

Manufacturing AI Research Center of KITECH

# K-Metafacturing enabled by Digital Twin

원흥인 수석연구원 제조AI협력팀장

제조AI연구센터  
한국생산기술연구원  
2025. 03. 10.



한국생산기술연구원  
Korea Institute of Industrial Technology



제조AI연구센터  
Manufacturing AI R&D Center



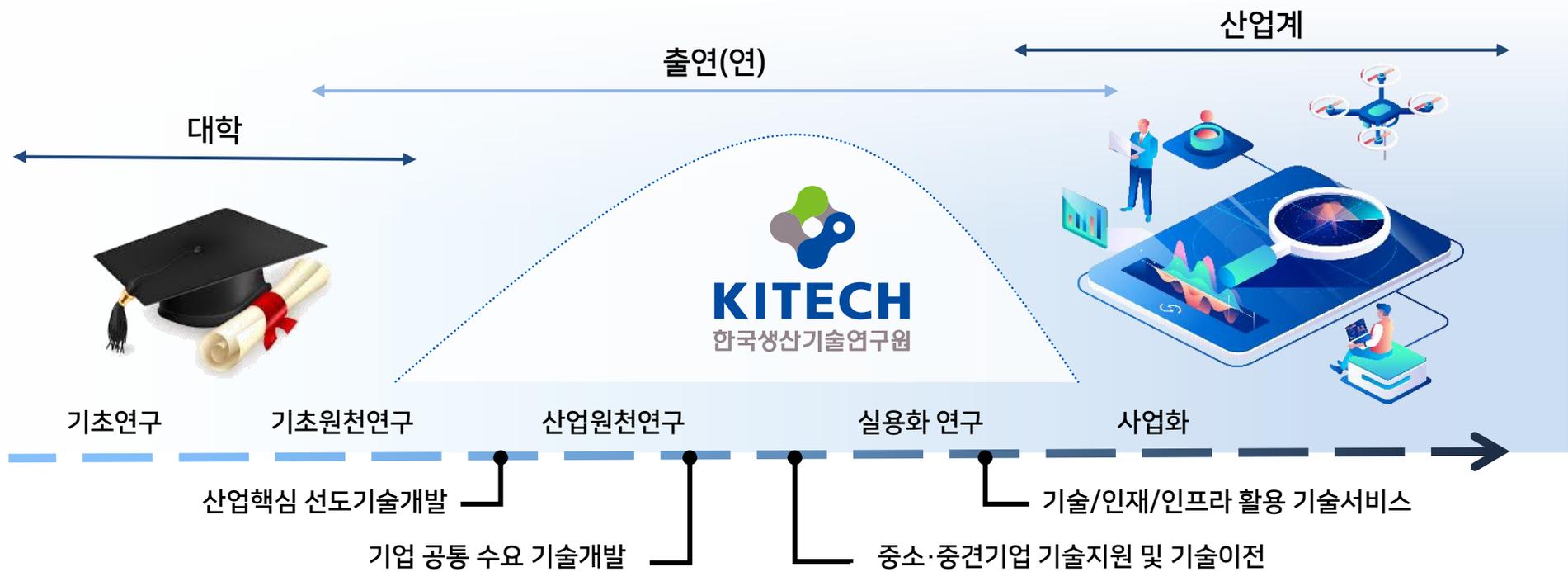


# 1 KITECH 제조AI연구센터

---

## 임무

“ 생산기술분야의 산업원천기술 개발 및 실용화, 중소·중견기업의 기술지원 및 성과확산 등을 통하여 국가산업발전에 기여 ” (생기원 정관 제1조)



# 한국생산기술연구원 R&D 조직 : 10개 연구본부와 제조AI연구센터

지역소멸 이슈 대응과 지역 특화산업 육성을 위해  
중앙정부·지자체·기업과 협업하는 10개 연구본부



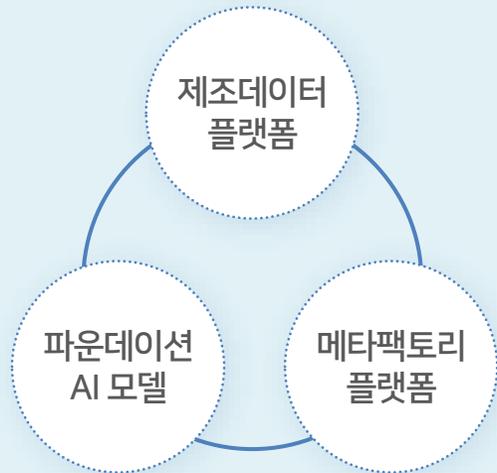
고신뢰성·고확장성의 제조특화 거대 AI  
개발·확산 전담조직 제조AI연구센터



- 미래생산기술 선도를 위한 고신뢰성·고확장성의 제조특화 거대 AI 개발·확산 임무 전담조직
- 제조특화 거대 AI 기반으로 협력 조직과 첨단제조·생산기술 연구를 추진, 실질적인 제조혁신 달성

## 제조 AI 연구센터 기능

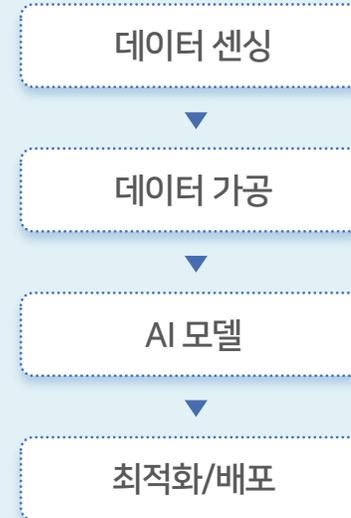
### 핵심임무



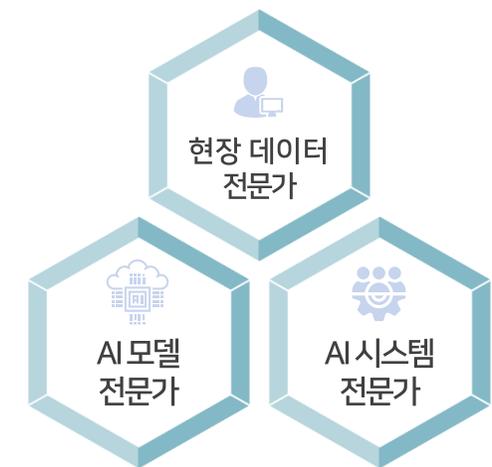
### 대표 분야



### 연구범위 및 방법론



### 전문 인력 구성

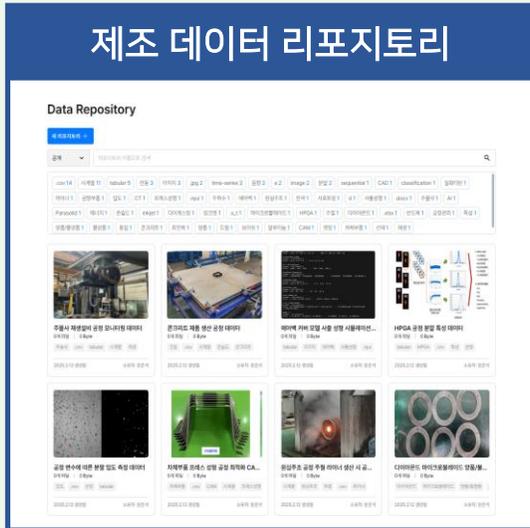


## ■ KITECH 제조혁신지원사업 (1기, 30억/연)

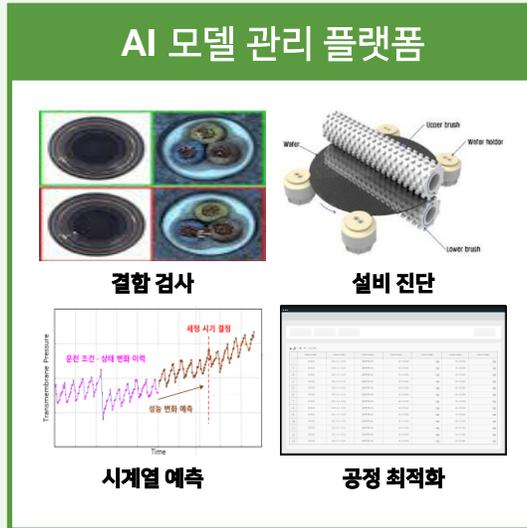
6대 뿌리, 가공, 섬유·화학, 제조 산업이 포함된 제조 공정 대상으로 實 데이터를 수집, 이를 활용하여 중소·중견기업의 AI 응용 생산공정 지능화 기술을 개발하는 사업

| 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 전체 |
|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 1    | 14   | 15   | 17   | 16   | 16   | 12   | 51 |

