

데모공장 IIoT 시스템 및 실습과정

# 디지털 트윈을 위한 머신비전 기반 제품 불량 탐지

조명: Safety Guard

소속: 성균관대

조원: 박수정, 유지수, 윤종필,  
이운형, 이중언, 이찬혁, 홍정민

후원 |



산업통상자원부

beyond leading technology

KIAT

KOIIA 한국산업지능화협회

사람투자

주관 |

KPU

한국산업기술대학교

참여 |



경희대학교  
KYUNGHEE UNIVERSITY



충북대학교  
CHUNGBUK NATIONAL UNIVERSITY



동아대학교  
DONG-A UNIVERSITY



성균관대학교  
SUNGKYUNKWAN UNIVERSITY

KOSMO  
스마트제조혁신추진단

kpc

한국생산성본부  
KOREA PRODUCTIVITY CENTER

KEITI

한국전자기술연구원



SMIC  
ACADEMY

# 데모공장 IIoT 시스템 및 실습과정 디지털 트윈을 위한 머신비전 기반 제품 불량 탐지

## CONTENTS

---

1. 팀 소개
2. 프로젝트 개요
3. 프로젝트 배경 및 필요성
4. 대상 설비 및 환경
5. 시스템 프레임워크/아키텍처
6. 프로젝트 구현
7. 검증 및 시연 결과
8. 의의 및 기대효과
9. 한계 및 보완점

# 1. 팀 소개

## - Safety Guard



- 홍정민
- 성균관대/산업공학과
- 연구분야: 이상치 탐지, 딥러닝
- 역할 : 모델 구현 및 결과 분석



- 윤종필
- 성균관대/산업공학과
- 연구분야: Digital Twin, Smart Manufacturing
- 역할 : 시뮬레이션 및 CPS 구축



- 유지수
- 성균관대/산업공학과
- 연구분야: 데이터 마이닝, 딥러닝
- 역할 : 모델 구현 및 결과 분석



- 이윤형
- 성균관대/산업공학과
- 연구분야: Continual learning
- 역할 : 모델 구현 및 결과 분석



- 곽수정
- 성균관대/산업공학과
- 연구분야: 시계열 분석, 머신러닝
- 역할 : 모델 구현 및 결과 분석



- 이찬혁
- 성균관대/산업공학과
- 연구분야: CPS, Digital Twin, Smart Manufacturing
- 역할 : 시뮬레이션 및 CPS 구축



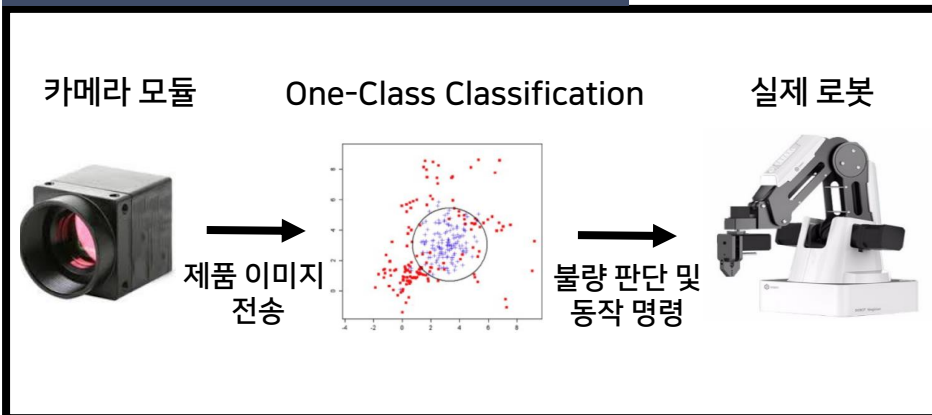
- 이종언
- 성균관대/산업공학과
- 연구분야: PHM, 3D 프린팅
- 역할 : 모델 구현 및 결과 분석

## 2. 프로젝트 개요

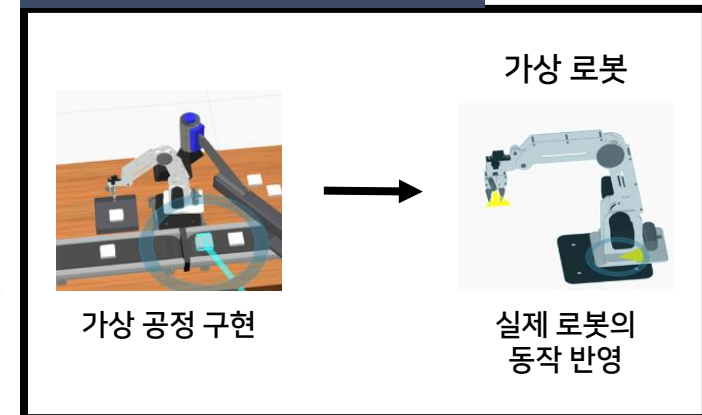
### - 디지털 트윈을 위한 머신비전 기반 제품 불량 탐지

- 목표
  - 제품의 이미지를 딥러닝 모델을 통해 판별하여 불량 판단
  - 제품 불량 판단 결과를 반영할 가상 환경 구현
  - 실제 환경과 가상 환경을 실시간 연동하는 디지털 트윈 기반 기술 마련
- 방법
  - 제품의 이미지를 통해 제품의 불량을 판단하는 Pick-and-Place 로봇 구현
  - One-Class Classification 알고리즘에 기반하여 정상 데이터만으로 제품 불량 판단
  - Visual Components를 통해 실제 환경과 유사한 가상 환경 구현
  - 제품 불량 판단 결과를 OPC UA를 통해 가상 환경에 연동하여 가상 환경 내 로봇에 반영

