

I n d u s t r i a l A I & A u t o m a t i o n

Battery Cell Winding Process

2025.12.05

22000355 HyeonGyu Seo / 22000167 Inyeop Kim / 22200757 Joungbin Choi

Prof. Young-Keun Kim
School of Mechanical & Control Engineering
Handong Global University

Contents

1. Background

- 1-1) 배터리 시장 현황
- 1-2) 문제점
- 1-3) 목표

2. Robot AI Process

- 2-1) Material
- 2-2) 조립 공정
- 2-3) 분해 공정

3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

- 3-1) Process
- 3-2) 목표
- 3-3) State Diagram
- 3-4) 감지 노드
- 3-5) 결과
- 3-6) 문제점 분석

4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

- 4-1) Process & Target
- 4-2) 목표
- 4-3) State Diagram
- 4-4) 감지 노드
- 4-5) 결과
- 4-6) 문제점 분석

5. Detecting Defect

- 5-1) 목적 및 개요
- 5-2) 원형 검사
- 5-3) 원형 검사 목표 및 결과
- 5-4) 표면 검출
- 5-5) 표면 검출 모델
- 5-6) 표면 검출 목표 및 결과
- 5-7) Cell Logic

6. Conclusion

1. Background

1-1. 배터리 시장 현황

- 2030년에는 전기차 비중이 40%를 넘어설 것으로 보이며, 2차전지 시장은 약 3700억 달러까지 성장할 전망
- 중국은 자국 경쟁력 확보로 세계 점유율의 65% 수준까지 주도권 확보
- 한국의 기술력도 강하지만 여전히 R&D, 재활용 체계 구축은 주요 과제(특히 재활용 체계 구축을 위해서는 조립 공정 뿐만 아니라 분해 공정도 중요)

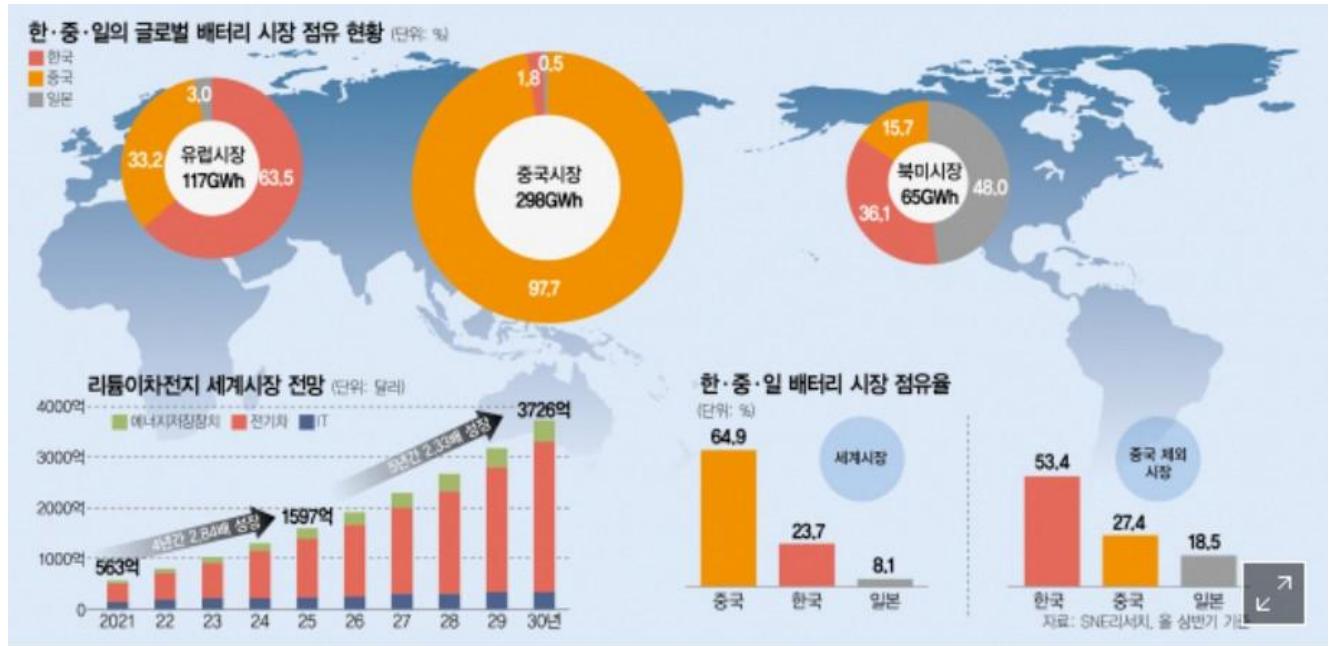


Figure 1. 배터리 시장 현황

1. Background

1-2. 문제점

- 미세 공정 편차는 잠재 결함을 만들고, 이는 배터리 고장 및 안전사고로 이어짐
- 대량 생산에서는 공정 변동이 커 균일성 확보 문제 발생
- 기존의 불량 검사 방식은 느리고 표면만 검출된다는 문제점 존재

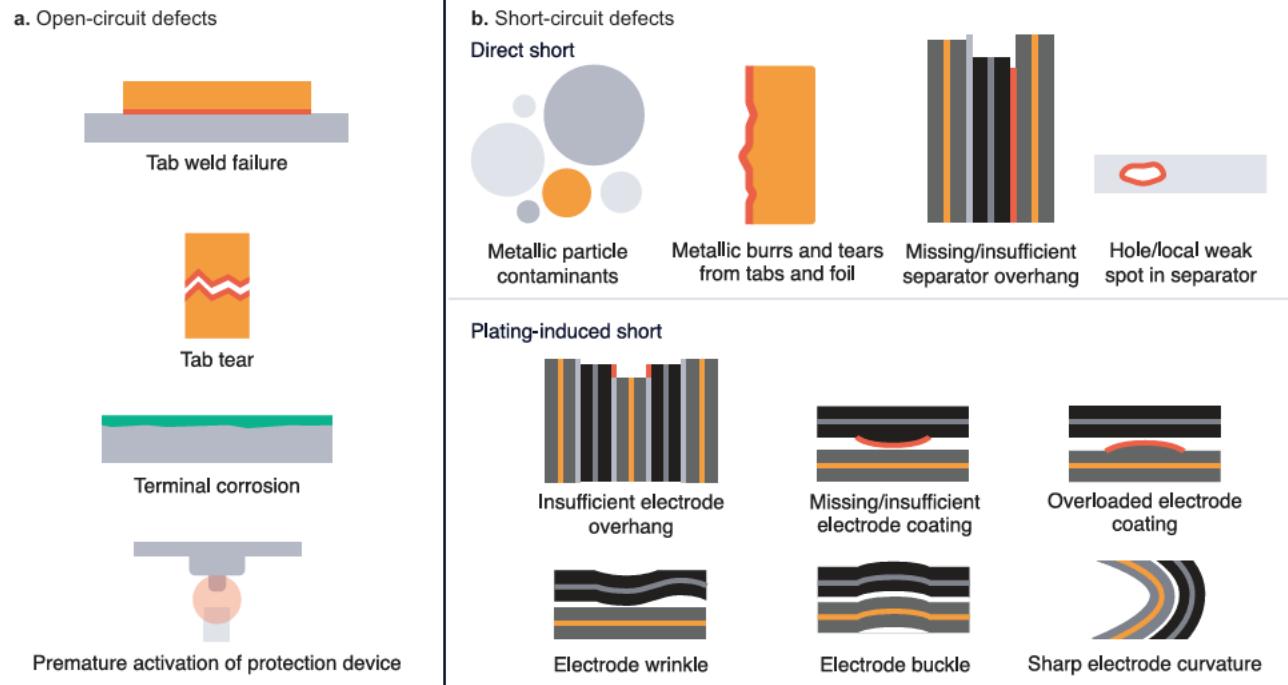


Figure 2. 조립 공정 결함 유형

1. Background

1-3. 목표

- 불량률을 줄이기 위해 공정 편차를 최소화하면서도 빠른 공정이 필요(카메라 기반 탐지 / 공정 프로세스 사이클은 3분 이내 완료로 목표)
- UR5e 로봇은 스스로 조립 / 분해 공정을 파악한 후 각 공정에 맞게 셀 Pick and Place 수행
- Detecting Defect 파트는 불량 셀을 감지하고 결과를 Indy10에 정확하게 전송
- Indy10 로봇은 와인딩 조립 / 분해 및 불량 셀 소거

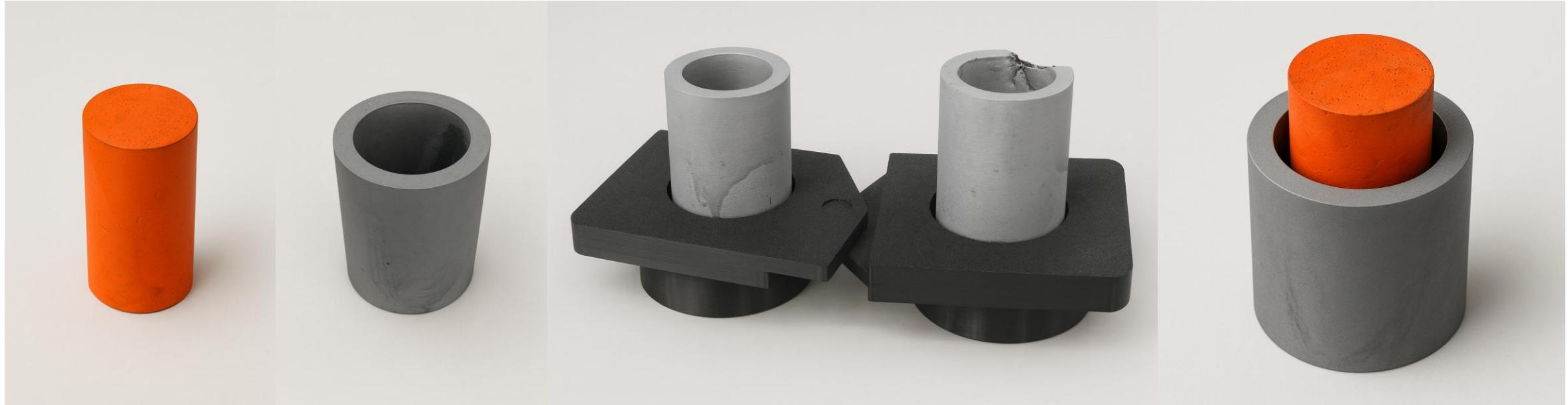
1. Background

1-3. 목표

공정	목표
공정 인식 기반 Pick and Place 자동화	<ul style="list-style-type: none">- 브라켓 감지 성공률 $\geq 98\%$- 셀 박스 감지 성공률 = 100%- Pick and Place 성공률 $\geq 95\%$- Stopper 연동 성공률 = 100%- 조립 / 분해 공정 완료 시간: 1분 이내
Indy10	<ul style="list-style-type: none">- 셀 / 와인딩 감지 성공률 = 100%- 와인딩 조립 / 분해 성공률 $\geq 95\%$- 불량 셀 소거 성공률 $\geq 95\%$- Stopper 연동 성공률 = 100%- 와인딩 조립 / 공정 완료 시간: 1분 이내
Detecting Defect	<ul style="list-style-type: none">- 불량 셀 감지 성공률(원형) $\geq 95\%$- 불량 셀 감지 성공률(표면) $\geq 80\%$

