

# 객체 인식을 활용한 엔진 호스 체결 탐지 시스템 개발

김창영<sup>1</sup>, 조현건<sup>1</sup>, 최준혁<sup>2</sup>,

김정완<sup>3</sup>, 최봉문<sup>3</sup>, 황진석<sup>3</sup>, 방희란<sup>3</sup>, 이창헌<sup>4</sup>, 남용희<sup>4</sup>, 박지수<sup>4</sup>, \*이수동<sup>1</sup>

<sup>1</sup>울산대학교 산업경영공학부, <sup>2</sup>울산대학교 조선해양공학부, <sup>3</sup>(주)에이테크, <sup>4</sup>(주)동성정공

\*sudonglee@ulsan.ac.kr

## 연구 배경

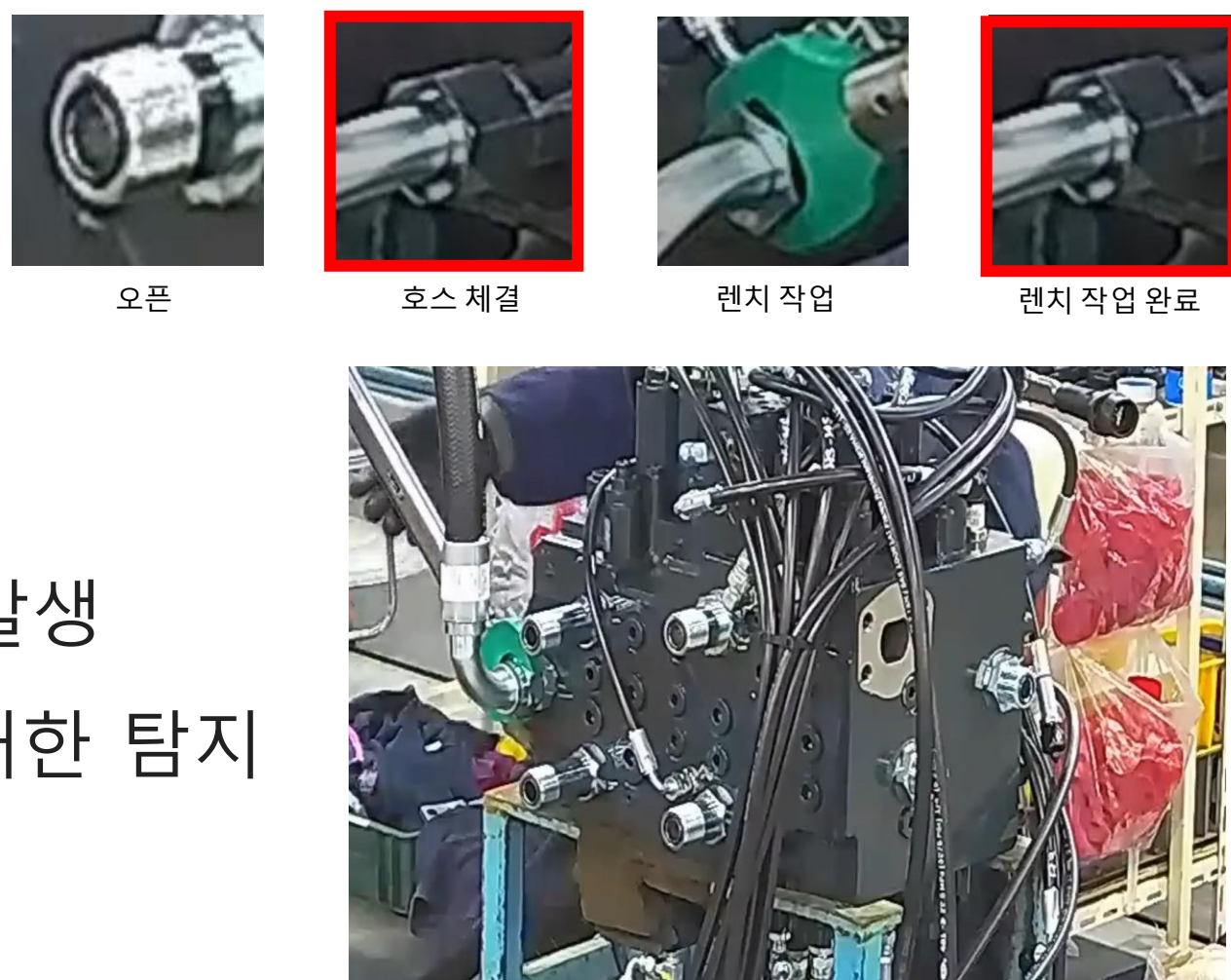
작업자가 경험에 의해 엔진 호스 체결 및 확인하는 방식은 작업자의 착오로 인해 종종 렌치 작업 미실시가 발생하였다. 이는 불량 발생으로 이어져 기업의 손실로 이어진다.