### 제조 데이터 리포지토리



### AI 모델 관리 플랫폼



### AI 모델 개발 인프라





# 2 Digital Twin in Manufacturing

---

**TODAY with KITECH**



## 실시간 데이터 활용

### 모니터링 및 제어



접근하기 어려운  
공장·대규모 시설을  
원격 모니터링 및 제어

### 통합 데이터 기반 분석



다양한 출처의 데이터  
를 연결, 통합 분석하  
여 신속한 의사결정

## Optimization

### 다중 시나리오 최적화



시도하기 어려운  
다수의 시나리오 실험  
으로 공정 계획·최적화

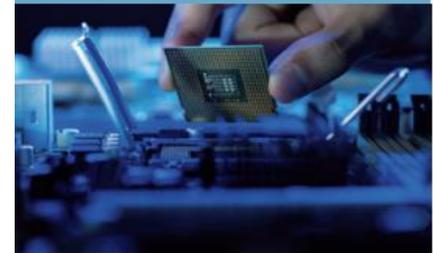
## 물리적 표현 및 시뮬레이션

### 극한 조건 시뮬레이션

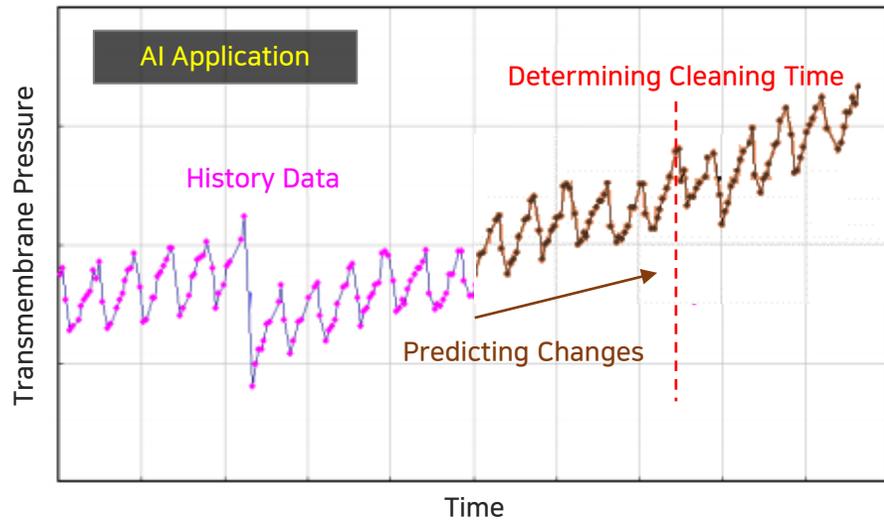


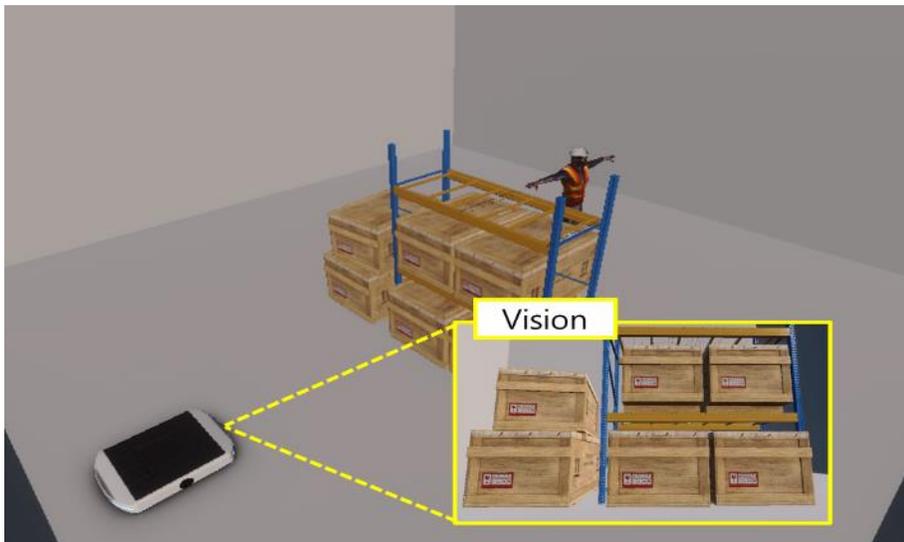
실행하기 어려운  
극한·위험 조건 실험을  
자유롭게 수행

### 사실적 데이터 생성

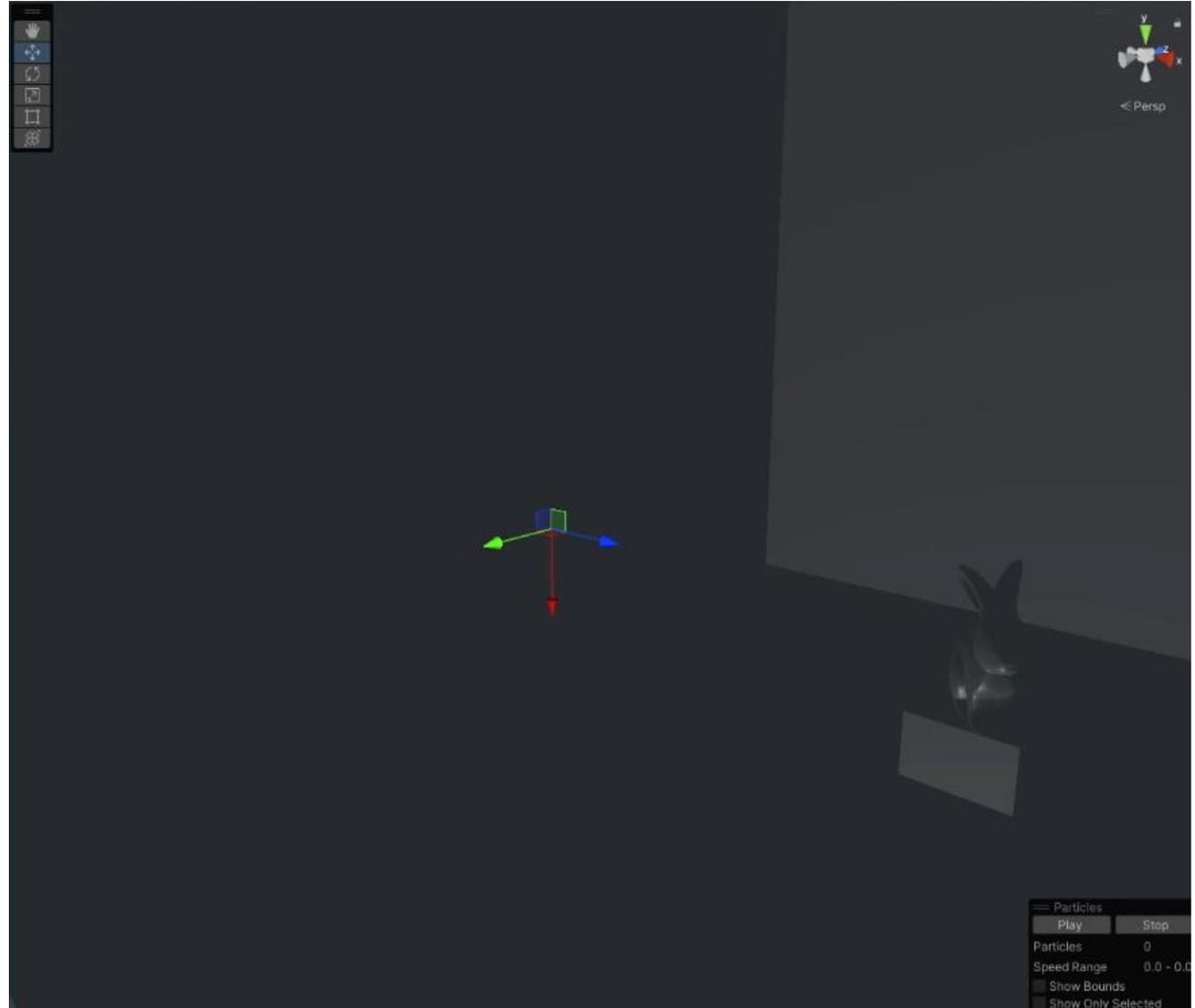
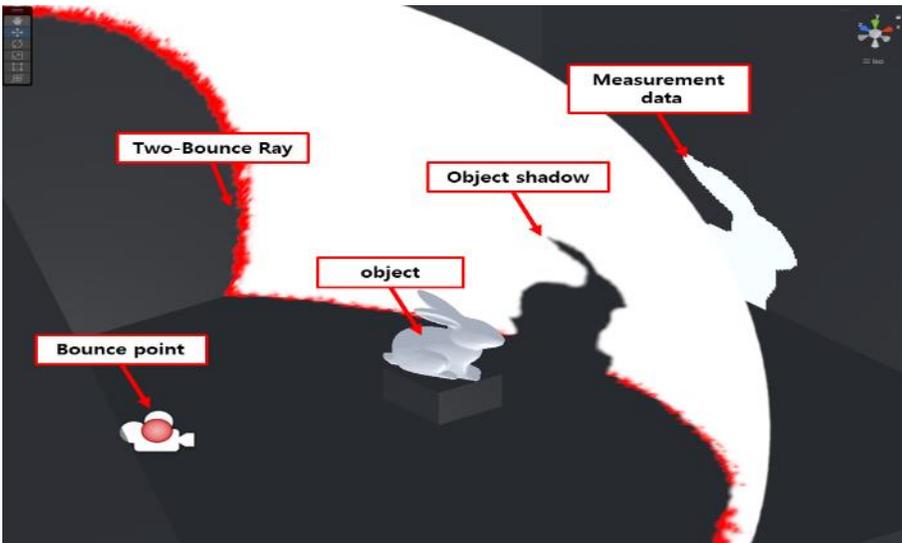
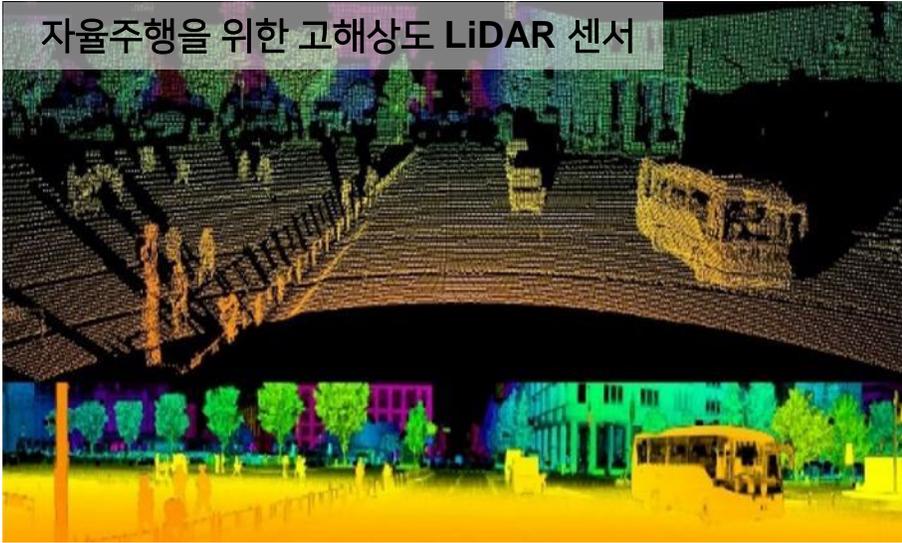


현실상 수집 어려운  
다양한 조건의  
데이터를  
합성증강 생성





자율주행을 위한 고해상도 LiDAR 센서



## 개발 비용 및 리스크 문제

- 높은 초기 개발 비용과 긴 소요 시간
- 투자 수익률(ROI) 예측에 대한 불확실성
- 실질적인 비용 절감 효과 입증의 어려움

## 유지보수 및 재활용성 문제

- 변화하는 제조 환경에 대한 반영이 어려움
- 재사용·확장 가능한 제조업 맞춤 모델 부족
- 시스템 규모에 비례한 유지보수 비용 상승

## 제조업 디지털 트윈 혁신 사례 (현대자동차 Meta Factory, BMW iFACTORY)

- 컴퓨팅 플랫폼에서 가상 공장을 구현하여 자동차 생산 프로세스를 혁신
- 디지털 트윈과 시를 통해 생산시스템의 설계, 시뮬레이션, 검증 실행
- 물류, 조립, 품질검사 등 모든 프로세스를 연결하여 자율화와 최적화 추진



**재사용이 가능하고, 확장이 용이하며 유지보수가 편리한**  
**제조업 특화 디지털 트윈 모델 생성 플랫폼 필요**

모듈형 프레임워크

확장 가능한 설계

상호운용 가능한 도구



# 3 Digital Twin in Manufacturing

---

**TOMORROW with KITECH**



**AI Factory:** AI의 지휘 하에 기계들이 스스로 감지(Perception)하고 판단(Planning)하며, 독립·협력적으로 적응(Optimization)하는 자율생산시스템

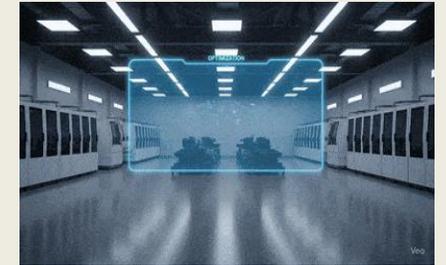
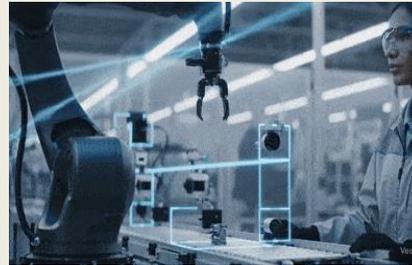
**Perception**  
(+Interpretation)