2. Robot AI Process

2-1. Material



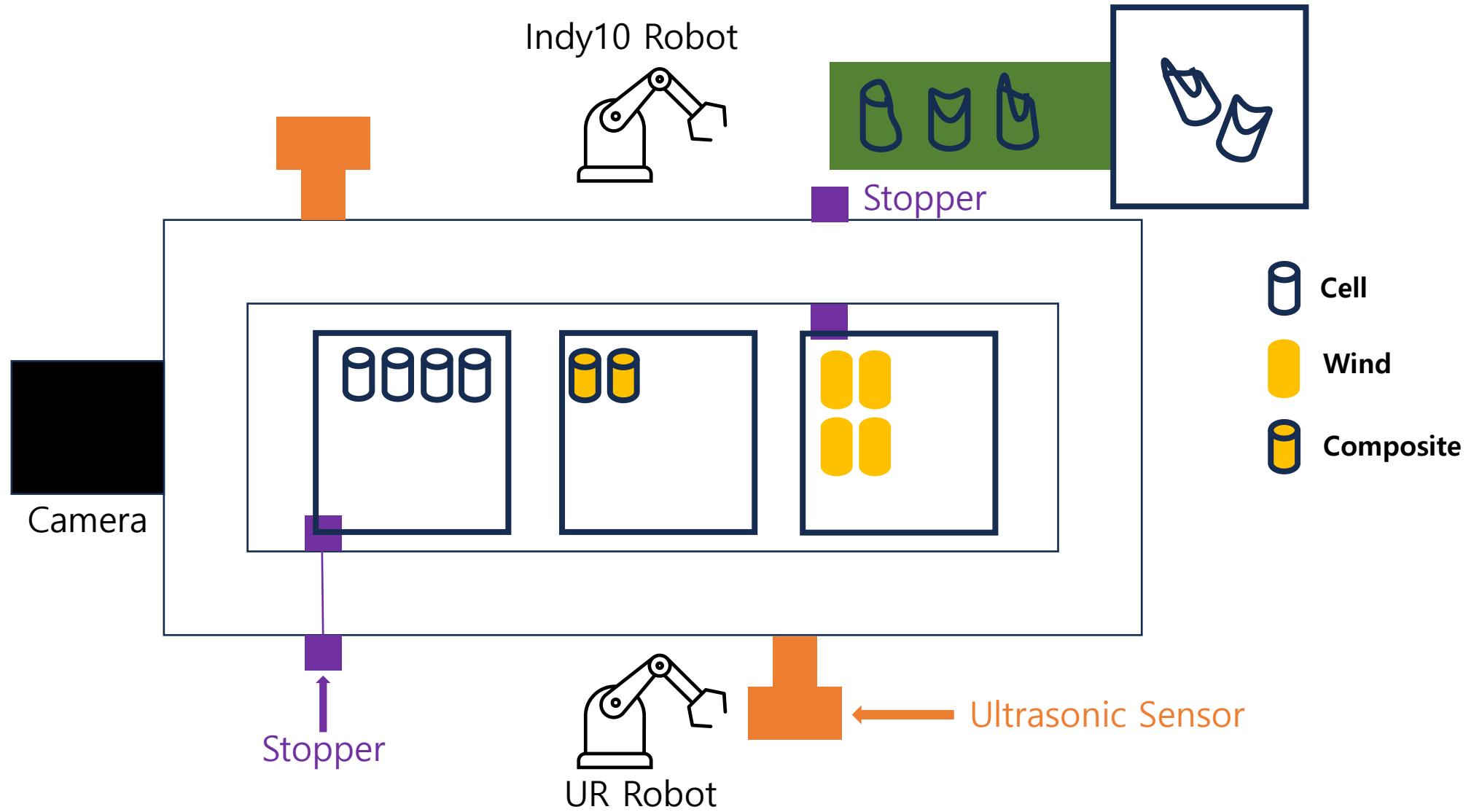
<Wind>

<Cell>

<Bracket>

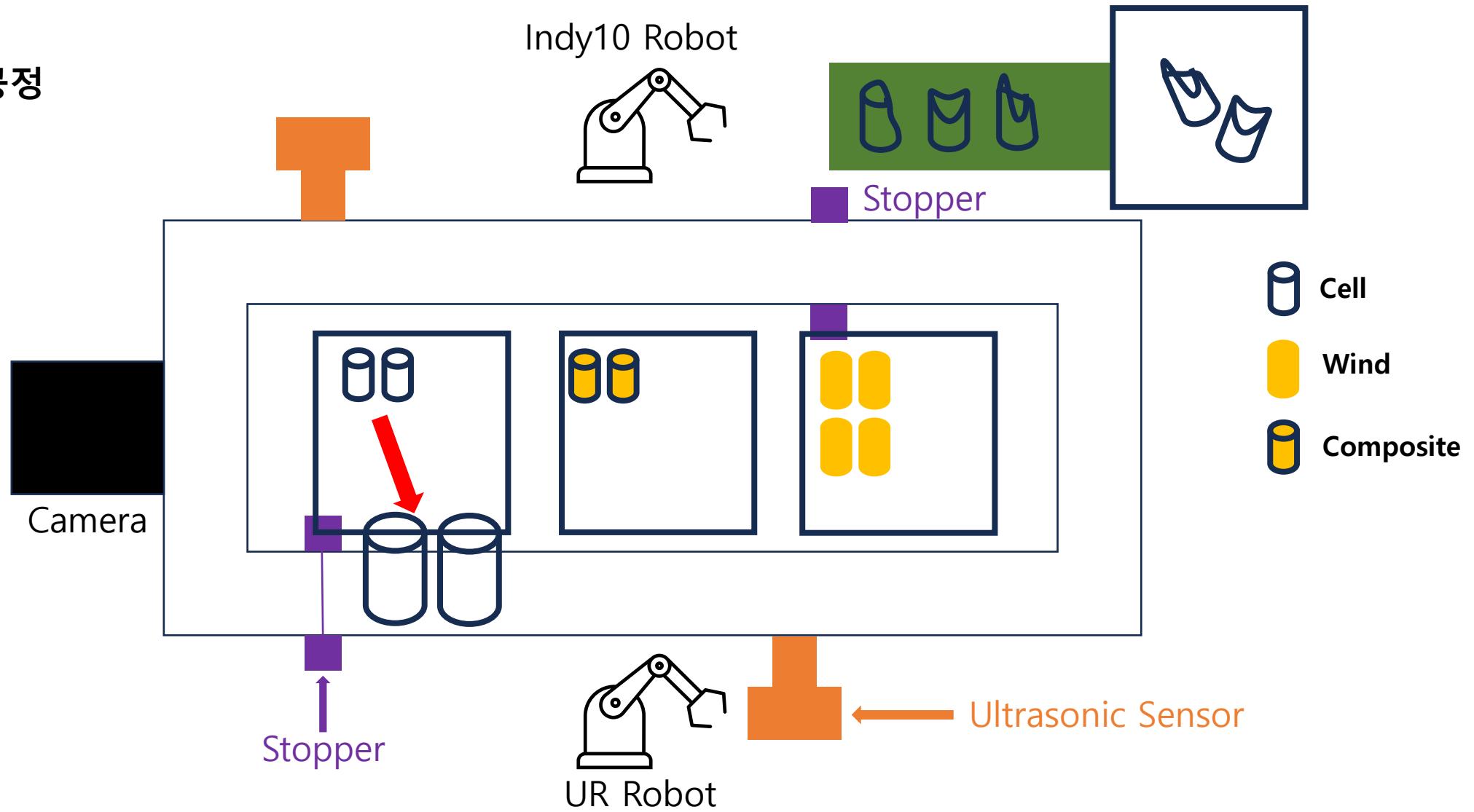
<Composite>

2. Robot AI Process



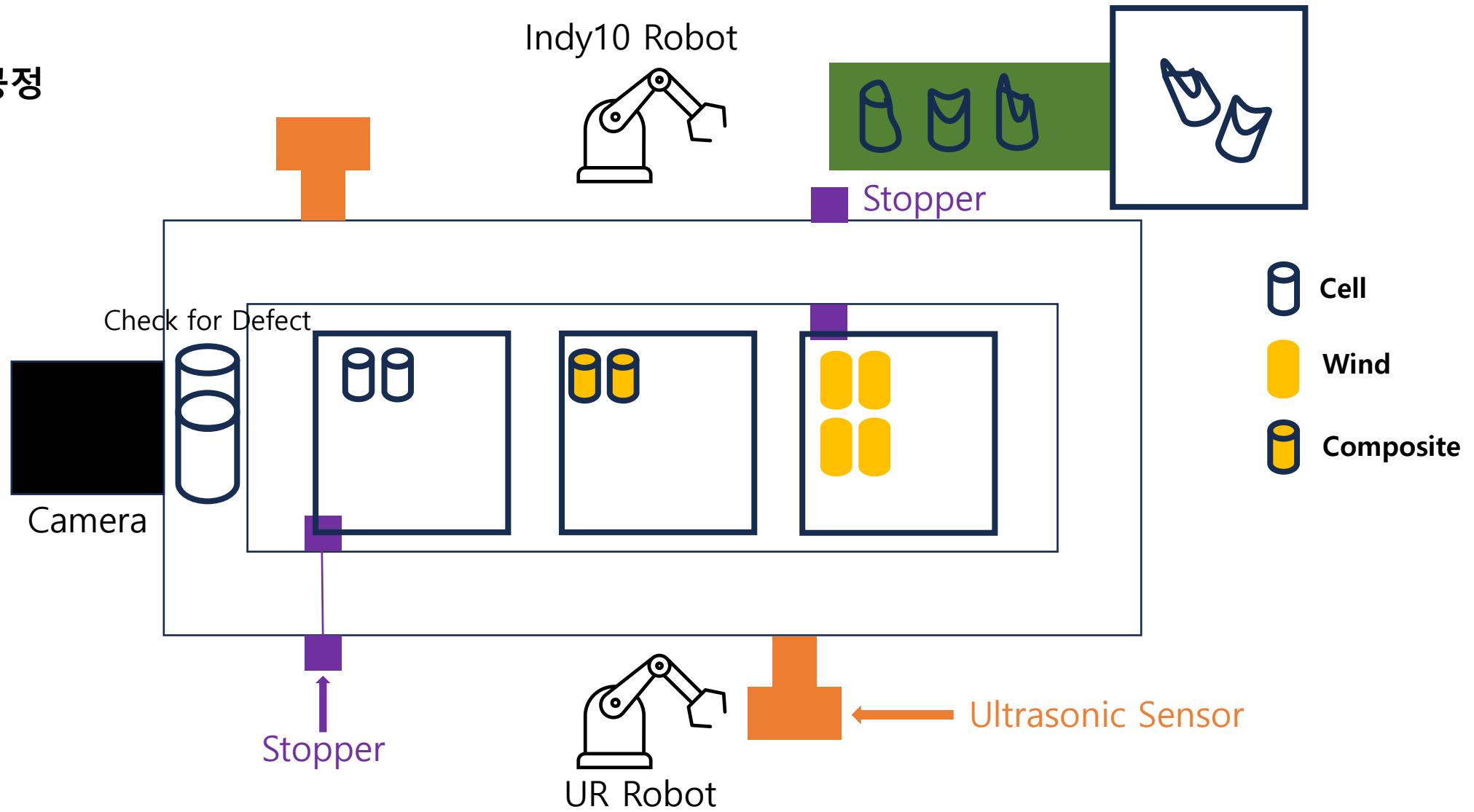
2. Robot AI Process

2-2) 조립 공정



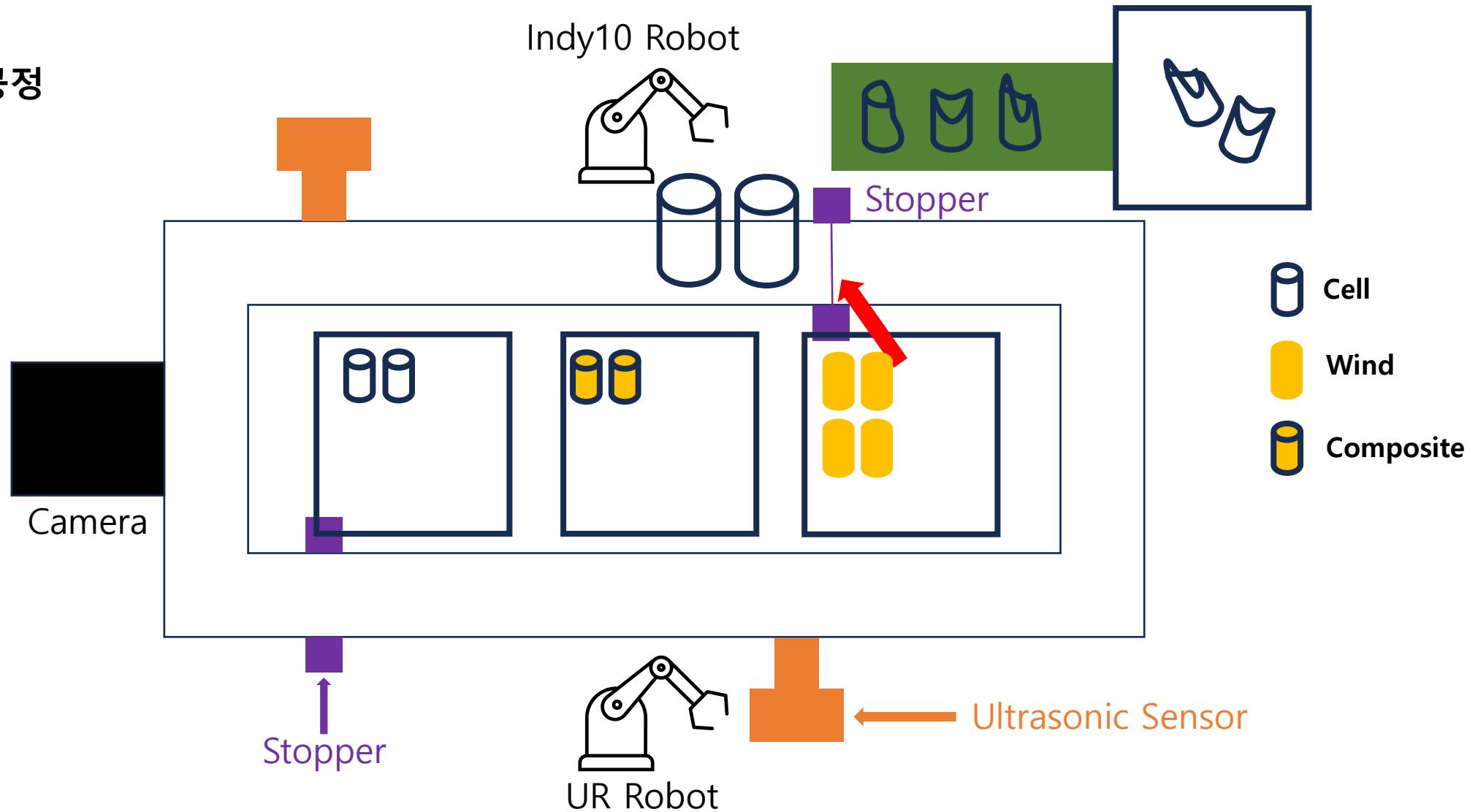
2. Robot AI Process

2-2) 조립 공정



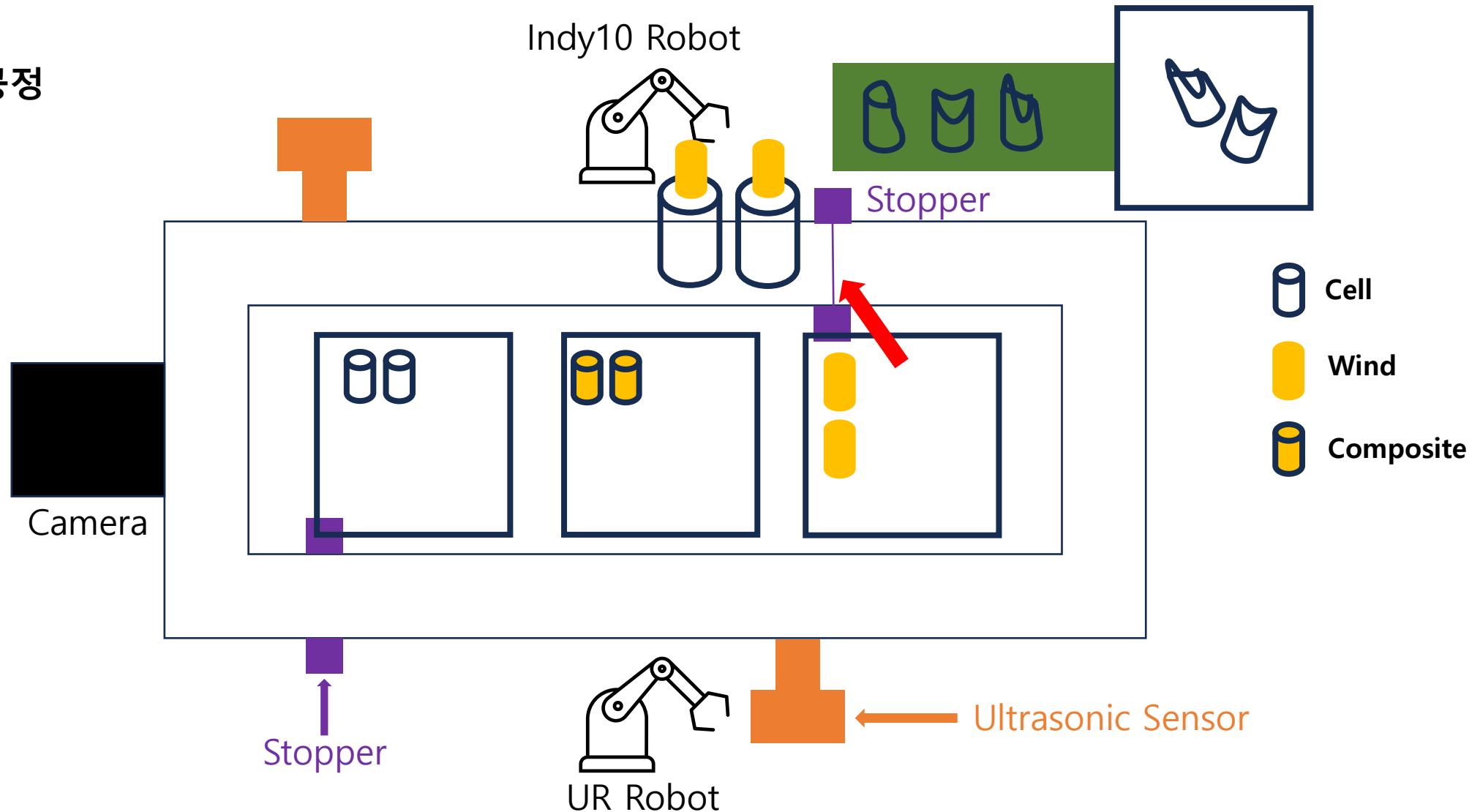
2. Robot AI Process

2-2) 조립 공정



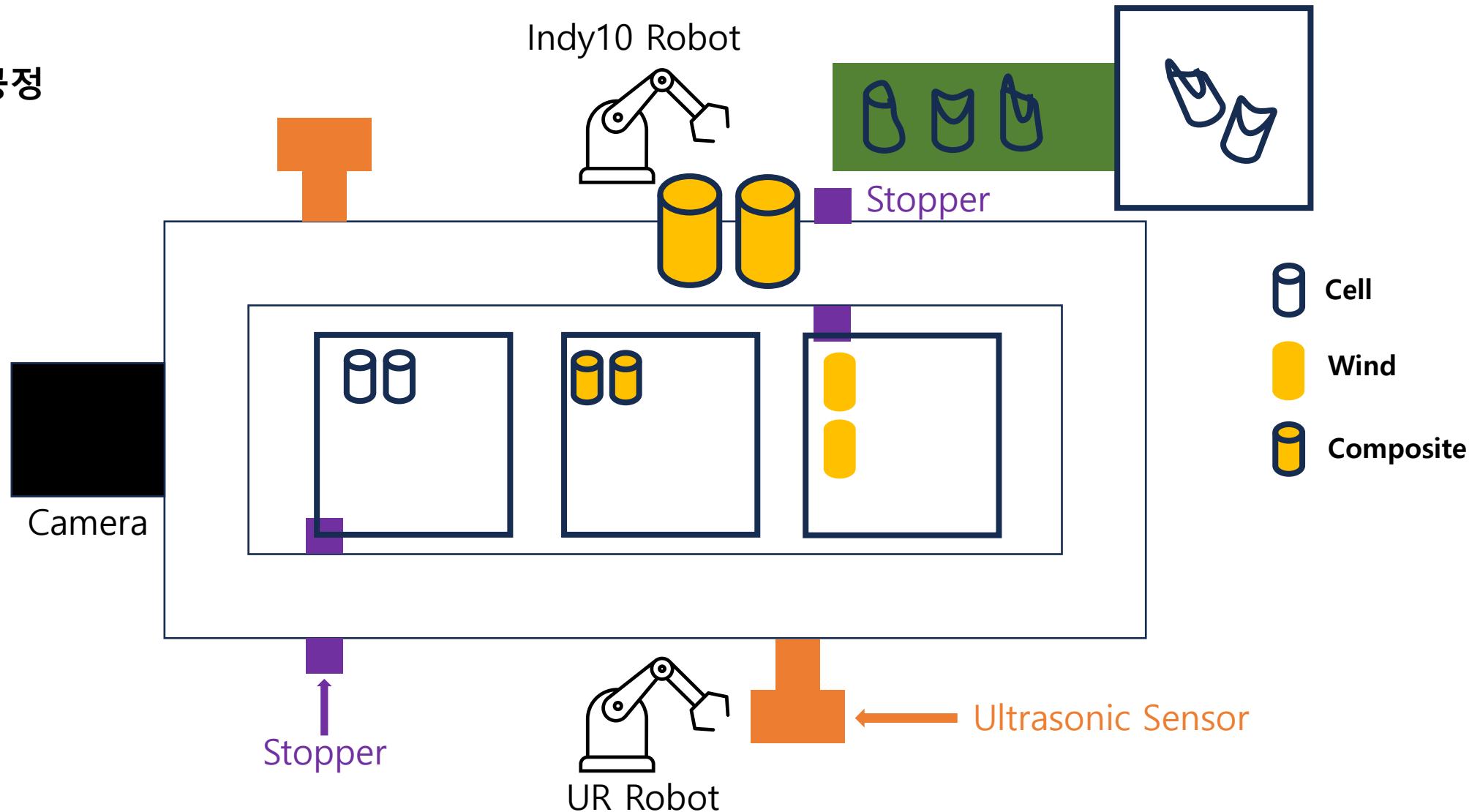
2. Robot AI Process

2-2) 조립 공정



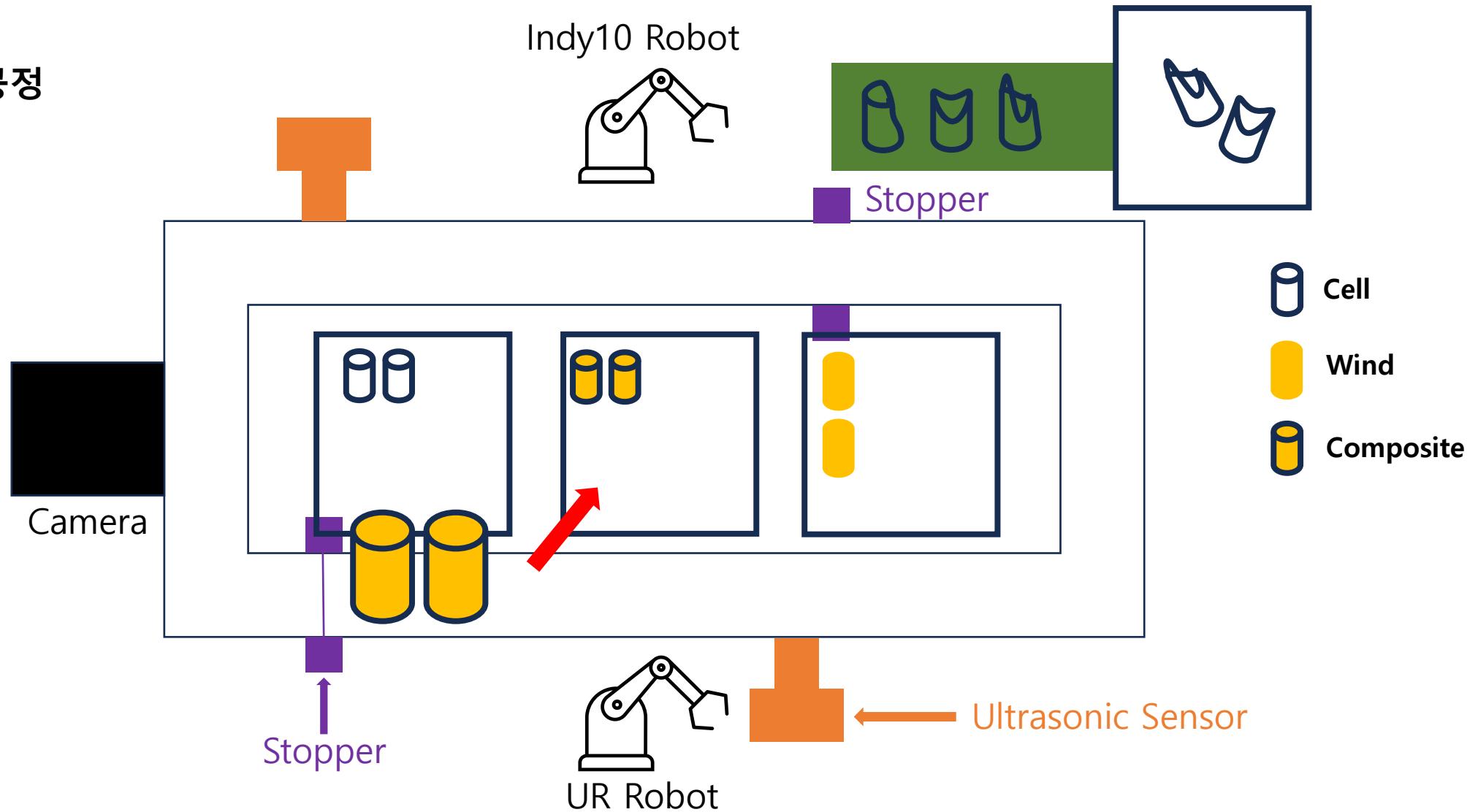
2. Robot AI Process

2-2) 조립 공정



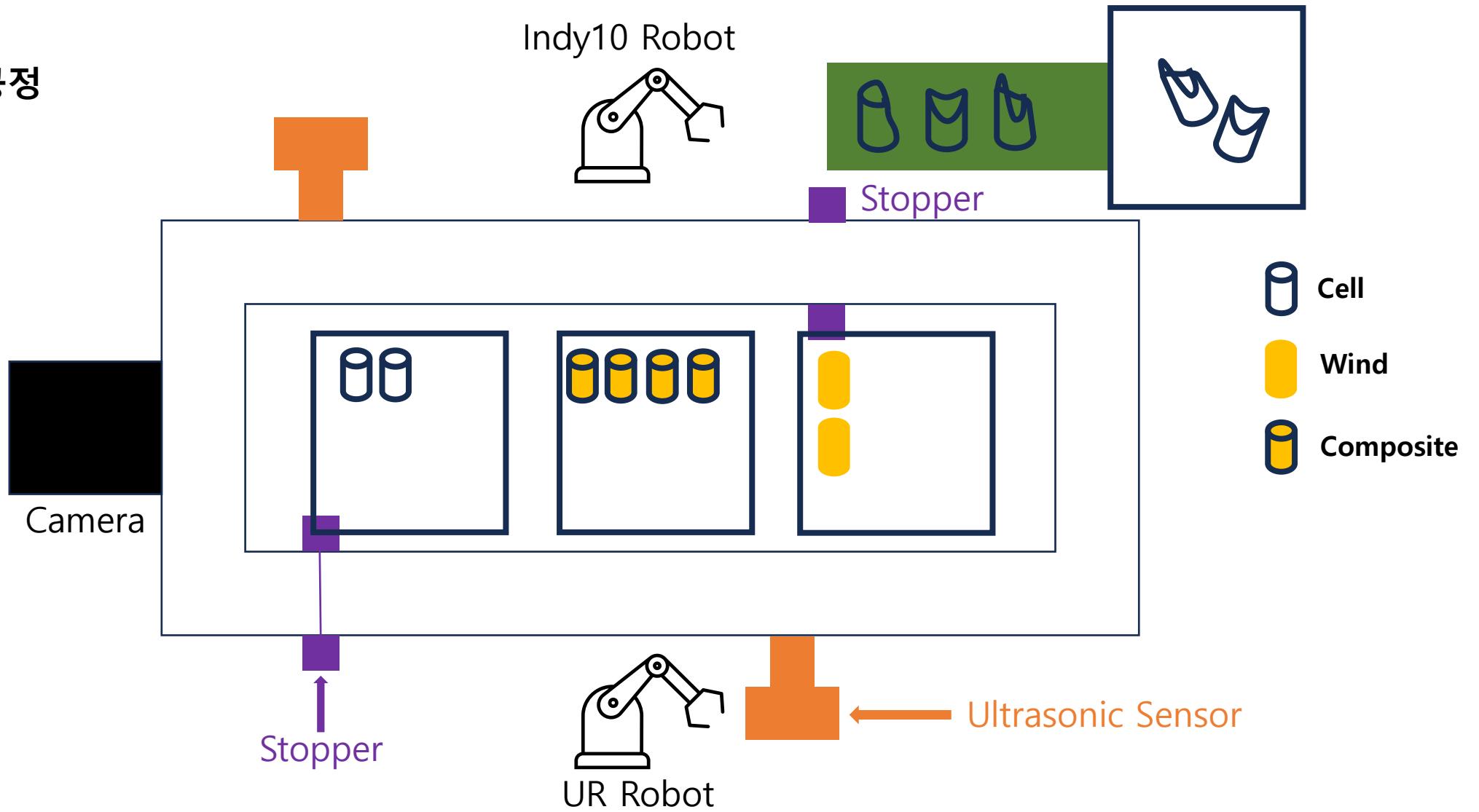
2. Robot AI Process

2-2) 조립 공정



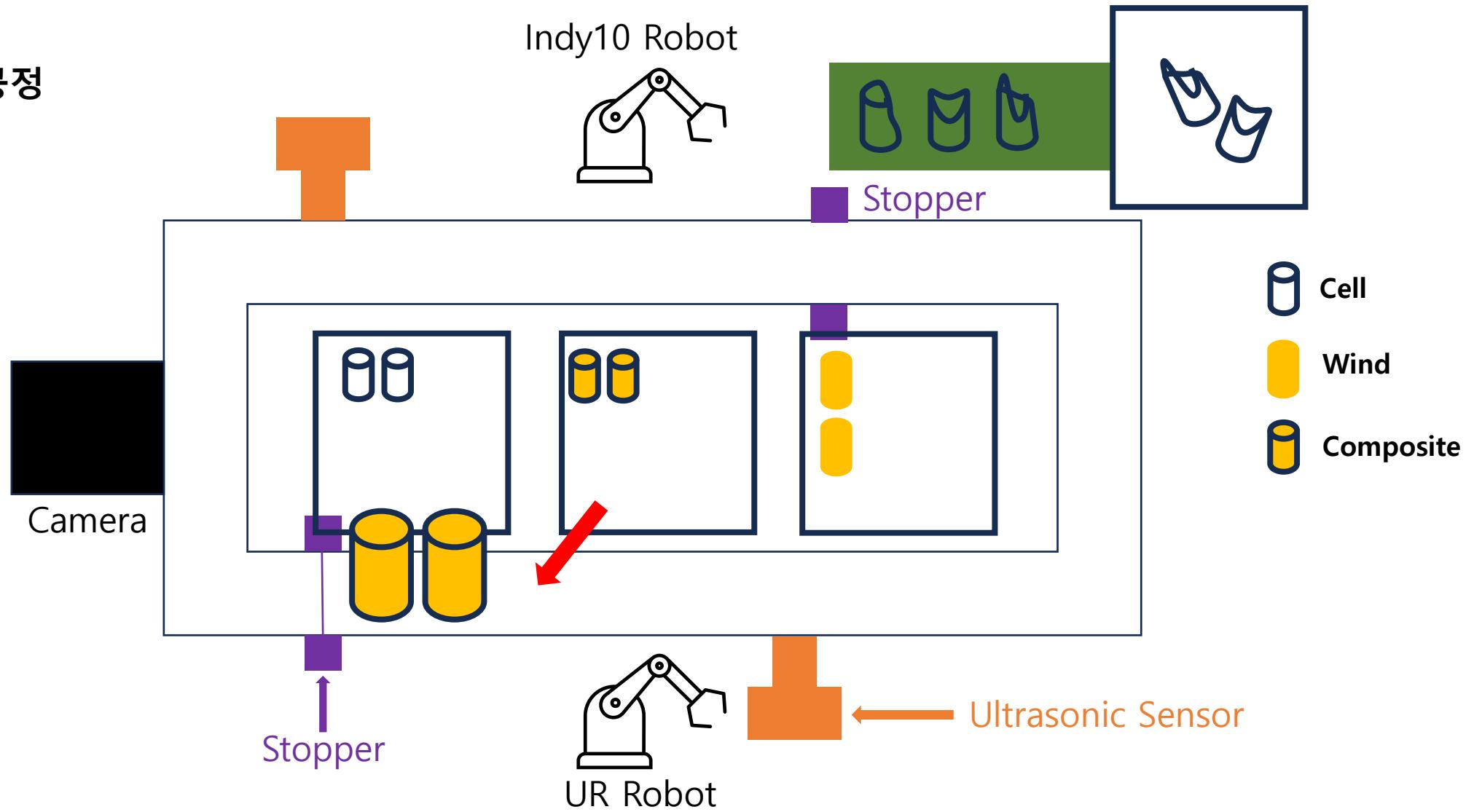
2. Robot AI Process

2-2) 조립 공정



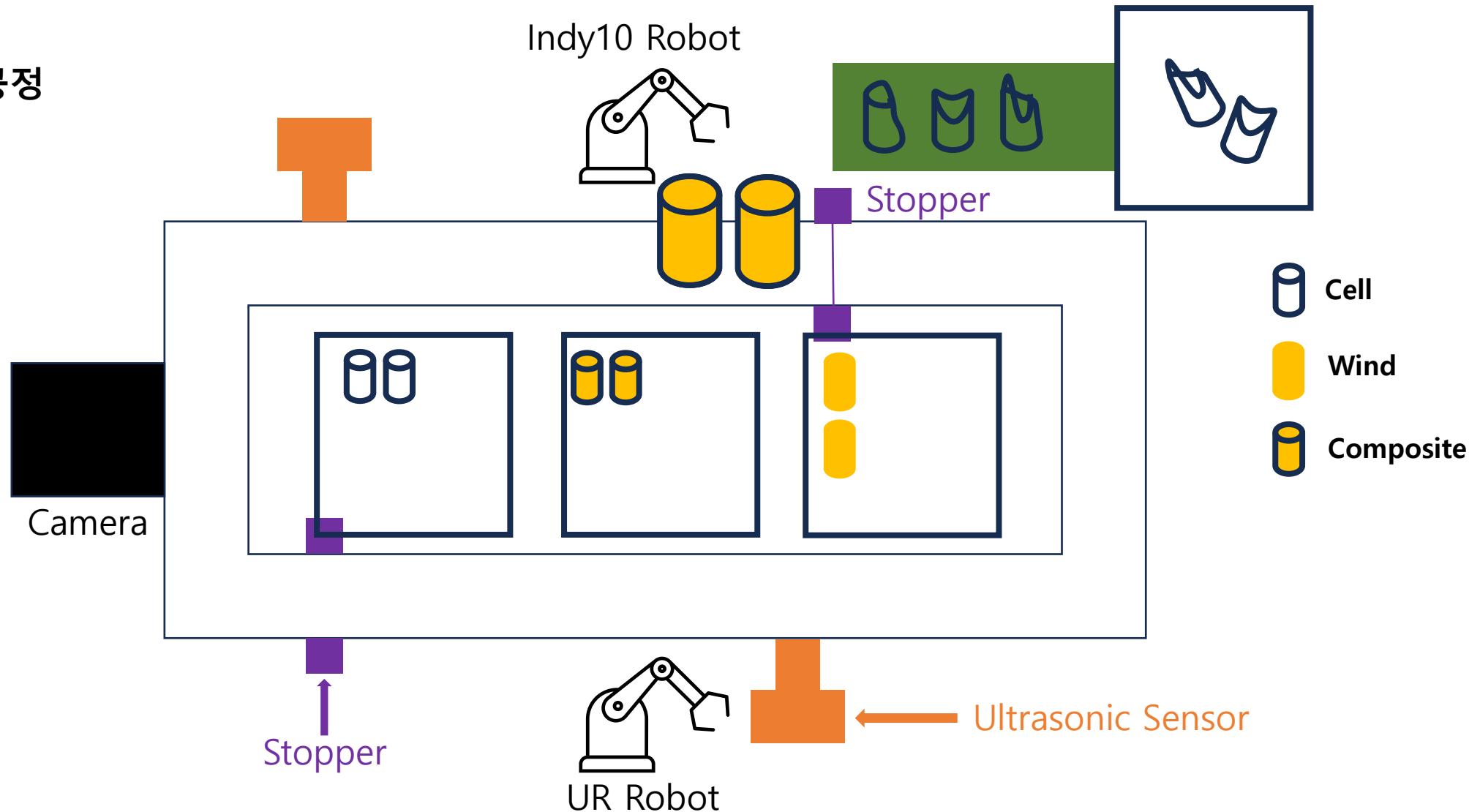
2. Robot AI Process

2-3) 분해 공정



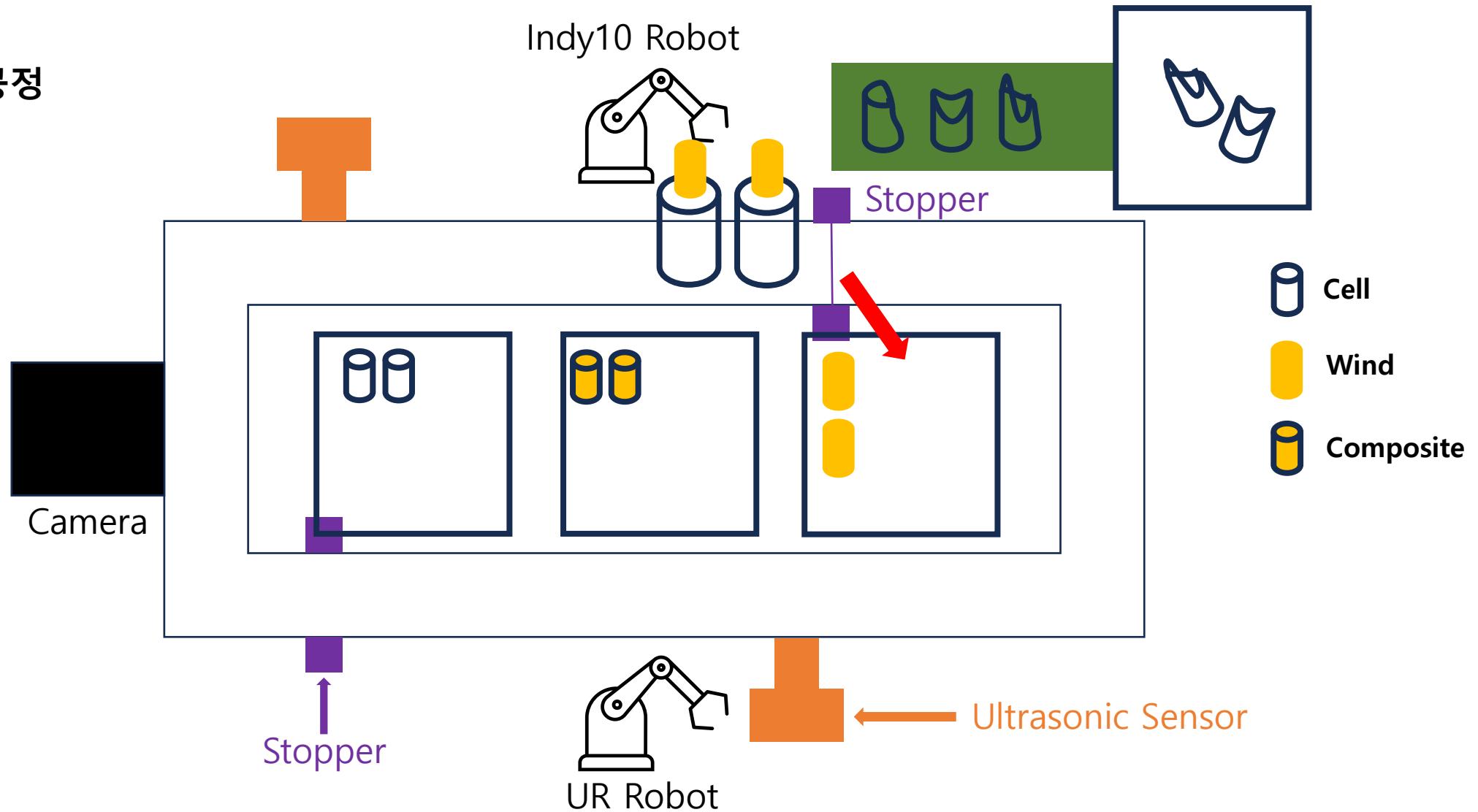
2. Robot AI Process

2-3) 분해 공정



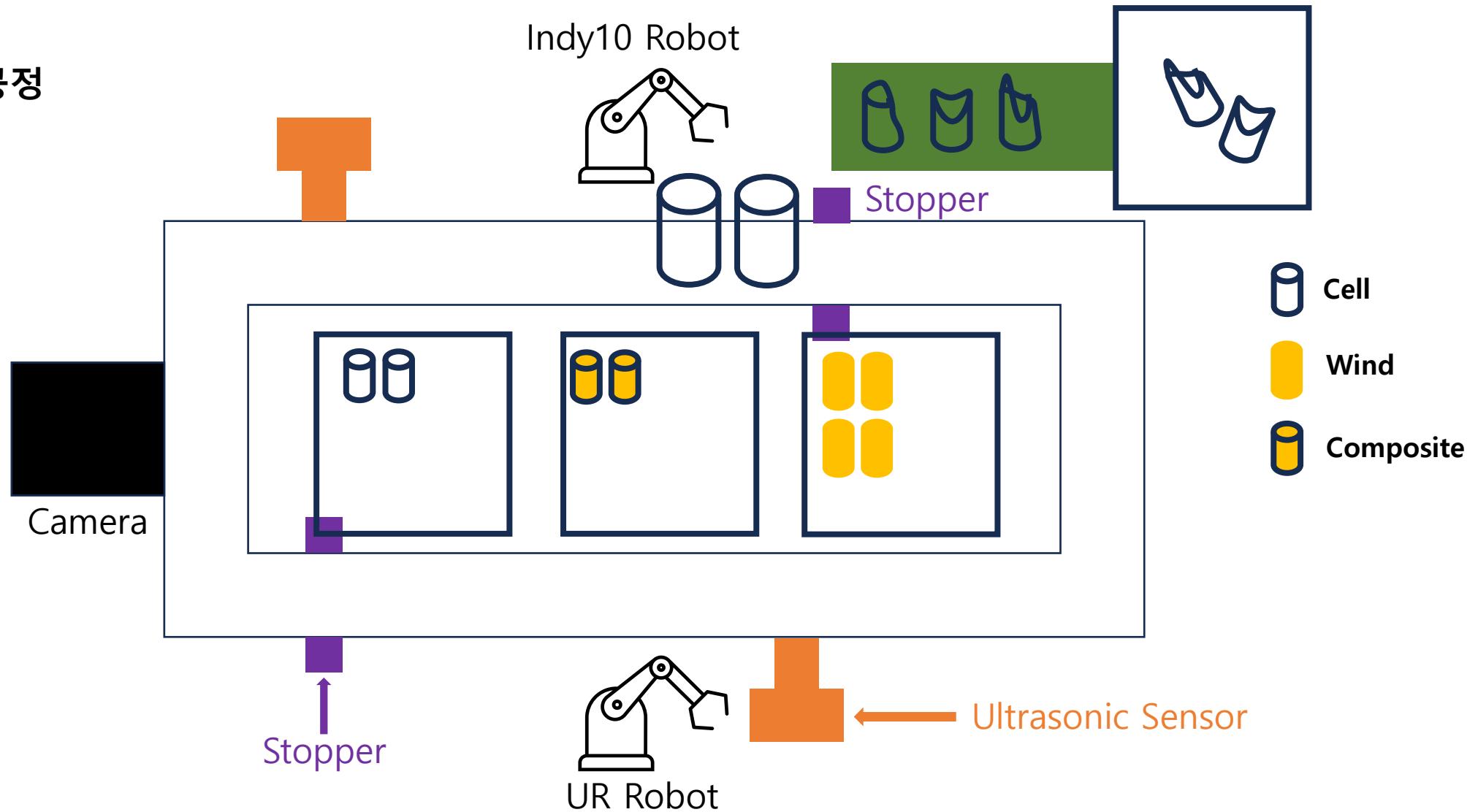
2. Robot AI Process

2-3) 분해 공정



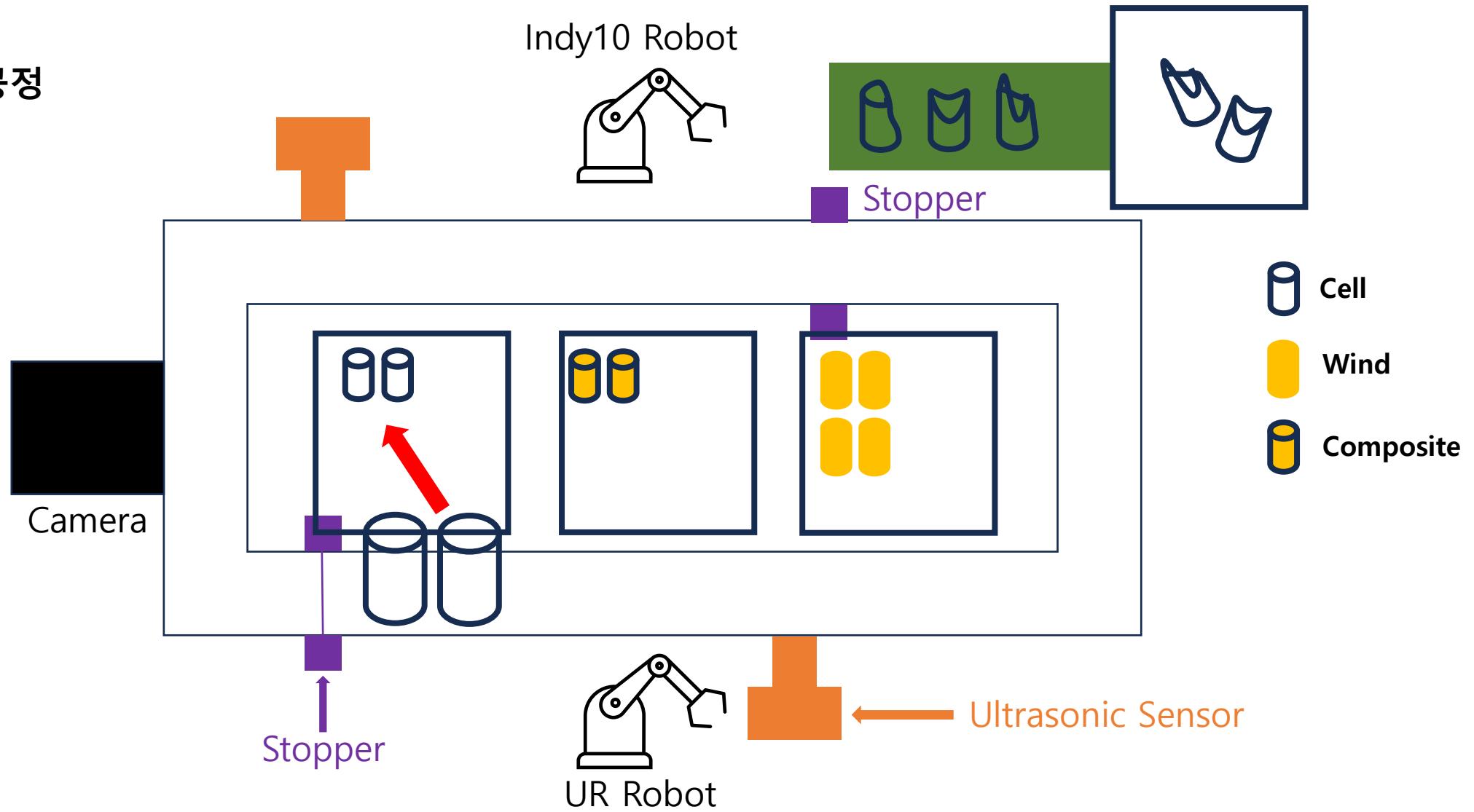
