

스마트팩토리 실증 사례와 방향

카이스트 산업 및 시스템 공학과
장영재



장영재

- 현 카이스트 산업 및 시스템 공학과 교수 (2010 ~)
- 카이스트 스마트팩토리 3개 센터 센터장
 - 신성-카이스트 인공지능 자동화 시스템 연구 센터
 - 한국타이어-카이스트 디지털 미래 혁신 센터
 - LG-CNS AI & Big Data 센터
- 학력
 - MIT 공대 기계 공학과 박사 (2007)
 - MIT 공대 경영과학 (Operations Research) 석사 (2001)
 - MIT 공대 기계 공학과 석사 (1999)
 - 보스턴 대학교 항공우주공학과 학사 (1997)
- 대표 경력
 - 마이크론 테크놀로지 (Micron Technology) 미국 본사 프로젝트 매니저 (2007~2010)
 - Computers and Industrial Engineering 저널 (SCIE) 부편집장 (Associate Editor) (2016~현)
 - IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (SCIE) 부편집장 (Associate Editor) (2019~현)
 - Intelligent Manufacturing Journal (SCIE) 부편집장 (Associate Editor) (2019~현)
- 대표저서
 - " 경영학콘서트 " 비즈니스북스 (2010)

연구센터 기반 산학협력 – “국내 기업의 디지털 혁신을 통한 경쟁력강화”

신성 인공지능 자동화 시스템 연구센터



- 총 연구비 20억/4년 (2018~2021)
- 반도체 자동물류 시스템 OHT 알고리즘 개발
- 자동 물류 반송 핵심 연구
- 인공지능 (강화학습 기반 제어 시스템 개발)

1,000대 자동화 vehicle 군집제어
기술 개발 및 상용화 목표

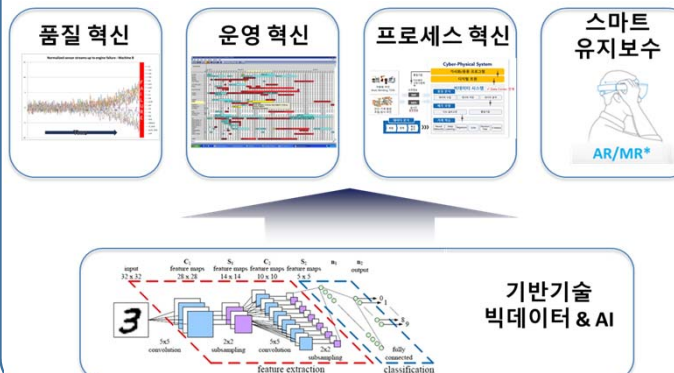


한국타이어 디지털 혁신 연구센터



- 총 연구비 22억/2년 (2019~2020)
- 제조의 디지털 혁신
- 빅데이터/AI 등 최신 디지털 기술 제조 적용
- 품질/운영/디자인 혁신

디지털 기술을 통한
제조 혁신 기반기술 개발 목표

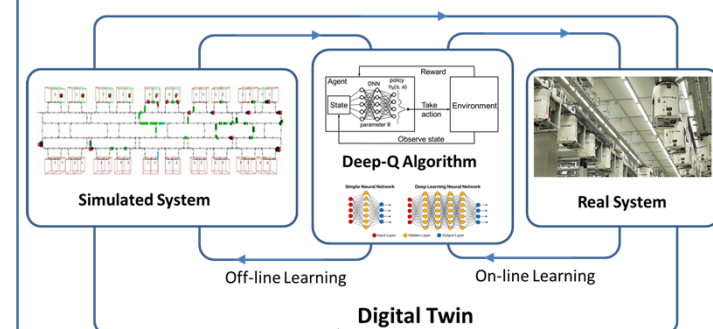


LG CNS AI 제조 연구센터



- 총 연구비 20억/5년 (2019~2023)
- AI기술 제조 적용
- 디지털 트윈 및 딥러닝 제조 운영 시스템
- 제조 운영 시스템 개발

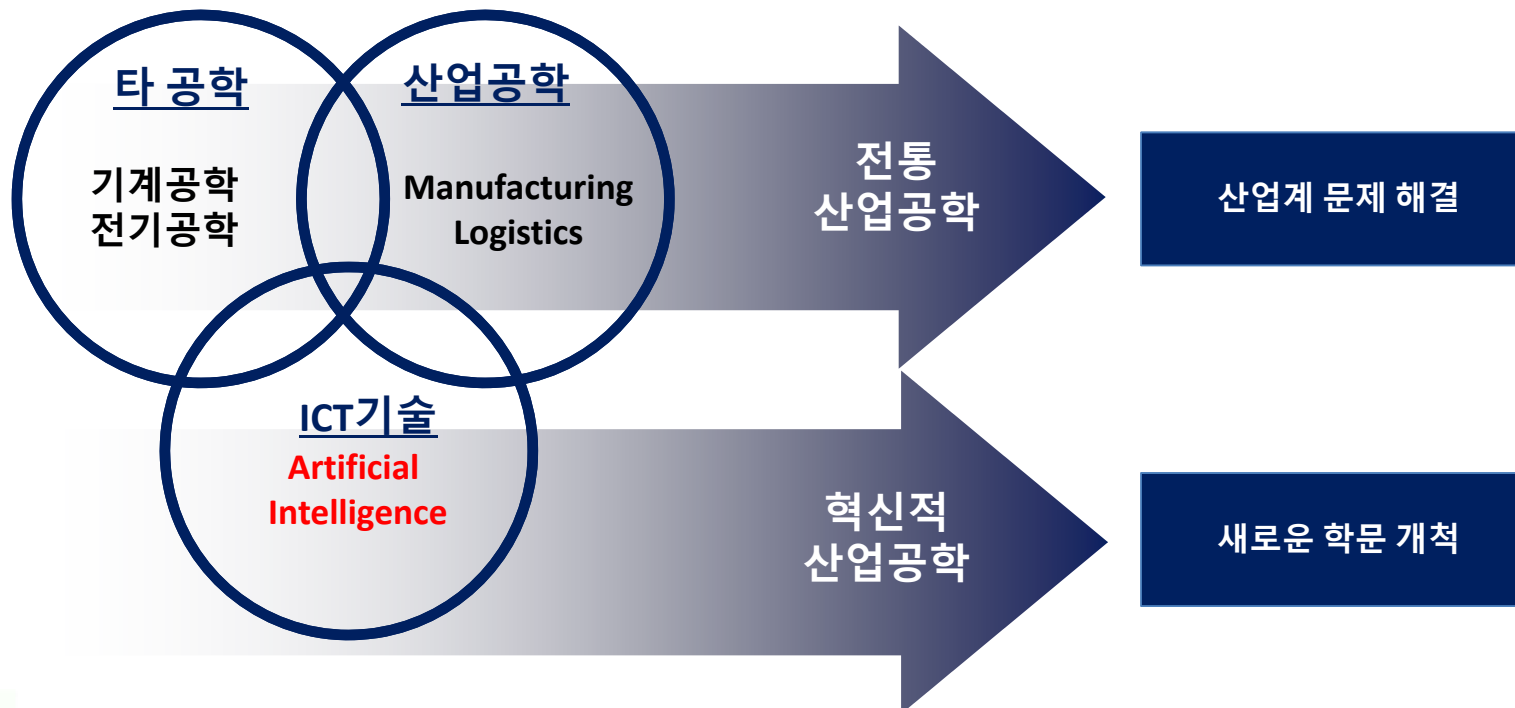
AI + 디지털 트윈
제조 운영 및 품질 혁신 목표



Smart factory & Digital Manufacturing Innovation (SDM)

연구 철학

- 산업 현장의 실제적인 문제를 해결하며 학문적 의미를 찾아 연구
- IT기술과 타 공학을 접목한 연구는 새로운 학문 분야 개척을 목적으로 진행 중



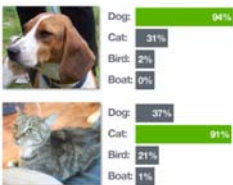
목차

- 최신 디지털 기술을 통한 제조혁신 사례
 - AI기반 반도체 물류 반송 시스템 개발 - 신성 FA
 - AI기반 LCD/OLED 물류 반송 시스템 개발 - LGD & LG-CNS
 - AR/MR 기반 유지보수 솔루션 - 지노텍
- 스마트 팩토리 개념 및 방향
 - 스마트 팩토리란?
 - 실증 사례 - S중공업
 - 카이스트 스마트팩토리 교육/연구 혁신

AI 응용분야 ...

AI 응용분야 (As-is)

- 음성인식?
- 영상인식?
- 예측?



앞으로의
방향

산업 응용분야 (To-be)

- 스마트 팩토리
- 디지털 혁신
- 스마트 물류



Overhead Hoist Transport (OHT) - 반도체 공장의 자동 물류 시스템

Overhead Hoist Transport (OHT) - 반도체 공장의 자동 물류 시스템

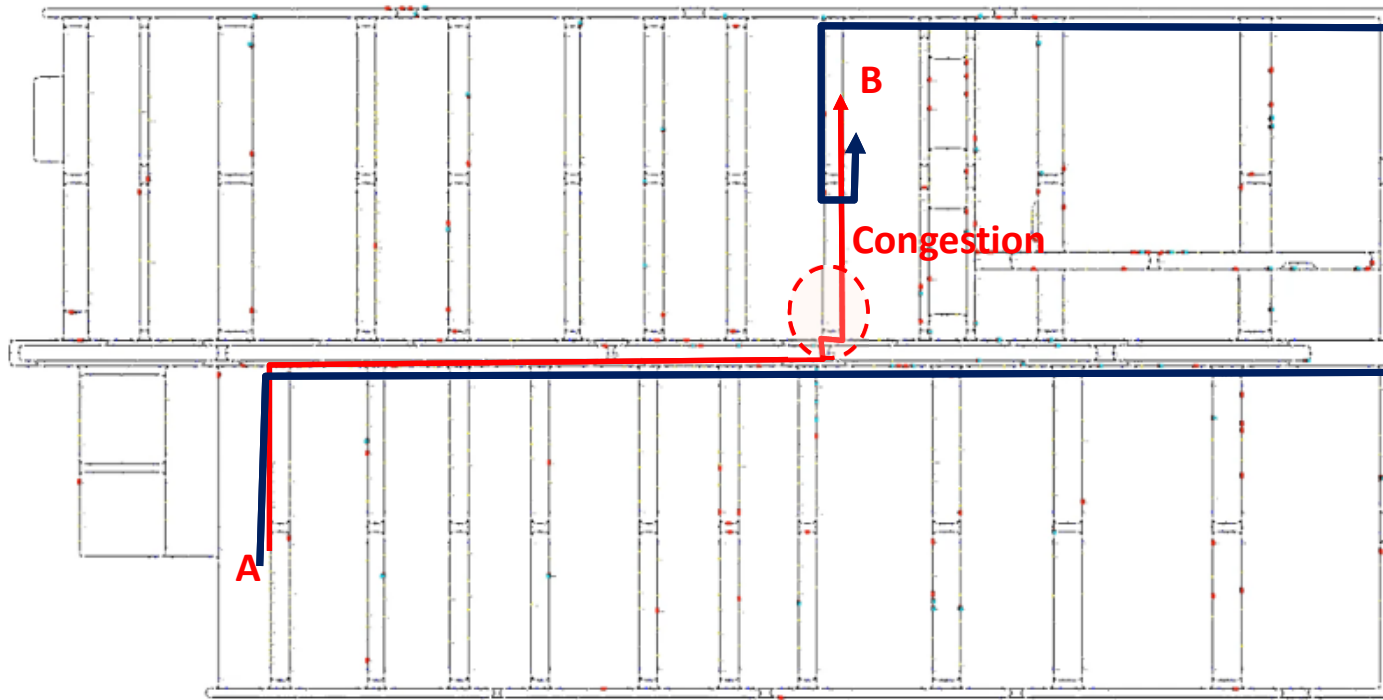
이슈

- 공정의 복잡성 증가
 - Step 사이즈 증가 및 반송 물량 증가
- 펌 공정내 불확실성 증가
 - 사전 계획된 운영의 어려움
- 펌의 대형화

1000대 이상의 OHT 운영 요구!