#### One-Class Classification 기반 불량 탐지



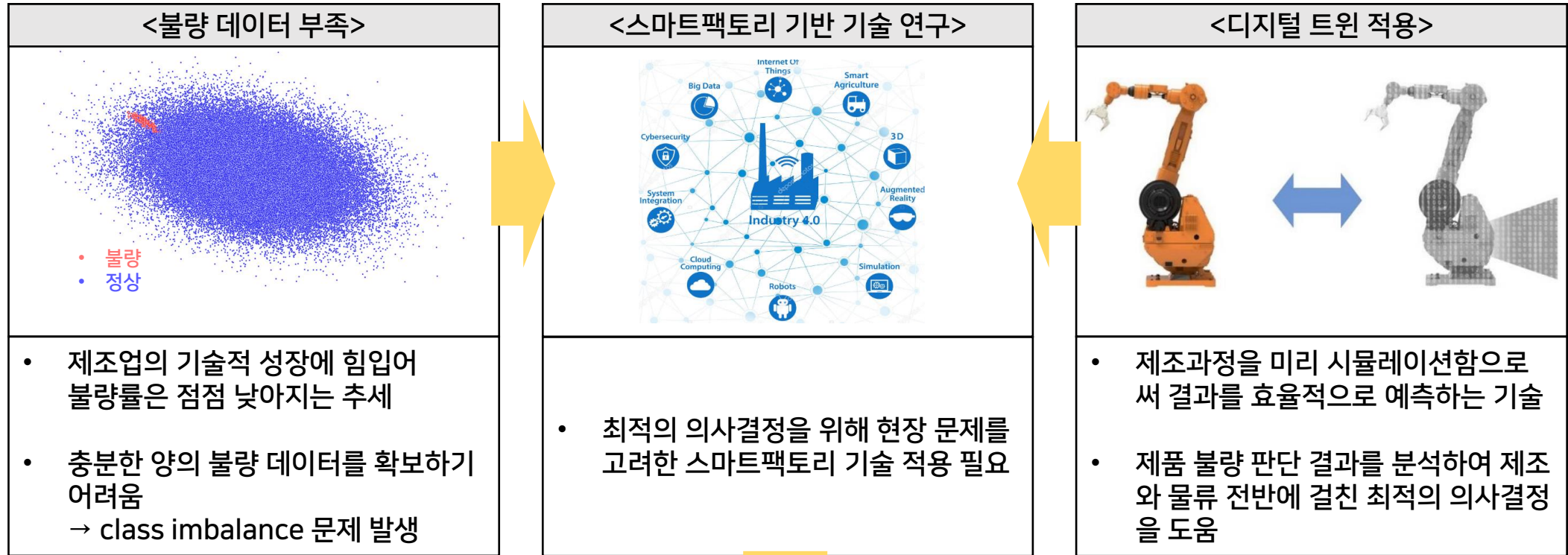
#### 시뮬레이션 기반 가상 환경 구현



### 3. 프로젝트 배경 및 필요성 (1/2)

#### - 현장 문제를 고려한 스마트팩토리 기술 연구: 불량 데이터 부족 문제

- 연구 배경 및 필요성

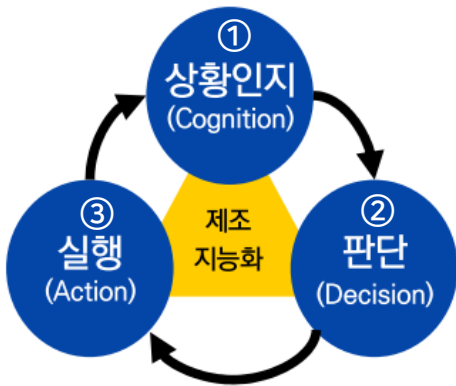


머신 비전 기반 불량 판단 알고리즘 및 실제 로봇을 통해 불량에 대처하는 테스트베드를 구축,  
이를 디지털 트윈과 접목시켜 스마트팩토리 구현 핵심 기술 개발에 기여하고자 함

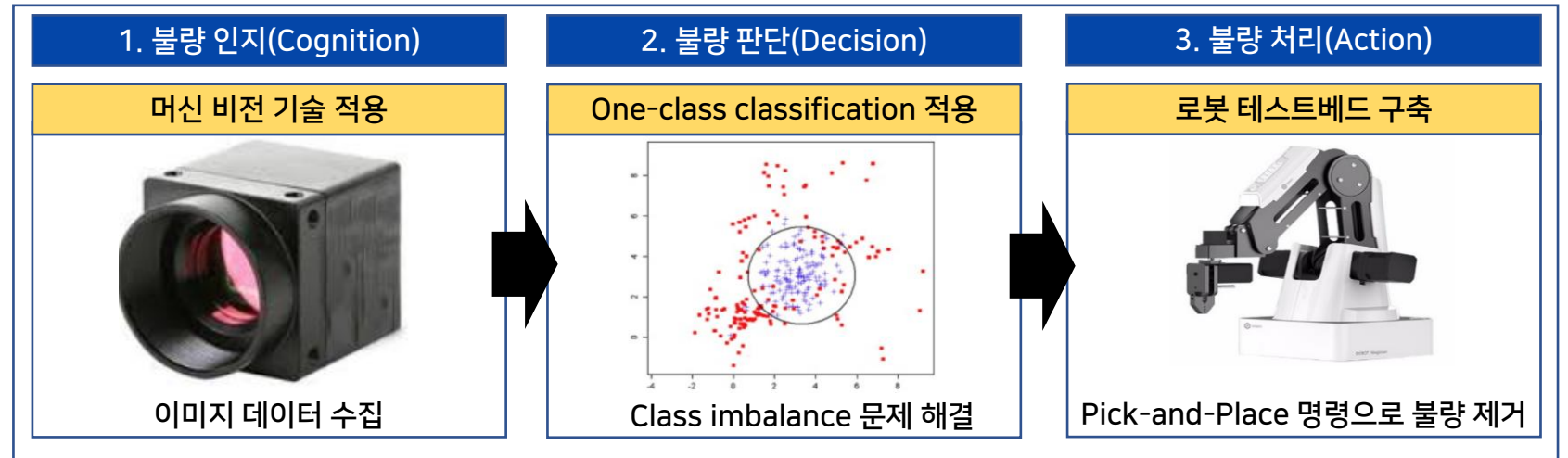
### 3. 프로젝트 배경 및 필요성 (2/2)

- 스마트팩토리 구현의 핵심 기술 연구: 제조 지능화 및 디지털 트윈

- 제조 지능화 개념을 적용하여 불량 판단 지능화 기술을 개발
  - 상황인지 (Cognition): 데이터 수집을 통한 제조 현장의 상황 인지 (IIoT 기술)
  - 판단 (Decision): 제조 데이터 관리 및 분석 (빅데이터/AI 기술)
  - 실행 (Action): 지능화된 제조 실행 및 설비 제어 (제조 응용 솔루션)



제조 지능화 구현의 3요소



각 요소에 적합한 기술을 적용하여 불량 판단 지능화 구현

OPC UA연동을 통한 가상 공정 구현



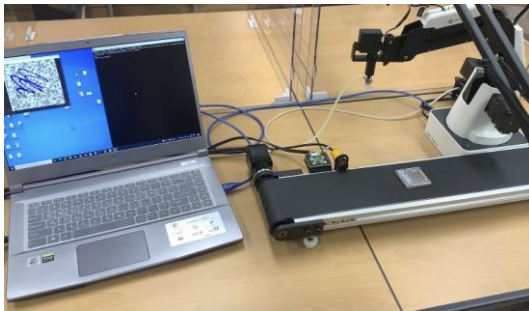


## 4. 대상 설비 및 환경

- 제품의 불량을 판단하는 실제 환경 및 불량 판단 결과를 받는 가상 환경

### 실제 환경

- 대상 설비
  - Pick-and-Place 로봇
- 실제 환경
  - 스마트폰 카메라
  - 정상과 불량 제품
  - 컨베이어 벨트가 포함된 제조 플랫폼 실증 테스트베드