**Planning**  
(+Execution)

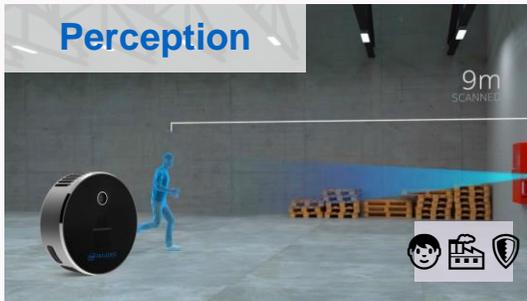


**Optimization**  
(+Orchestration)



## Advanced Technologies for AI Factory at KITECH

Human-centricity | Resilience | sustainability



**Multi-Sensor Fusion  
for HRC Safety**



**AMR Navigation  
in Occluded Zones**

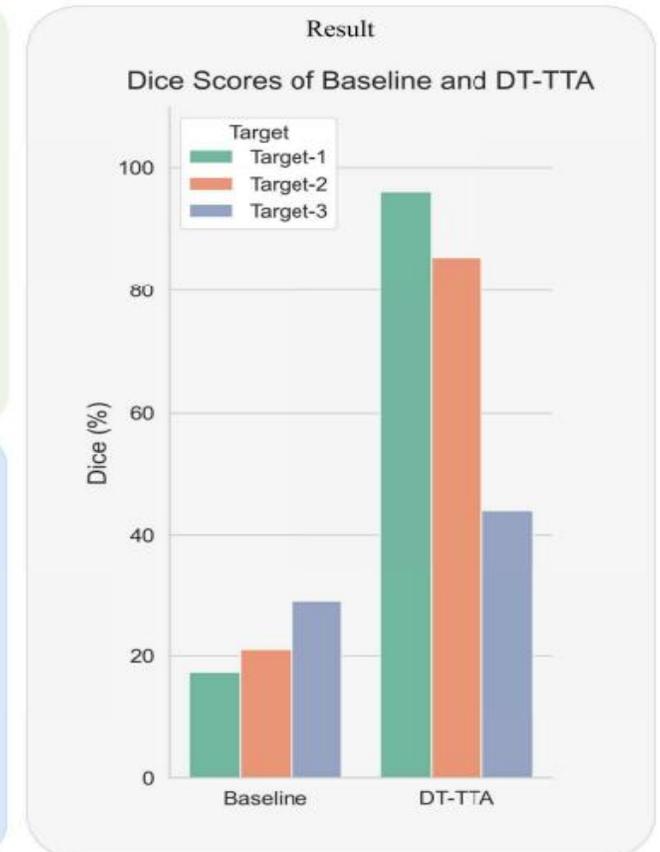
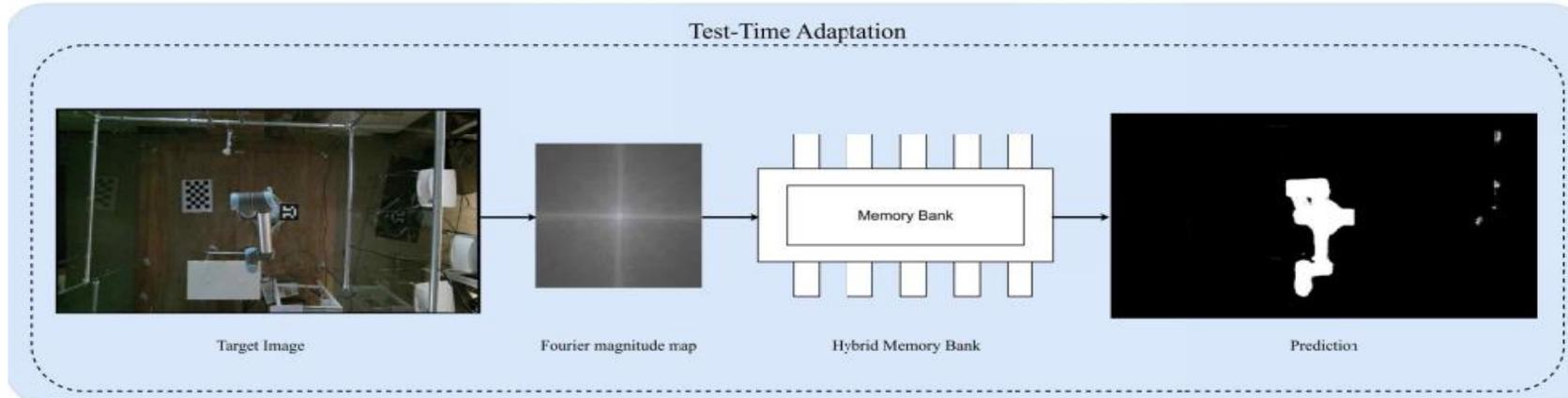
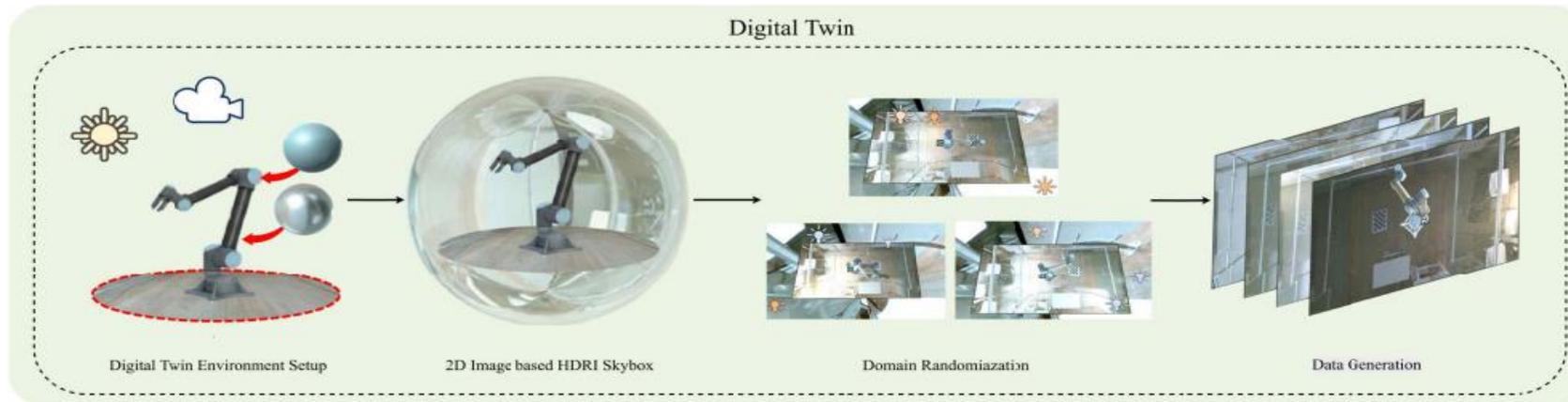


**Viewpoint Sampling  
for Robotic Inspection**

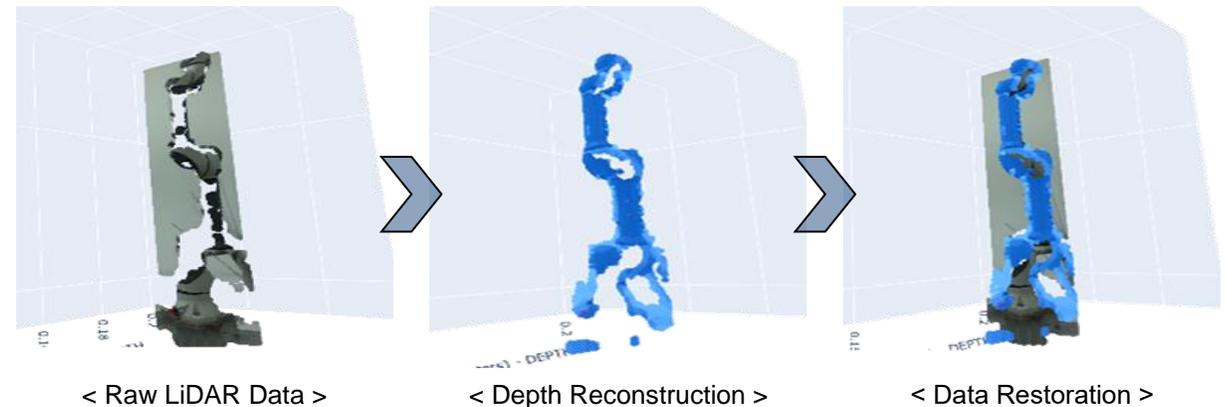
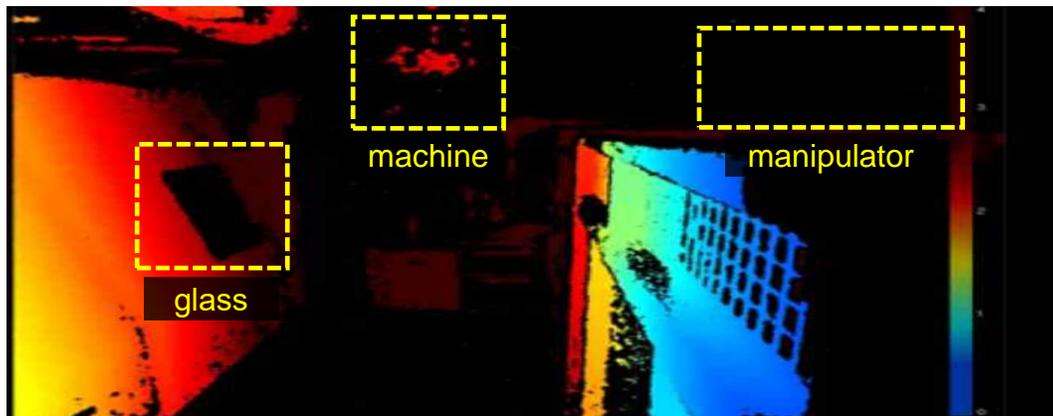
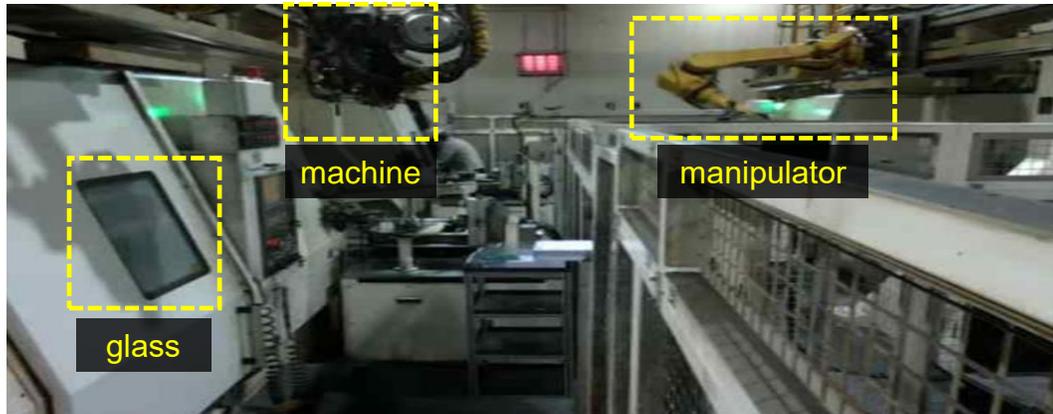