기존 운영 방식의 한계

- 수 많은 엔지니어들이 상황 별 “임기응변” 대응
- 1000대 이상 OHT 운영 상황에서는 불가능



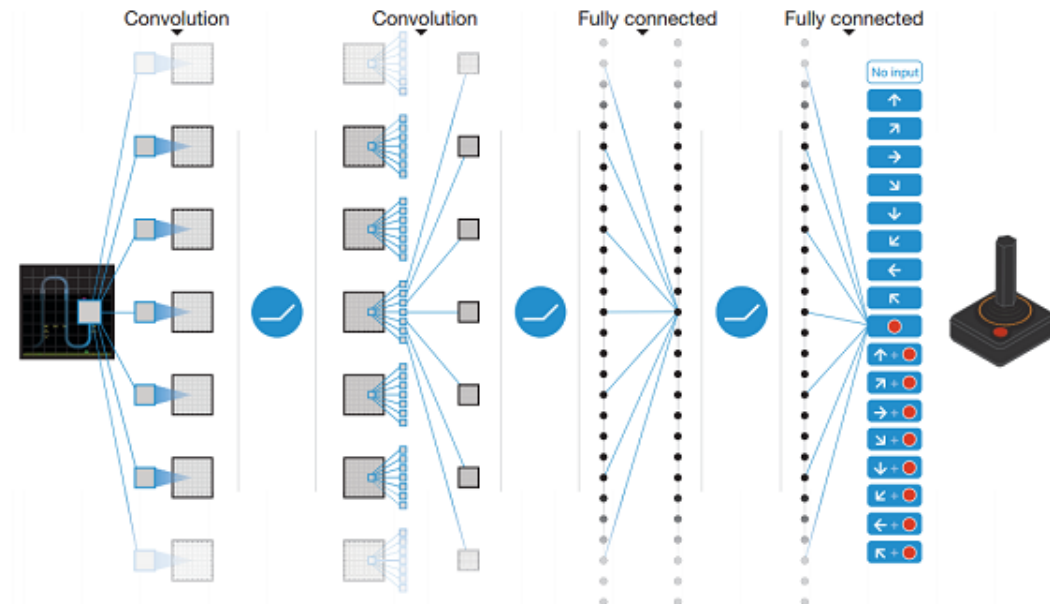
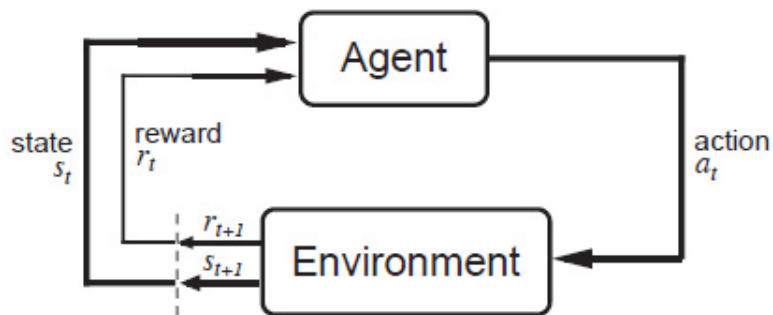
‘수 천대’ (>1000) 규모 자동 대차 운영?

- 물류 “혼잡” 대응
- 고장 상황 대응
- 기존 사람이 건 별 수작업 대응 방식으로는 불가능

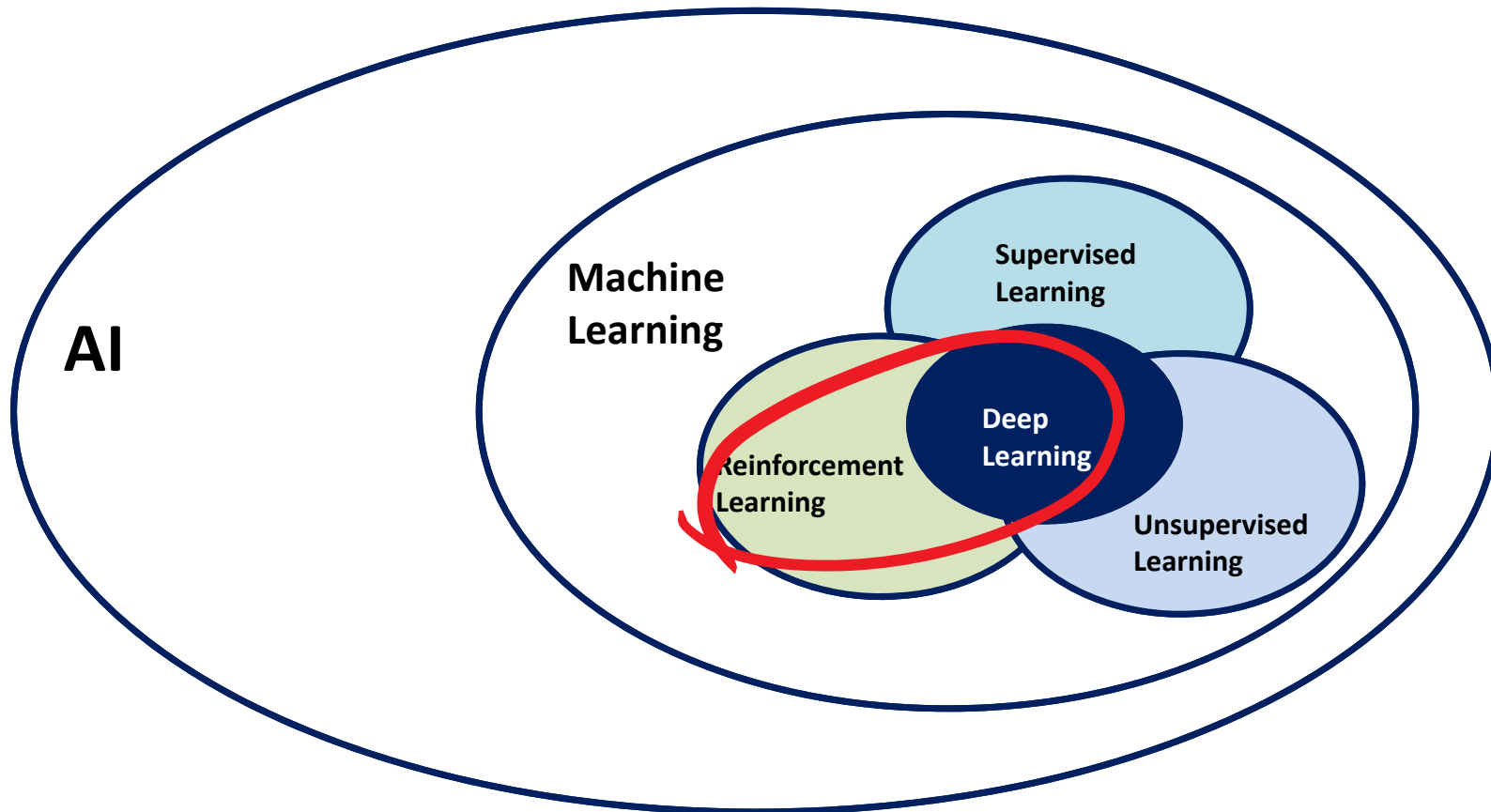
Automation (자동화) → Autonomous (자율화)

강화학습

- 환경에 대한 반응으로 학습 (Learning)하는 시스템

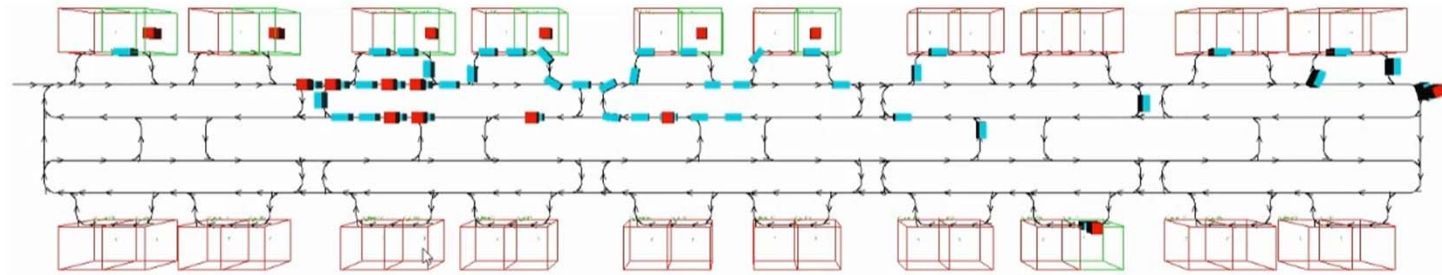


AI 방식

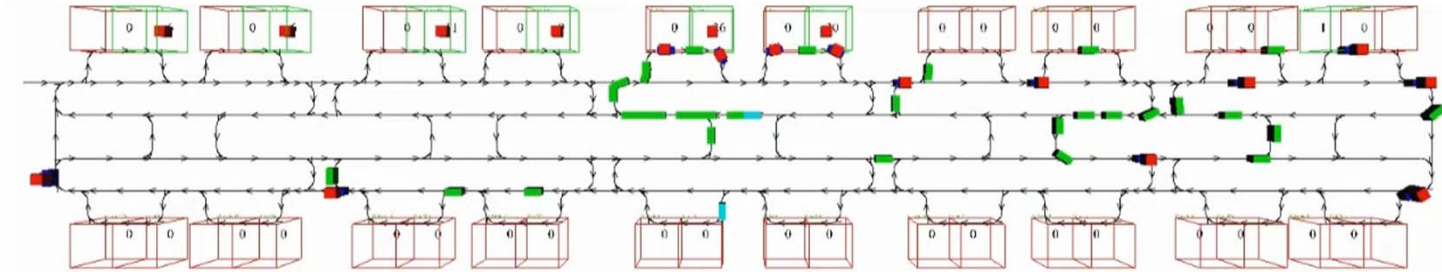


결과

기존 알고리즘 (산업계 활용)



KAIST개발 Q-Learning 기반 알고리즘 (2017.12)



Ilhwe Hwang, Sang Pyo Hong, Young Jae Jang, Sunil Kim and In-Ho Moon, "System Design and Development of the Q-Learning Based Overhead Hoist Transport (OHT) for Semiconductor Fabs," The 24th International Conference on Production Research, 2017, Poland.