## 연구 목적

기존 엔진 호스 체결 확인 방식의 한계점을 개선하기 위한 **엔진 호스 체결 자동화 탐지** 기술 개발 필요

## 문제 정의

- 단순한 객체 탐지로는 **최종 체결 여부 구분** 어려움  
-> 추가적인 **롤 적용** (렌치 체결 전환)
- 작업이 완료되지 않은 **홀을 구분**하여 탐지  
-> **ID Tracking**
- 작업자 또는 기타 물체에 의한 가림으로 인해 **사각 지대** 발생  
-> **여러 방향(Multi Angle)**에서 촬영된 실시간 작업에 대한 탐지



## 연구 방법

### ■ 객체 탐지

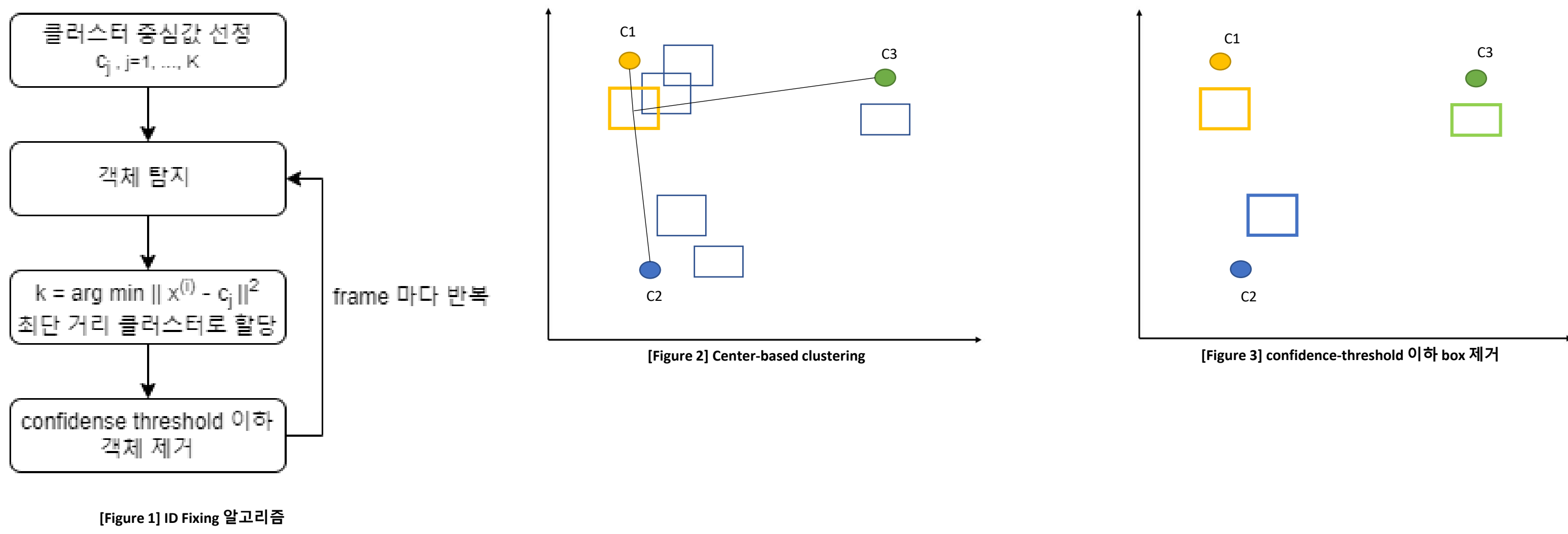
객체 탐지를 위해 YOLOv5 모델 사용

0: open, 1: closed, 2: wrench head, 3: MCV(엔진모델명), 4: completed