2. Robot AI Process

2-3) 분해 공정



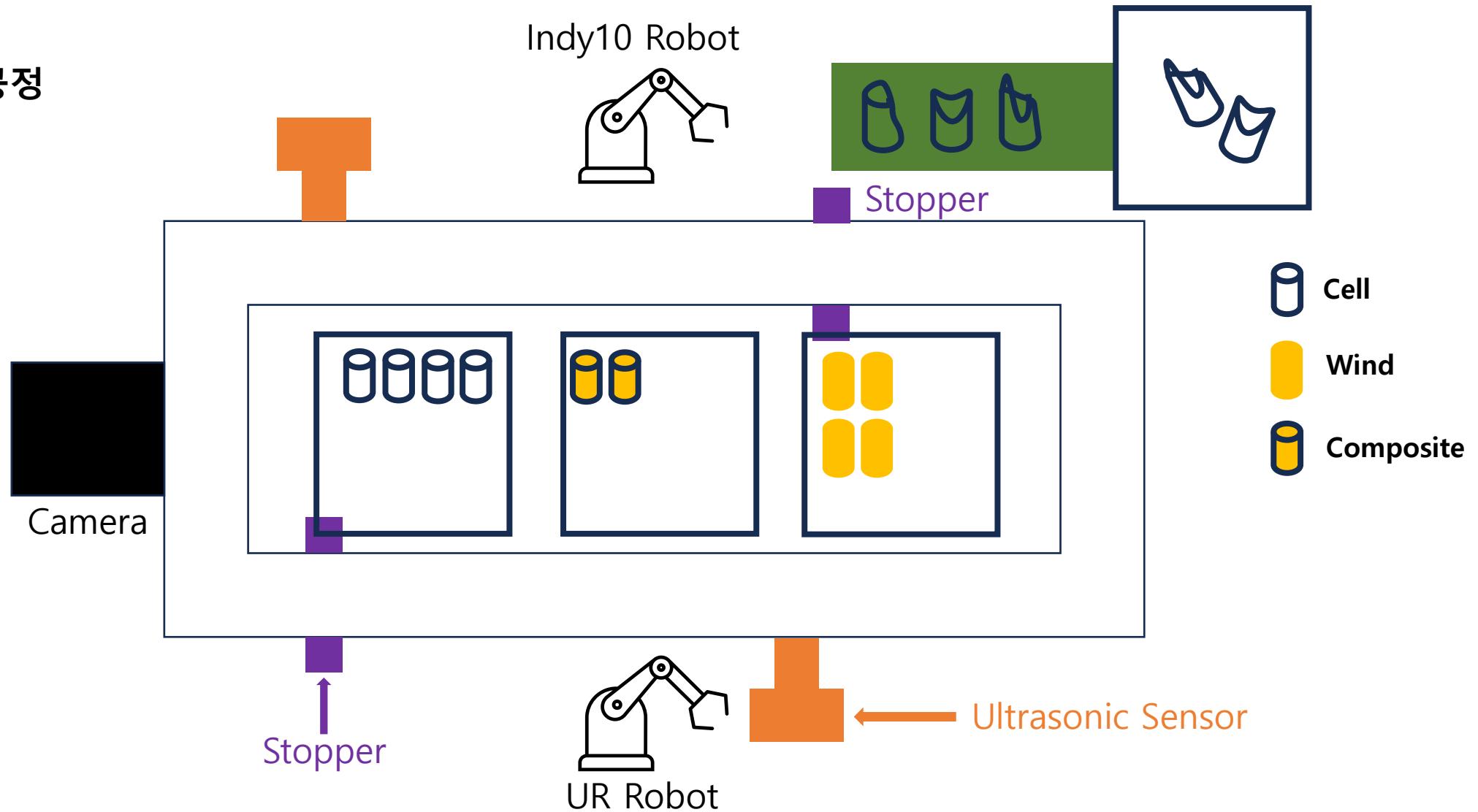
2. Robot AI Process

2-3) 분해 공정



2. Robot AI Process

2-3) 분해 공정



3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-1) Process

A. 조립 공정

1. 빈 셀

- 빈 셀을 셀 박스에서 감지 및 Pick(상대좌표로 감지 및 Pick)
- 브라켓 감지
- 브라켓에 Place(상대좌표로 Place)

2. 완성된 셀

- 브라켓에 있는 완성된 셀 감지 및 Pick(상대좌표로 감지 및 Pick)
- 셀 박스 감지
- 셀 박스에 Place(절대좌표로 진행)

B. 분해 공정

1. 완성된 셀

- 완성된 셀을 셀 박스에서 감지 및 Pick(상대좌표로 감지 및 Pick)
- 브라켓 감지
- 브라켓에 Place(상대좌표로 Place)

2. 빈 셀

- 브라켓에 있는 빈 셀 감지 및 Pick(상대좌표로 감지 및 Pick)
- 셀 박스 감지
- 셀 박스에 Place(절대좌표로 진행)

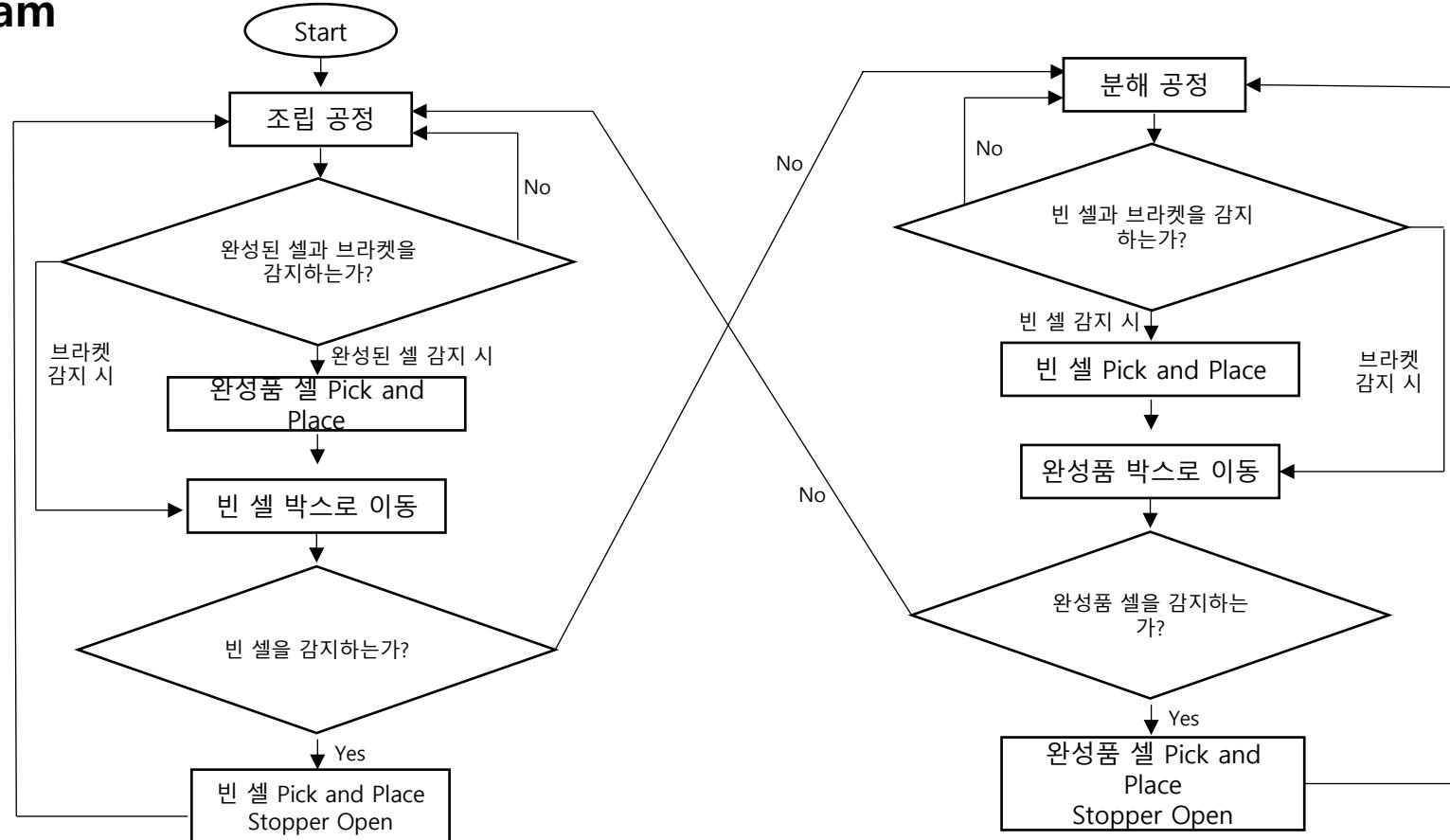
3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-2) 목표

파트	목표
감지 부분	<ul style="list-style-type: none">- 브라켓 감지 성공률 $\geq 98\%$- 셀 박스 감지 성공률 = 100%
Pick and Place	<ul style="list-style-type: none">- Pick and Place 성공률 $\geq 95\%$
Stopper 연동 및 공정 완료 시간	<ul style="list-style-type: none">- Stopper 연동 성공률 = 100%- 조립 / 분해 공정 완료 시간: 1분 이내