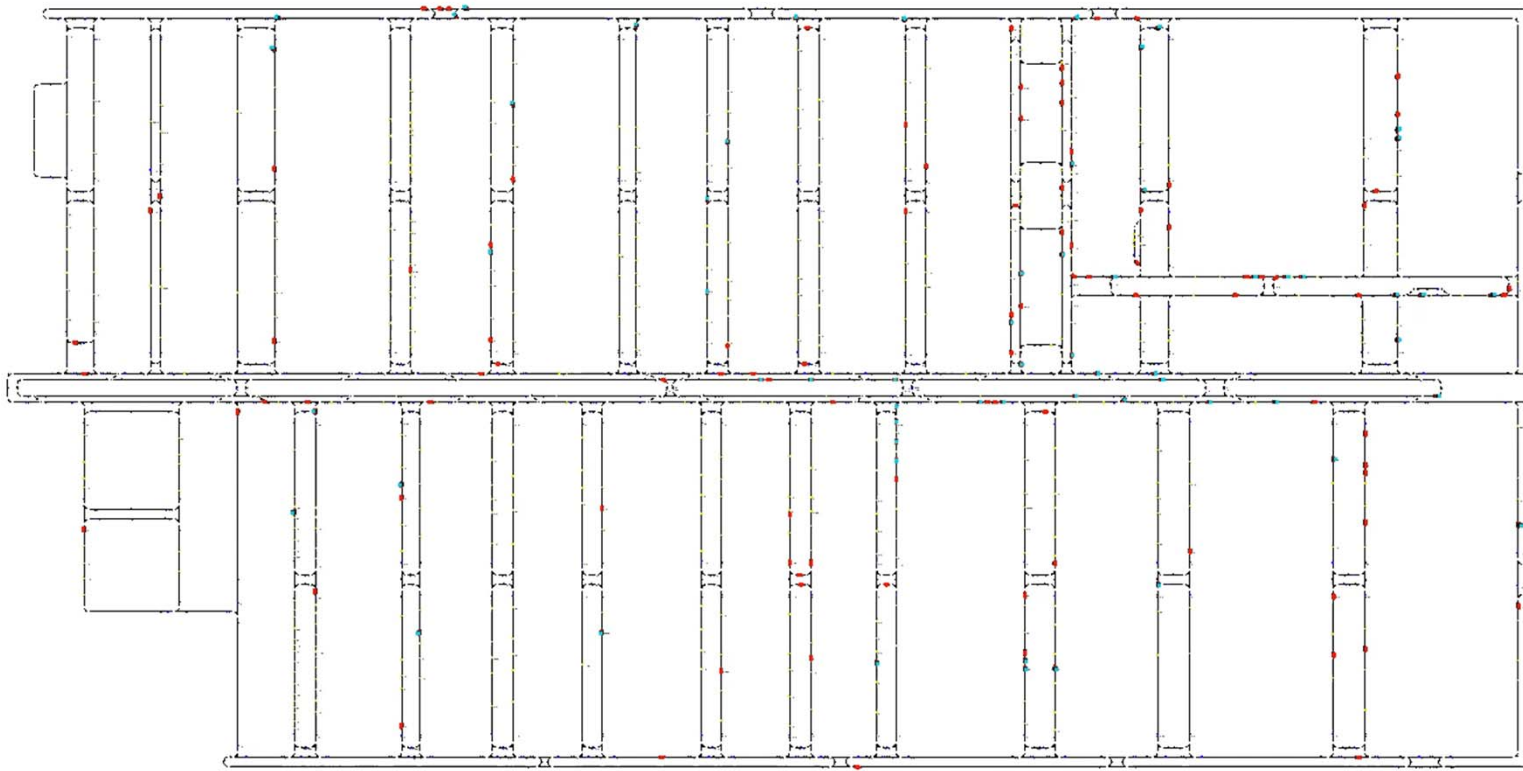
Simulation Validation – Large Case

- Conventional approach



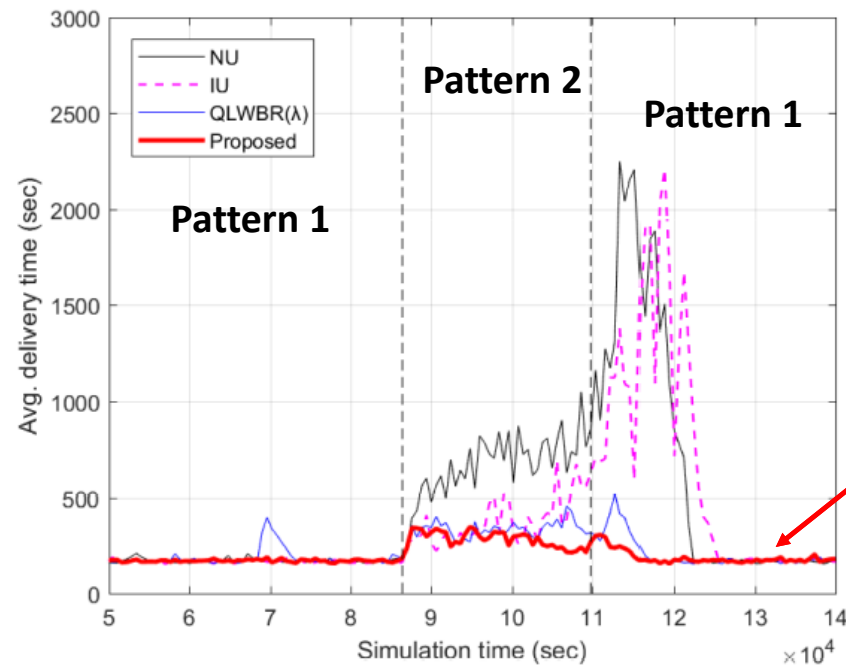
상습 정체구간
발생

카이스트 개발 알고리즘 – 상습정체 구간이 없음 – 모든 구간 늘 원활히 진행...



예측하지 못한 상황에서 “자율적”으로 안정화

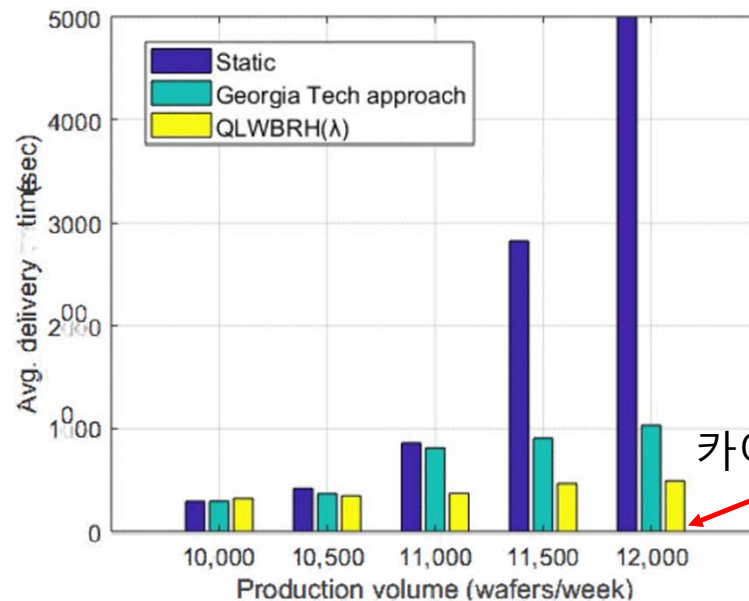
급격한 물량 증가



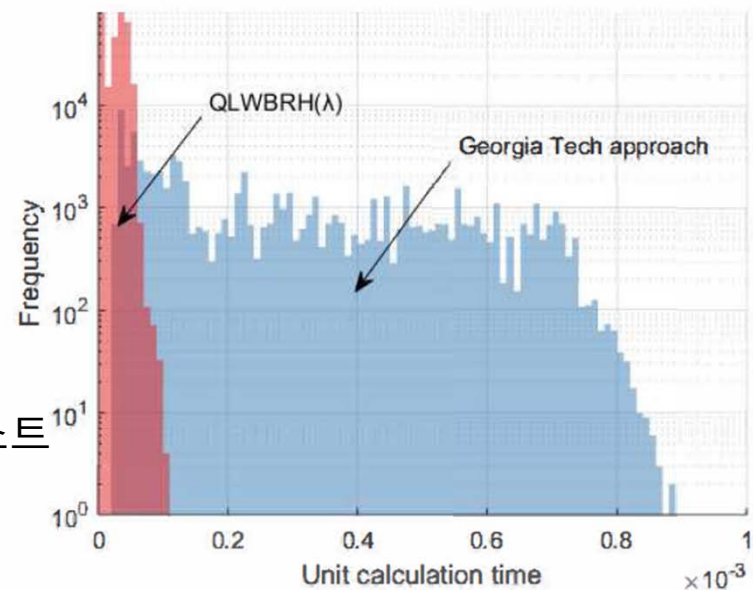
카이스트 알고리즘

OHT 시스템 결과 - 반송시간 및 연산시간 분석

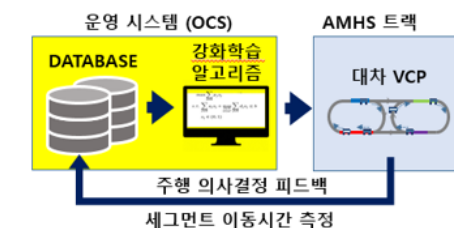
- 현존하는 연구 중 100여대 이상 routing 구현한 연구는 조지아텍 (Georgia Tech) 이 2012~2014년 진행한 연구가 유일
- 조지아텍 연구 벤치마킹 비교
 - 카이스트 알고리즘이 월등한 성능 도출 (delivery time 및 computation time)



카이스트



상용화 (산업시스템) 조건 - “복합 시스템” 설계 및 구축

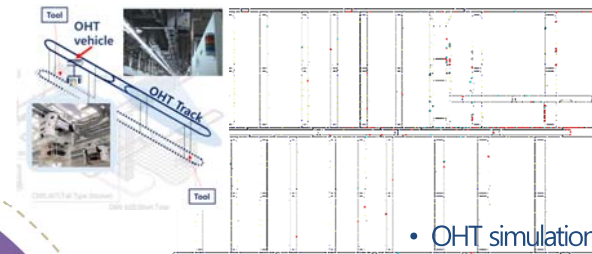
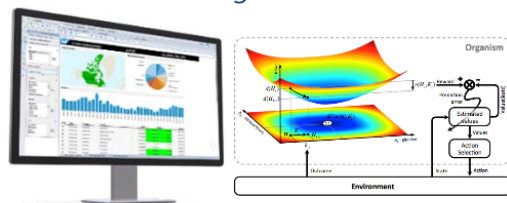


- Routing algorithm
- Vehicle dispatching logics

AI based operation algorithm

System Operations & Management

- Real-time monitoring

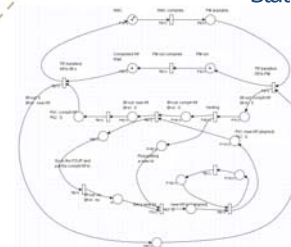


- OHT simulation
- OHT track layout design

Track layout design and analysis

Abnormal behavior detection

- State analysis and detection



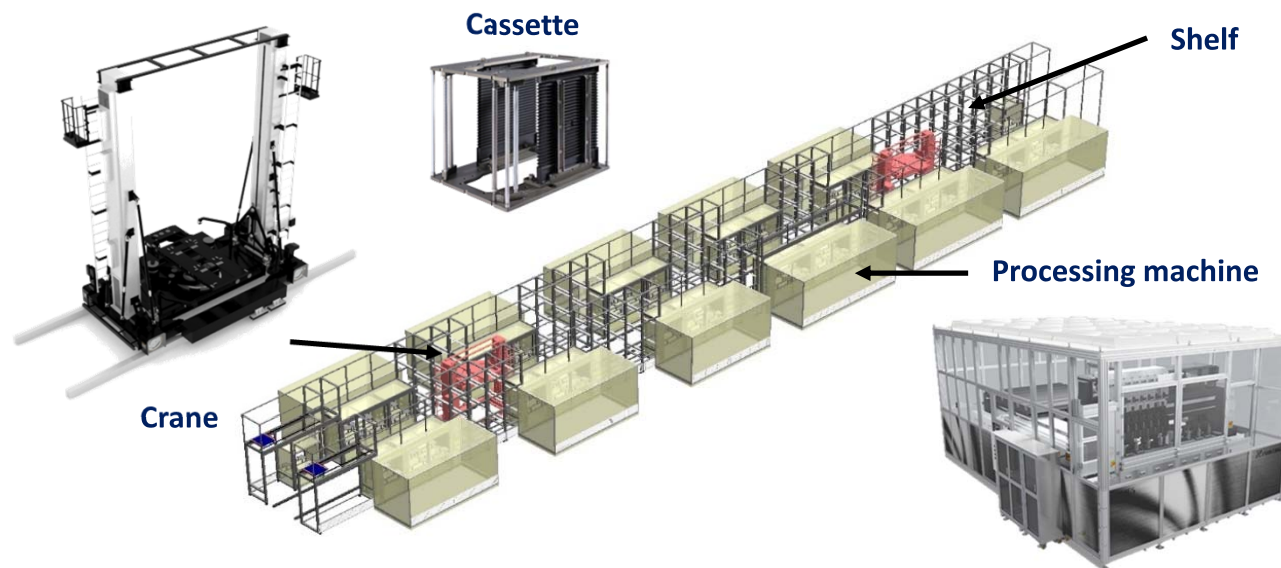
$$\begin{aligned}
 &\text{Minimize } \sum_{s'kn} M_{s'kn} \cdot f_{s'kn} \\
 &\text{subject to } \sum_{s'kn} f_{s'kn} \geq D_s \quad \forall s, i^s \\
 &\sum_{kn} f_{s'kn} = \sum_{i^s} X_{s'i^s+1,nk} \\
 &\forall s, n, \text{ and } i^s = 1, \dots, P-1 \\
 &\sum_{s'kn} f_{s'kn} \leq \sum_j C_{s'ej} \cdot y_{s'jk} \quad \forall s, i^s, k \\
 &\sum_{s'jk} y_{s'jk} \leq t_{jk} \quad \forall j, k
 \end{aligned}$$

테스트베드 (신성 FA)