**AI Digital Twin  
Resilient Optimization**

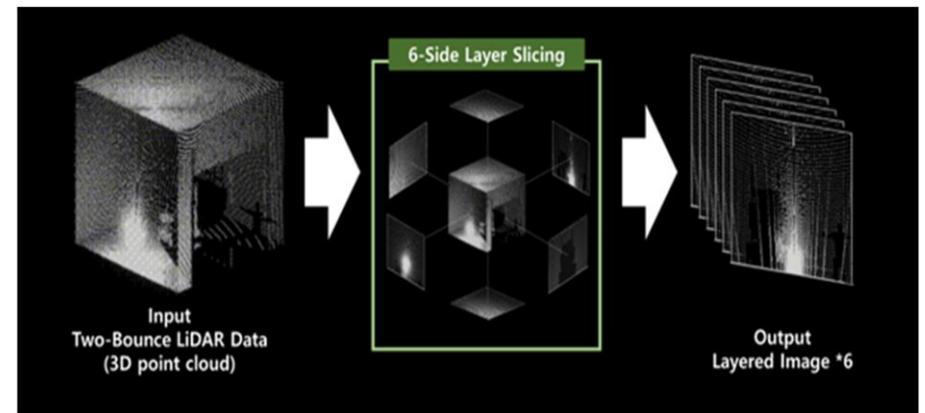
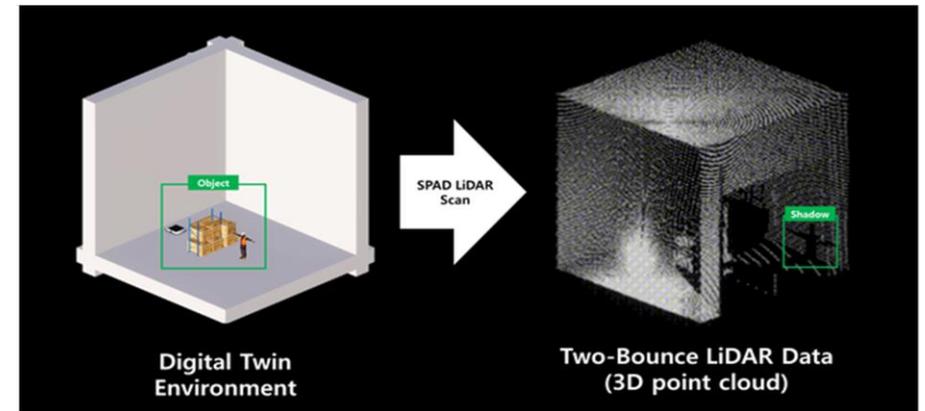
- 하이브리드 메모리 프롬프트를 통해 예측 불가능한 조명 변화에서도 비전 인식의 안정적인 적응을 지원하는 기술
- 주파수 융합을 통해 실제 입력과 합성 데이터 간 통계적 차이를 빠르게 정렬하여 도메인 변화 적응을 구현하는 기술



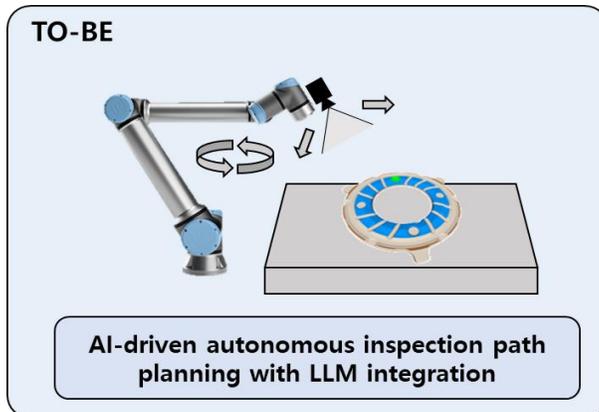
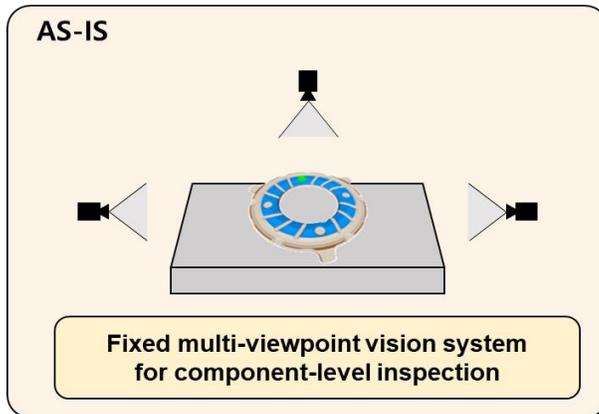
- LiDAR-RGB 센서 퓨전 및 AI 깊이 복원으로, 왜곡이 심한 난반사/투과 환경에서도 정확한 안전거리를 인식하는 기술
- 가려지거나 반사가 심한 환경에서도 작업자 위치를 정밀하게 인지하여, 안전한 인간-로봇 협업(HRC)을 보장하는 기술



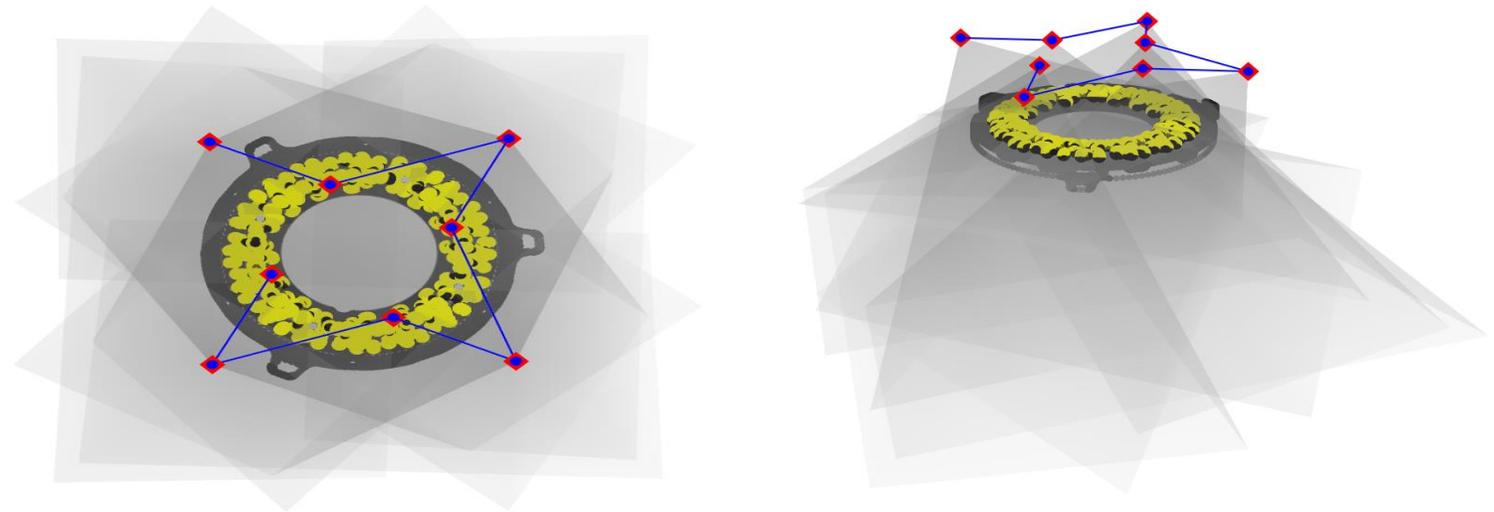
- 이중 반사 LiDAR와 딥러닝으로 사각지대의 동적 장애물을 감지하고, AMR이 선제적으로 회피 경로를 생성하는 기술
- 보이지 않는 위험을 예측하고 실시간 경로를 수정하여, 복잡한 제조 환경에서도 AMR의 안전한 자율주행을 지원하는 기술



- 사용자의 자연어 명령을 AI가 해석해 최적의 검사 영역(ROI)과 로봇 경로를 자동으로 생성하는 기술
- 직관적인 언어 명령으로 다양한 부품의 검사 경로를 즉시 생성하여, 작업 유연성과 편의성을 향상시키는 기술



Prompt:  
Generate a detailed inspection path for all surfaces where stress concentration is expected in a spiral pattern.

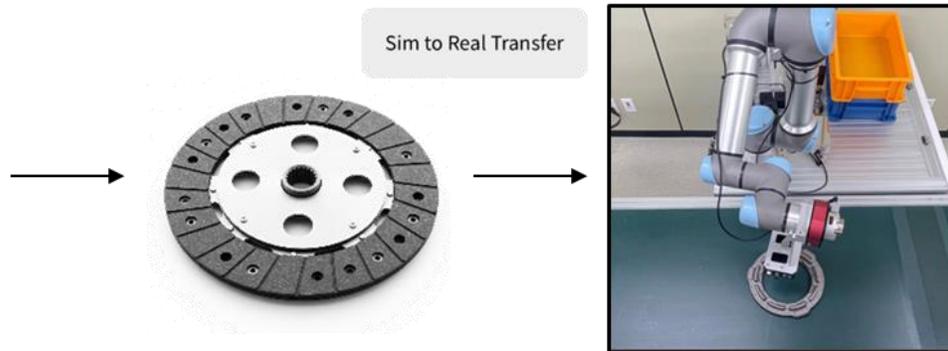


**Prompt based Coverage Path Planning Method**

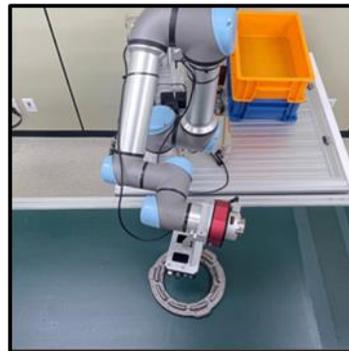
- 디지털 트윈 환경에서 다양한 조명 조건(정면, 측면, 역광 등)에서의 검사 경로 성능을 사전 테스트하는 기술
- 조명 변화에도 안정적인 검사 품질을 유지할 수 있는 최적 경로를 미리 선별하여 실제 현장에 적용하는 기술