3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-3) State Diagram



--- State의 감지 조건은 감지 노드를 통해 모두 처리함 ---

---Ultrasonic Sensor에서 브라켓을 감지하면 Stopper가 닫히는 과정은 아두이노에서 자체 구현---

3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

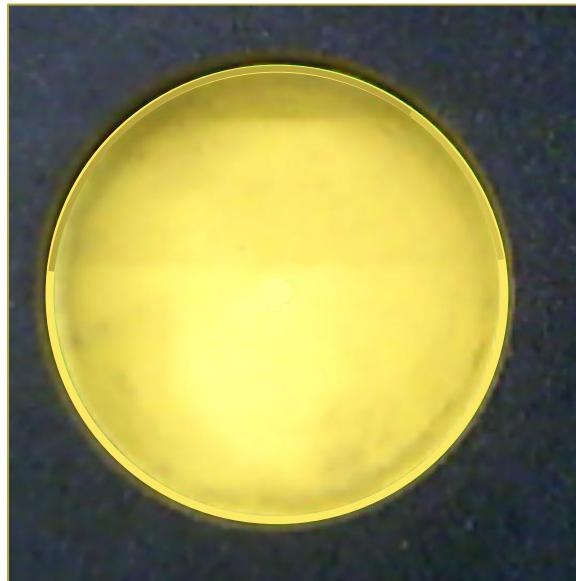
3-4) 감지 노드

A) Bracket

- 브라켓 위치를 정확히 감지해서 셀을 브라켓 안에 Place 하기 위한 감지

RGB로 색 감지(Input) -> InRange로 임계값 기반 Masking(Input) ->
원형 중심점 감지 및 카메라 중심점 기반 이동 거리 계산(Output)

이동해야 할 거리
(Ex: x축=83.5mm, y축=7.3mm)



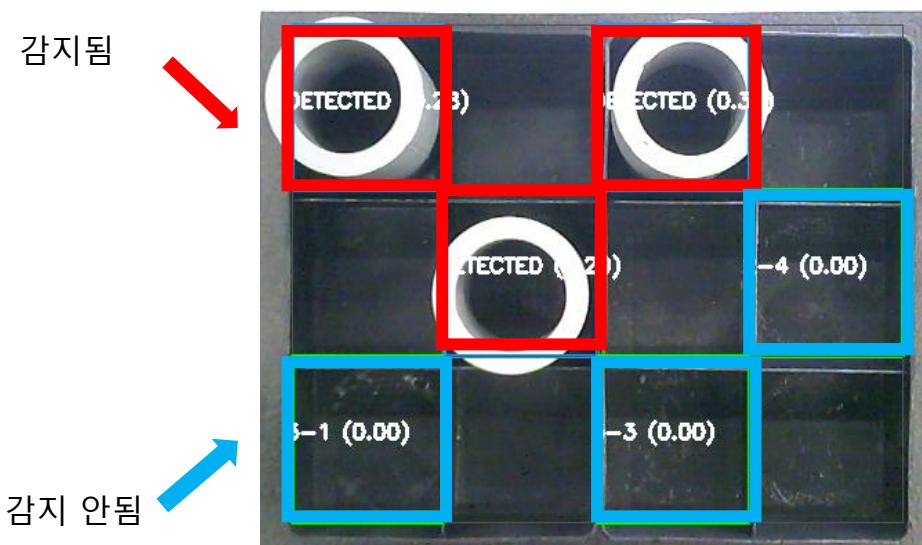
3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-4) 감지 노드

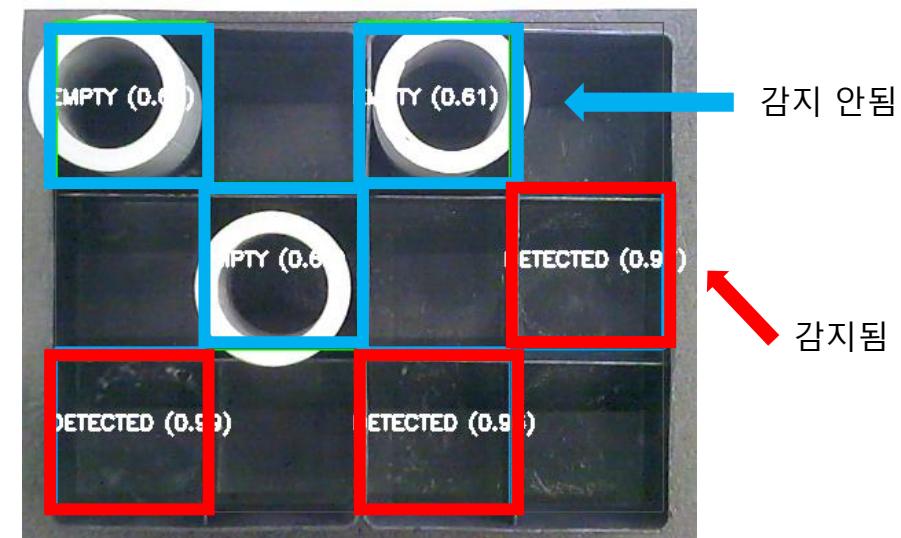
B) Cell Box

- 셀이 있는 박스와 없는 박스를 구별해서 Pick, Place를 수행하기 위한 감지

RGB로 색 감지(Input) -> 특정 색상이 일정 비율 이상 / 이하이면 감지 활성화(Output)



<RGB: Gray > 0.25>
셀이 있는 박스가 감지되어
Pick 수행



<RGB: Black > 0.75>
셀이 없는 박스가 감지되어
Place 수행

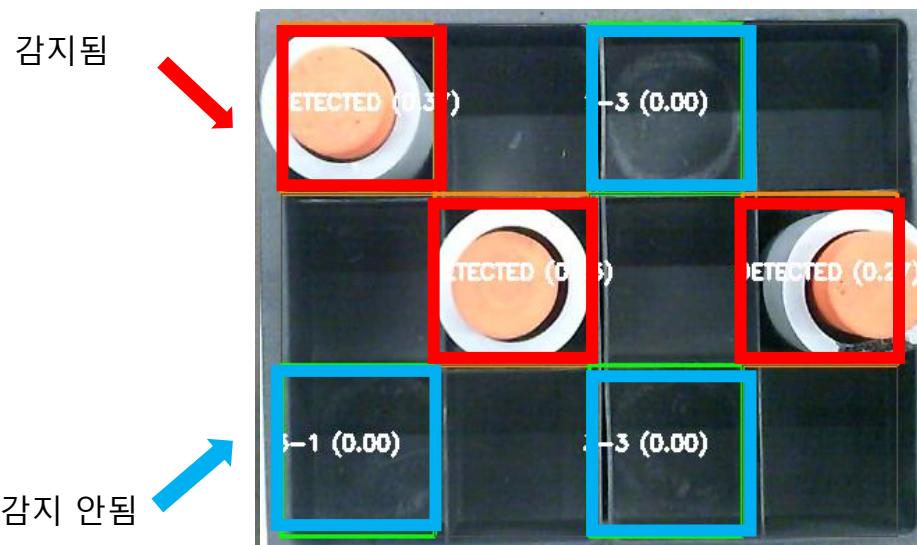
3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-4) 감지 노드