롤을 적용하여 최종 체결 여부를 탐지하기 위해 annotation 데이터에는 없는 가짜 class 4번 추가하였다.

CAM1	CAM2
- Image 9,394장	- Image 9,279장
- Label Class 0: 10,062 1: 19,159 2: 219 3: 7,140	- Label Class 0: 1,822 1: 5,694 2: 225 3: 6,331

### ■ ID Fixing (Tracking)

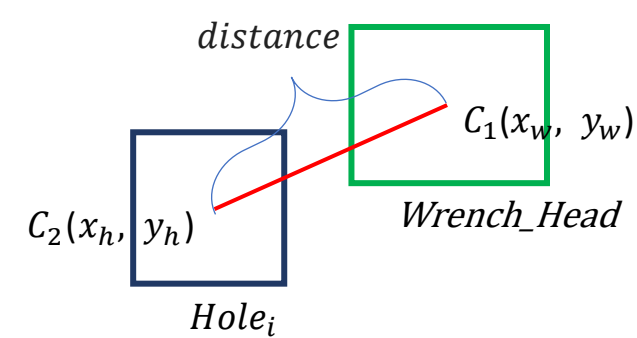


### ■ 렌치 체결 전환

#### • 거리기반 조건

해당 frame에서 탐지된 Hole과 탐지된 Wrench Head의 거리가 *epsilon* 보다 작은 경우

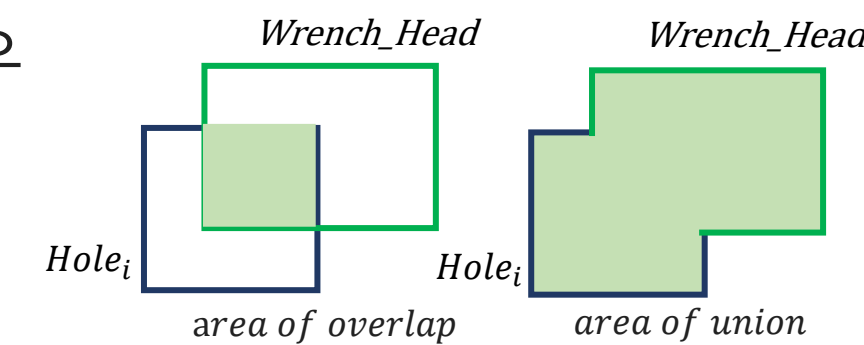
$$distance = \sqrt{(x_w - x_h)^2 + (y_w - y_h)^2}, \epsilon = 100px$$