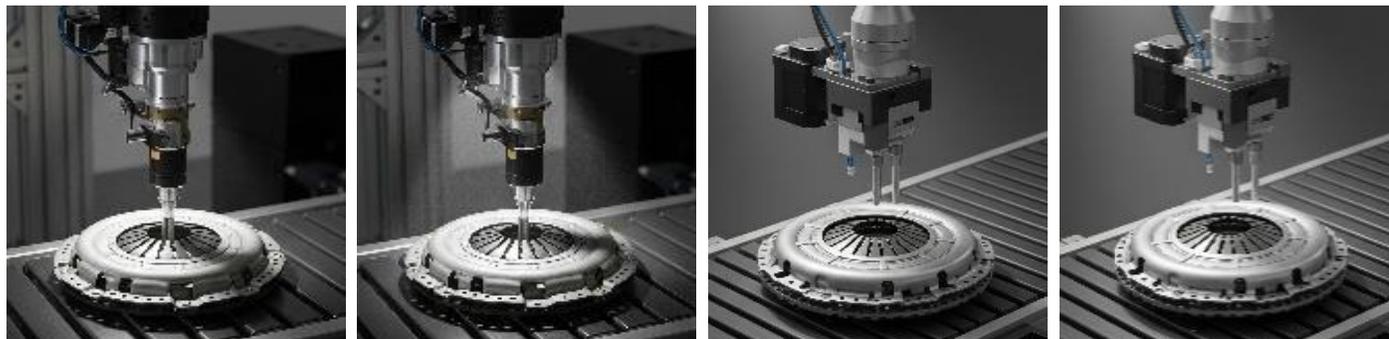
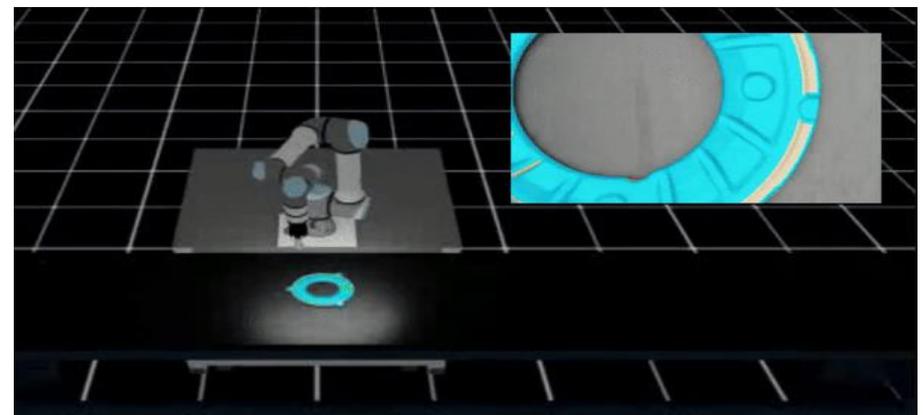
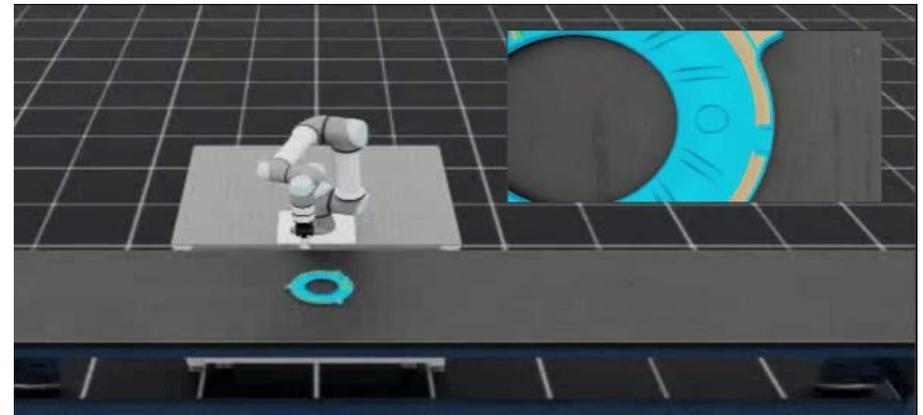
< Virtual Environment >



< Path Finding for Vision Inspection >



< Real Environment >

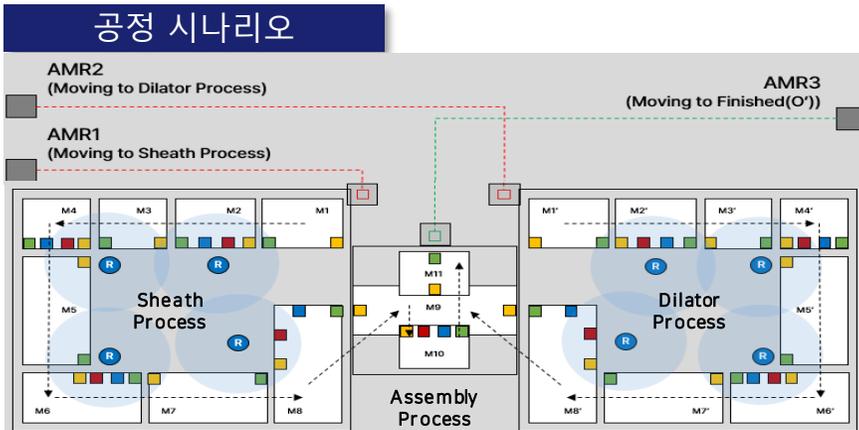


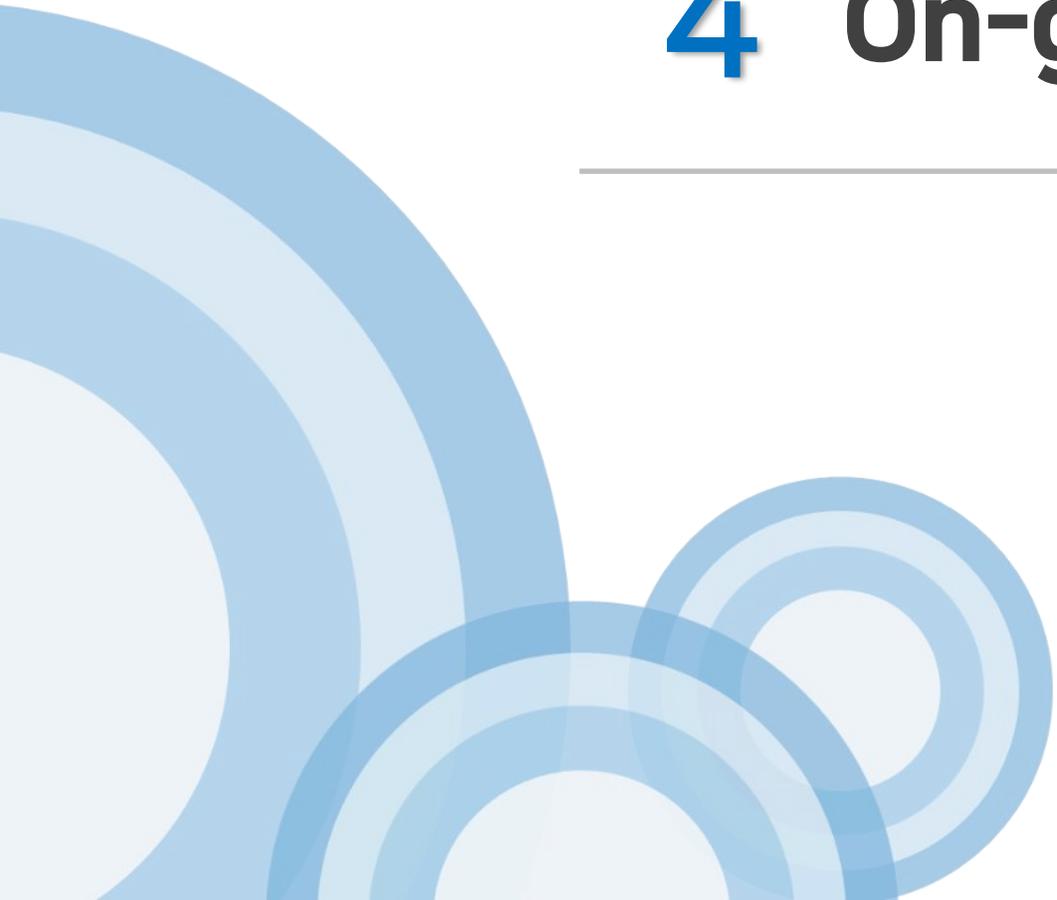
- 설비 도입 전, 다양한 생산 전략을 가상 검증하여 병목 현상과 생산 복원력을 미리 테스트하는 기술
- 예측 검증을 통해 가장 견고한 설비 구성과 운영 방안을 찾아, 리스크 없이 공장 설계를 최적화하는 기술



- ⚠ Challenging Event
- 👤 Complicated Network

- 🔄 Cycle Time Analyzing
- 🖥 Computer Simulation



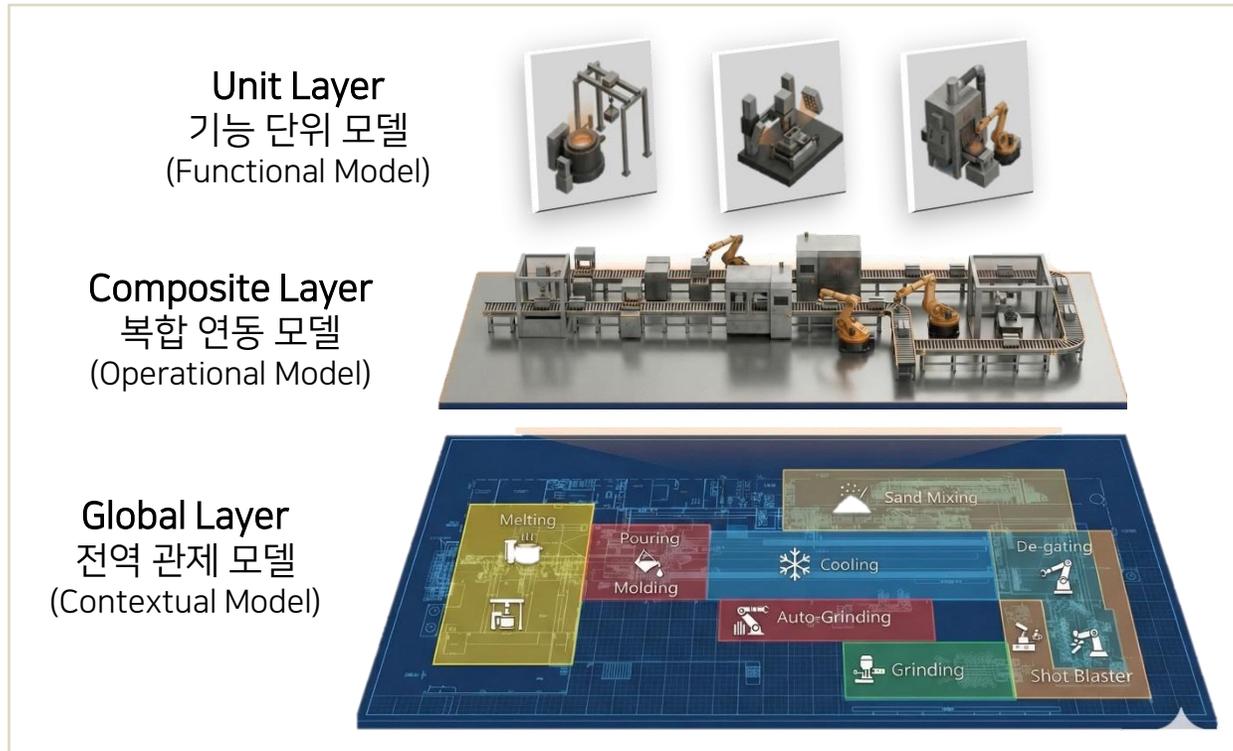


# 4 On-going Work

---

**TOMORROW with KITECH**

- 기능 단위 모델이 상호작용하며 전역으로 확장되는 프랙탈(Fractal) 연동 구조 설계
- 제조 디지털 트윈의 구성 요소를 엔지니어링(설계)과 실행(공정·물류·검사) 도메인으로 체계화