디스플레이 (LCD/OLED) 반송 시스템

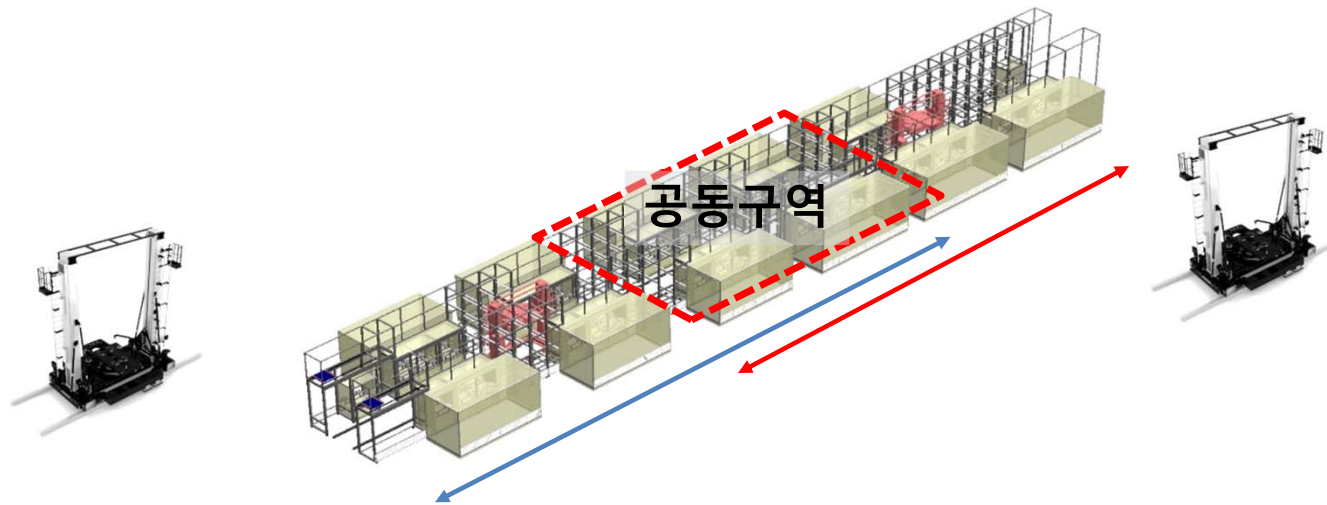
FPD Stocker 시스템

- 기존 반송 시스템 운영

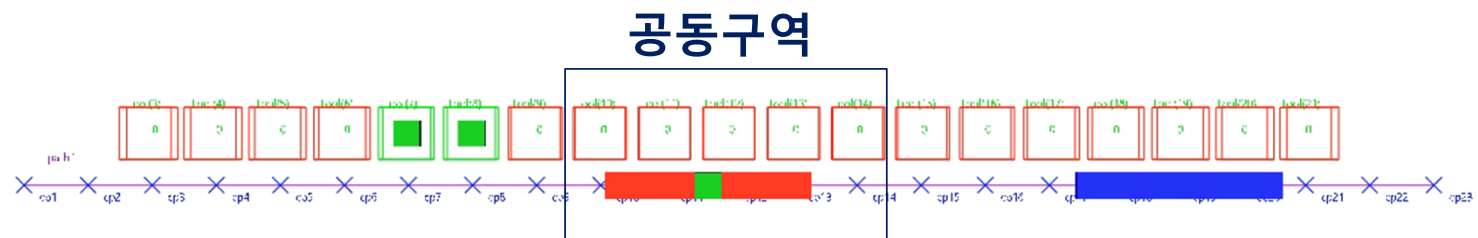


FPD Stacker 시스템

- Dual Stacker
 - 두대의 Stacker가 하나의 레일을 사용함으로 버퍼존 (Buffer or Shared Zone)을 정해서 운영
 - 문제점?

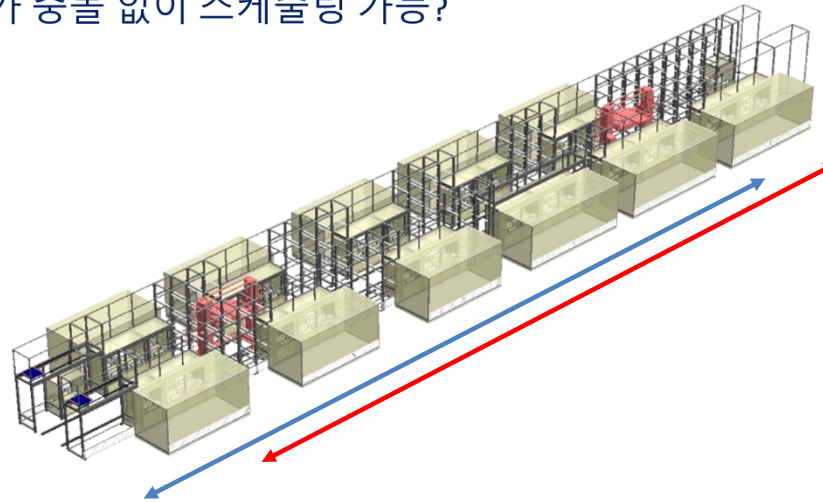


시뮬레이션



양방향 자율 제어

- Shared Zone 없이 두대 Stocker가 자유롭게 이동하는 방식
 - Throughput 증가 및 물류 반송 효율 증대
- 문제
 - 두대 Stocker가 충돌 없이 스케줄링 가능?



기존 방식 - 동적 계획법 활용 최적화

- 수학적 모델링 방식으로 (logical calculation) 최적 스케줄링 결정

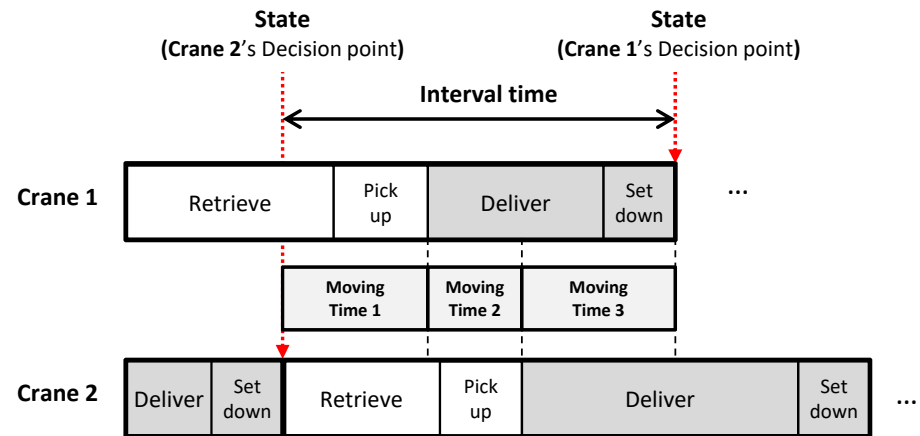
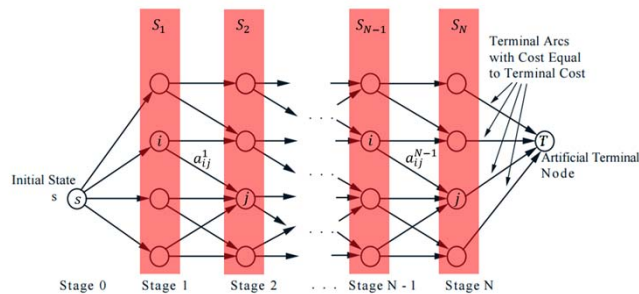
문제1) $234345 \times 3934 = ?$

문제2) 개? 고양이?



Minimize $V_0(s_0)$

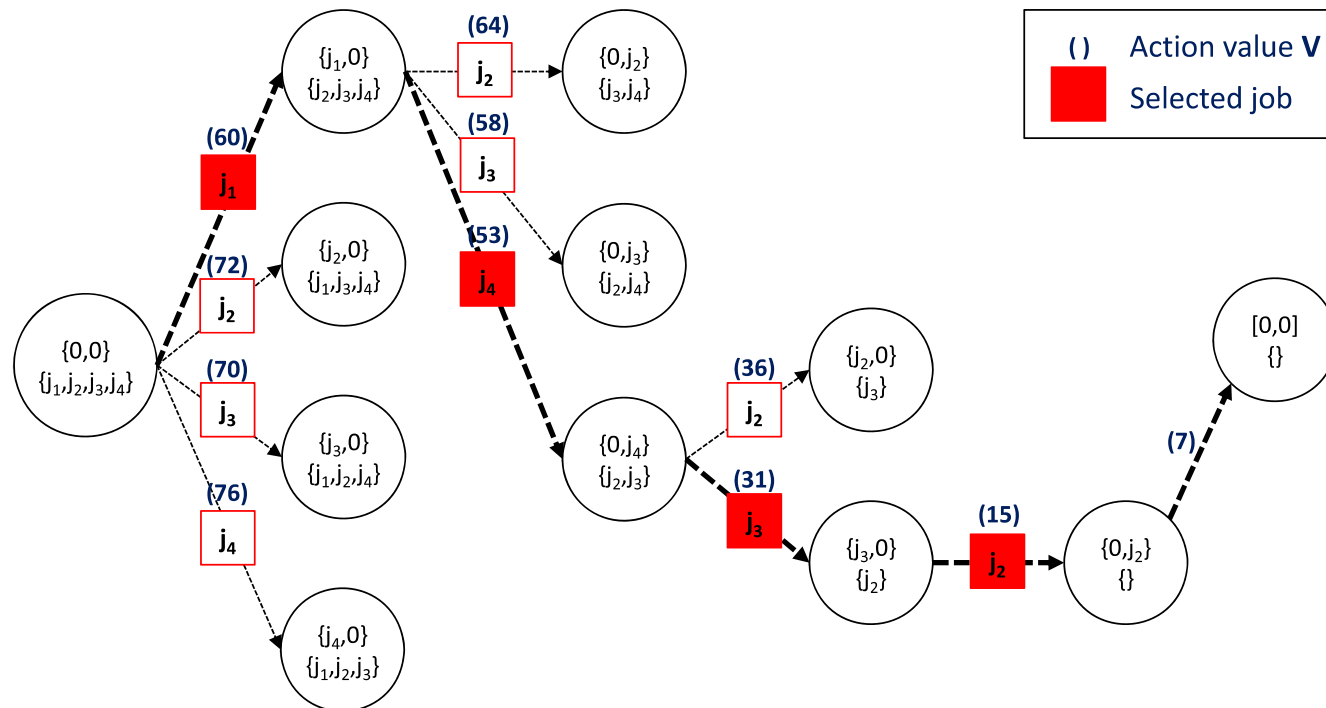
subject to $V_t(s_t) = \min_{a_t} \{P_t(s_t, a_t) + \gamma V_{t+1}(s_{t+1})\} \quad \forall s_t \in S$



기존 방식 - 동적 계획법 활용 최적화 - 문제점

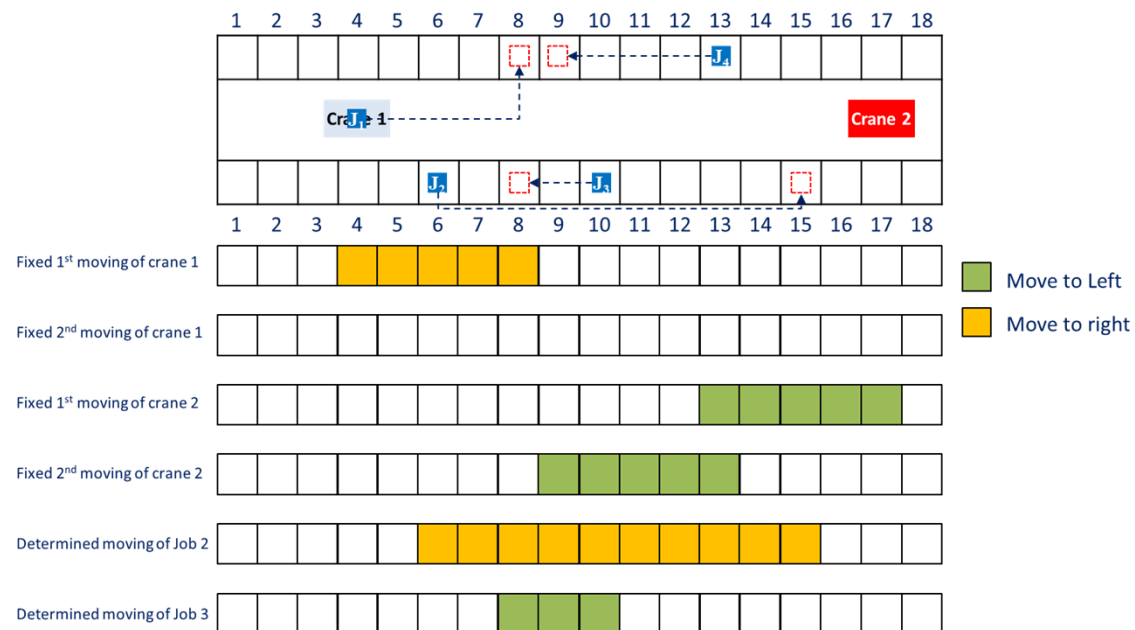
• Dynamic Programming result

- Even if the same job is selected, the crane status changes depending on which job has selected previously. Therefore, it is needed to create total state space.
- Optimal makespan is 60 (sec), it is decreased by 15.7% compared to FIFO rule.