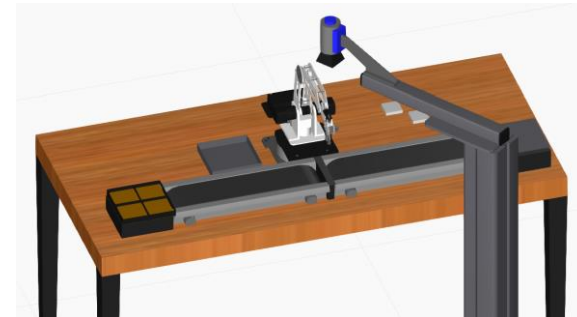


### 통신 환경



### 가상 환경

- 대상 설비
  - Pick-and-Place 가상 로봇
- 시뮬레이션 환경
  - Visual Components 4.2
  - 가상 윈도우



## 5. 시스템 프레임워크/아키텍처 (1/3)

### - 현재 디지털 트윈 성숙도 수준 및 구현 단계 설정

- 디지털 트윈 성숙도 및 현재 구현 단계

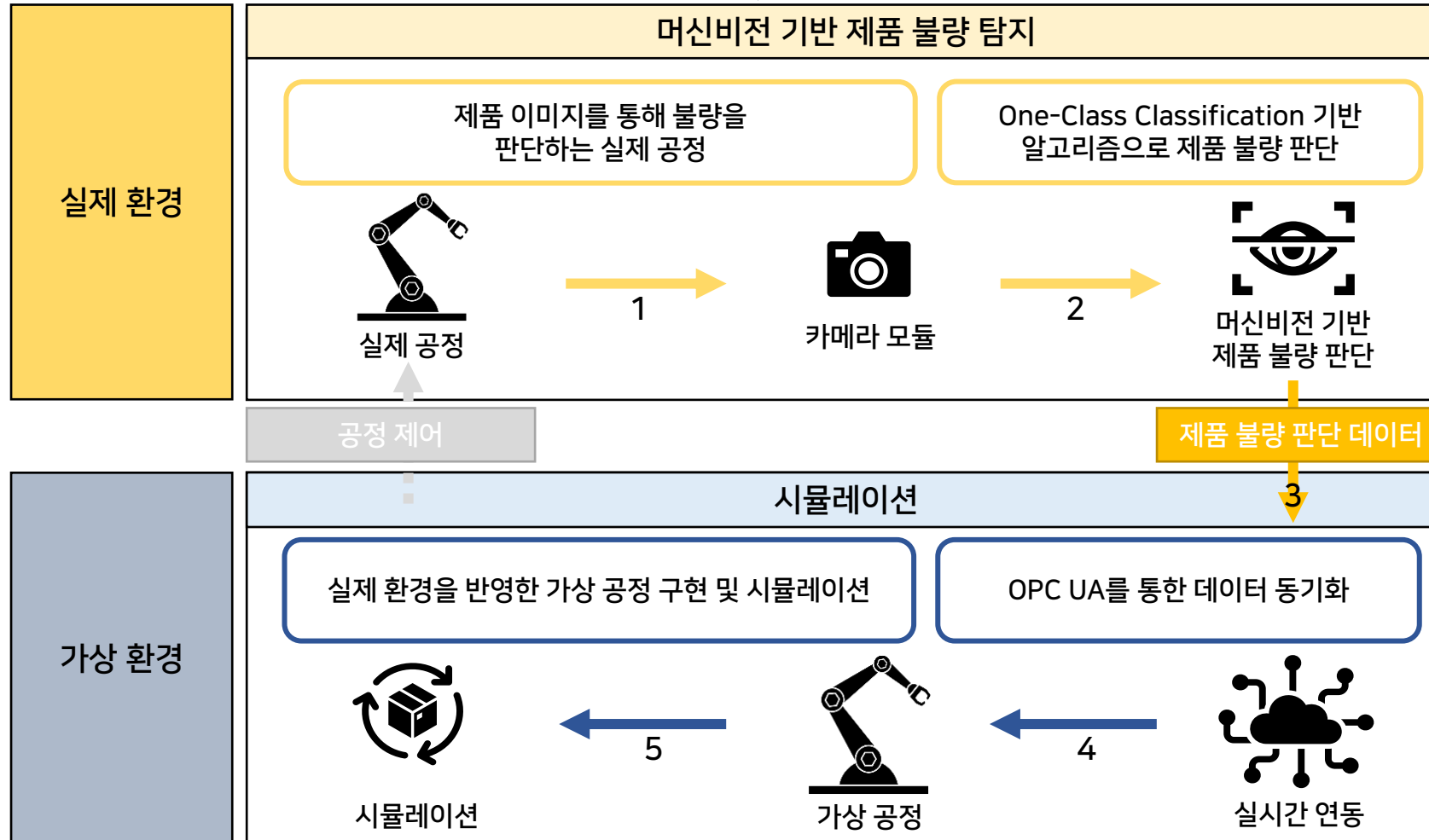
성숙도 수준	디지털 트윈 명칭	요구사항
Level 5	자율 (Autonomous)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현실의 물리 트윈과 다수 디지털 트윈들 간의 실시간, 통합적, 자율 동기화 동작</li> <li>- 자가 진단 및 자율 제어가 이루어지고, 사람의 개입이 불필요</li> </ul>
Level 4	상호작용 (Interactive)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Digital Twins 간의 연계, 동기화 및 상호 작용 작업</li> <li>- 동작 수행을 위해 사람의 개입이 요구</li> </ul>
Level 3	동적 (Dynamic)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 동작 모델에 대한 입력 변수의 변화를 통해 변화되는 동작 시뮬레이션 가능</li> <li>- 현실 대상의 로그 데이터를 바탕으로 동작 모델을 통해 문제를 재현하여 원인 분석을 할 수 있음</li> <li>- 최종적인 실행 단계에서 관리자의 확인과 결정을 통한 개입이 필요할 수 있음</li> </ul>
Level 2 (현재 수준)	정적 (Static)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 행동 및 역학 모델은 없지만, 프로세스 논리가 적용되어 운영</li> <li>- 실시간 모니터링</li> <li>- 부분 자동 제어, 그러나 주로 인간의 개입을 통한 동작</li> </ul>
Level 1	형상모사 (Look-alike)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2D 또는 3D로 모델링되어 시각화된 현실</li> <li>- 외부 시스템과 연계되어 있지 않음</li> </ul>