#### • 면적기반 조건

해당 frame에서 탐지된 Hole과 탐지된 Wrench Head의 IOU가 IOU Threshold 보다 큰 경우

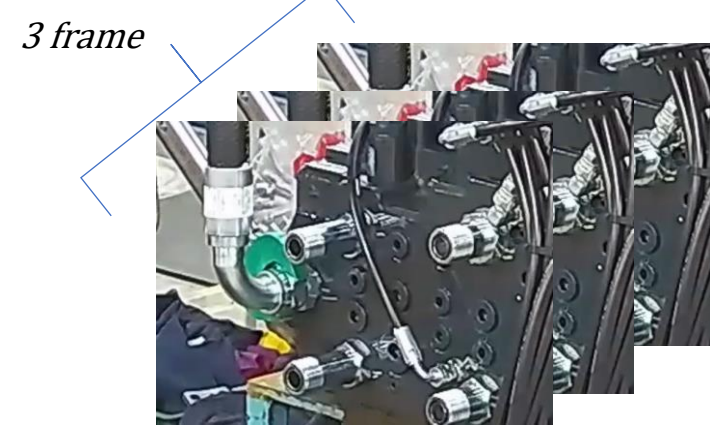
$$IOU = \frac{area\ of\ overlap}{area\ of\ union}, IOU\ Threshold = 0.5$$



#### • Wrench stay time 조건 롤

위의 조건에 부합하는 연속적인 frame 수가 Wrench stay time 이상일 경우

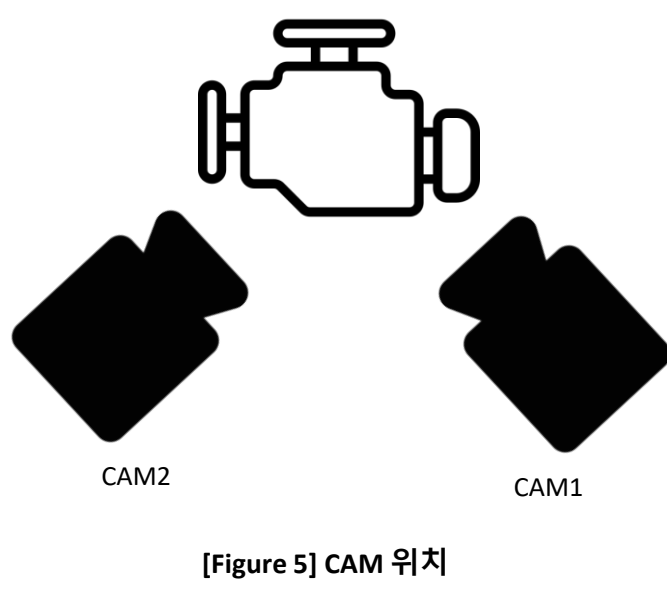
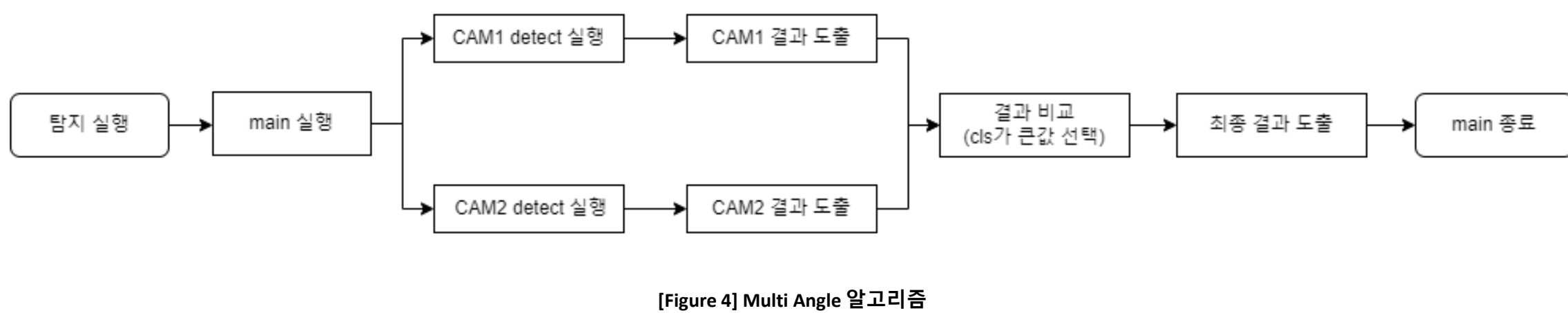
Wrench stay time = 3 frame