해결 방식

- 데이터 활용 최적의 패턴을 자동으로 인식
- 최적 스케줄링을 패턴을 통해 파악
- 딥-Q 러닝
 - Stocker 의 이동을 패턴화 하여 컴퓨터가 패턴을 인식하도록 모델링



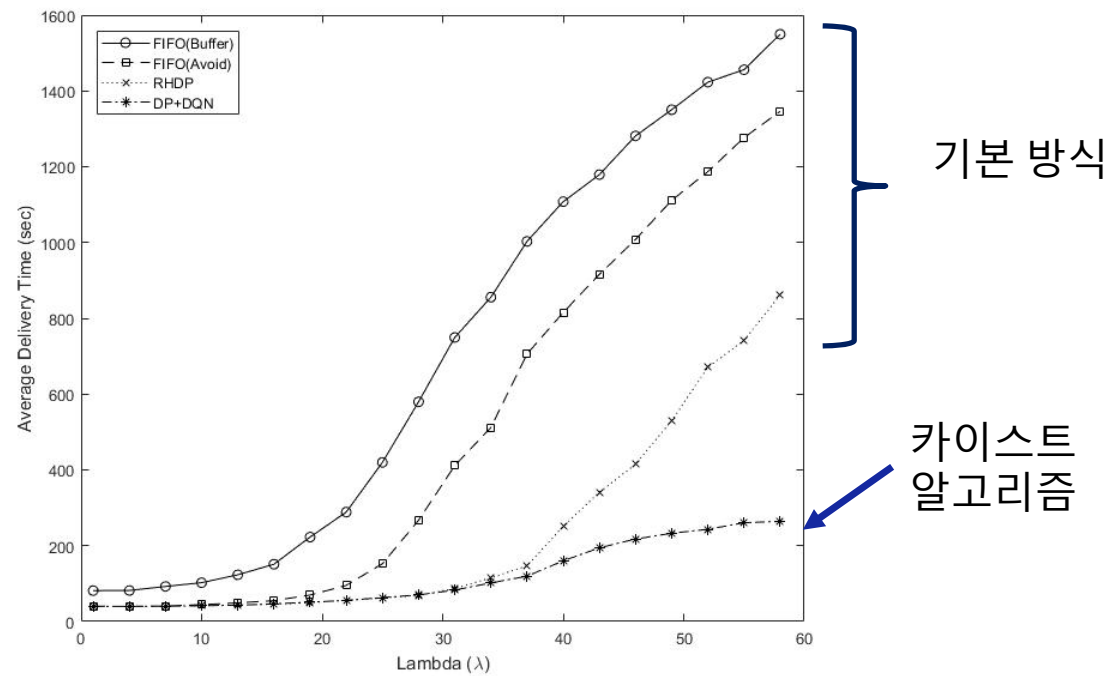
Deep Q Network

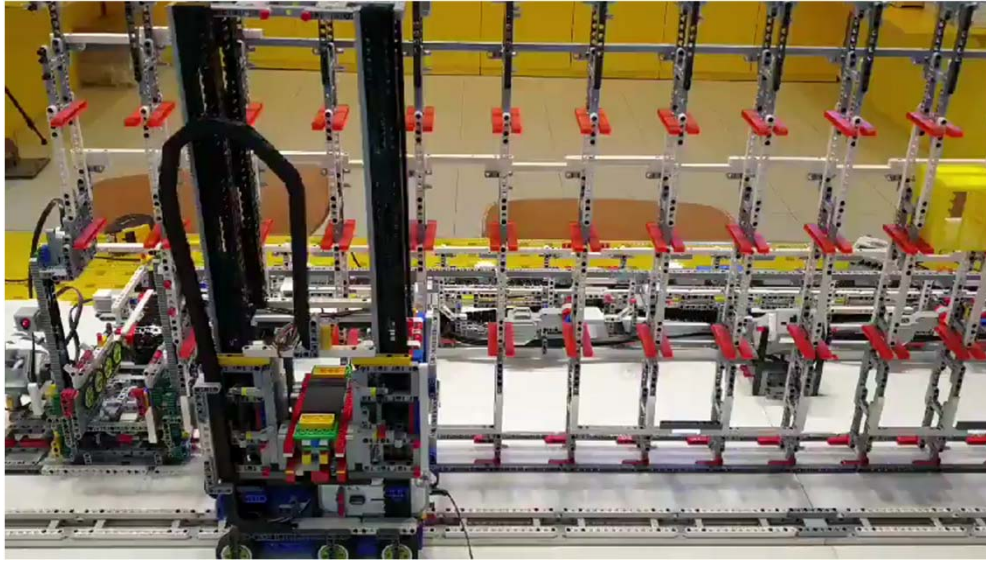
- Simulation video
 - AutoMod + Python



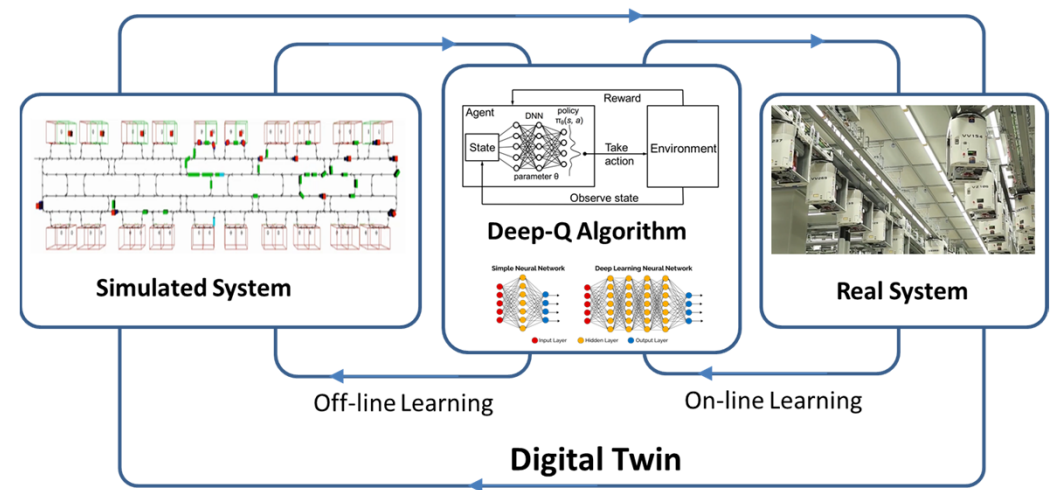
- 시뮬레이션 결과

- 기존 학계에서 알려진 최적의 방식보다 **4배 이상 Throughput 향상!**



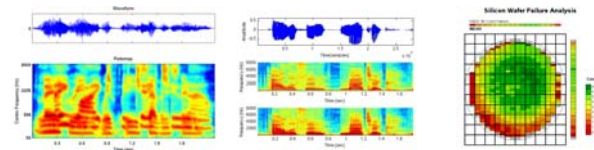


디지털 트윈 + AI



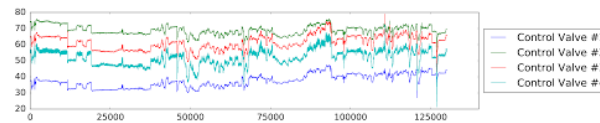
제조 AI 활용

품질관리 Quality Control



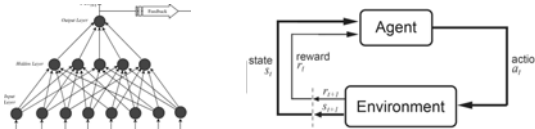
Computational auditory
scene analysis (CASA)
With CNN + RNN

설비관리 Preventive Maintenance



Regeneration of fake false
alarm with CNN-GAN-RNN

자율운영 Autonomous Operation



Reinforcement learning
With CNN

제조 도메인 지식

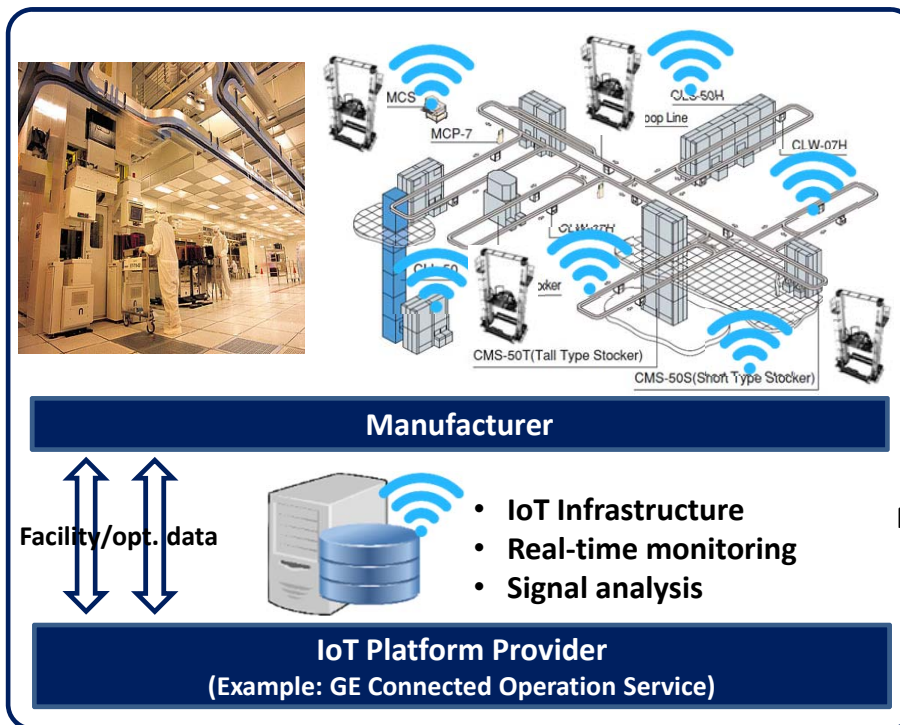
- 현장 “경험”
- 문제정의
- 시스템적 사고

AI연구 및 사업화 경험을 통해 배운 것

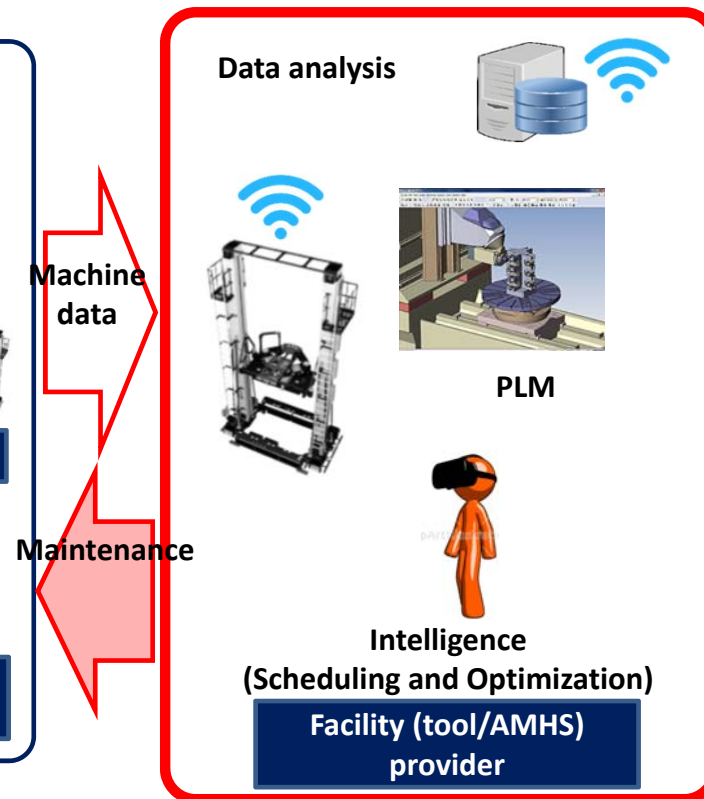
- AI - 파괴적인 혁신이 가능하다
 - “아직 기대만큼 안되는 것도 있지만 잘되는 것은 너무 잘된다!”
- 데이터와 AI 기술만이 다가 아님! - 공학기술 필수
 - “데이터 기술만으로는 현실 문제해결 불가능” “도메인 기술 및 공학적 기술 필요”
- 시스템 적 시각 및 메니지먼트와 구성원들의 이해가 필수!
 - 기술보다는 사람과 조직의 인식이 필요

스마트 팩토리와 스마트 유지보수

Conventional Smart Manufacturing Concept



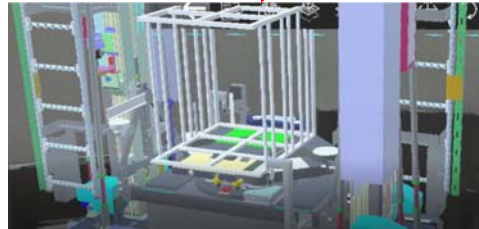
Human in the Loop



Actual system
in the field



(4) Delivering work
with 3D holographic
animation



DEMO2



Field
Engineer
(Execution)