## 5. 시스템 프레임워크/아키텍처 (2/3)

### - 머신 비전 기반 제품 불량 탐지 및 공정 제어 시스템 아키텍처

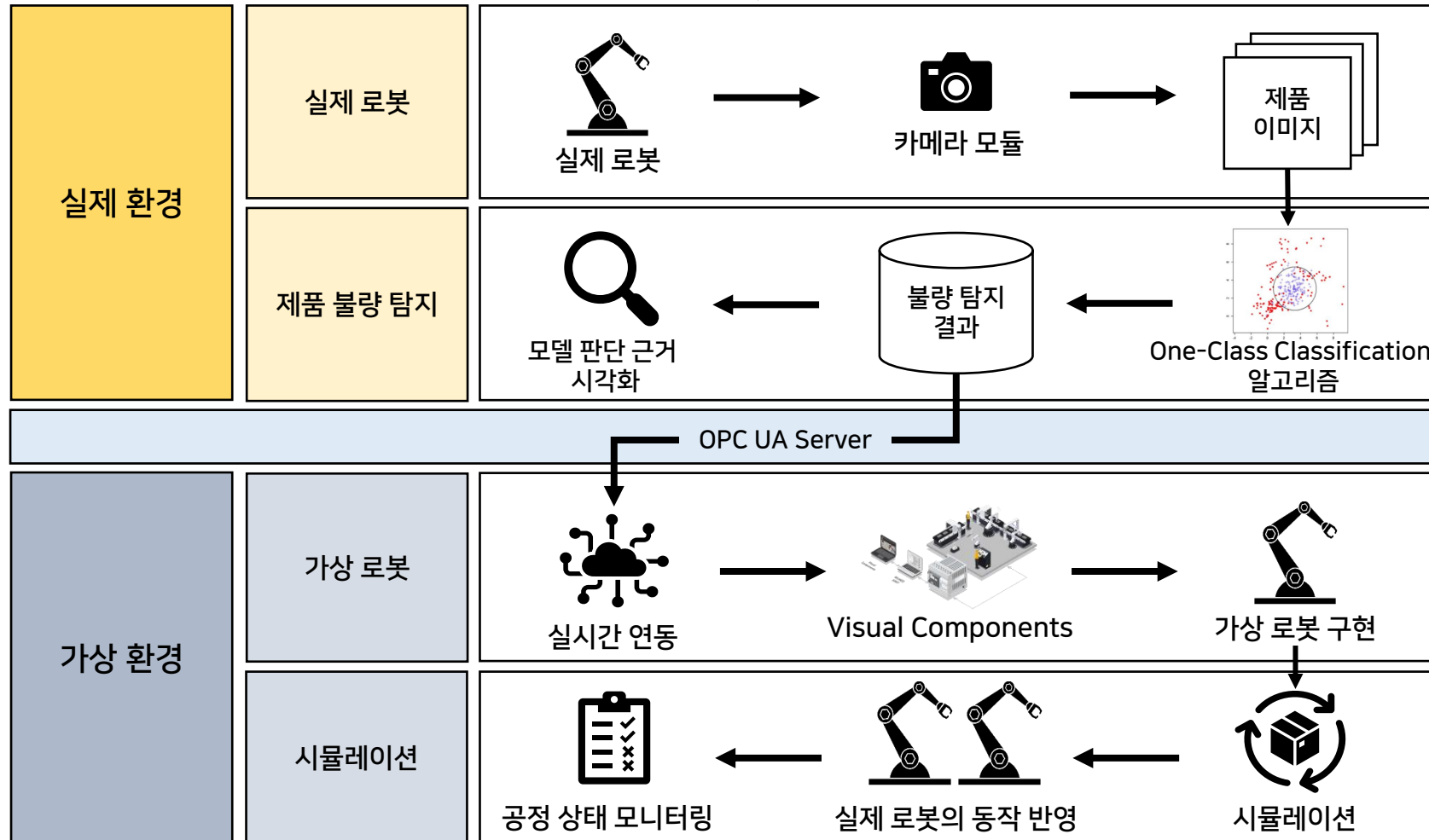
- 실제 환경 내 머신비전 기반 제품 불량 탐지 → 가상 환경 내 시뮬레이션에 반영



## 5. 시스템 프레임워크/아키텍처 (3/3)

### - 머신 비전 기반 제품 불량 탐지 및 공정 제어 프레임워크

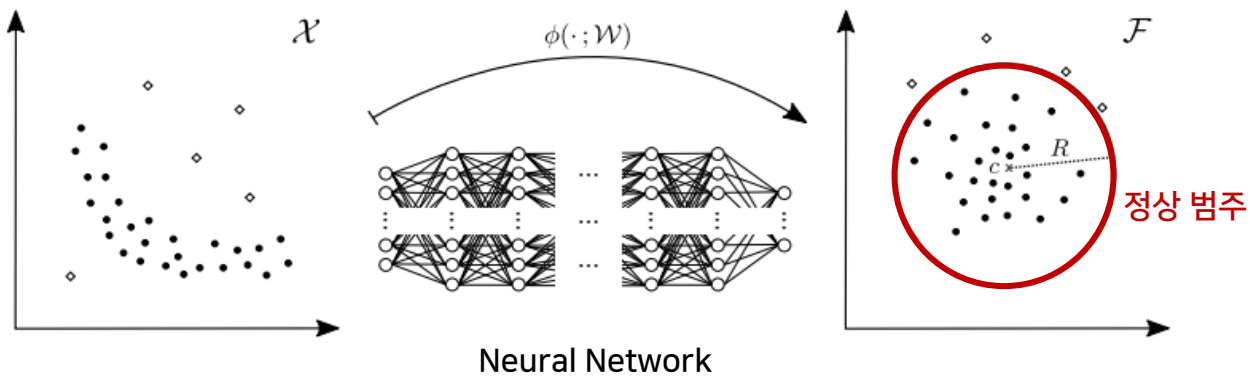
- 실제 환경 내 머신비전 기반 제품 불량 탐지 → 가상 환경 내 시뮬레이션에 반영



## 6. 프로젝트 구현 - 제품 불량 탐지 (1/2)

### - One-Class Classification 알고리즘 기반의 제품 불량 탐지 모델 생성

- One-Class Classification : 정상 데이터의 특징만으로 불량 탐지
  - 개념
    - 학습 단계에서, Neural Network 기반의 딥러닝 모델에 정상 데이터만으로 구성된 데이터셋을 넣어 정상 데이터만을 포함하는 특징을 추출
    - 평가 단계에서, 입력 데이터가 정상 데이터의 특징과 맞지 않으면 불량이라고 판단
  - 장점
    - 불량이 희소한 상황에서 사용하기 용이함
    - 정상의 범주를 벗어나는 다양한 유형의 불량을 검출할 수 있음