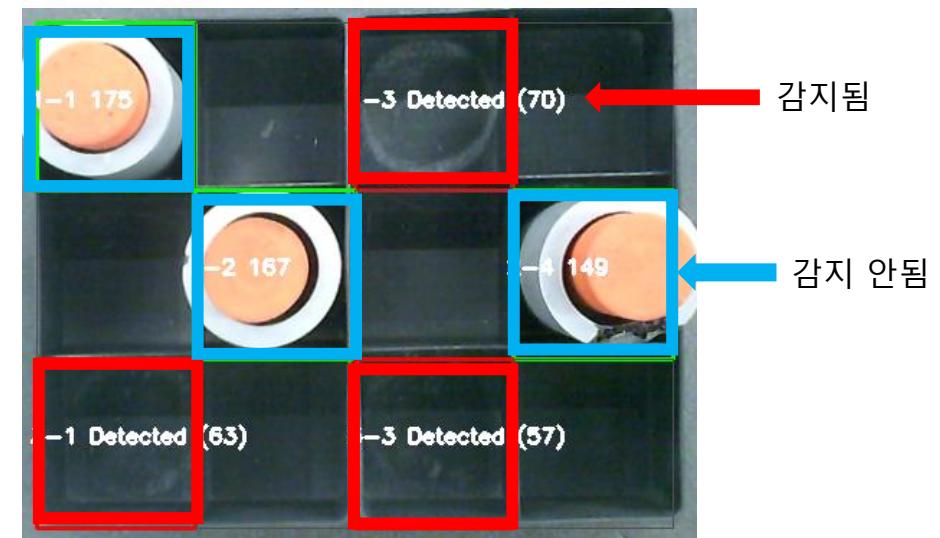
C) Composite Box

- 셀이 있는 박스와 없는 박스를 구별해서 Pick, Place를 수행하기 위한 감지

- RGB로 색 감지(Input) -> 주황색이 일정 비율 이상이면 감지 활성화(Output)
- Threshold로 감지(Input) -> 픽셀 밝기 임계값이 110 이하이면 감지 활성화(Output)



<RGB: Orange > 0.25>
셀이 있는 박스가 감지되서
Pick 수행



<Thresholding < 110>
셀이 없는 박스가 감지되서
Place 수행

3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-4) 감지 노드

D) Cell

- 셀 종류(Cell, Composite)를 정확히 감지해서 공정에 맞게 셀을 Pick and Place 하기 위한 감지

1) 빈 셀: Canny Edge로 경계선 감지(Input) → 원형 중심점 감지 및 카메라 중심점 기반 이동 거리 계산(Output)

2) Composite 셀: Canny Edge로 경계선 **AND** RGB로 Composite 셀 감지(Input) → 원형 중심점 감지 및 카메라 중심점 기반 이동 거리 계산 (Output)



<Canny Edge>
↓



<Find Center>

3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-4) 감지 노드

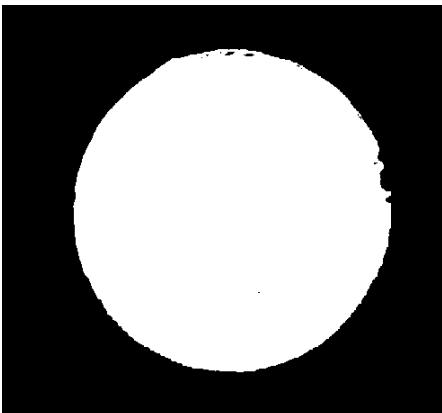
D) Cell

- 셀 종류(Cell, Composite)를 정확히 감지해서 공정에 맞게 셀을 Pick and Place 하기 위한 감지

1) 빈 셀: Canny Edge로 경계선 감지(Input) → 원형 중심점 감지 및 카메라 중심점 기반 이동 거리 계산(Output)

2) Composite 셀: Canny Edge로 경계선 **AND** RGB로 Composite 셀 감지(Input) → 원형 중심점 감지 및 카메라 중심점 기반 이동 거리 계산 (Output)

<Canny Edge>



<Color Detecting: RGB>



<Find Center>

3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-5) 결과

- Test는 총 100회 시행
- 공정 시간은 Stopper가 브라켓에 닿는 순간부터 프로세스 완료 후 Stopper가 열리는 시점까지로 측정

파트	목표	결과
감지 부분	<ul style="list-style-type: none">- 브라켓 감지 성공률 $\geq 98\%$- 셀 박스 감지 성공률 = 100%	<ul style="list-style-type: none">- 브라켓 감지 성공률 = 100%- 셀 박스 감지 성공률 = 100%
Pick and Place	<ul style="list-style-type: none">- Pick and Place 성공률 $\geq 95\%$	<ul style="list-style-type: none">- Pick and Place 성공률 = 97%
Stopper 연동 및 공정 완료 시간	<ul style="list-style-type: none">- Stopper 연동 성공률 = 100%- 조립 / 분해 공정 완료 시간: 1분 이내	<ul style="list-style-type: none">- Stopper 연동 성공률 = 100%- 조립 / 분해 공정 완료 시간: 1분 35초

3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-5) 결과(평가)

- Pick and Place는 목표치 $\geq 95\%$ 를 달성했지만, 배터리 셀 조립 / 분해 공정에서 실패는 중요한 문제이기 때문에 분석 필요
- 분해 / 공정 목표 시간 달성을 실패한 부분에 대해 분석 필요(목표치: 1분 이내)

파트	결과	평가
감지 부분	<ul style="list-style-type: none">- 브라켓 감지 성공률 = 100%- 셀 박스 감지 성공률 = 100%	<ul style="list-style-type: none">- 감지는 모두 100%로 완벽히 성공
Pick and Place	<ul style="list-style-type: none">- Pick and Place 성공률 = 97%	<ul style="list-style-type: none">- Pick and Place 성공률은 목표치를 달성했으나 100회 중 3회 실패했기 때문에 분석 필요
Stopper 연동 및 공정 완료 시간	<ul style="list-style-type: none">- Stopper 연동 성공률 = 100%- 조립 / 분해 공정 완료 시간: 1분 35초	<ul style="list-style-type: none">- Stopper 연동 성공률 = 100%를 달성했으나 조립 / 분해 공정 시간이 목표로 삼았던 1분보다 더 오래 걸렸기 때문에 분석 필요

3. 공정 인식 기반 Pick and Place 자동화

3-6) 문제점 분석

- Pick and Place 100회 실행 결과 3회 실패

상대좌표 함수

- go_to_joint_rel()의 tolerance는 0.003, 즉 최대 3mm까지 허용됨
- 단 tolerance 값을 너무 작게 할 경우, 경로 계산 시간 증가(Trade off)
- Trade off를 고려해서 tolerance 값을 더 세밀하게 조절해야 함

- 느린 조립 / 분해 공정

→ 로봇의 공간좌표 X, Y, Z를 직접 지정하여 이동시키는 카르테시안 기법은 자세(yaw/pitch/roll)의 부호 반전 위험이 없고 또한 경로 계산을 2mm마다 하도록 나누었기 때문에 정밀하지만 움직임 느림

→ 기존의 end-effector의 자세(yaw/pitch/roll)를 통해 움직임을 제어할 경우(Euler 기법) 속도는 빠르지만 간혹 자세 부호가 반전될 때 로봇이 틀어지는 심각한 문제 발생(Trade off)

→ 감지 노드를 콜백할 때 딜레이 시간 존재(측정 결과 약 1.5s이며, rospy.sleep() 문제보다는 ROS 통신 자체의 문제)

4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

4-1) Process & Target

A. 조립 공정

1. 와인딩 공정

- 브라켓 감지
- 빈 배터리 셀 감지
- 와인드 상대좌표 감지후 결합

2. 불량 셀 감지

- 수신 받은 플래그 기반 불량품 구분

B. 분해 공정

1. 완성된 배터리 셀에서 와인드 분해 공정

- 브라켓 감지
- 완성품 배터리 셀 감지
- 와인드 상재좌표 감지후 분해 및 빈 와인드 박스에 위치

C. 공정 목표

각 공정 프로세스 별로 100 번의 반복 테스트를 적용하여 각 노드 별로 공정 성공률 임계치를 정하고 이를 목표로 한다.

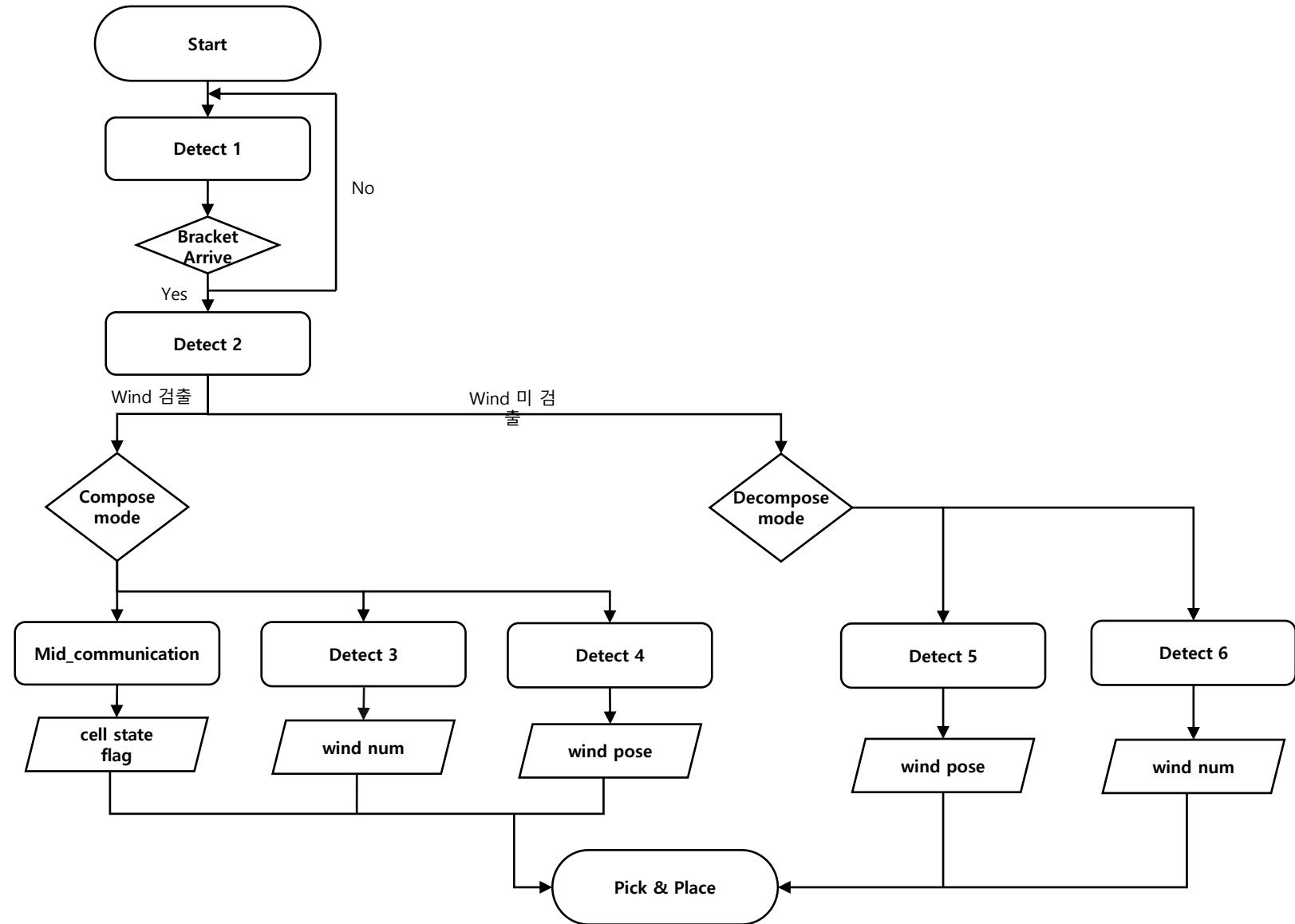
4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

4-2) 목표

파트	목표
Detecting 부분	- 셀 / 와인딩 감지 성공률 = 100%
Pick and Place 및 불량 셀 소거	- 와인딩 조립 / 분해 성공률 $\geq 95\%$ - 불량 셀 소거 성공률 $\geq 95\%$
Stopper 연동 및 공정 완료 시간	- Stopper 연동 성공률 = 100% - 조립 / 분해 공정 평균 완료 시간: 1분 이하

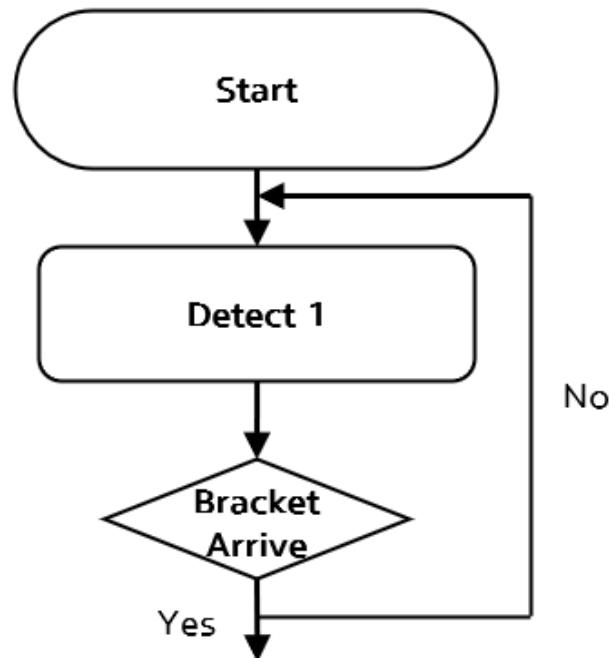
4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

4-3) State Diagram



4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

4-4) 감지 노드1: Bracket 감지



해당 노드에서 Bracket의 도착 여부를 판별한다.

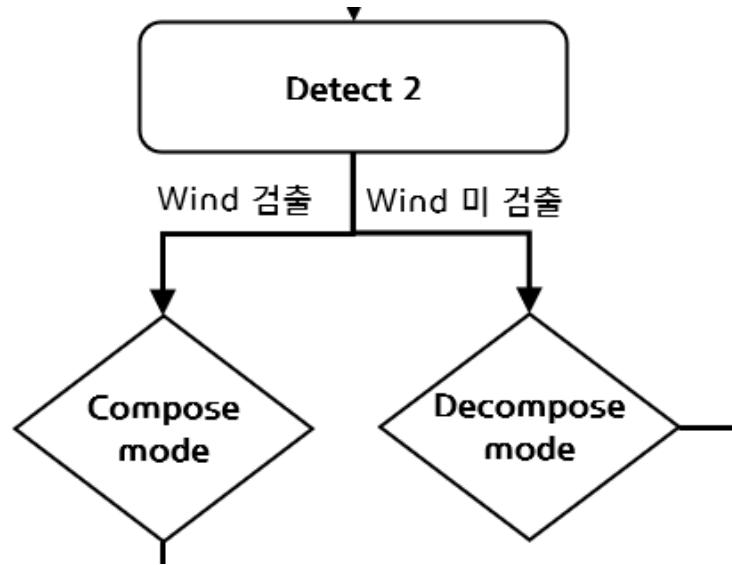
Bracket의 도착 여부는 컨베이어 벨트가 하얀색 Bracket이 검은색임을 활용해 고전영상처리로 평균 intensity 값을 계산하며 임계값(150.0) 이하 일 때 플래그가 넘어간다.



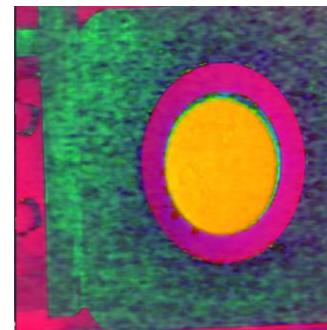
Average Intensity : 89.51

4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

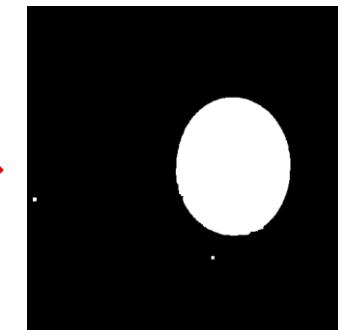
4-4) 감지 노드2: Wind 결합 여부 감지



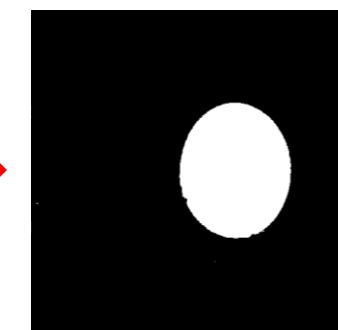
해당 노드에서는 cell에 winder의 결합 여부를 판단하여 진행 공정을 결정한다.
아래와 같은 고전영상처리 프로세스를 통해 wind가 감지 되었을 경우 분해공정으로,
감지되지 않았을 경우 결합공정으로 넘어가게 된다.