(1)Field information/data



(3)Decision
Making



(2)Knowledge
and information
exchange



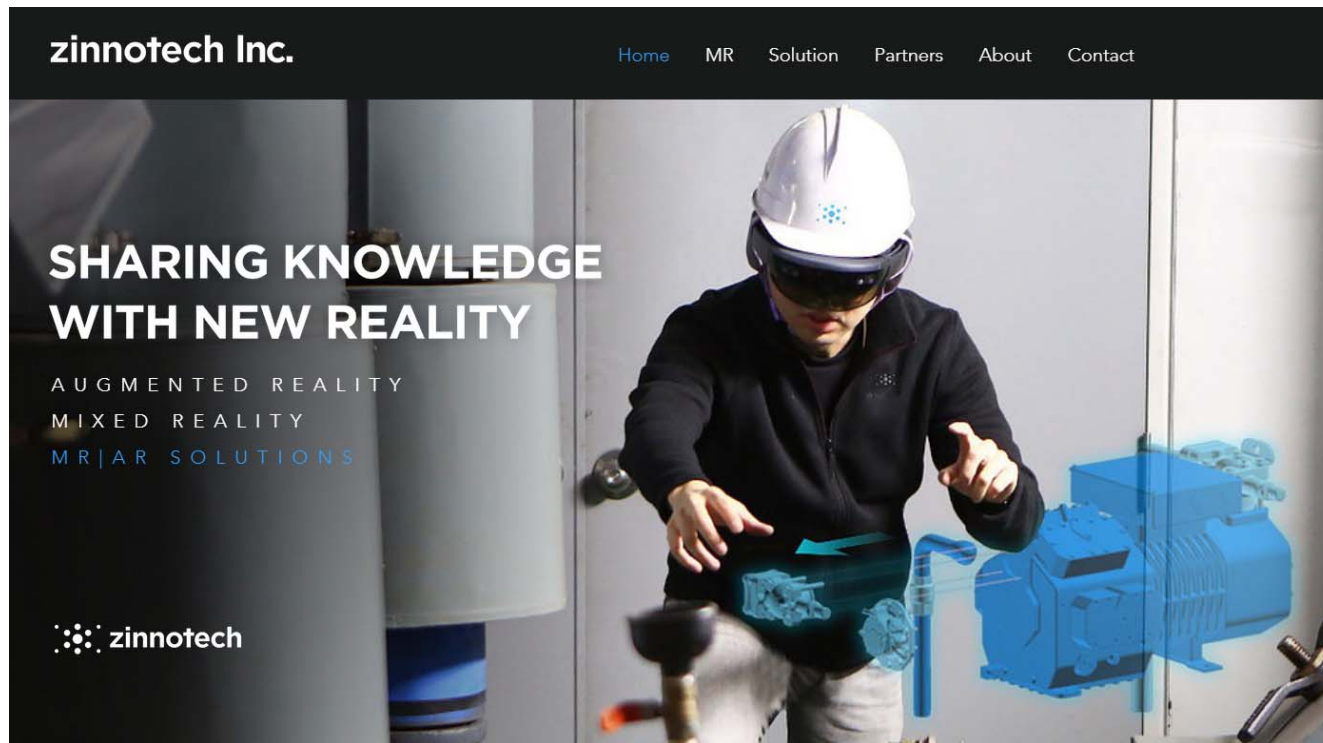
ERP/PLM/Product Design Information



Experts from the Headquarter

스마트 유지보수 솔루션 (창업)

- <https://www.zinnotech.com/>



목차

- 최신 디지털 기술을 통한 제조혁신 사례
 - AI기반 반도체 물류 반송 시스템 개발 - 신성 FA
 - AI기반 LCD/OLED 물류 반송 시스템 개발 - LGD & LG-CNS
 - AR/MR 기반 유지보수 솔루션 - 지노텍
- 스마트 팩토리 개념 및 방향
 - 스마트 팩토리란?
 - 실증 사례 - S중공업
 - 카이스트 스마트팩토리 교육/연구 혁신

SMART FACTORY 개념 및 방향

Smart Factory란? (먼저 Smart City부터...)

- “스마트 시티?”
 - AI활용 자율주행 자동차가 거리를 누비고,
 - IoT가 미세먼지를 24시간 감지하고,
 - AR장비로 건물의 정보를 인식하고...
- 그러나
 - 주차공간은 늘 부족해서 불법 주차는 일상이고
 - 아이들이 교통사고 걱정없이 마음껏 뛰어놀 공간은 없고
 - 상가밀집 지역에는 쓰레기가 산더미에 악취가 진동하고...

Smart Factory?

- “스마트 팩토리?”
 - AI활용AGV는 공간의 물류를 자동으로 반송하고,
 - IoT가 장비의 상태를 24시간 모니터링하고,
 - AR장비로 작업자가 장비를 유지보수 하고 ...
- 그러나
 - 제고와 제공이 적절한지 아무도 명확하게 답을 못하고
 - 제품 납기일은 늘 들쭉날쭉
 - 품질 이상을 파악하는데 몇 주가 걸리고
 - 사업장에서는 일 잘하는 사람한테만 일이 몰리고 ...

프로세스 혁신

- 프로세스 혁신이 없이는 요소기술은 무용지물



Game
Changer



마인드 셋

- 마인드셋 이 중요

- 교육의 필요성

- <https://m.blog.naver.com/businessinsight/221548594749?fbclid=IwAR2P0mkMbaS9Nk8Kx-eu0WkJzvHrowFHbauaEBTe13hriuliJOus76E>

인사이트

'330조 원' 사상 최대 실적 낸 토요타... 시스템은 하드웨어일 뿐, 핵심은 '사람'에 있어 | 인터뷰



인터비즈

2019. 5. 28. 14:32

+ 이웃추가



디지털혁신+프로세스 혁신 사례2

스마트팩토리 교육/연구 혁신

스마트 팩토리 교육? 제조 교육

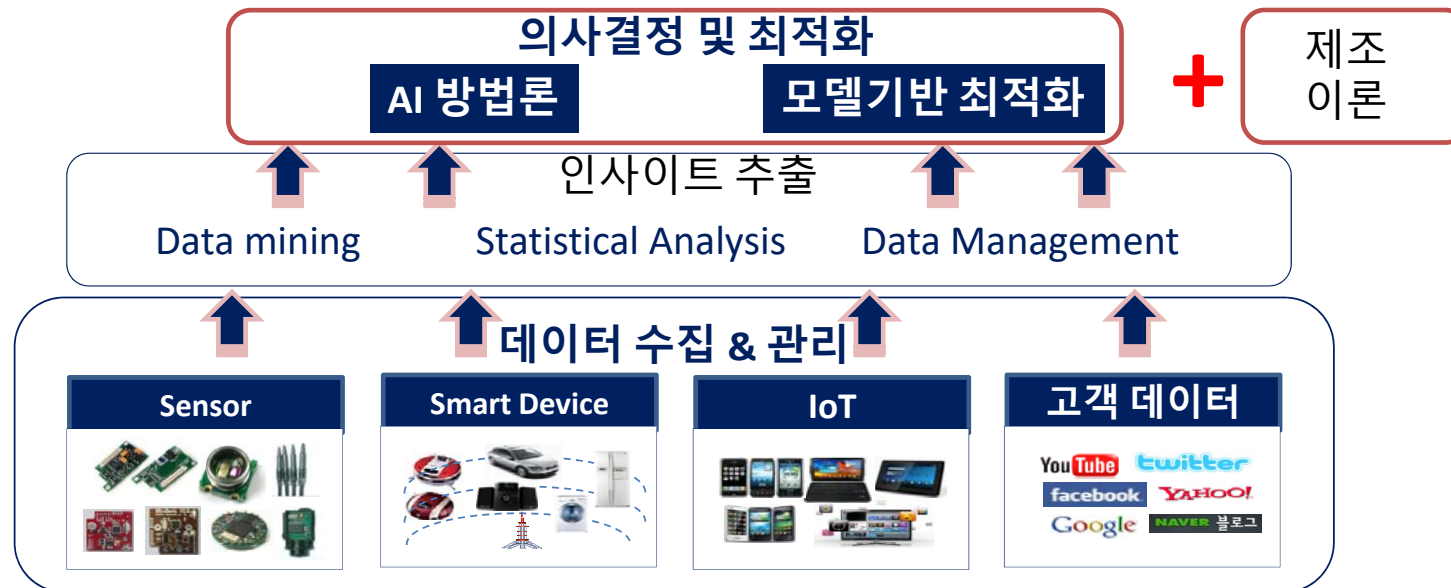
- “As-was”
 - 암기과목
 - 학생들의 동기부여 저하
 - 새로운 혁신 기술 교육 전무
- 목표
 - 동기부여
 - 현실적인 교육
 - 전통 이론 + 혁신 ITC 기술 함께 교육



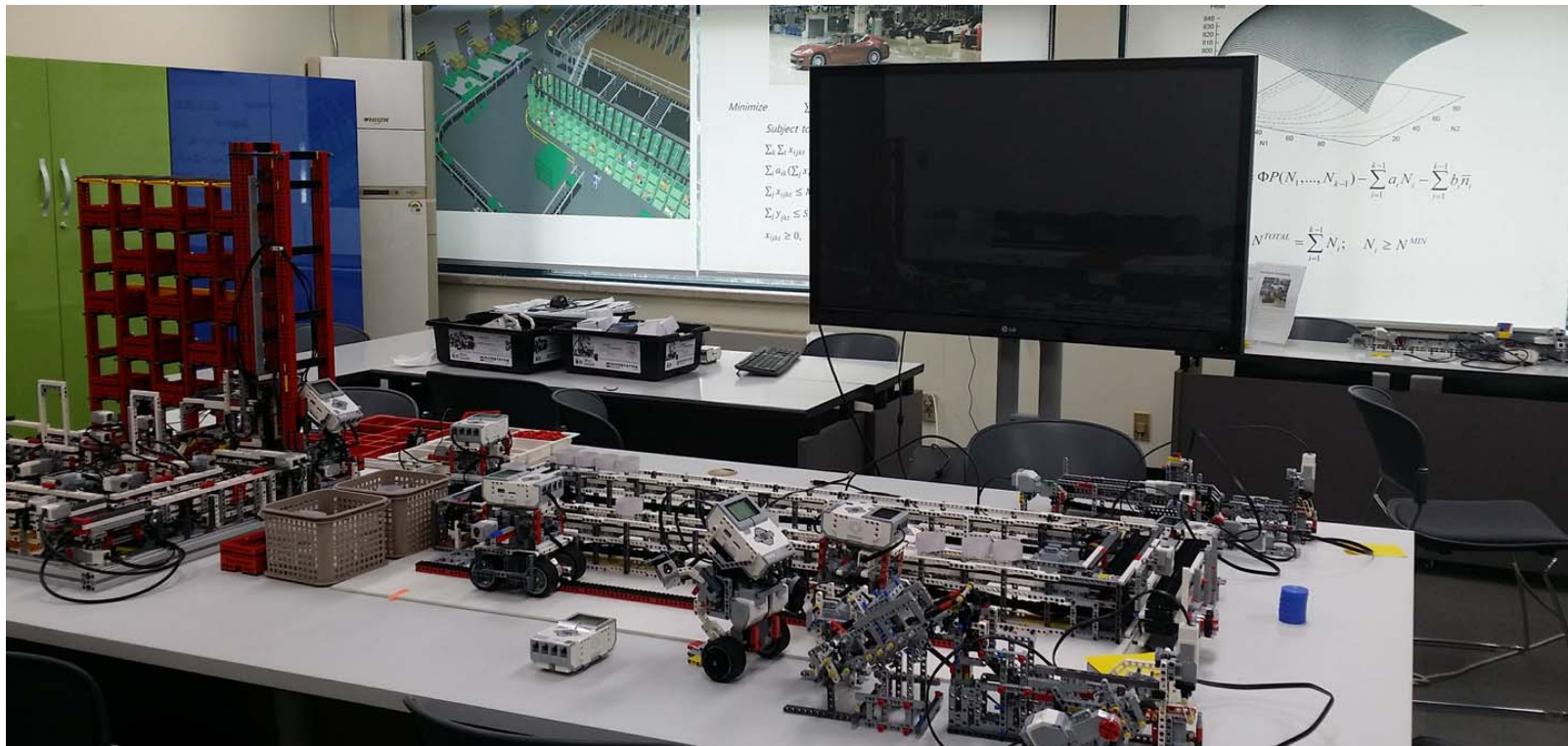
교육 프로세스 혁신 &
미래 지향적 교육

스마트 팩토리 교육의 목적?