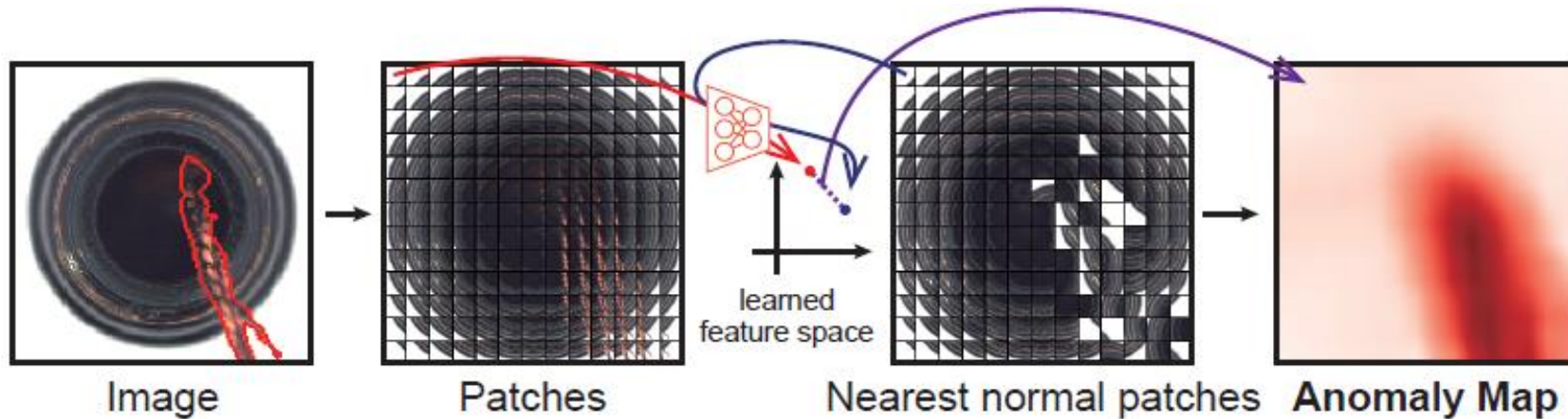


<One-Class Classification 개념 개요>

## 6. 프로젝트 구현 - 제품 불량 탐지 (2/2)

### - One-Class Classification 알고리즘 기반의 제품 불량 탐지 모델 생성

- Patch SVDD (Patch-level Support Vector Data Description)
  - 미세한 불량을 찾기 위해 patch 단위의 이미지로 학습하는 One-Class Classification 알고리즘 기반 모델
  - 학습 단계에서, patch 단위로 분할된 정상 데이터로 학습하여 미세한 특징 학습
  - 평가 단계에서, 입력된 분할된 이미지를 학습된 정상 특징과의 차이를 통해 Anomaly score를 계산하여 불량 탐지
  - 학습된 정상 데이터와 입력된 이미지의 차이가 크면 불량으로 판단