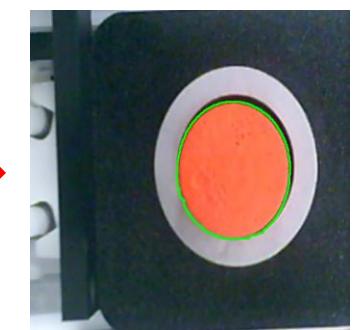
<CvtColor HSV>



<inRange>
주황색 색상 검
출



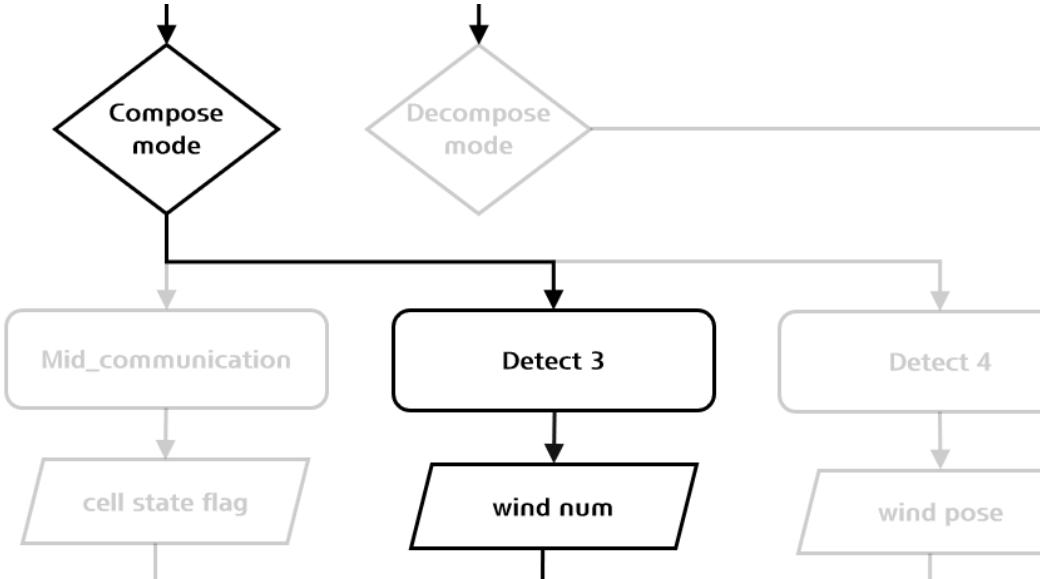
<Morphology: Open>
Mask 생성



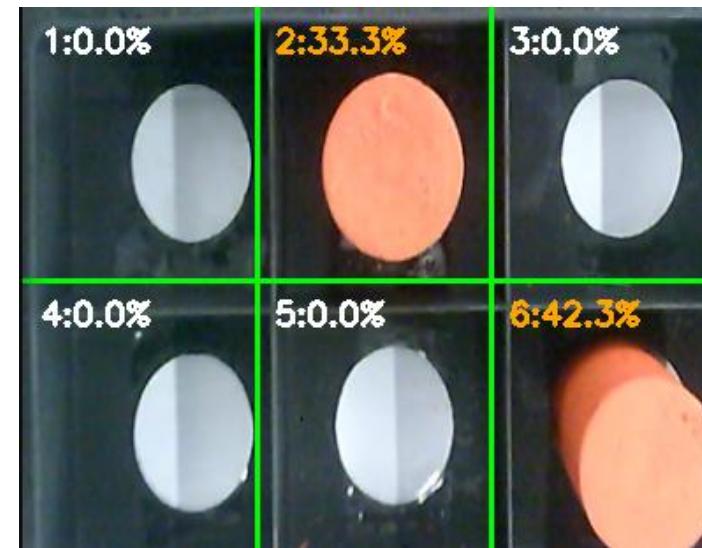
<FindContour>
윤곽선 검출로
Wind 존재 유무 감
지

4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

4-4) 감지 노드3: 결합 공정 시 Wind 번호 감지



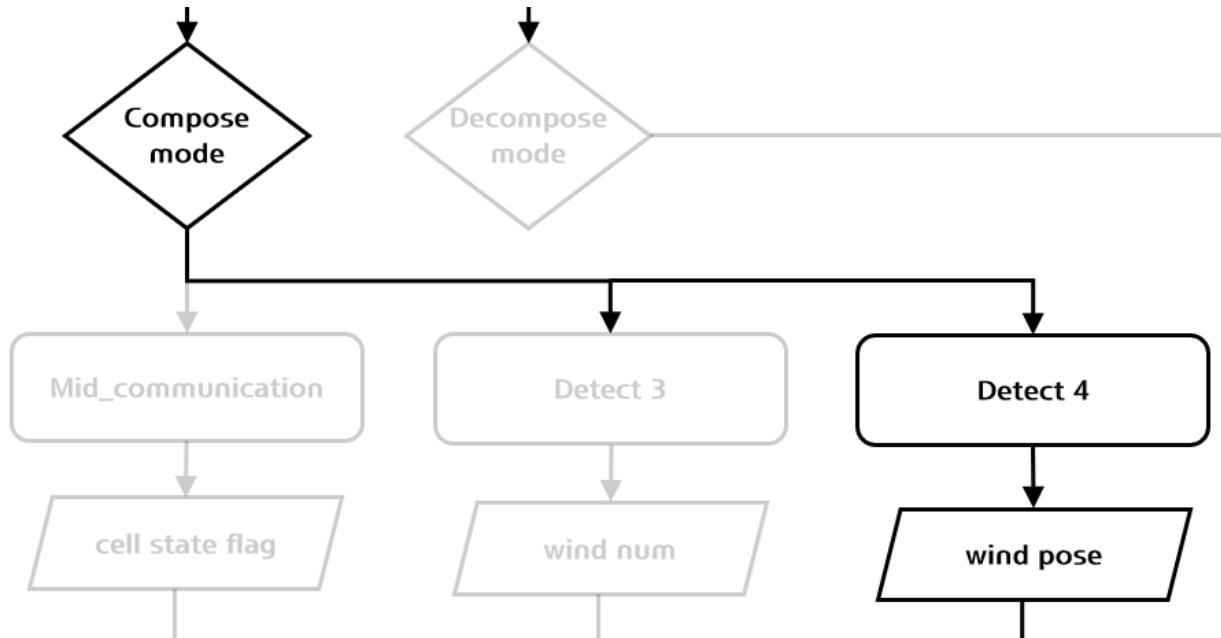
해당 노드에서는 결합 공정 시 결합할 wind 번호를 결정한다.
색상 검출을 통해 wind 색이 임계값을 이상일 경우 박스에 wind가 채워져 있는 것으로 판단하며 몇 번째 wind인지에 대한 정보를 indy10 로봇에게 넘긴다.
왼쪽부터 상단에서 1,2,3 하단에서 4,5,6의 wind number 정보를 가진다.



Wind is in num2 and num6

4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

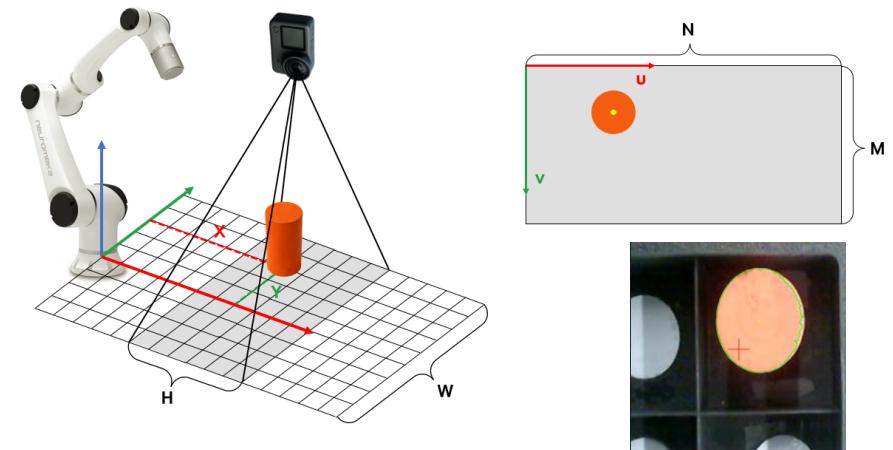
4-4) 감지 노드4: 결합 공정 시 Wind 중심 상대 좌표 계산



해당 노드에서 결합공정에서 cell에 결합할 wind를 잡기 위해 wind 중심의 상대좌표를 계산한다. 상대좌표는 고전영상처리 이후 아래 수식으로 구해지며 반환 값은 wind 중심의 상대 좌표 [cm].

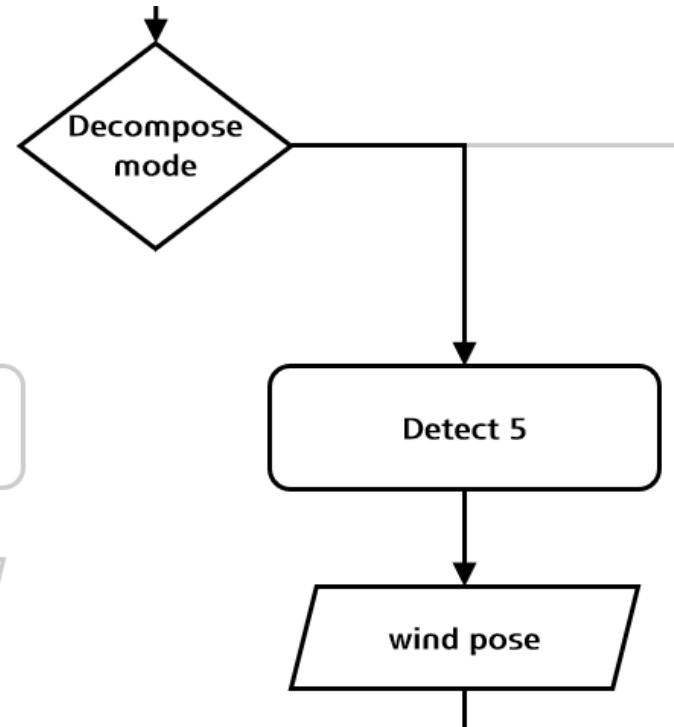
$$x_{cm} = -\left(v - \frac{M}{2}\right) \cdot \frac{M}{H}$$
$$y_{cm} = -\left(u - \frac{N}{2}\right) \cdot \frac{N}{W}$$

- W denotes Word Width
- H denotes Word Height
- N denotes Image pixel width
- M denotes Image pixel height



4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

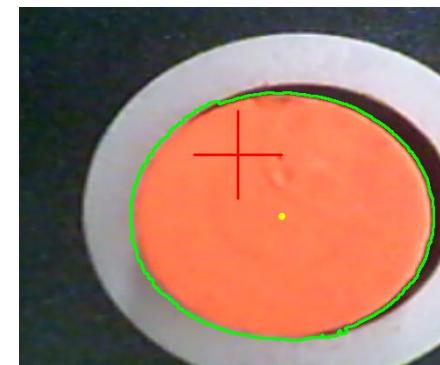
4-4) 감지 노드5: 분해 공정 시 Wind 중심 상대 좌표 계산



해당 노드에서 분해공정에서 cell에서 분리할 wind를 잡기 위해 wind 중심의 상대좌표를 계산한다. 상대좌표는 고전영상처리 이후 아래 수식으로 구해지며 반환 값은 wind 중심의 상대 좌표 [cm].

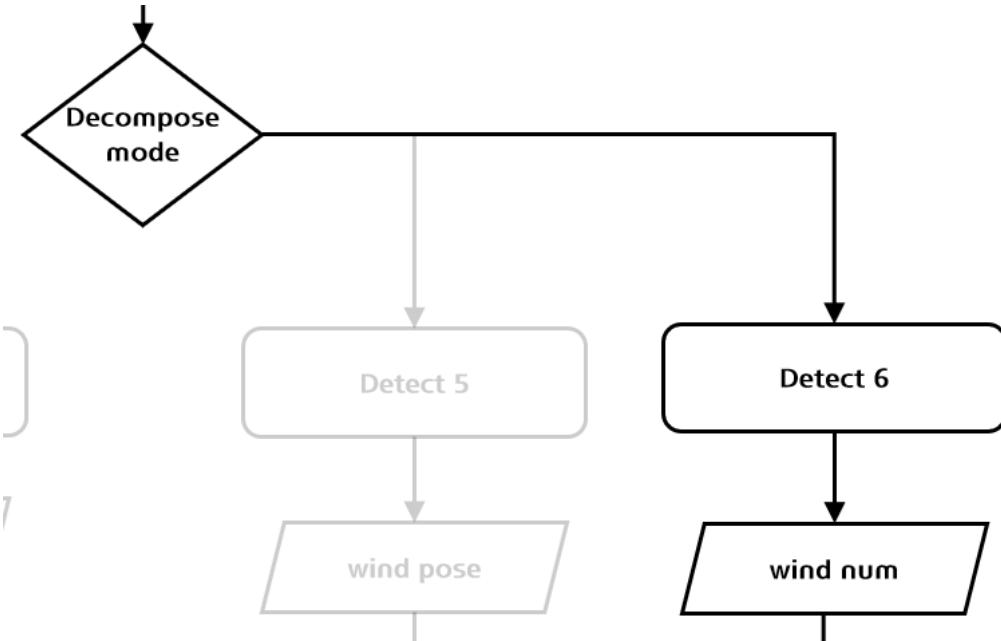
$$x_{cm} = -\left(v - \frac{M}{2}\right) \cdot \frac{M}{H}$$
$$y_{cm} = -\left(u - \frac{N}{2}\right) \cdot \frac{N}{W}$$

- W denotes Word Width
- H denotes Word Height
- N denotes Image pixel width
- M denotes Image pixel height

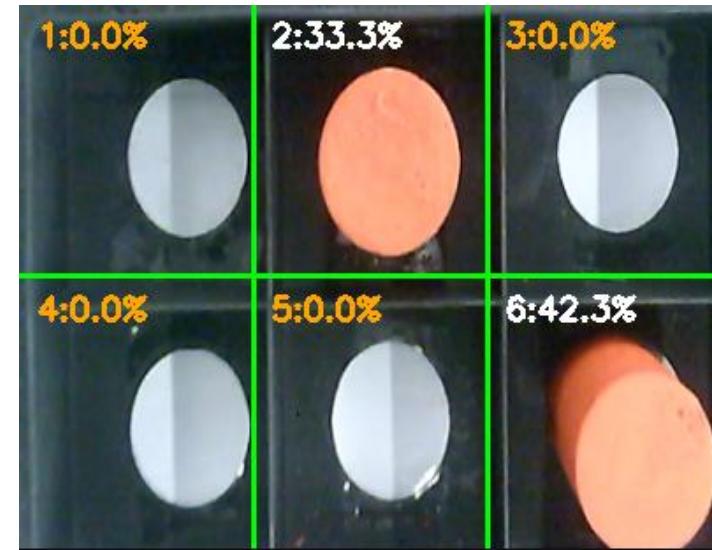


4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

4-4) 감지 노드6: 분해 공정 시 Wind 번호 감지



해당 노드에서는 분해 공정시 분해한 wind를 놓을 번호를 결정한다.
색상 검출을 통해 wind 색이 임계값 이하일 경우 박스에 wind가 비어 있는 것으로
판단하며 몇 번째 wind인지에 대한 정보를 indy10 로봇에게 넘긴다.
왼쪽부터 상단에서 1,2,3 하단에서 4,5,6의 wind number 정보를 가진다.



Wind is in num2 and num6

4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

4-5) 결과

- Test는 총 100회 시행
- 공정 시간은 Stopper가 브라켓에 닿는 순간부터 프로세스 완료 후 Stopper가 열리는 시점까지로 측정

파트	목표	결과
Detecting 부분	- 셀 / 와인딩 감지 성공률 = 100%	- 셀 / 와인딩 감지 성공률 = 100%
Pick and Place 및 불량 셀 소거	- 와인딩 조립 / 분해 성공률 \geq 95% - 불량 셀 소거 성공률 \geq 95%	- 와인딩 조립 / 분해 성공률 = 98% - 불량 셀 소거 성공률 = 99%
Stopper 연동 및 공정 완료 시간	- Stopper 연동 성공률 = 100% - 조립 / 분해 공정 완료 시간: 1분 이내	- Stopper 연동 성공률 = 100% - 조립 / 분해 공정 평균 완료 시간: 57s

4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

4-5) 결과 평가

- Pick and Place는 목표치 $\geq 95\%$ 를 달성했지만, 배터리 셀 조립 / 분해 공정에서 실패는 중요한 문제이기 때문에 분석 필요
- 분해 / 공정 목표 시간 달성 실패한 부분에 대해 분석 필요(목표치: 1분 이내)

파트	결과	평가
Detecting 부분	- 셀 / 와인딩 감지 성공률 = 100%	- 감지는 모두 100%로 완벽히 성공
Pick and Place 및 불량 셀 소거	- 와인딩 조립 / 분해 성공률 = 98% - 불량 셀 소거 성공률 = 99%	- Pick and Place 성공률은 목표치를 달성했으나 100회 중 2회 실패에 대한 분석 필요
Stopper 연동 및 공정 완료 시간	- Stopper 연동 성공률 = 100% - 조립 / 분해 공정 평균 완료 시간: 57s	- Stopper 연동 성공률 = 100%를 달성했으나 조립 / 분해 공정 시간이 목표로 삼았던 1분은 평균 완료 시간은 충족하였으나 1분을 초과하는 경우에 대한 분석 필요

4. 카메라 인식 기반 Cell & Wind 분해 및 결합 자동화

4-6) 문제점 분석

- Pick and Place 100회 실행 결과 cell/wind 인식 확률 100%, 상대 좌표 부정확도로 인한 결합 2회 실패

상대좌표 함수

- go_to_joint_rel()의 tolerance는 0.003, 즉 최대 3mm까지 허용됨
- 단 tolerance 값을 너무 작게 할 경우, 로봇의 경로 계산 시간 증가(Trade off)
- Trade off를 고려해서 tolerance 값을 더 세밀하게 조절해야 함

- 느린 조립 / 분해 공정

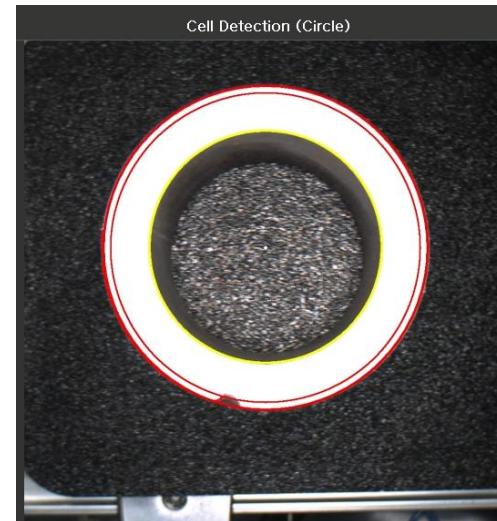
- 감지 노드를 콜백할 때 딜레이 시간 존재(측정 결과 약 1.5s이며, rospy.sleep() 문제보다는 ROS 통신 자체의 문제)
- 각 프로세스 종료 시마다 ros 노드를 초기화하여 딜레이 시간을 최소화하는 방법을 사용해서 목표로 삼았던 공정 완료 시간 (1분)을 충족한다.

5. Detecting Defect

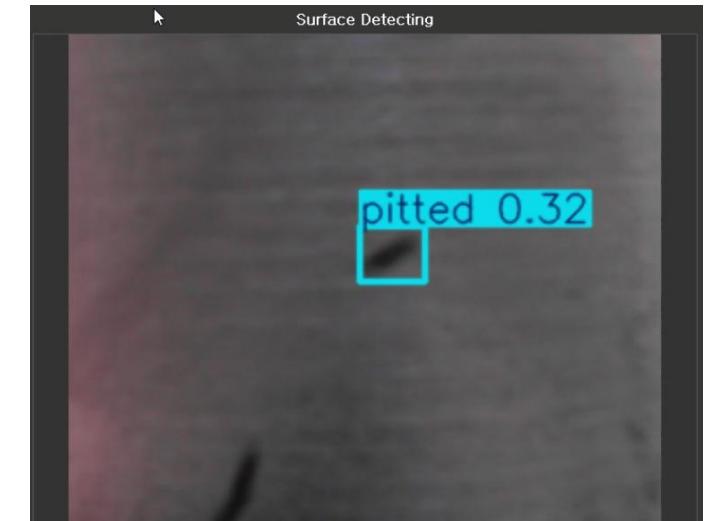
5-1. 목적 및 개요 : 배터리 셀의 결함을 확인하고 정상인 비정상인지 판별하여 로봇에게 flag를 전송한다.