### ■ Multi Angle

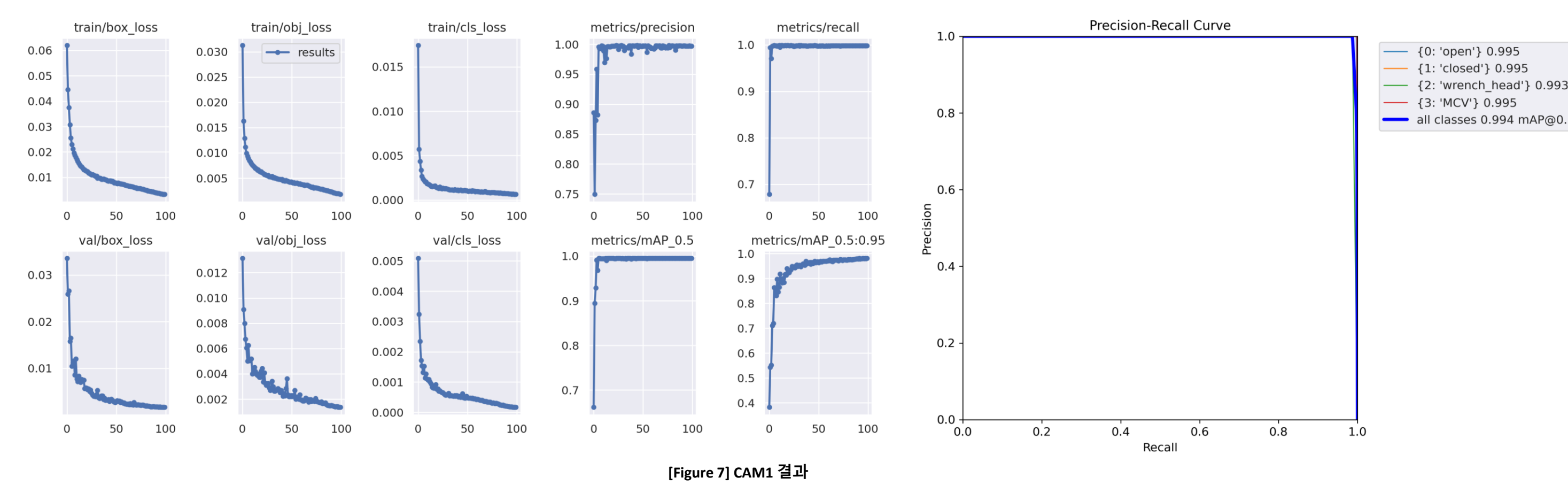
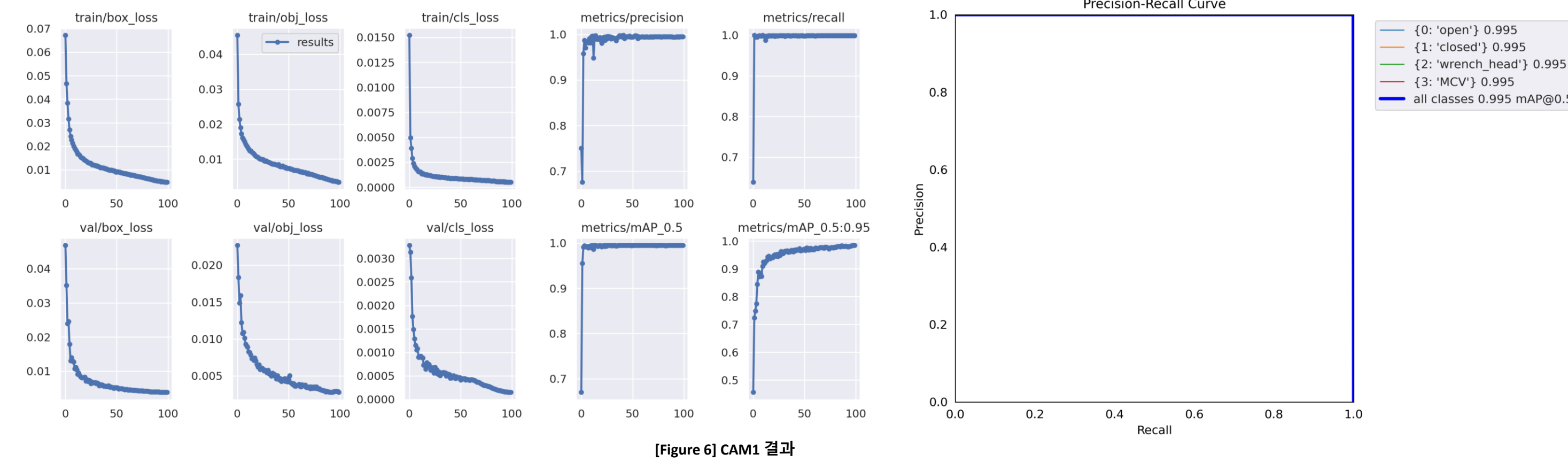
Multi Processing을 통해 2개의 detect.py를 병렬적으로 실행