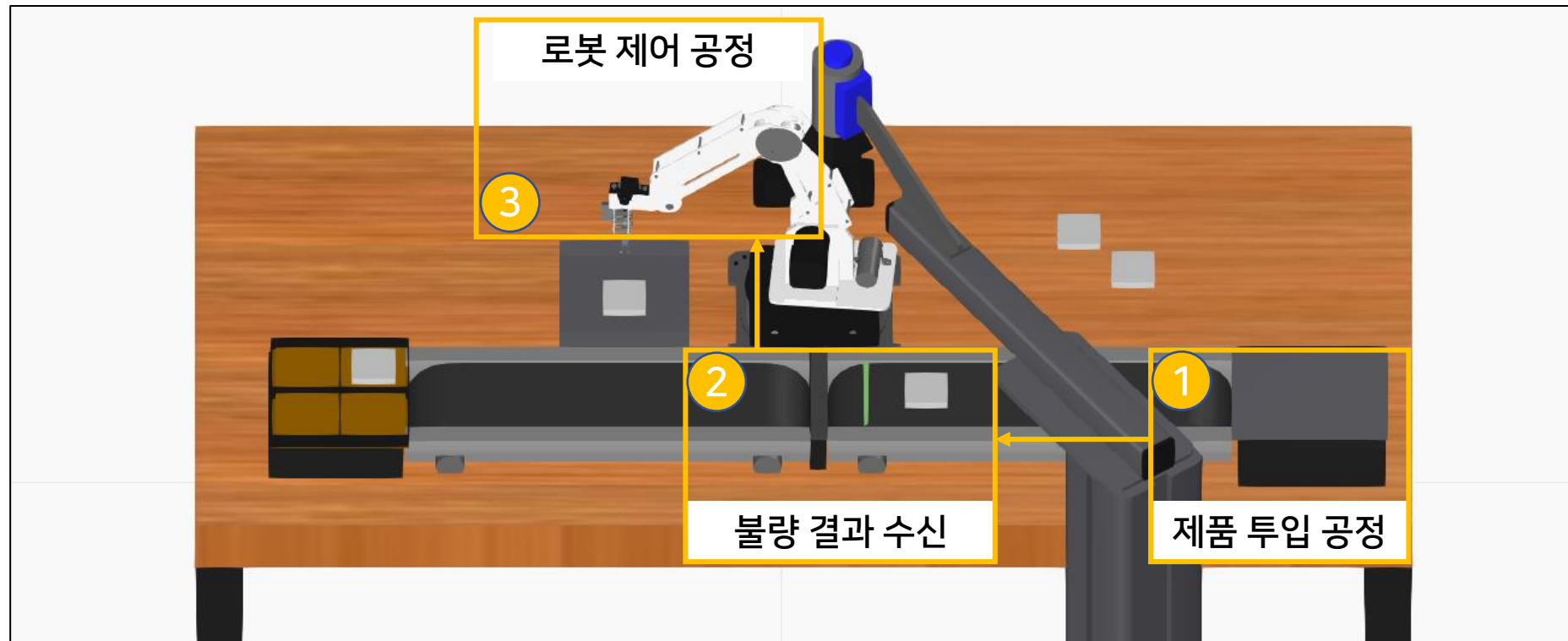


<Patch SVDD의 불량 판단 과정>

## 6. 프로젝트 구현 - 시뮬레이션 (1/2)

- 제품 투입, 결과 수신, 제어 3단계로 구성된 가상 공정 구현

- 대상 공정 및 물류 흐름
  - 로봇 1대, 컨베이어 라인, 카메라 1대, 제품 상자(정상, 불량)으로 가상 공정 구현

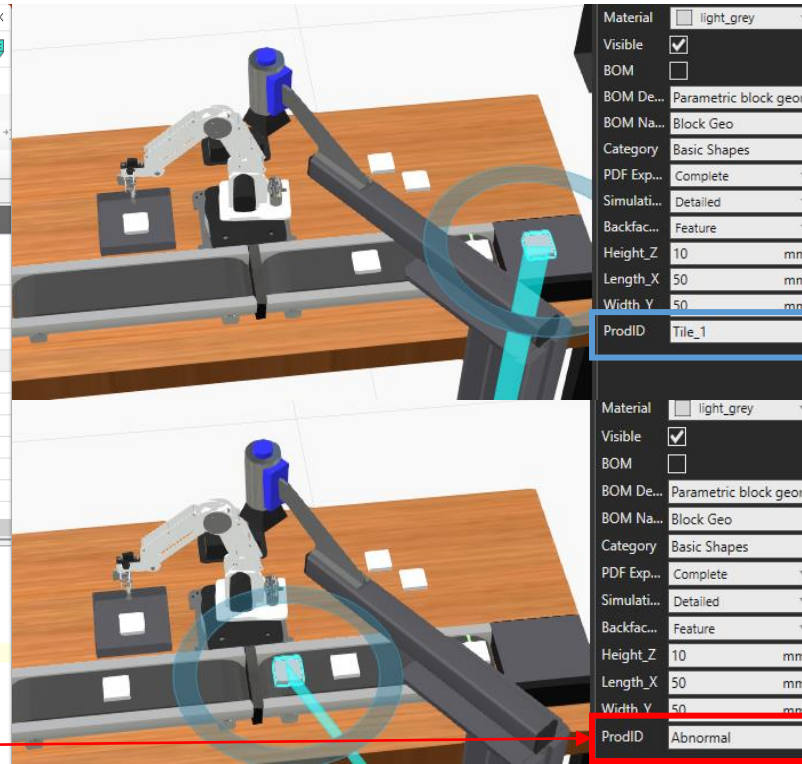
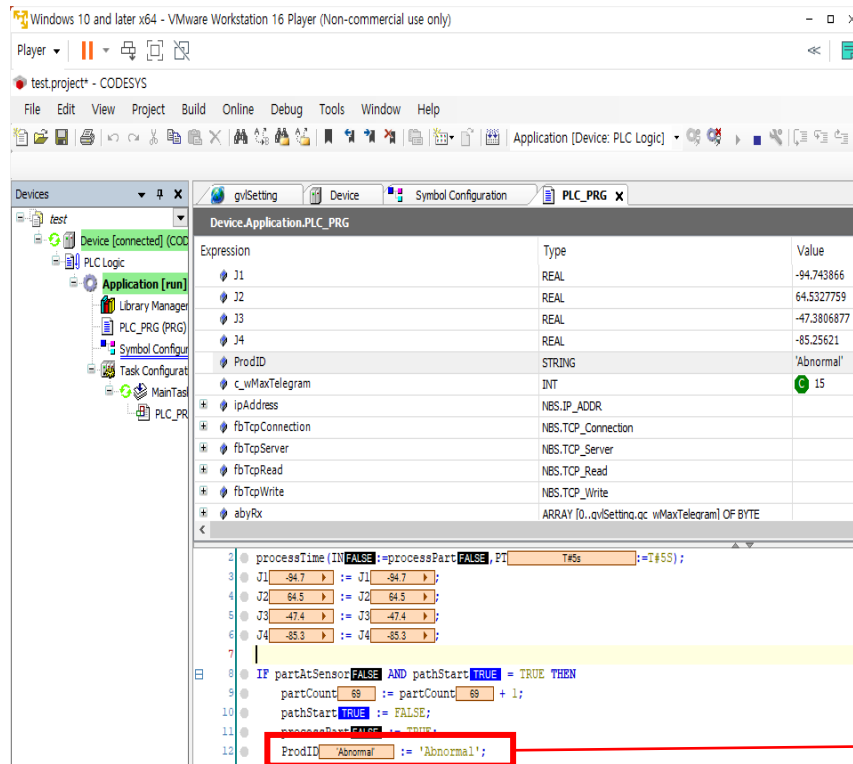


## 6. 프로젝트 구현 - 시뮬레이션 (2/2)

### - 실시간 연동 Digital Twin 모델 생성

- 시뮬레이션

- OPC-UA 통신을 활용하여 OPC-UA Server와 시뮬레이션 모델 실시간 연동
- 공정 상태 모니터링과 부분 자동 제어의 기능 구현을 위해 디지털 트윈 모델 생성
- OPC-UA Server를 통한 제품 불량 판단 결과값이 시뮬레이션 내부 ProdID에 반영