결함 케이스:

1. 윗면에 Circularity Check
2. 옆면에 결함(inclusion, pitted, rugged, scratch)



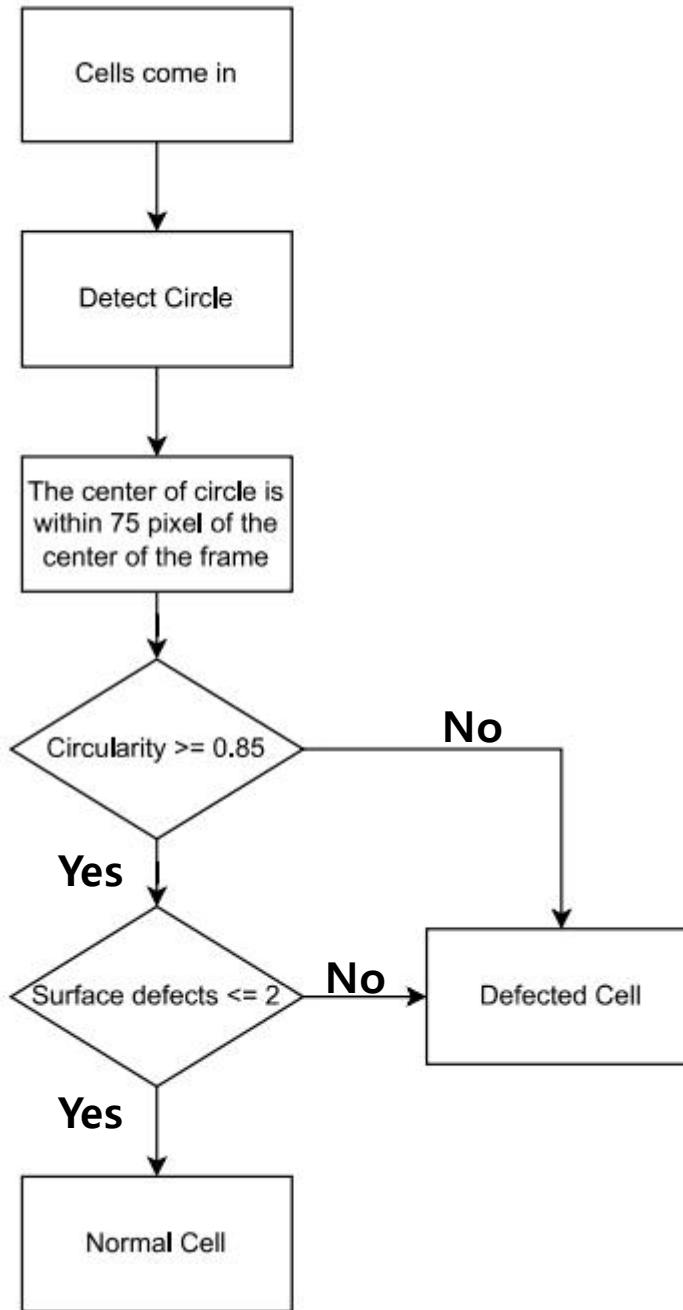
Upper Circle Check



Surface Detection

5. Detecting Defect

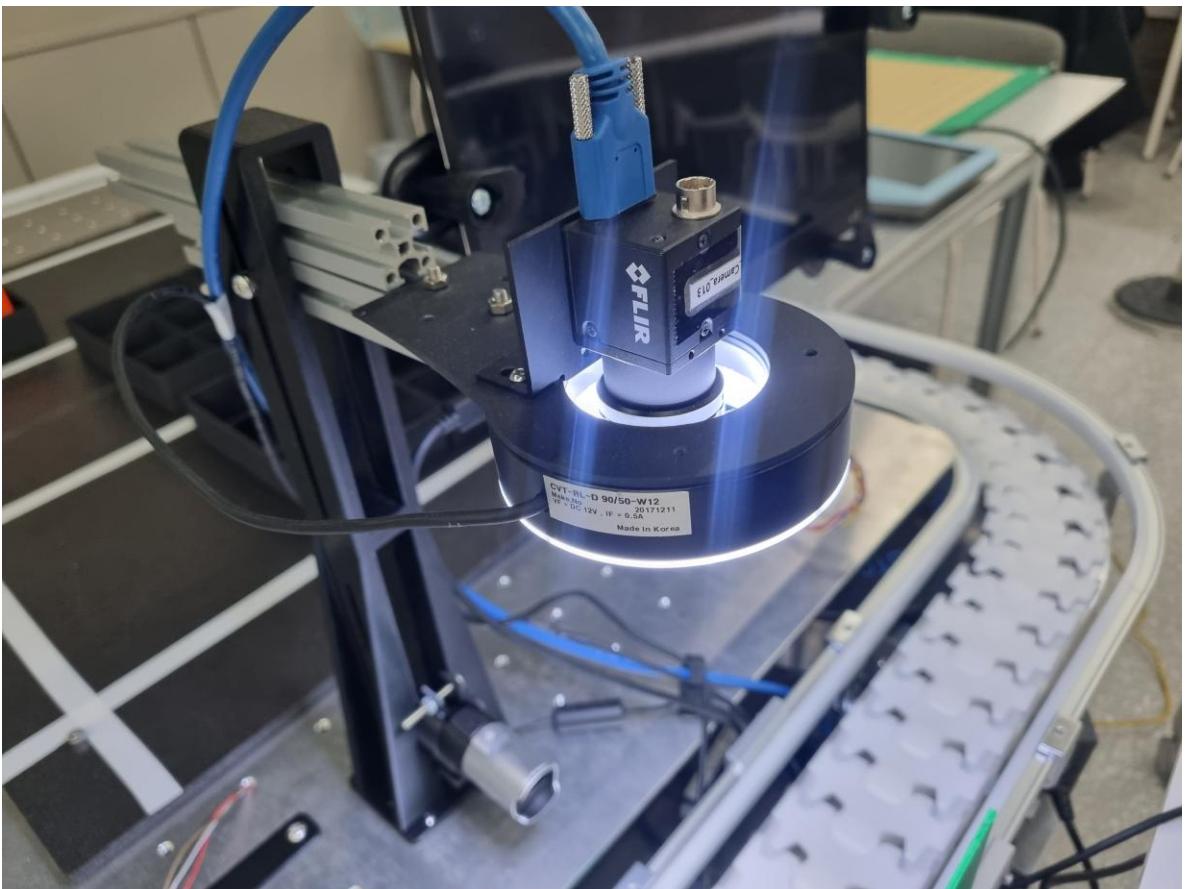
5-1. 목적 및 개요



5. Detecting Defect

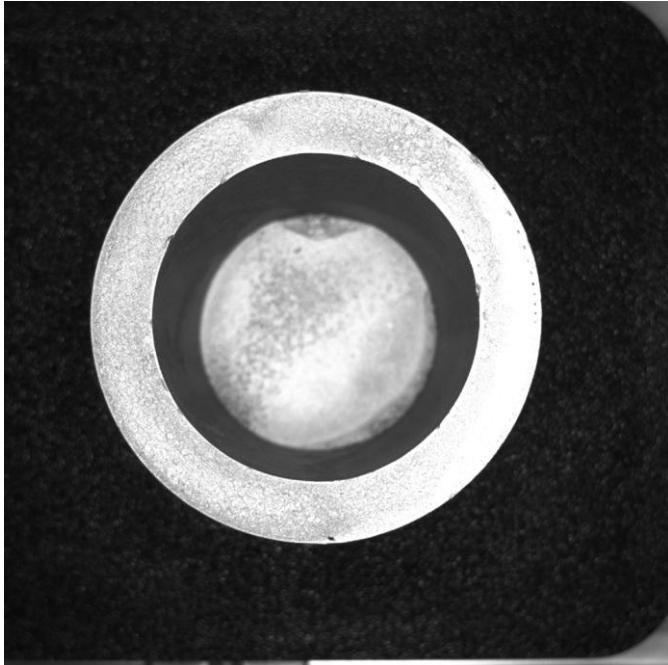
5-2. 원형 검사

1. Extract center ROI (1000X1000)
2. Convert to grayscale
3. Apply Gaussian blur
4. Detect outer circle using Hough Circle
5. Validate radius/area
6. Create a ring-shaped mask using outer radius (25pixel)
7. Apply Canny edge detection and extract contours

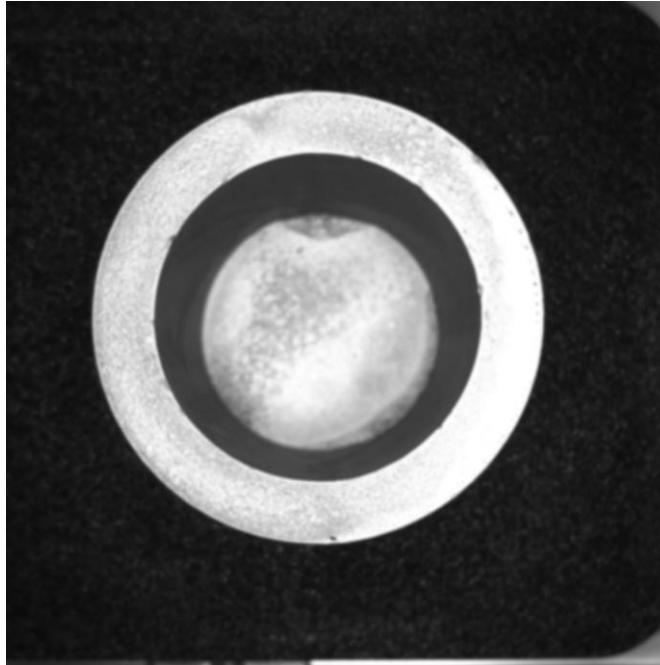


5. Detecting Defect

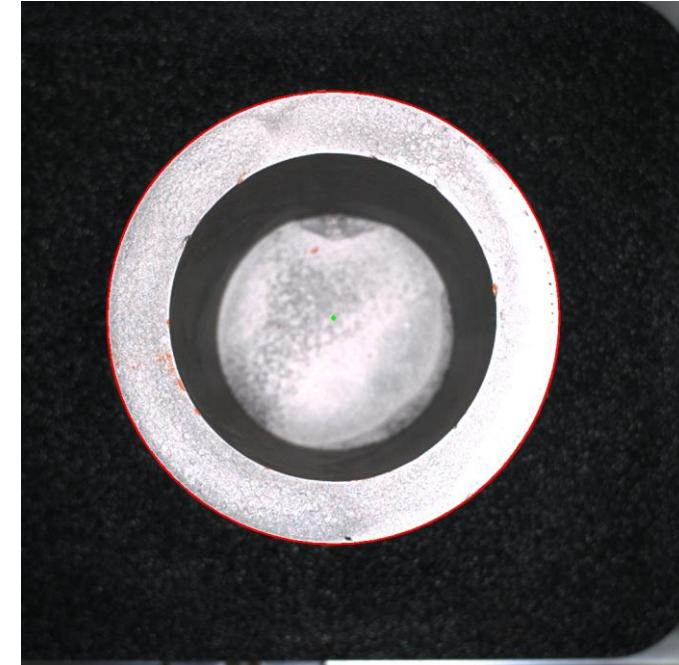
5-2. 원형 검사



Grayscale



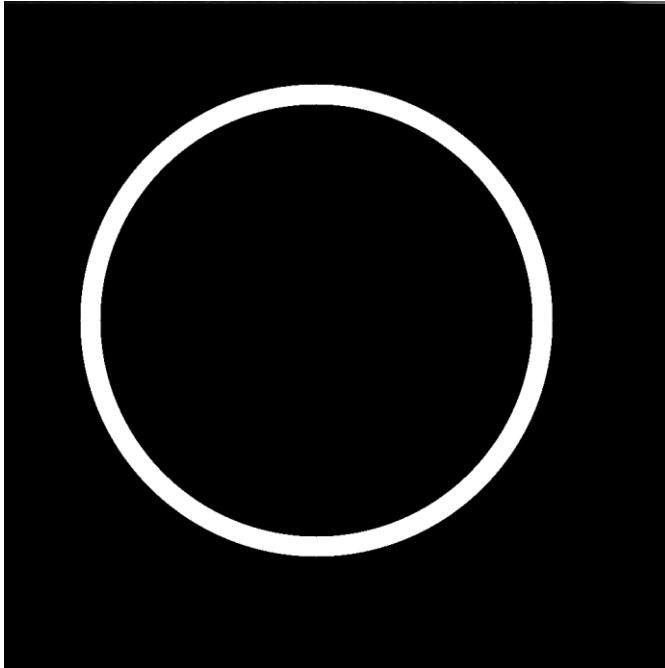
Gaussian blur



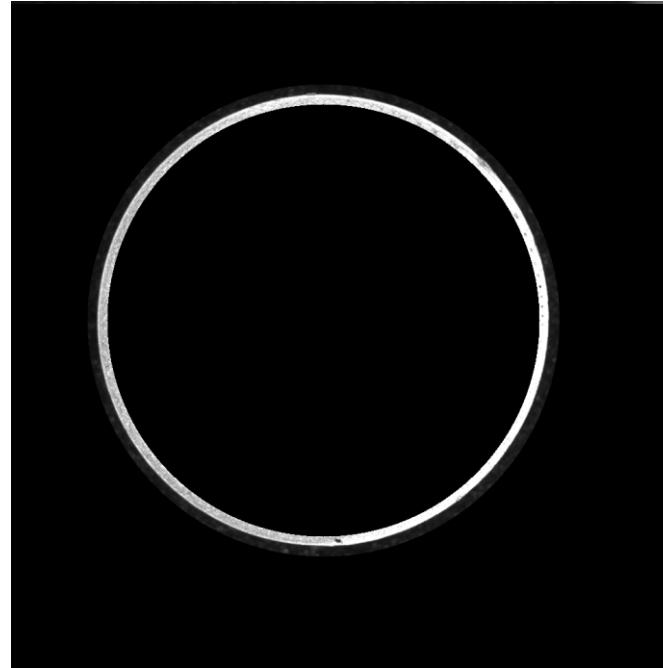
Hough Circle

5. Detecting Defect

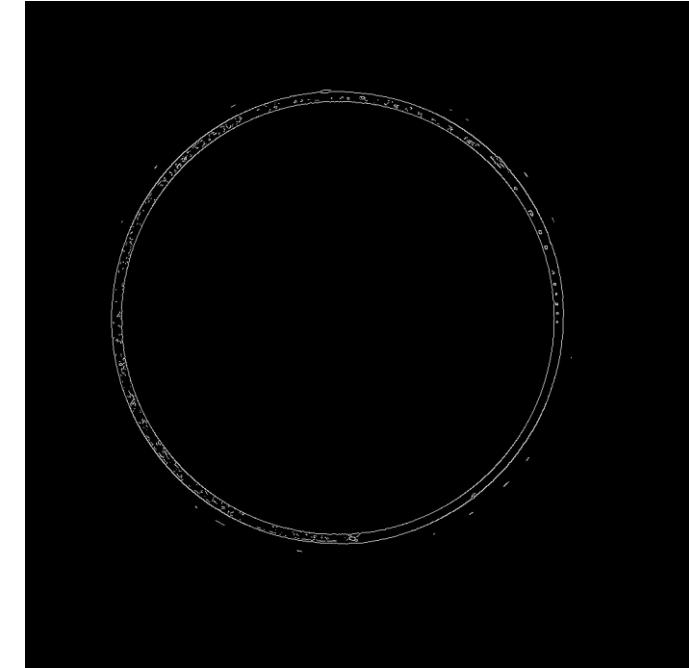
5-2. 원형 검사



Ring Mask



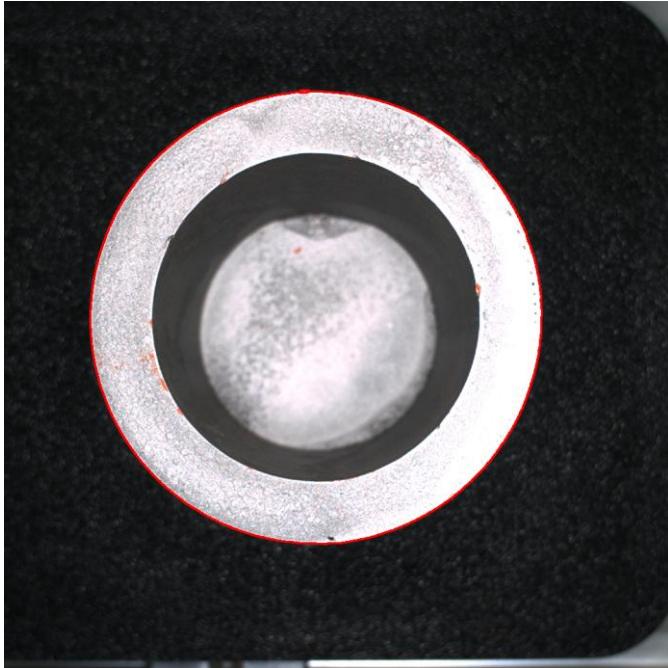
Ring ROI



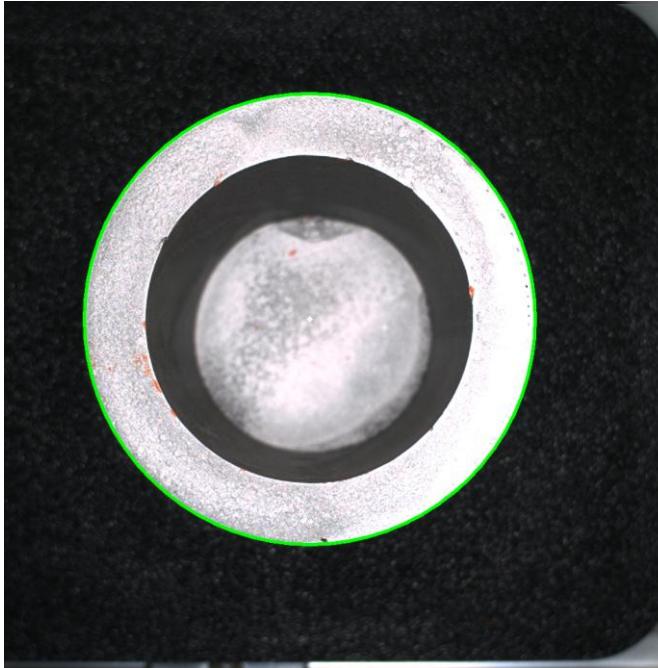
Canny Edge

5. Detecting Defect

5-2. 원형 검사



Contour



Result

5. Detecting Defect

5-3. 원형 검사 결과

1. Compute circularity of largest contour

$$1. \text{Circularity} = 4\pi A/P^2$$

2. Circularity $\geq 0.85 \rightarrow$ Crack

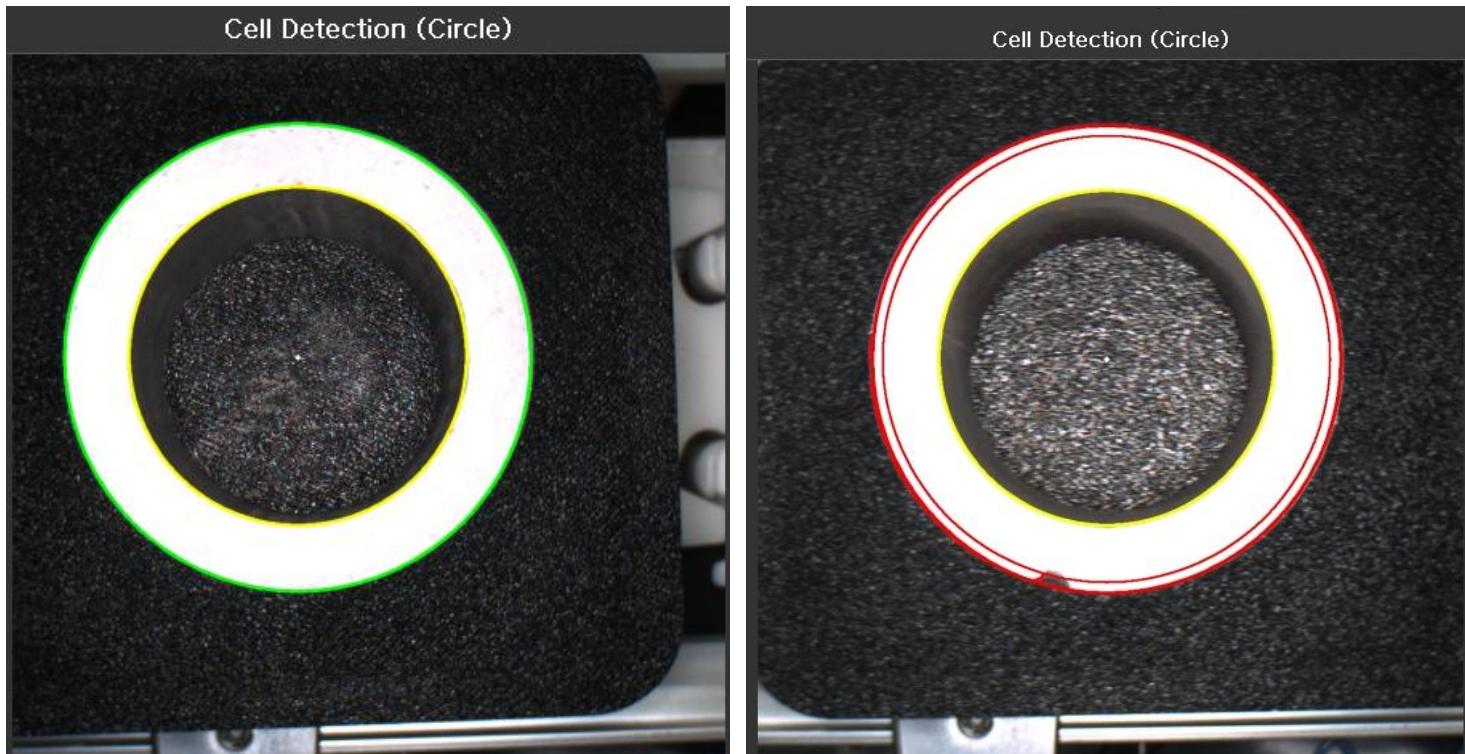
3. Accuracy :

