇 22종)

실제 궤적 100만 개 × 궤적당 100여 스텝

텍스트 1.5×10^{13} **토큰**

Llama 3 (Meta 의 언어모델)

공개된 출처의 글

스텝 하나를 토큰 하나로 놓은 개략 비교: 15조 ÷ 1.2억 ≈ 12.5만 배

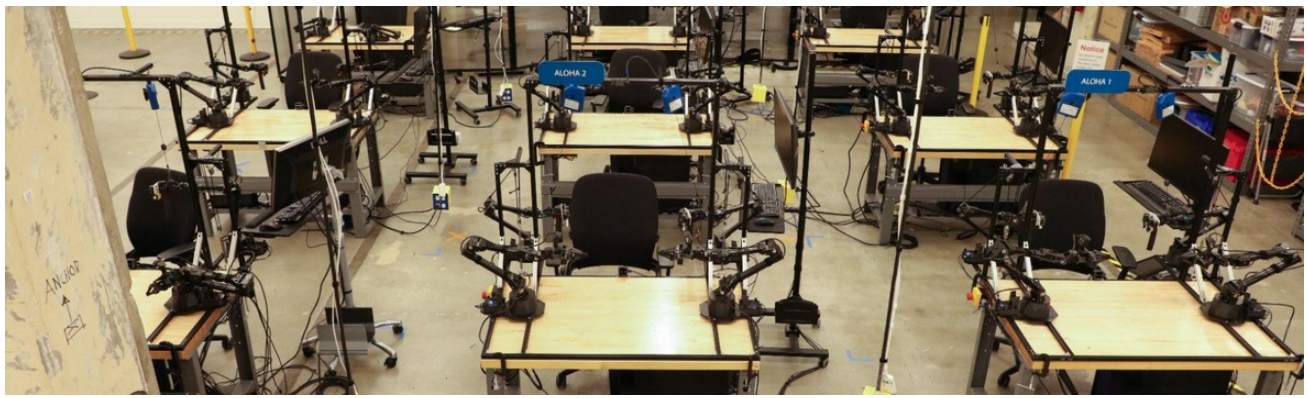
[직관] 텍스트는 이미 있던 글이고, 행동 데이터는 **사람이 새로 만든 기록**이다.

행동 데이터 만들기 — 텔레오퍼레이션 (1/2)

CONCEPT 정의

텔레오퍼레이션: 사람이 로봇을 원격으로 조종하며 그 동작을 기록하는 방법

시연: 사람이 조종해 보여 준 동작의 기록

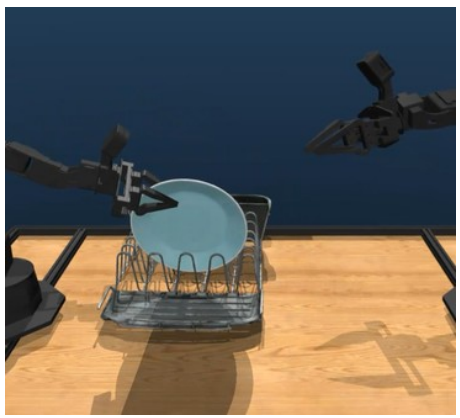


ALOHA 2 텔레오퍼레이션 장비를 여러 대 둔 데이터 수집 현장

[수치 예] DROID 데이터셋 하나에 로봇 18대 · 조작자 50명 · **350시간**
품질은 가장 높지만 사람의 시간이 그대로 비용이 된다.

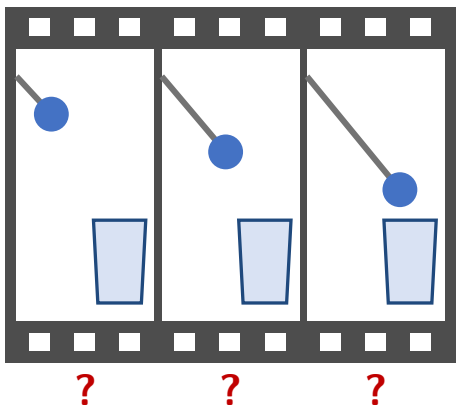
행동 데이터 만들기 — 시뮬레이션 · 영상 · 모캡 (2/2)

비용이 낮은 방법도 있지만, 방법마다 빠진 정보가 있다.