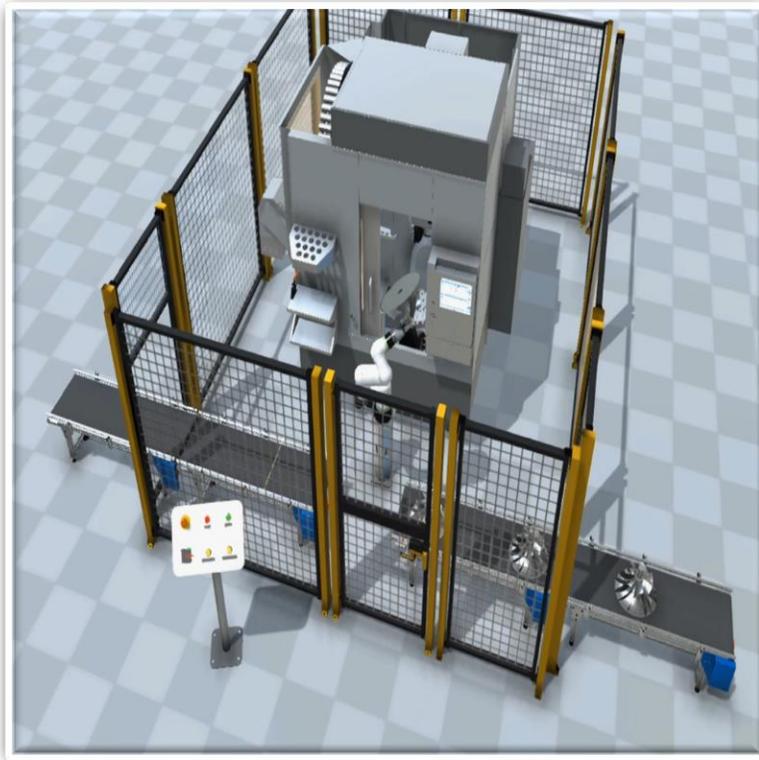


프랙탈 아키텍처 기반 다계층 기능 통합 구조

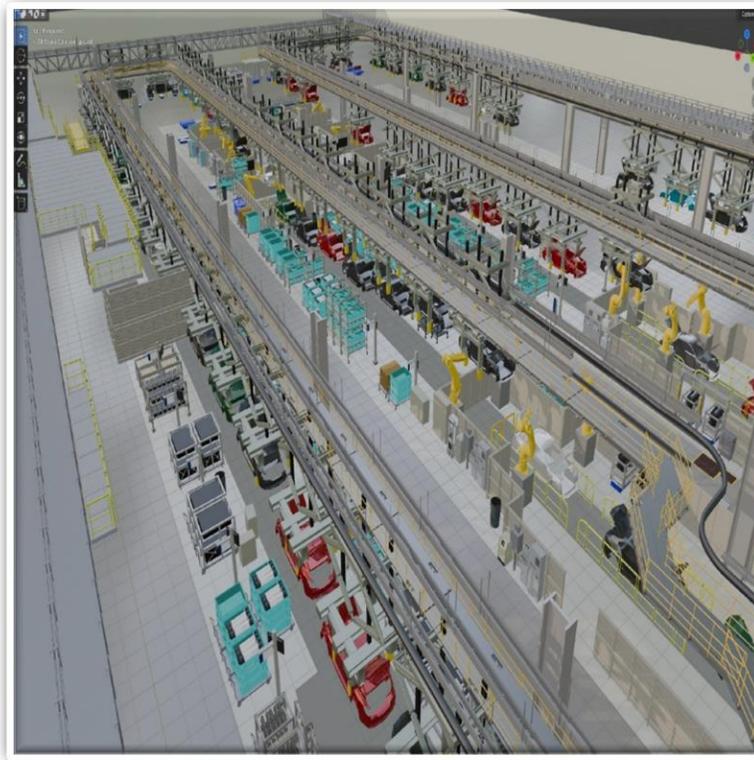
| 도메인   |              | 주요 역할 및 기능  |
|-------|--------------|---|
| 엔지니어링 | 설계 (Design)  | - 설비 최적 배치 및 레이아웃 구성안 도출<br>- 생산 시나리오별 목표 생산량 달성 여부 검증<br>- 공정 편성 효율화 및 라인 밸런싱 최적화              |
|       | 공정운전 (Make)  | - 개별 장비의 물리적 거동 및 공정 반응 정밀 모사<br>- 소재-설비 간 물리 반응 해석 및 공정 조건 최적화<br>- 데이터 매핑 및 시뮬레이션 기반 제어 정책 수립 |
| 실행    | 공정물류 (Move)  | - 공정 간 물류 정체 구간 식별 및 해소 방안 수립<br>- 이송 시스템의 경로 생성 및 운용 안정성 검증<br>- 공정 상황에 따른 최적 생산 시나리오 도출       |
|       | 품질검사 (Check) | - 가상 광학 시뮬레이션 기반 최적 검사 조건 도출<br>- 가상 계측 모델을 활용한 품질 변동 분석·예측<br>- 합성 데이터 생성을 통한 SI 모델 정합성 강화     |

제조 핵심 도메인의 주요 역할 및 기능 정의

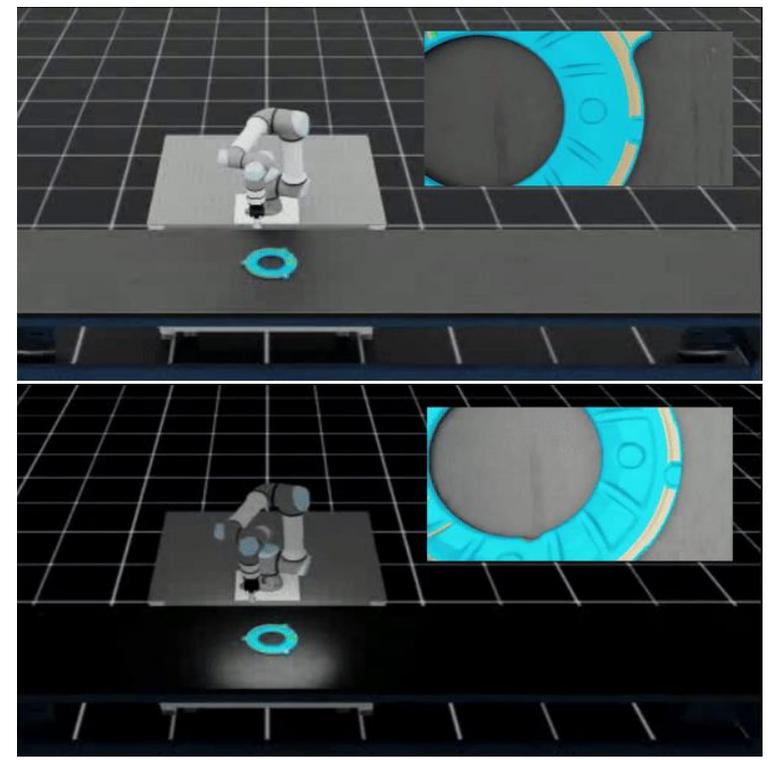
- 설계·공정·물류·검사의 4대 핵심 도메인별 디지털 트윈 참조 모델 개발 및 프로토타이핑 수행
- 새로운 제조 디지털 트윈 구축을 위해 활용 가능한 범용 요소 기술 확보 및 자산화 기반 마련