- 전통적인 제조 이론
- 최신 기술을 통한 제조 기술 혁신 교육
- 데이터 중심적 제조 운영 핵심
 - 제조 산업을 위한 데이터 사이언티스트 교육 + AI교육

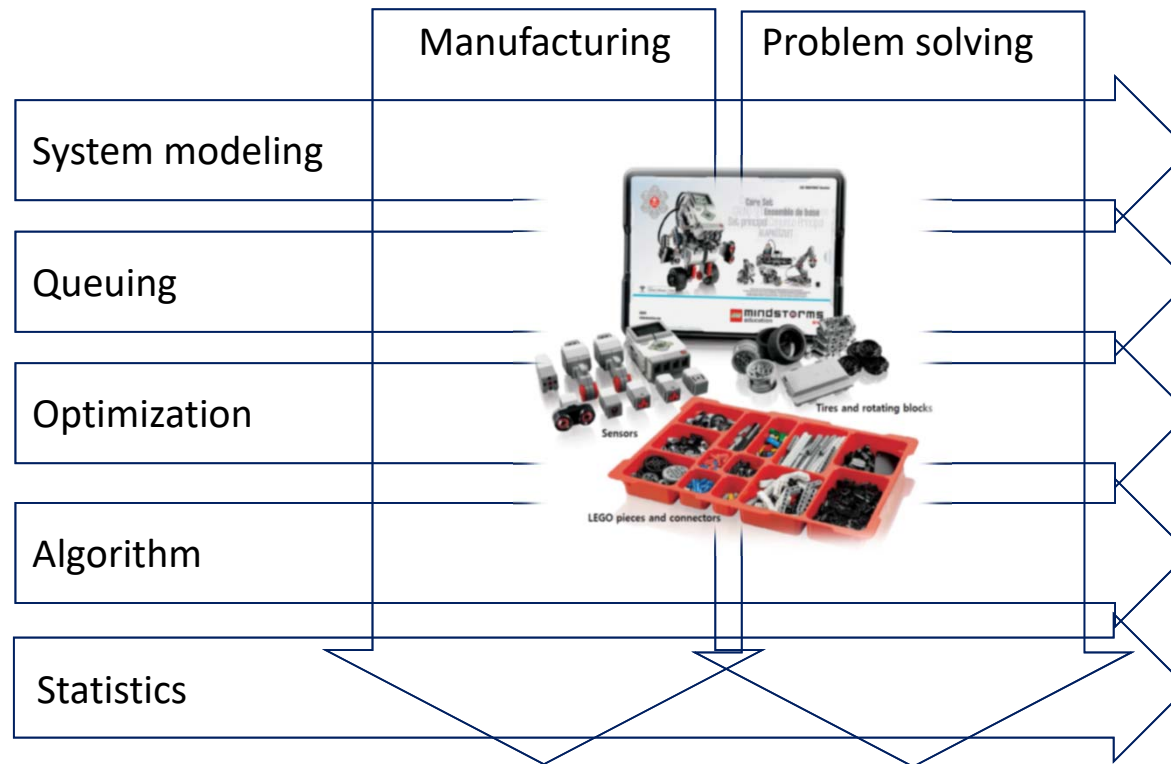


실습 현장을 학교로! - 레고 공장



카이스트 레고 제조 시스템

- Dept. of Industrial and Systems Engineering at KAIST recently developed the KAIST-LEGO Manufacturing System (KLMS)



레고 로보틱스 + 3D 프린팅

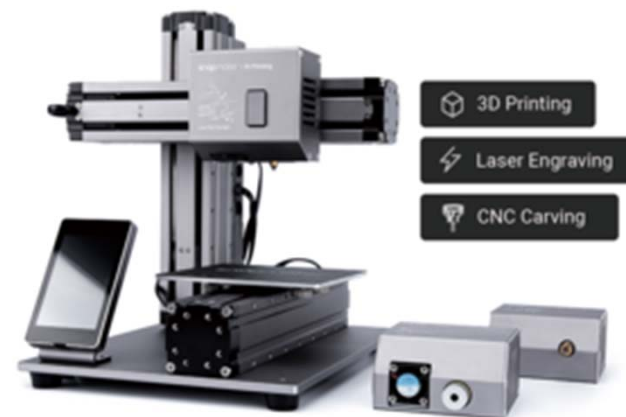
LEGO Robotic Parts



LEGO Static Parts

Source: <https://www.lego.com>

Snapmaker 3D Printing

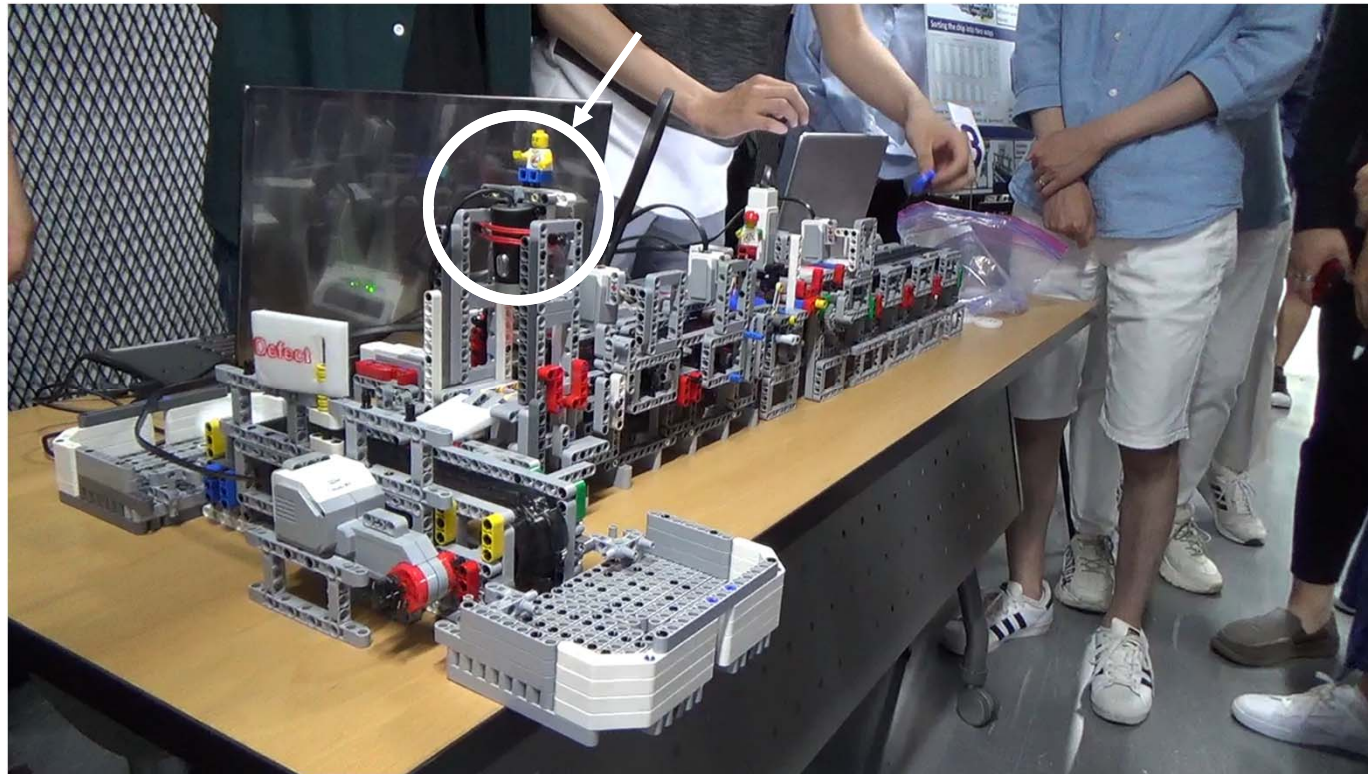


스마트 공장 구현

- 제조 이론
 - 큐잉이론/WIP-TH-CT 이론/리틀의 법칙
 - 최적 제고/제공 산출 이론
 - 스케줄링 및 공장 Capacity 산출
 - 품질관리 - 통계 모델 기반 vs. 머신러닝 기반
- 방법론
 - 모델기반 수학적 최적화
 - 데이터 기반 최적화
 - 제조 시뮬레이션
 - AI 기술 활용 의사결정
- 실습
 - AI 기술 활용 불량 검출
 - 라인 벨런싱 및 제조 설비 데이터 시스템 구축 - 스마트 팩토리 구축