판별 전 타일 ProdID 보유

판별 결과 수신 후  
ProdID 불량으로 변경

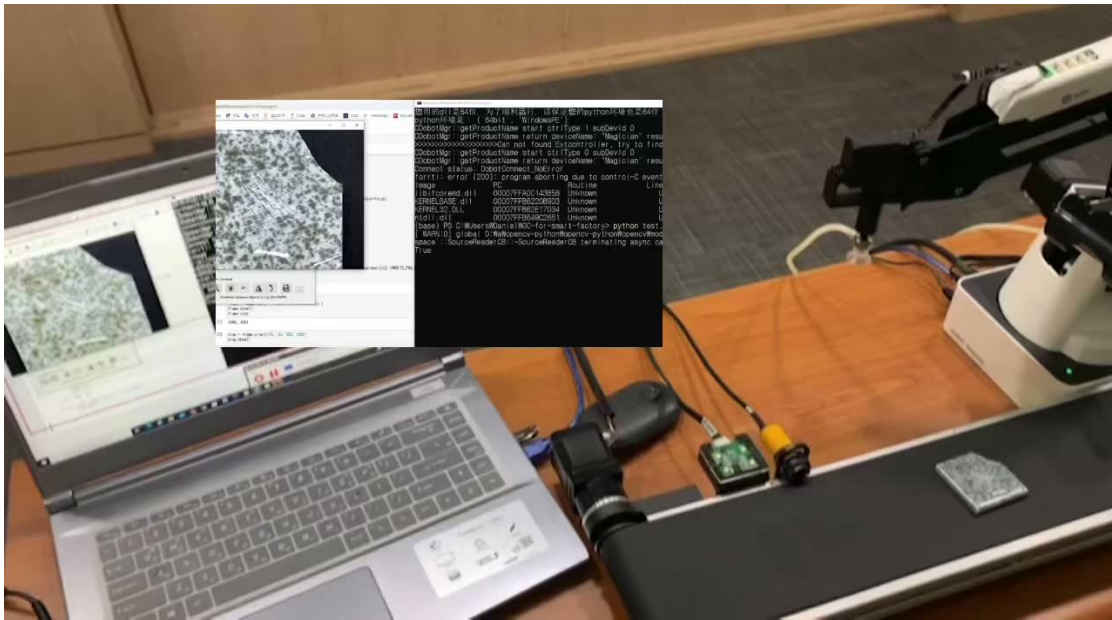
<OPC-UA 서버와 시뮬레이션 모델 연동>



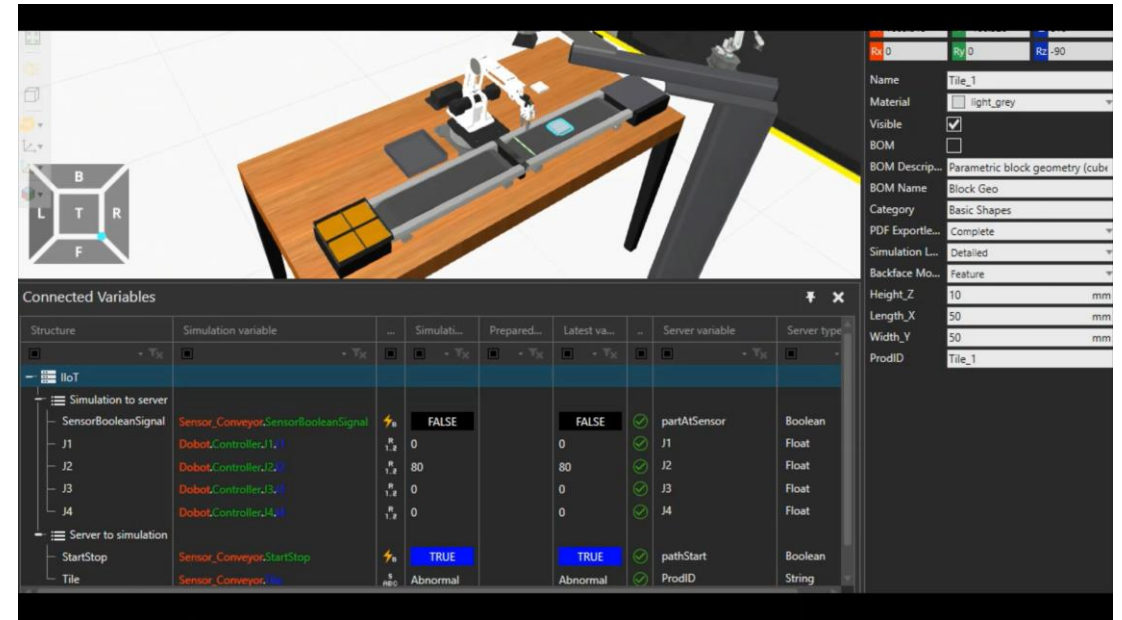
# 7. 검증 및 시연 결과 (1/3)

- 실제 환경 내 제품 불량 판별 결과 및 가상 환경 연동 결과

- 실제 환경 내 제품 불량 판별 결과 → 가상 환경에 반영



<실제 환경>



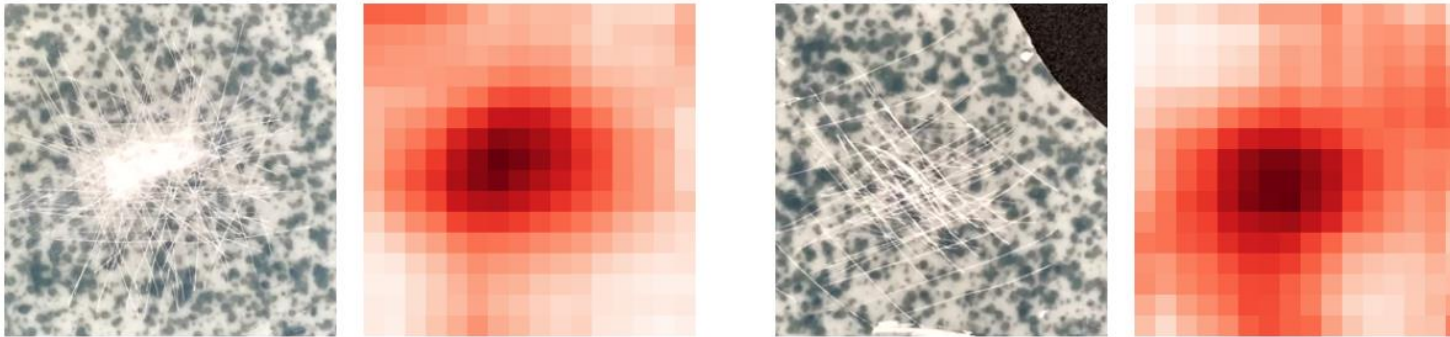
<가상 환경>



## 7. 검증 및 시연 결과 (2/3)

### - 제품 불량 판별을 위한 판단 근거 시각화

- 불량 판단 근거 시각화
  - 내용
    - 딥러닝 모델이 불량이라고 판단한 부분을 시각화
    - 불량의 정도가 높아질수록 색깔이 진해짐
  - 의의
    - 모델의 판단 근거를 시각화하여 모델의 판단에 대한 신뢰성 확보
    - 불량이 발생한 위치를 쉽게 파악 가능
    - 불량의 위치 파악을 통해 불량 유형에 대한 판단력 제공