(공정) CNC 머신 운전 모듈

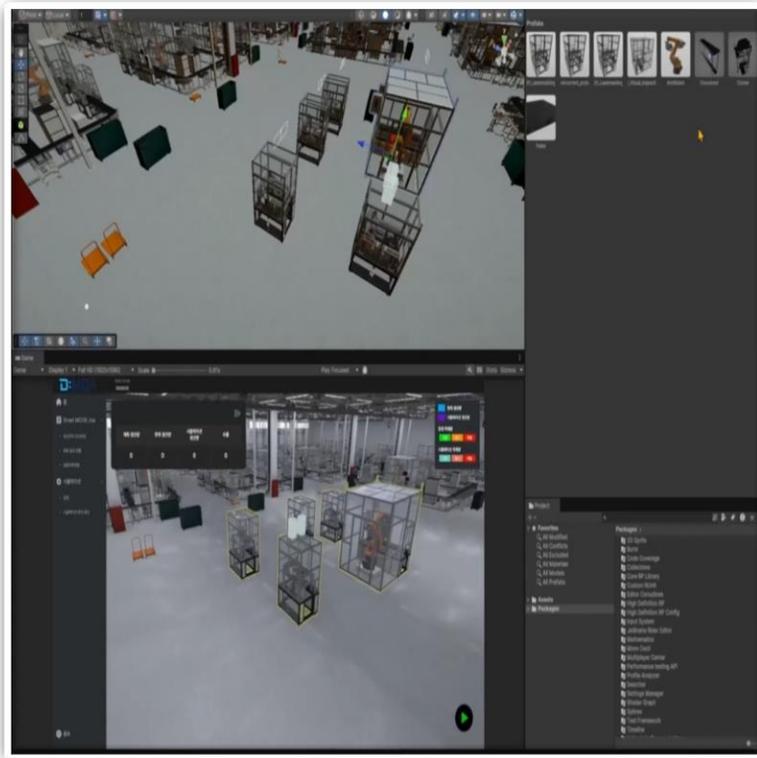


(물류) 생산 라인 운용·관제 모듈

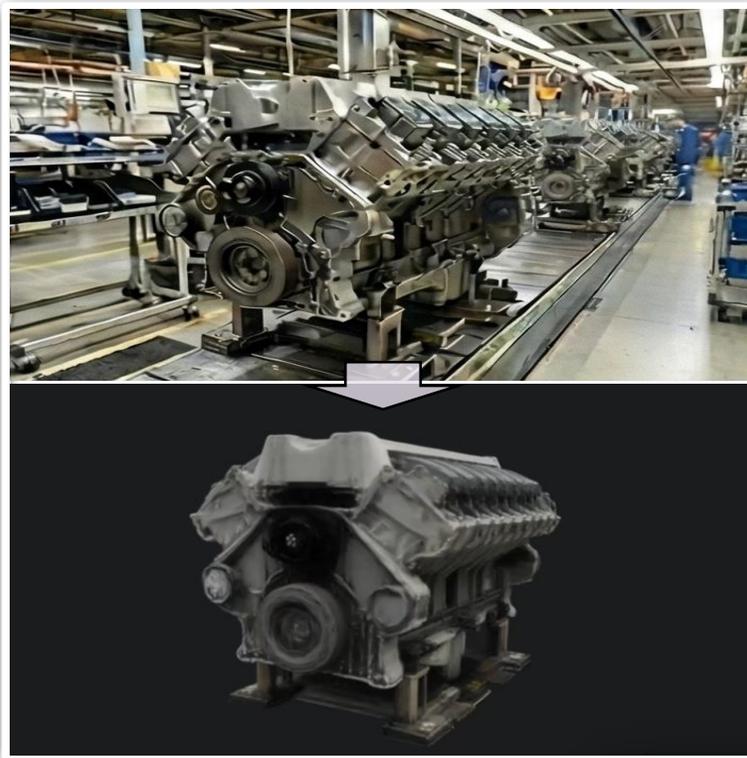


(검사) 로봇 비전 검사 모듈

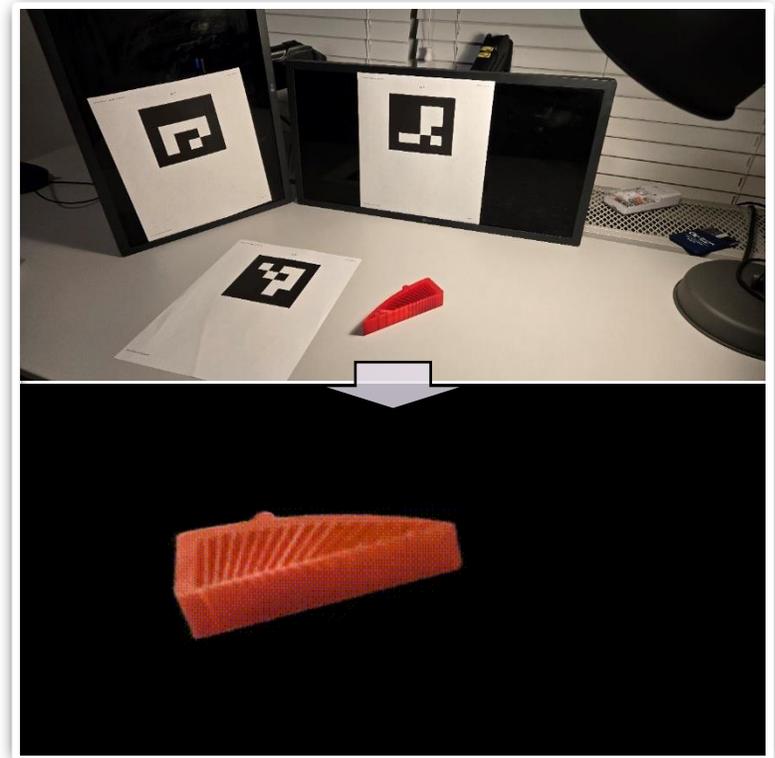
- 설계·공정·물류·검사의 4대 핵심 도메인별 디지털 트윈 참조 모델 개발 및 프로토타이핑 수행
- 새로운 제조 디지털 트윈 구축을 위해 활용 가능한 범용 요소 기술 확보 및 자산화 기반 마련



(설계) 가상 공장 설비 배치 도구



(범용) 단일 이미지-3D 생성 도구



(범용) 다시점 이미지-3D 생성 도구

- 실제 현장의 다이캐스팅 머신 및 주변 설비의 LiDAR 스캔 및 역설계를 통한 3D 모델 확보
- 가상 환경에서의 설비 구동 시뮬레이션을 위한 키네마틱 속성 정의 및 로봇 연동 기반 마련



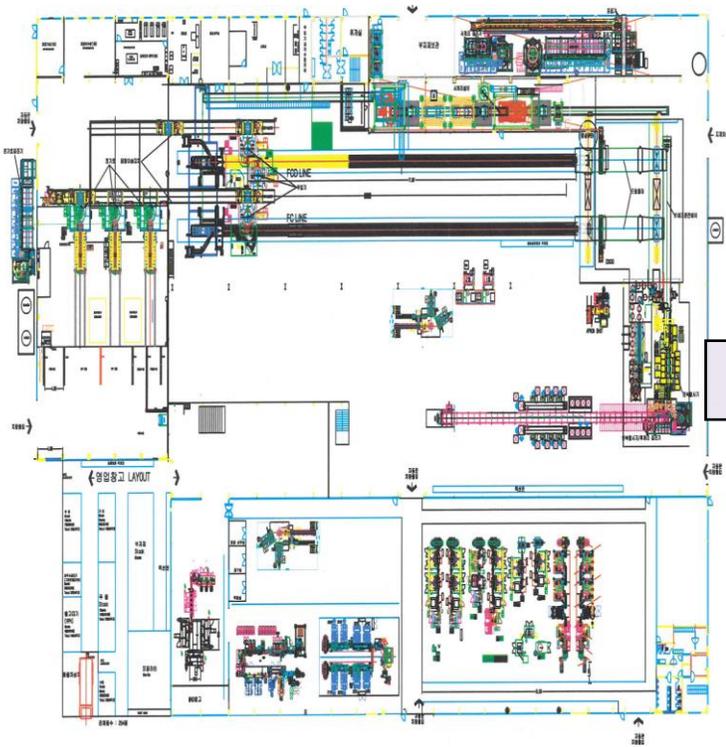
다이캐스팅 공정 설비 (주조기 및 취출 로봇)



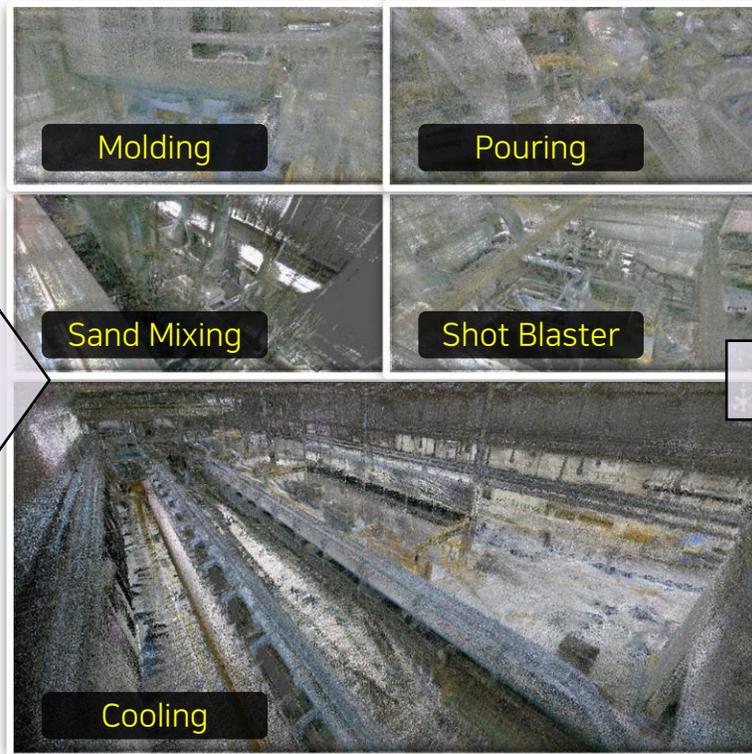
실측 기반 3D 설비 모델링 및 가상화

# 사형주조 공장의 정밀 3D 디지털 맵 구축

- 약 15,800㎡ 규모의 공장 전체를 고정밀 LiDAR로 스캔·정합하여 3D 포인트 클라우드 확보
- 전체 공간의 3D Mesh 재구성 및 주요 설비의 객체 분할 모델링을 통한 사형주조 가상 공장 구축



공장 레이아웃

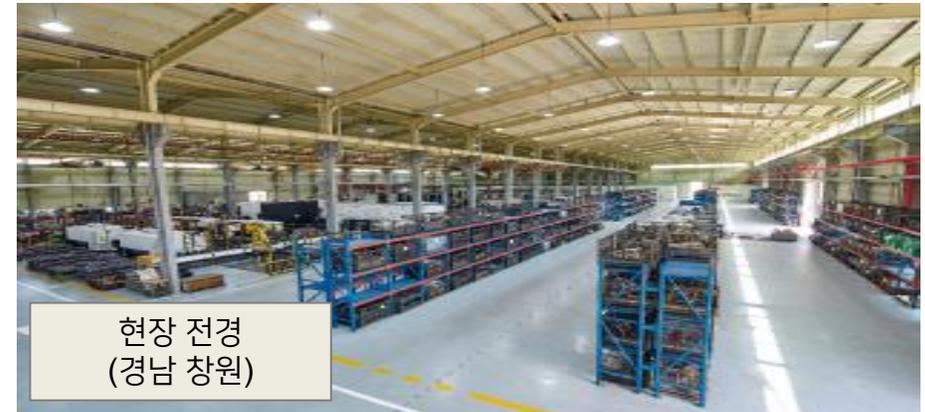
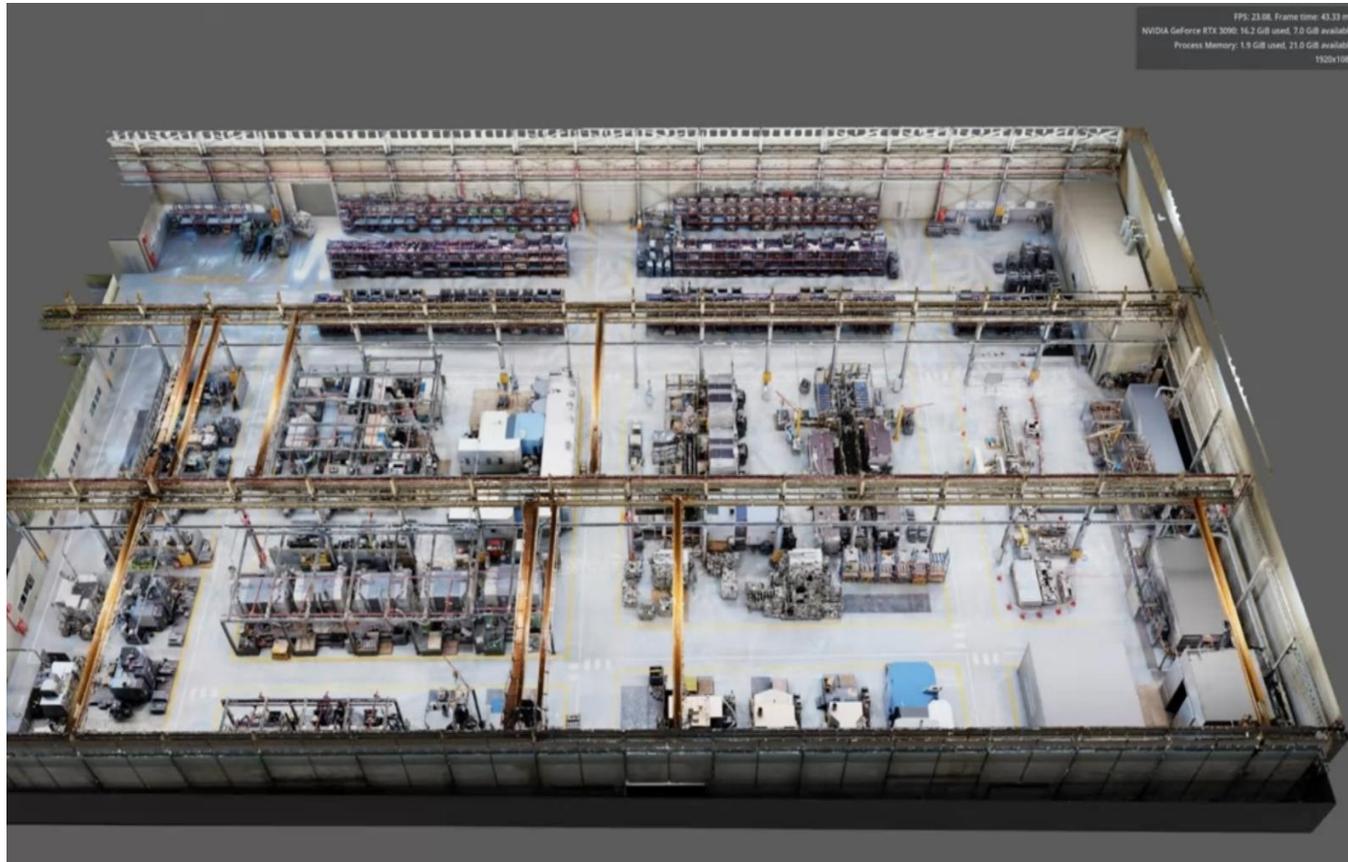