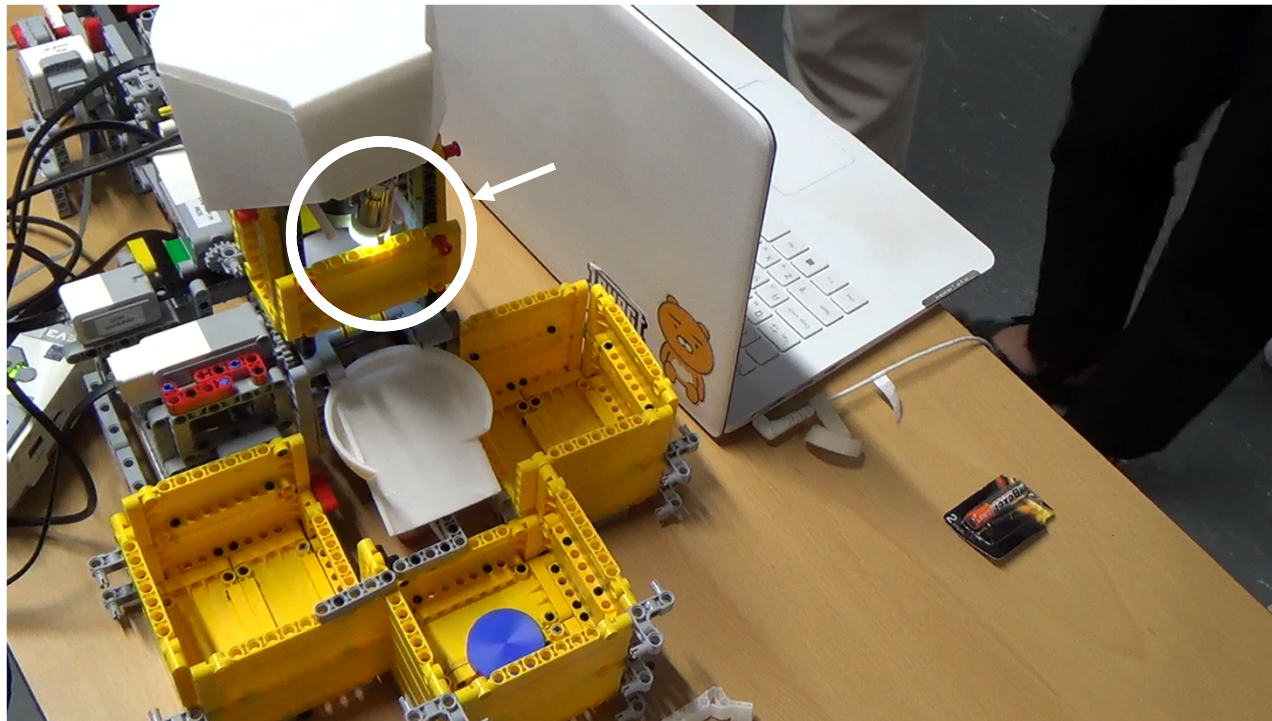
Team 1

문제를 대용량 데이터 수집을 활용해 해결한 팀



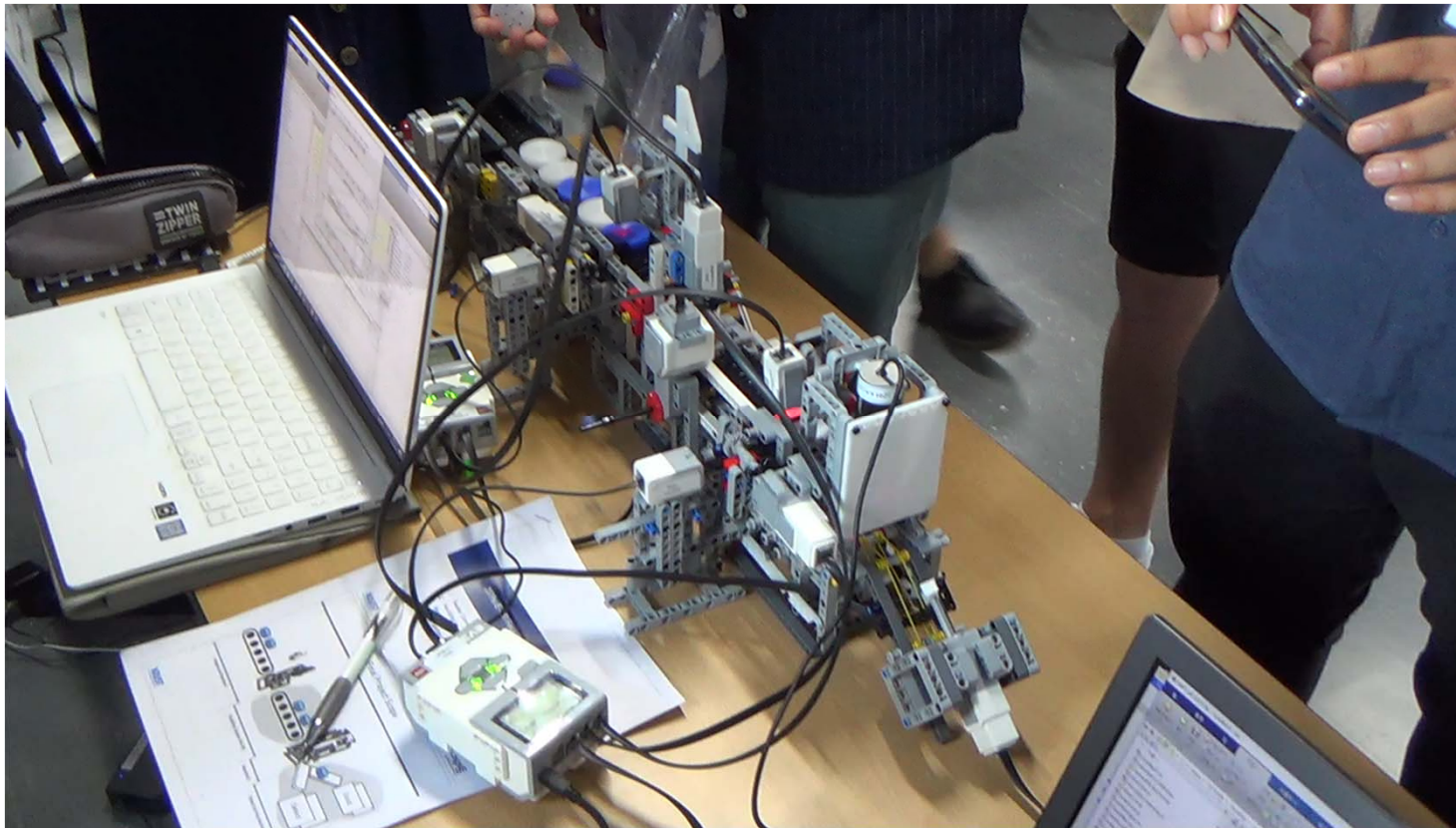
Team 2

문제를 하드웨어 설계로 해결한 팀



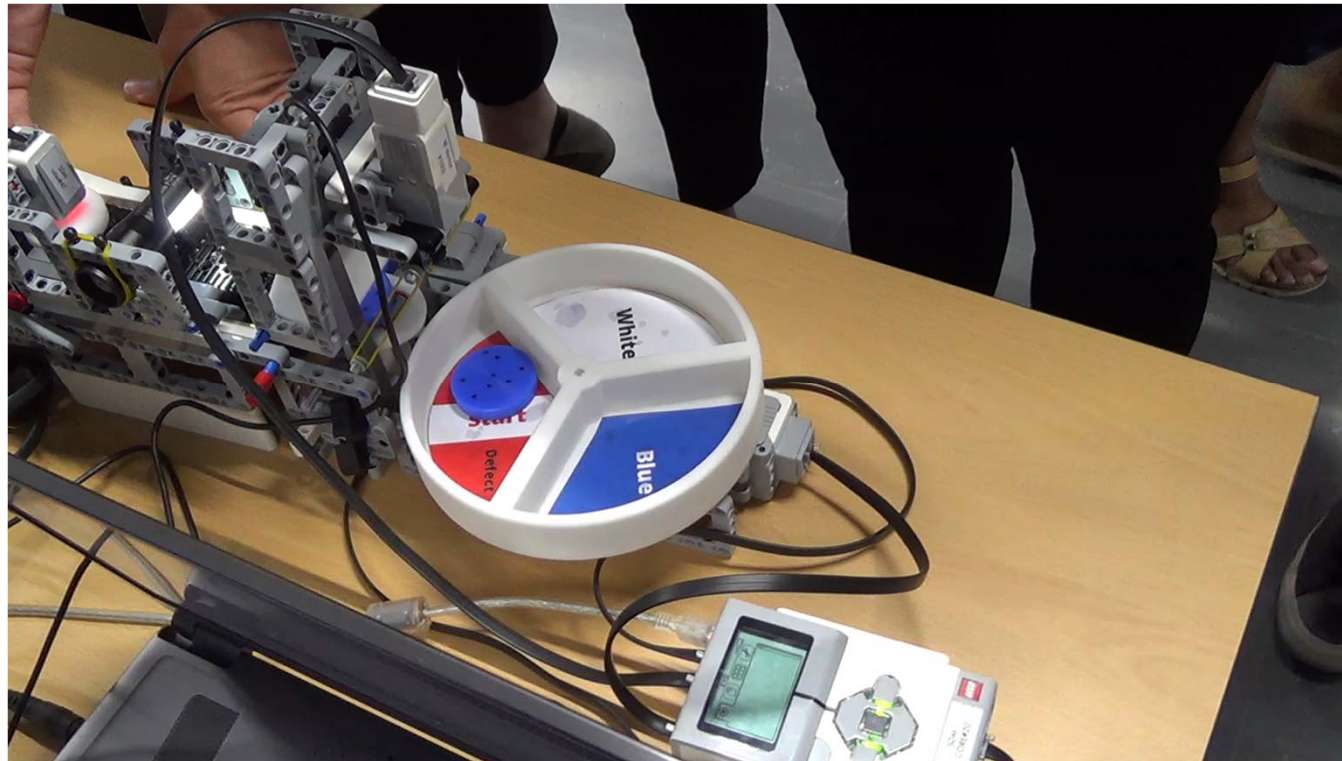
Team 3

알고리즘 고도화로 해결한 팀



Team 4

실패 사례 $\pi\pi$



최종 발표 (2019.6.5)



스마트 팩토리 교육 혁신 사례

- ICT기술 적극 활용
- 밀레니엄 세대 (Z세대) 인식 및 적극 분석
- 시대변화 수용
- 프로세스 혁신!

연구 혁신

- 과연 SCI 논문이 산업에 기여하는가?
- 연구자가 현장과 산업의 요구를 이해하는가?
- 학계가 산업의 기여를 하는가?
- 기존 산학협력 모델이 효과가 있는가?

연구센터 기반 산학협력 – “국내 기업의 디지털 혁신을 통한 경쟁력강화”

신성 인공지능 자동화 시스템 연구센터



- 총 연구비 20억/4년 (2018~2021)
- 반도체 자동물류 시스템 OHT 알고리즘 개발
- 자동 물류 반송 핵심 연구
- 인공지능 (강화학습 기반 제어 시스템 개발)

1,000대 자동화 vehicle 군집제어
기술 개발 및 상용화 목표

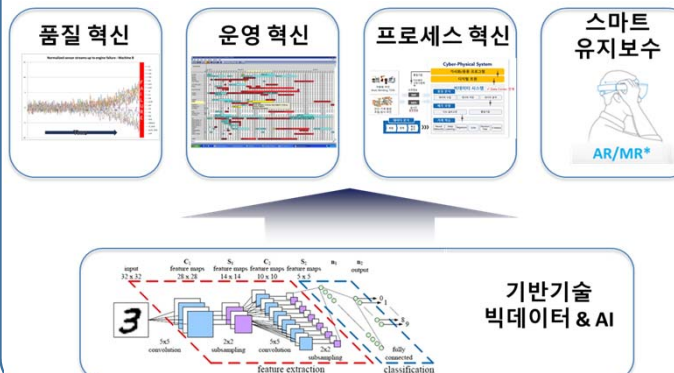


한국타이어 디지털 혁신 연구센터



- 총 연구비 22억/2년 (2019~2020)
- 제조의 디지털 혁신
- 빅데이터/AI 등 최신 디지털 기술 제조 적용
- 품질/운영/디자인 혁신

디지털 기술을 통한
제조 혁신 기반기술 개발 목표

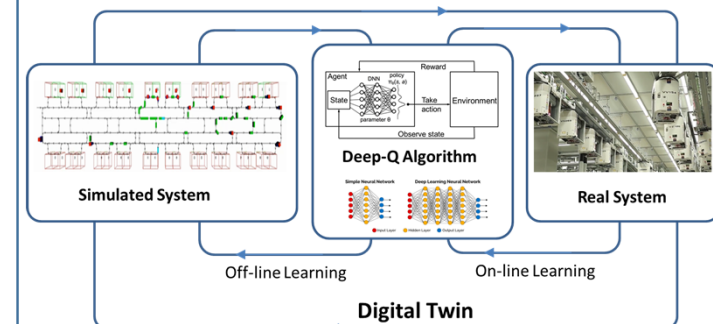


LG CNS AI 제조 연구센터



- 총 연구비 20억/5년 (2019~2023)
- AI기술 제조 적용
- 디지털 트윈 및 딥러닝 제조 운영 시스템
- 제조 운영 시스템 개발

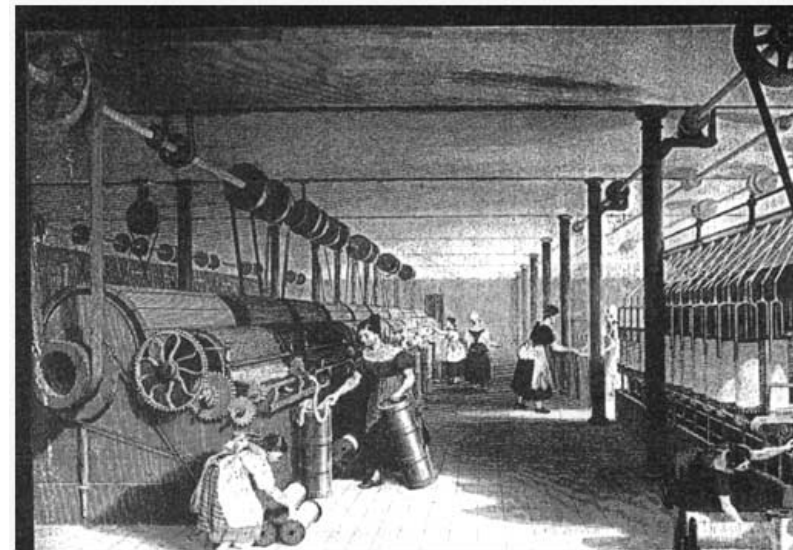
AI + 디지털 트윈
제조 운영 및 품질 혁신 목표



혁신이란?

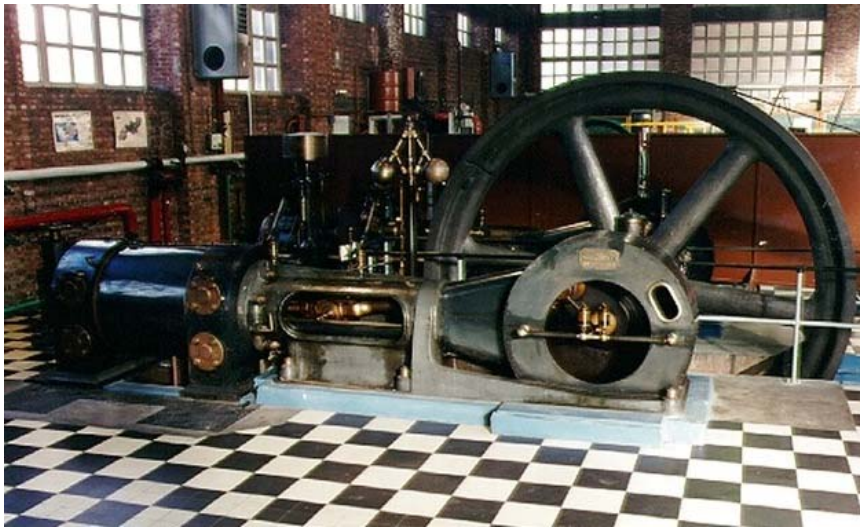
- 증기 엔진의 발달

- 수력 발전 할때와 그리 크게 달라지지 않았음 - 대부분의 공장이 여전히 강가나 바다에 위치
- 동력도 수력 활용때와 같이 중앙 동력전달 축으로 전달하였으며 기계 배치도 달라진 것이 없었음



혁신이란?

- 전기모터의 발달
 - 전기 모터가 개발되어 공장 동력원으로 사용되어도 전체 공장 모습은 30년간 크게 달라지지 않았음
 - 왜?



혁신이란?

- 기술을 새로운 틀에서 생각
- 기술의 혁신은 프로세스 혁신 및 조직 혁신과 함께 이뤄져야 가능!



목차

- 최신 디지털 기술을 통한 제조혁신 사례
 - AI기반 반도체 물류 반송 시스템 개발 - 신성 FA
 - AI기반 LCD/OLED 물류 반송 시스템 개발 - LGD & LG-CNS
 - AR/MR 기반 유지보수 솔루션 - 지노텍
- 스마트 팩토리 개념 및 방향
 - 스마트 팩토리란?
 - 실증 사례 - S중공업
 - 카이스트 스마트팩토리 교육/연구 혁신

-
- “기업이 망하는 이유는 뭔가를 잘못했기 때문이 아니라, 비즈니스의 근본적인 변화를 이해하지 못했기 때문이다.”

- 피터 드러커