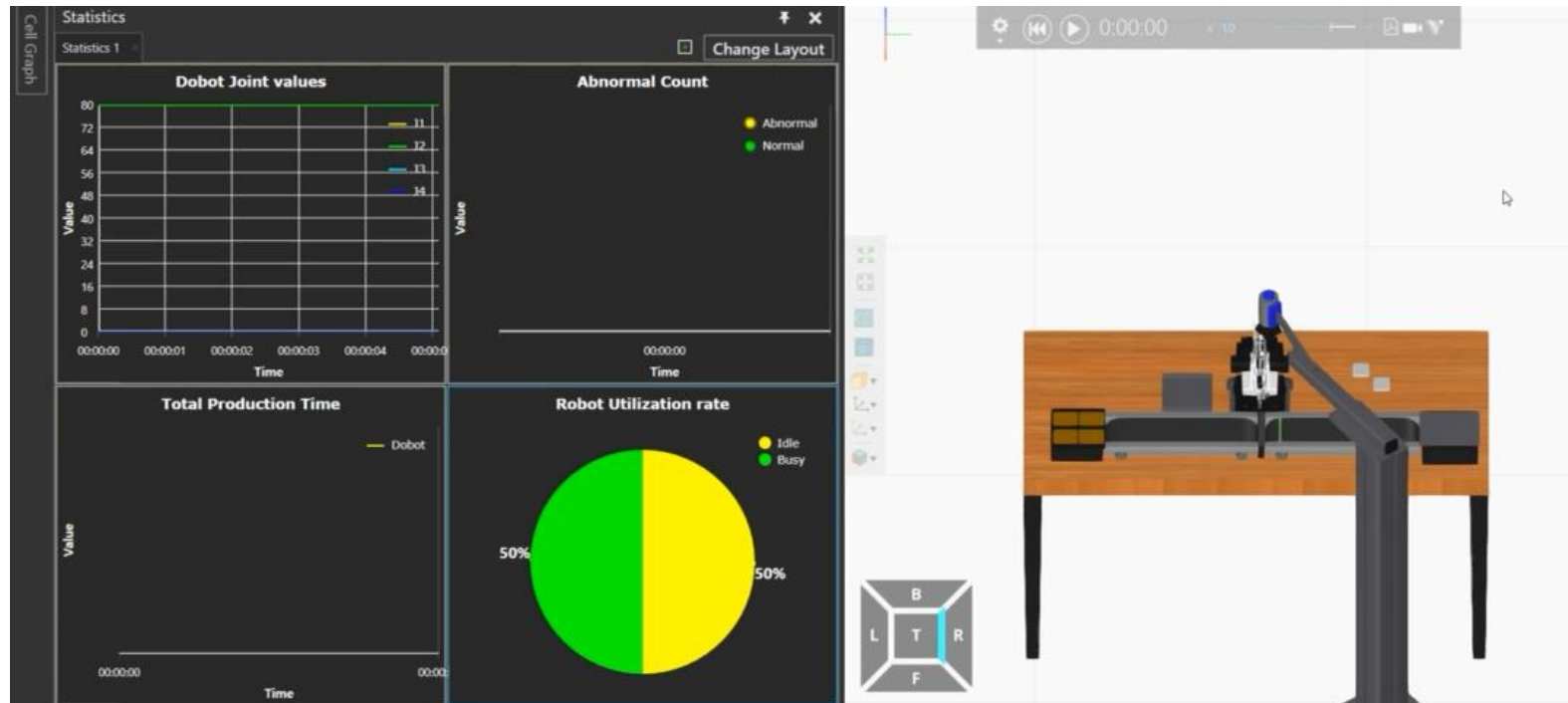


<Patch SVDD의 타일 불량 판단 근거 시각화>

## 7. 검증 및 시연 결과 (3/3)

### - 시뮬레이션을 통한 공정 상태 모니터링 시스템 구현

- 공정 진행 중 실시간으로 시뮬레이션을 통해 공정 상태 모니터링 가능
  - 로봇 관절 데이터, 불량 판별 결과, 공정 효율성, 공정 시간 등 다양한 지표 확인 가능
  - 현 공정의 문제 상황 파악 및 개선점 확인 가능

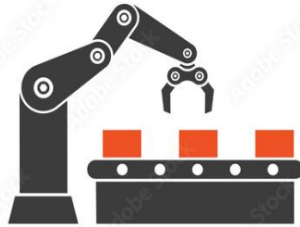


< 시뮬레이션 통계 분석 >

## 8. 의의 및 기대 효과

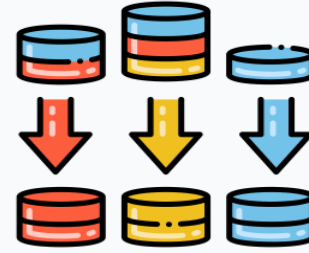
### 1. 제조 지능화 구현

- 머신비전 기반 제품 불량 탐지를 통한 자동 프로세스 구축으로 제조 지능화 구현

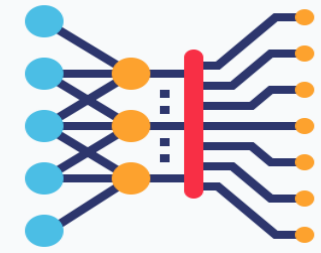


### 2. 소수의 불량 데이터 수집 비용 감소

- 다수의 정상데이터만으로 불량 탐지 가능한 모델 구축
- 소수의 불량 데이터 확보에 필요한 시간 및 비용 감소



Normal data



One Class Classification

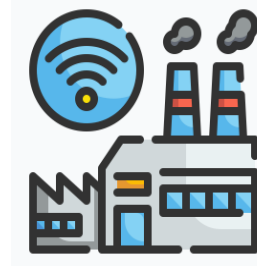
### 3. 시뮬레이션을 통한 공정 상태 모니터링

- 시뮬레이션을 통해 얻은 공정 상태 정보를 바탕으로 공정 개선점 파악 가능



### 4. 디지털 트윈 기반 마련

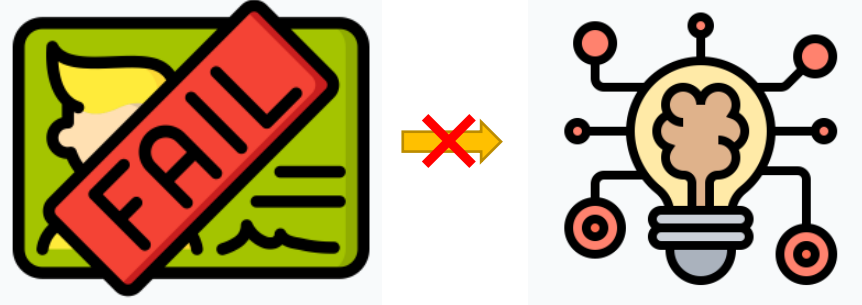
- 시뮬레이션 구축을 통한 실제 환경과 가상 환경의 연동을 통한 디지털 트윈의 기반 마련



## 9. 한계 및 보완점

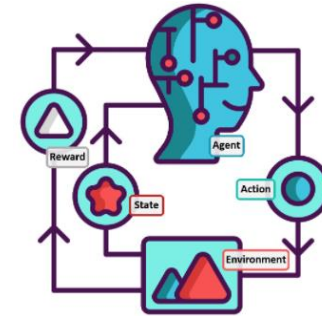
### 한계

- 잘못된 제품 불량 판단을 모델에 반영하지 못하여 모델을 개선하기 위해 사람의 개입이 필요함

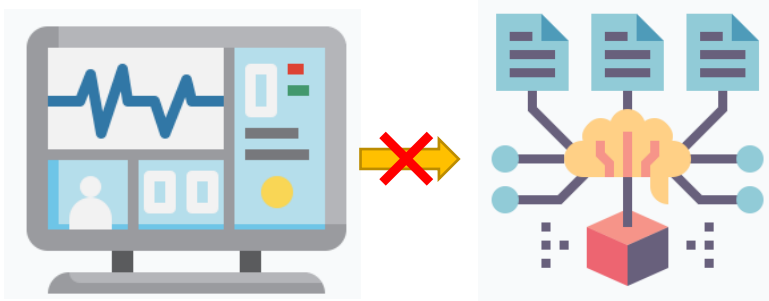


### 보완점

- 강화학습을 통해 잘못된 제품 불량 판단에 패널티를 부여하는 방향으로 모델이 스스로 개선하는 알고리즘 추가



- 시뮬레이션 내에서 기계설비의 물리적 성질을 반영하지 못함
- 대부분의 시뮬레이션 프로세스가 인간의 개입을 통해 동작



- 현실의 물리 트윈과 다수 디지털 트윈들 간의 실시간, 통합적, 자율 동기화 동작
- 자가 진단 및 자율제어가 이루어져서 사람의 개입이 불필요한 시스템 구축



데 모 공 장 IIoT 시 스템 및 실 습 과 정  
**디지털 트윈을 위한 머신비전 기반 제품 불량 탐지**

**감사합니다**

# Appendix 4. 대상 설비 및 환경

## - 실제 환경 구성 요소

- 실제 환경 구성 요소
  - Cyber layer : 노트북 [가상 윈도우, 카메라 모듈, OPC UA, Visual Components 4.2]
  - Physical layer : Dobot [Pick-and-Place 로봇, Conveyor belt, Camera holder]
  - Others : 카메라, 타일(정상 및 불량)



<Dobot>



<Conveyor belt 및 타일>



<Camera holder>