시뮬레이션

비용은 연산뿐이지만
마찰과 접촉에서
실제와 차이가 난다



인터넷 영상

사람이 일하는 동영상
행동 값(라벨)이 없고
손과 그리퍼(집게)가 다르다



웨어러블 · 모캡

몸에 단 센서로 움직임을
기록하는 모션 캡처(모캡)
로봇의 토크 한계가
반영되지 않는다

[결론] 학습에 쓰는 형식은 **관측과 행동의 짝**이다. 영상은 행동을 추정해 추가한다.

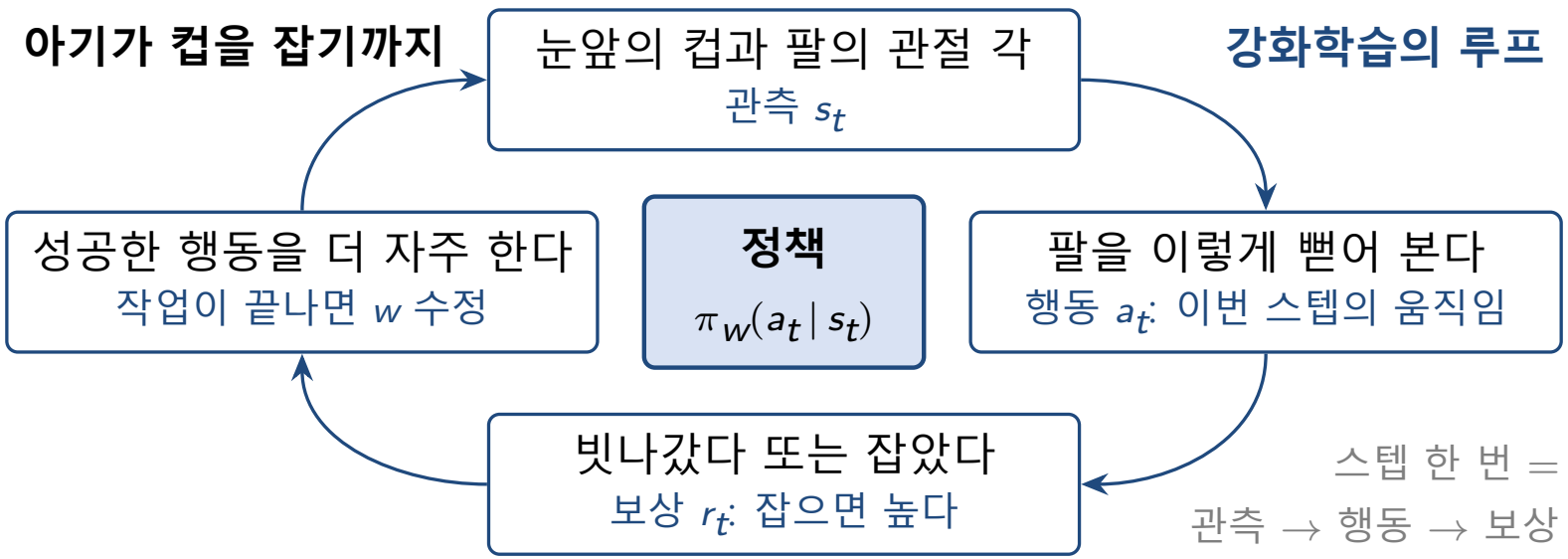
강화학습 — 시도하고, 보상을 보고, 정책을 수정한다

CONCEPT 정의

강화학습: 보상이 커지는 방향으로 정책을 수정해 가는 학습 방법

정책 π_w: 관측 s_t 를 보고 행동 a_t 를 고르는 규칙 (w: 정책의 매개변수)