실 좌표와 정합된 포인트 클라우드



실 좌표계와 정합된 가상 공장

- 3D 스캔 데이터를 활용하여 중장비 부품의 제조 공장을 가상 환경(NVIDIA Isaac Sim)에 정밀하게 복제
- 신규 설비 도입이나 생산 라인 변경 시 가상 시뮬레이션을 통해 간섭을 사전에 검토하고, 로봇 및 물류 동선을 최적화

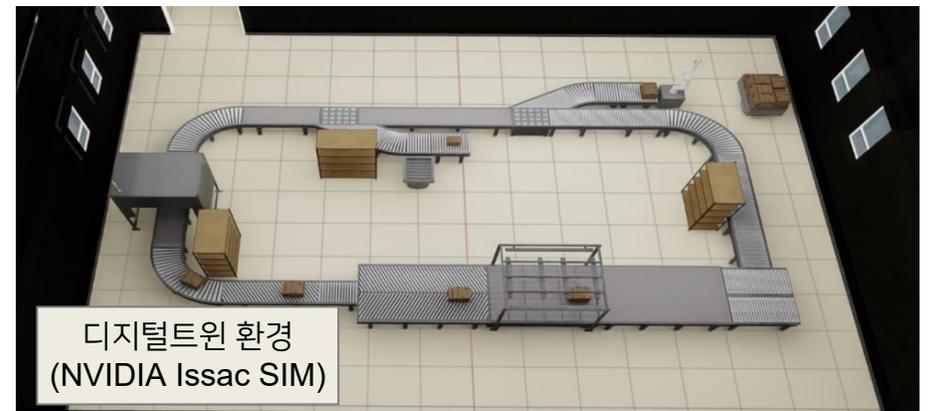


현장 전경  
(경남 창원)

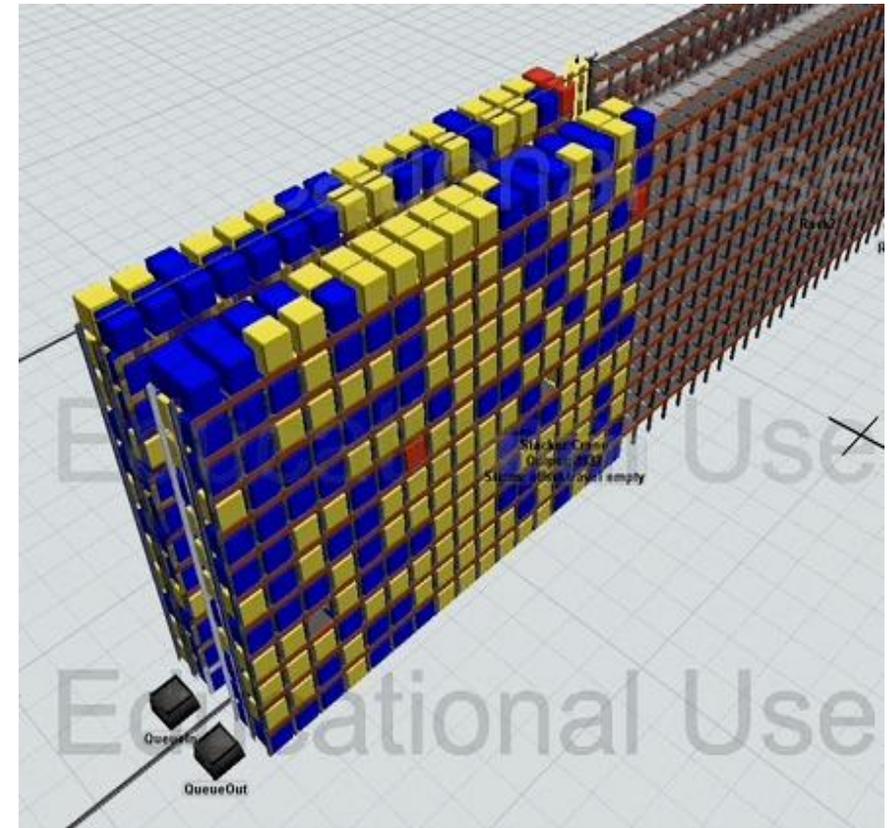
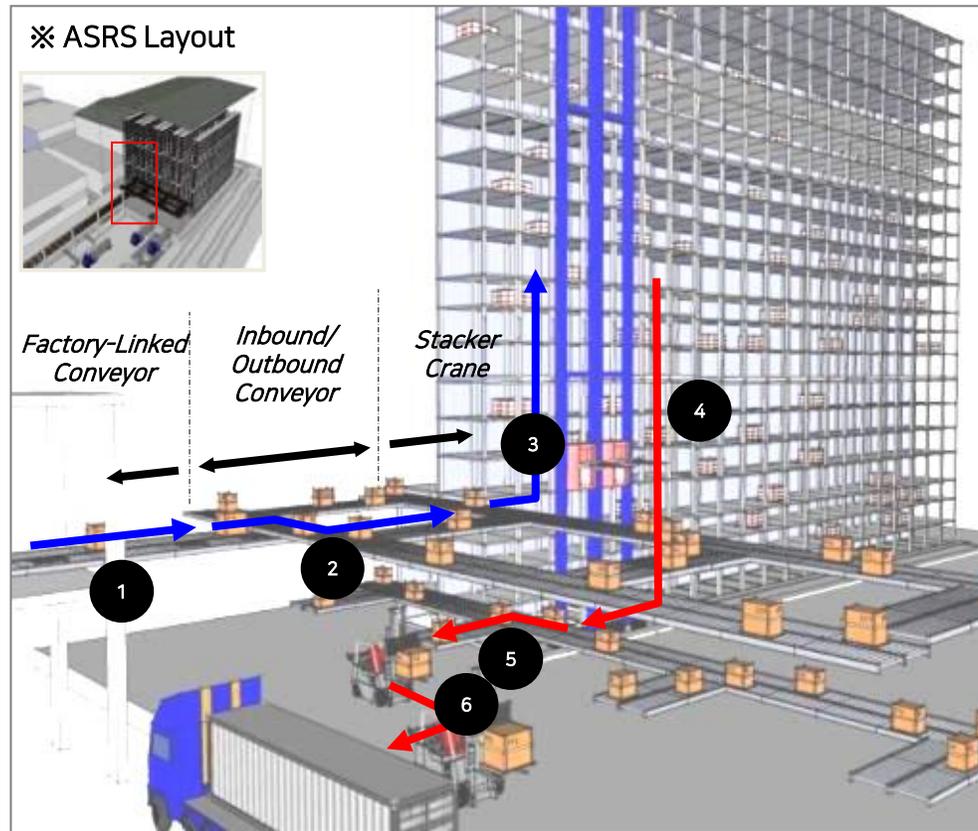
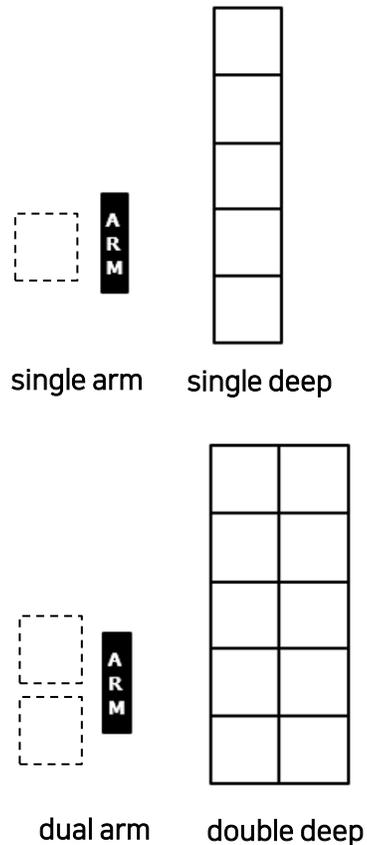


디지털트윈 환경  
(NVIDIA Isaac Sim)

- 실제 물류 테스트베드의 설비와 상용 자율이동로봇(AMR)을 가상 환경(NVIDIA Isaac Sim)에 정밀하게 복제
- 물품 픽업, 이송, 분류 등 복잡한 물류 시나리오를 반복 학습하며, 다수 로봇의 운영 효율을 극대화하는 최적 운영 방안 도출



- 듀얼암 스택커 크레인과 이중 깊이 랙을 활용한 배터리 ASRS\*의 운용 알고리즘 기술
- 저장 및 회수 작업 시 사이클 타임을 단축하고 처리 효율성을 향상시키는 최적화 기술



- A digital twin platform that integrates **various digital twin models, data platforms, and AI solutions**, enabling comprehensive support for R&D in advanced manufacturing processes.