병렬적으로 실행된 2개 결과를 병합하여 최종적인 결과 도출



## 연구 결과

### ■ 객체 탐지



### ■ 렌치 체결 전환

탐지하는 Hole의 크기가 상대적으로 작기 때문에 일반적인 IOU 평가지표로는 올바른 검증이 어렵다.

따라서 Normalized Gaussian Wasserstein Distance(NWD)를 통해 Class 예측 검증을 진행하였다.

탐지된 객체의 Bounding Box는  $(c_x, c_y, w, h)$  로 표현된다.

탐지된 Bounding Box를 2D gaussian Distribution으로 표현 하면 다음과 같다.

두 객체의 gaussian Distribution의 거리를 Warrserstein Distance로 나타낸다.

$$W_2^2(N_a, N_b) = \left\| \left( [cx_a, cy_a, \frac{w_a}{2}, \frac{h_a}{2}]^T, [cx_b, cy_b, \frac{w_b}{2}, \frac{h_b}{2}]^T \right) \right\|_2^2$$

$$\mu = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \end{bmatrix}, \Sigma = \begin{bmatrix} \frac{w^2}{4} & 0 \\ 0 & \frac{h^2}{4} \end{bmatrix}$$

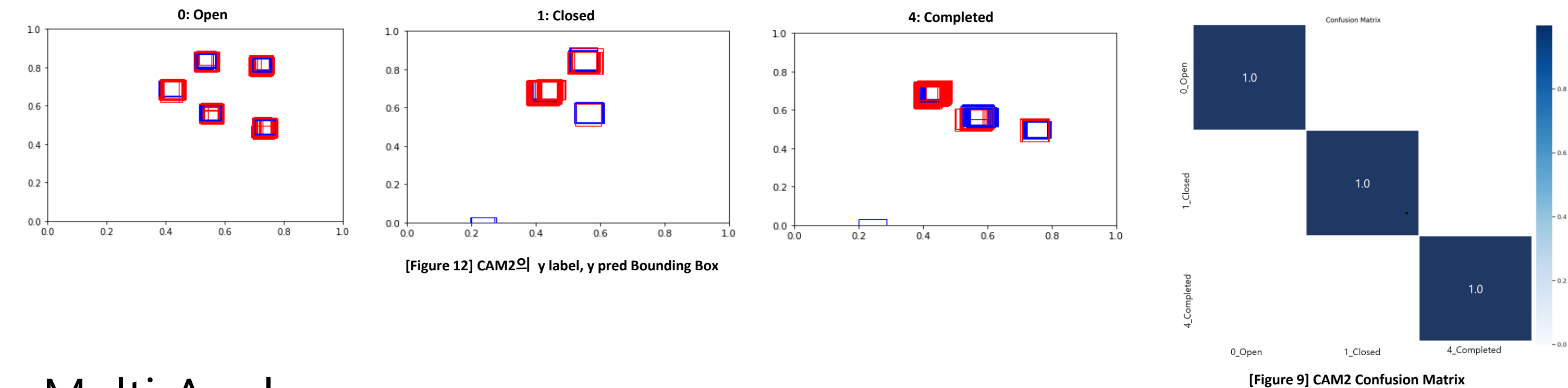