아기가 컵을 잡기까지 — **강화학습의 루프**

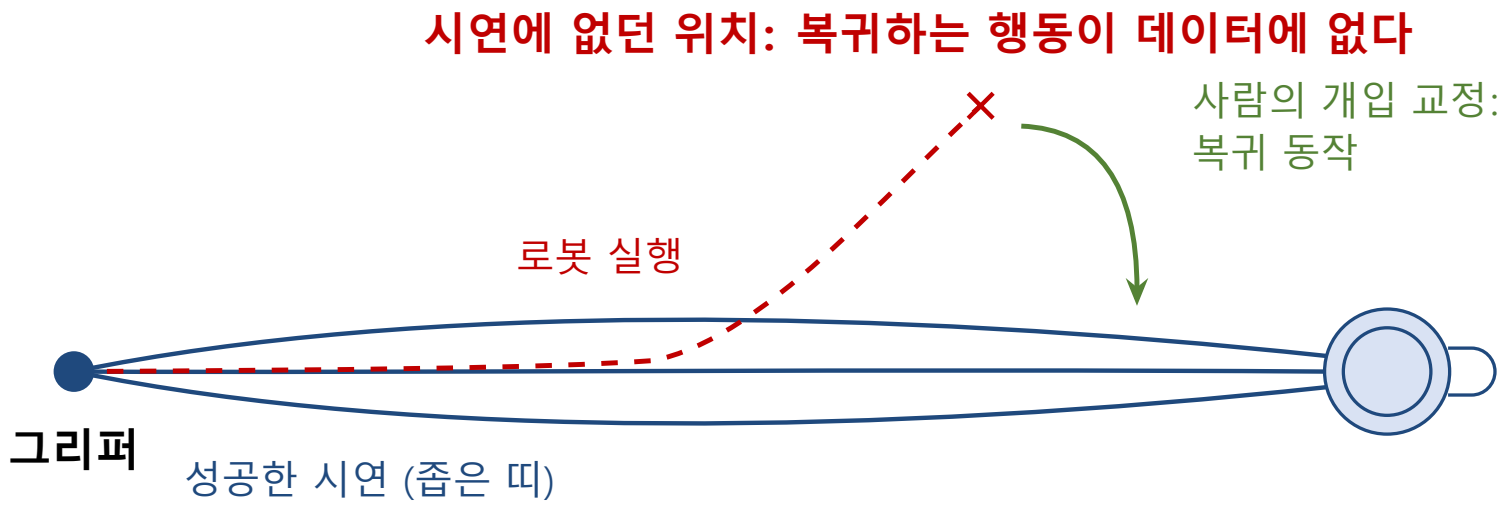


[직관] 아기도 관절 각을 계산하지 않고, **시도와 수정을 반복**해 컵을 잡는다.

모방학습 — 물체를 집는 로봇의 주력 학습 방법

CONCEPT 정의

모방학습: 사람의 시연(관측과 행동의 짝)을 따라 하도록 학습하는 방법



[결론] 그래서 최근에는 시연에 **사람의 개입 교정**과 강화학습을 추가한다.
보행처럼 시뮬레이터에서 반복해 넘어져 볼 수 있는 작업은 강화학습이 담당한다.

두 방식 — 프로그램 기반 로봇과 학습 기반 로봇

▶ **프로그램 기반: 계산해서 잡는다**

그리퍼 목표 위치: 프로그램이 정한다

↓

역기구학 $\rightarrow$ 관절 목표 각 θ_{des}

↓

관절 제어기: θ 를 θ_{des} 에 맞춘다
엔코더(관절 각 센서)가 θ 를 측정

↓

모터가 관절을 회전시킨다

순기구학: $\theta \rightarrow$ 현재 그리퍼 위치 확인

θ

▶ **학습 기반: 학습해서 잡는다**

영상 + 언어 지시
"물체를 용기에 넣어라"

↓

학습된 정책

↓

행동을 바로 출력

결과를 보고 정책을 수정하는 일은
학습 중에만 일어난다

[주의] 두 방식은 대체 관계가 아니다. 학습 기반도 계산을 없앤 것이 아니라 **무엇을 할지** 정하는 일을 데이터가 담당한 것이다.

이 수업의 자리 — 뇌와 몸

대규모 언어모델은 판단하지만 팔다리가 없다. Physical 은 그 **몸**을 뜻한다.



[결론] 이 수업은 기구학을 다루며, 그 첫 단계는 **좌표 변환**이다.

직접 보기 — 시뮬레이터에서 학습해 실물로

학습 기반 로봇의 시행착오는 대부분 시뮬레이터 안에서 일어난다.



넘어지며 학습하기

DeepMind, 2017

단순한 보상(전진 정도)으로
장애물을 넘어 달리게 된다

youtu.be/hx_bgoTF7bs



수천 대를 한꺼번에

ETH Zurich · NVIDIA, 2021

GPU 한 대로 로봇 수천 대 학습

평지 4분 · 험지 20분 학습

leggedrobotics.github.io/legged_gym



실물 휴머노이드에 적용

Unitree 휴머노이드, 2026

보행 제어 · 보상 설계 · 평가

한국어 해설: Florigen Robotics

youtu.be/yICPOg9coAM