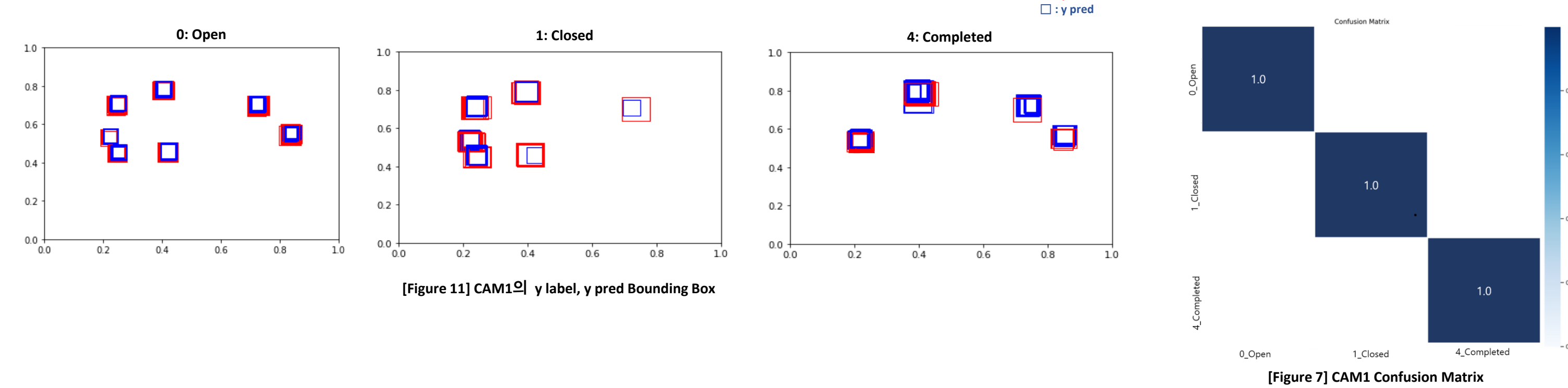
[Figure 8] 2D gaussian Distribution

[Figure 9] Warrserstein Distance

아래와 수식을 활용하여 0과 1 사이의 값으로 Normalize를 진행한다.

$$NWD(M_a, M_b) = \exp\left(-\frac{\sqrt{W_2^2(N_a, N_b)}}{C}\right)$$

[Figure 10] Normalized Gaussian Warrserstein Distance



### ■ Multi Angle

[Table 1] CAM 1

Hole_num	Class (상태)
H1	4
H2	1
H3	1
H4	1
H5	4
H6	4
H7	4

[Table 2] CAM 2

Hole_num	Class (상태)
H1	4
H2	4
H3	0
H4	4
H5	1
H6	0
H7	0

[Table 3] Multi-Angle 최종 결과

Hole_num	Class (상태)
H1	4
H2	4
H3	1
H4	4
H5	4
H6	4
H7	4

Hole 3을 제외한 나머지 Hole의 렌치 체결 전환 확인

## 결론

Hole 3의 경우 작업 시 추가되는 구조물에 의해 CAM1과 CAM2의 사각지대 발생으로 인해 렌치 체결 전환이 탐지되지 못함

다각도의 시각적 데이터를 수집하여 복합 지식 추론을 통해 추론 성능 향상

제조 공정에 AI 기술을 도입하여 불량 발생률을 저하시켜 품질 향상이 기대됨