- Cell Okay :

$$102/105 * 100 = 97.14 \%$$

- Cell Not Okay :

$$100/105 * 100 = 95.24 \%$$

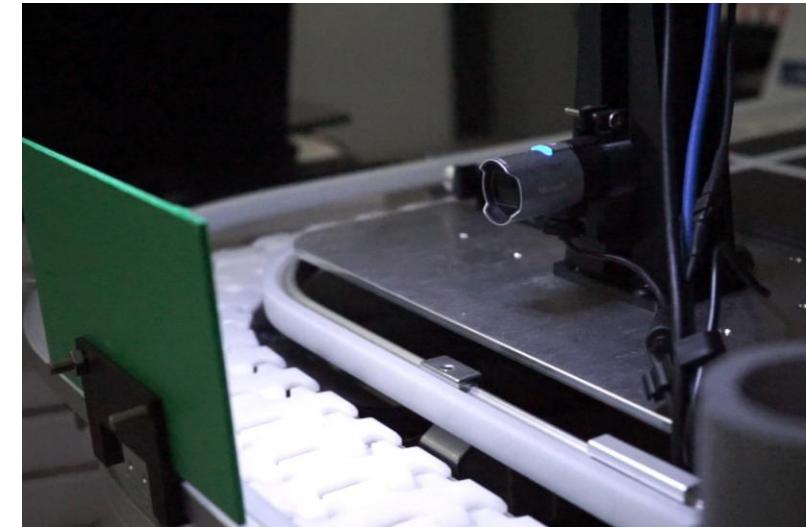
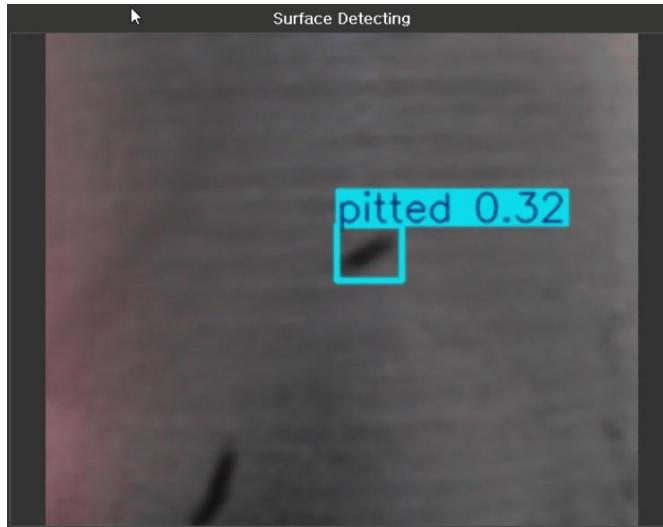


	목표 [%]	결과 [%]
Cell Okay	≥ 95	97.14
Cell Not Okay	≥ 95	95.24

5. Detecting Defect

5-4. 표면 검출

1. Detecting Surface Defect
2. Detects surface scratches, dents, and other defects

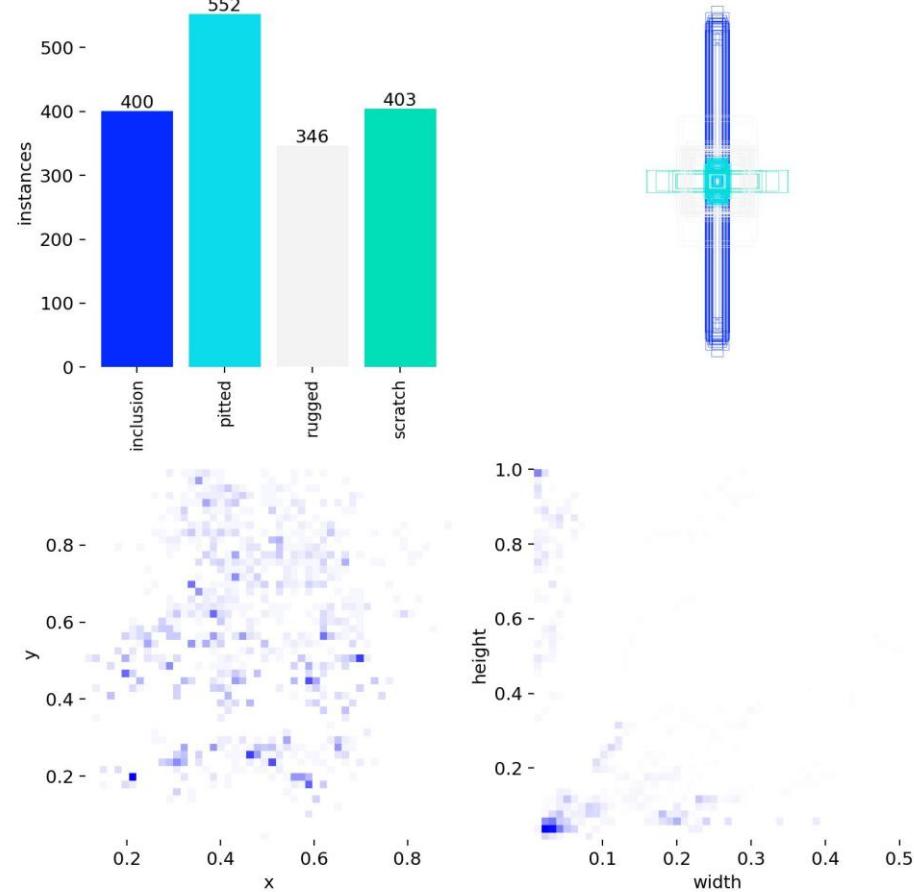


5. Detecting Defect

5-5. 표면 검출 모델

1. Train

1. Windows, Python 3.10, YOLOv8s.pt
2. Epoch: 100
3. Batch: 8
4. Optimizer AdamW($lr=0.001$)
5. Early Stop : 20
6. Final : Epoch = 53
7. Class : pitted, rugged, scratch
8. Total Train Dataset : 1314
 1. 400, 552, 346, 403



5. Detecting Defect



Scratch



Rugged



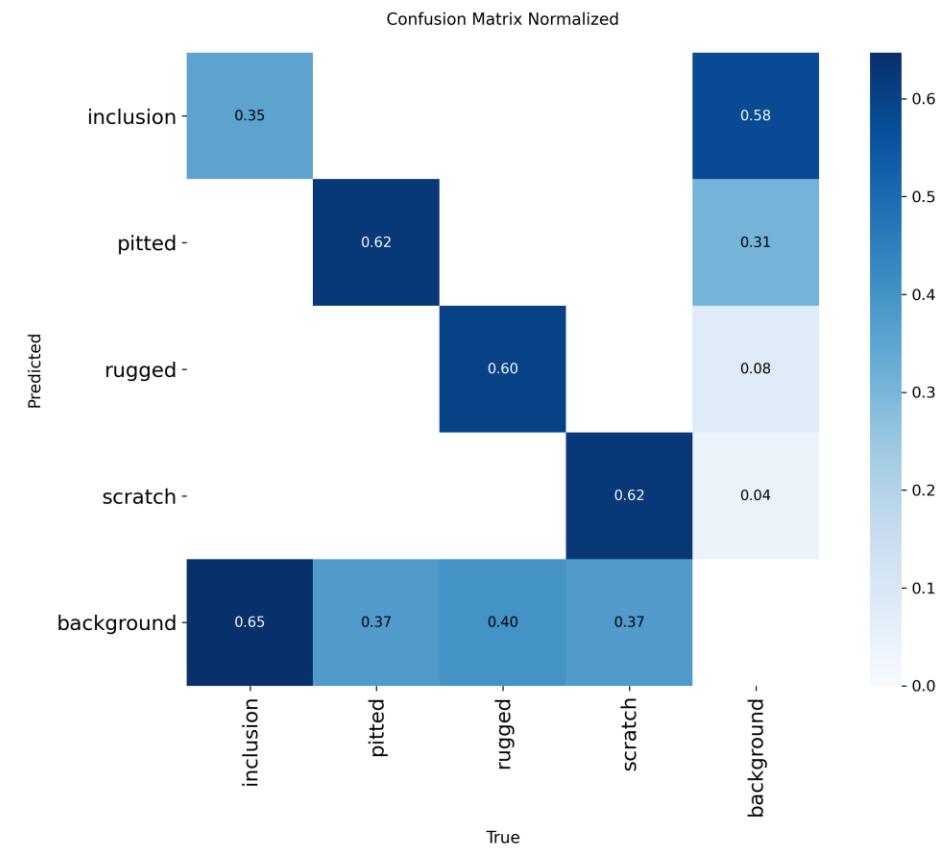
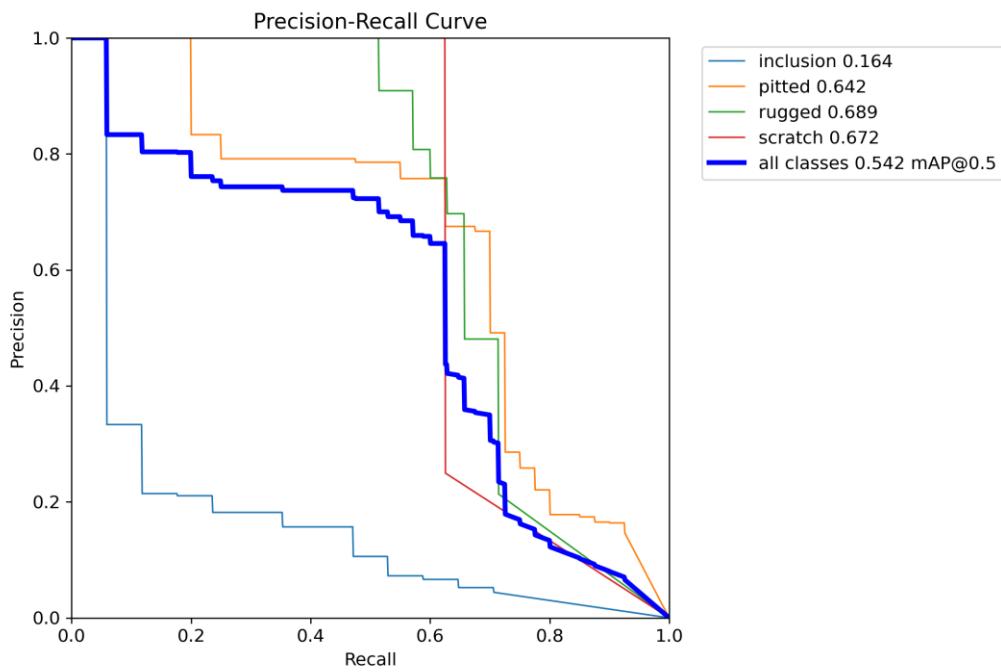
Pitted



Inclusion

5. Detecting Defect

5-5. 표면 검출 모델



5. Detecting Defect

5-6. 표면 검출 결과

Out of 50 trial

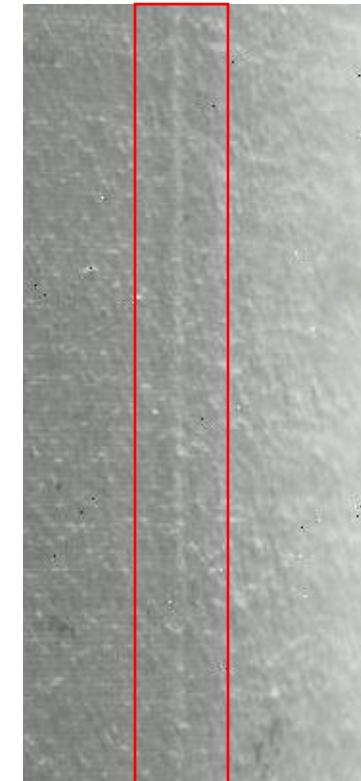
	목표 [%]	결과 [%]
Inclusion	≥ 80	24/50 = 48
Pitted	≥ 80	47/50 = 94
Rugged	≥ 80	43/50 = 86
Scratch	≥ 80	43/50 = 86

5. Detecting Defect

5-7. 문제 분석

Inclusion은 있으면 안되는 물질이 포함되었을 때이다.

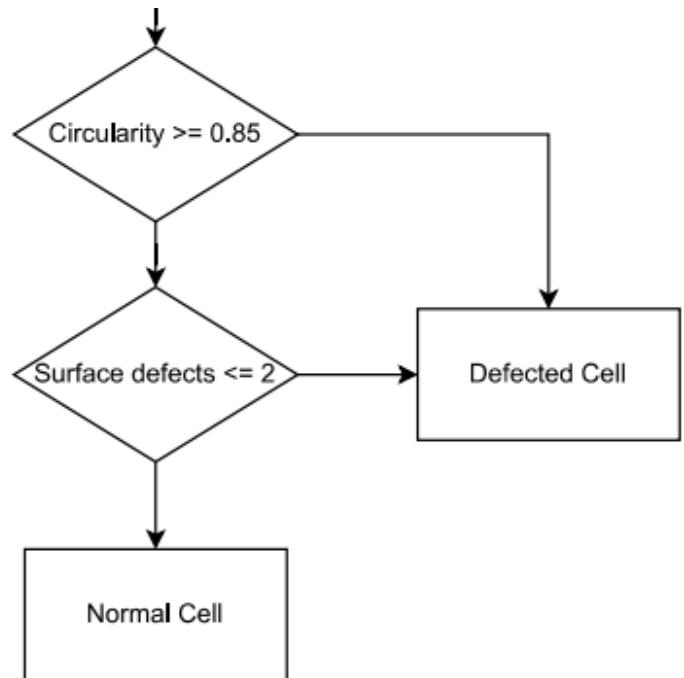
- 현재 테스트에서 사용되는 셀은 실제 배터리와 사용되는 물질이 다르고 inclusion이라 classify할 수 있는 부분이 모호하다.
- 다음 사진과 같은 길고 가느다란 선은 YOLO모델이 예측하기에는 어려운 feature이다.



5. Detecting Defect

5-8. Cell Logic

1. Send the flag depends on the result of detected cells
2. Cell 2 Timeout (10 frames)



Not Okay Cases

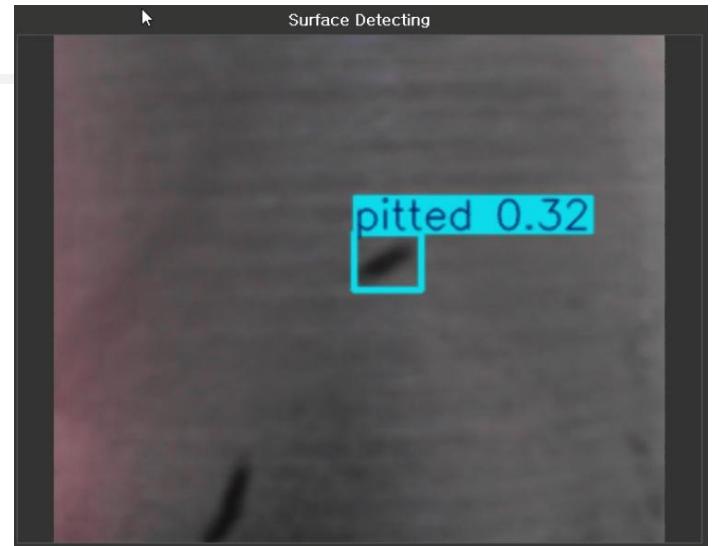
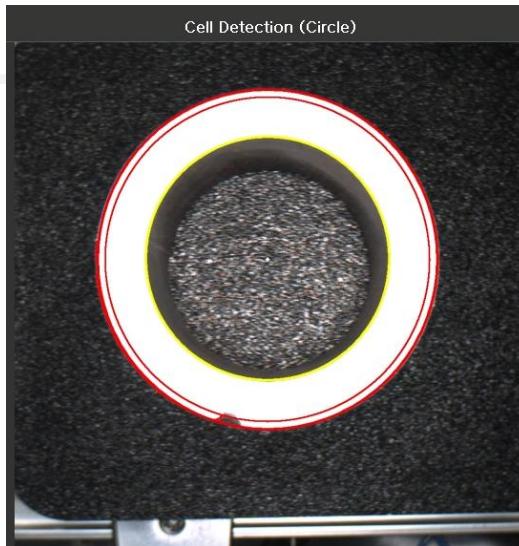


Table) Flag Logic

Cell1	Cell2	Final Flag
OK	OK	1
NOK	OK	2
OK	NOK	3
NOK	NOK	4
OK	None	5
NOK	None	6

6. Conclusion

- **로봇 공정**

- 목표치 보다 높은 성공률로 정확하고 빠른 조립 및 분해 공정 가능

파트	목표	결과
Detecting 부분	- 셀 / 와인딩 감지 성공률 = 100%	- 셀 / 와인딩 감지 성공률 = 100%
Pick and Place 및 불량 셀 소거	- 와인딩 조립 / 분해 성공률 $\geq 95\%$ - 불량 셀 소거 성공률 $\geq 95\%$	- 와인딩 조립 / 분해 성공률 = 98% - 불량 셀 소거 성공률 = 99%
Stopper 연동 및 공정 완료 시간	- Stopper 연동 성공률 = 100% - 조립 / 분해 공정 완료 시간: 1분 이내	- Stopper 연동 성공률 = 100% - 조립 / 분해 공정 평균 완료 시간: 57s
파트	목표	결과
감지 부분	- 브라켓 감지 성공률 $\geq 98\%$ - 셀 박스 감지 성공률 = 100%	- 브라켓 감지 성공률 = 100% - 셀 박스 감지 성공률 = 100%
Pick and Place	- Pick and Place 성공률 $\geq 95\%$	- Pick and Place 성공률 = 97%
Stopper 연동 및 공정 완료 시간	- Stopper 연동 성공률 = 100% - 조립 / 분해 공정 완료 시간: 1분 이내	- Stopper 연동 성공률 = 100% - 조립 / 분해 공정 완료 시간: 1분 35초

6. Conclusion

- 머신 비전 검출
 - Inclusion을 제외한 모든 부분에서 셀의 정상과 비정상 상태를 구분 가능

	목표 [%]	결과 [%]
Inclusion	≥80	24/50 = 48
Pitted	≥80	47/50 = 94
Rugged	≥80	43/50 = 86
Scratch	≥80	43/50 = 86
	목표 [%]	결과 [%]
Cell Okay	≥95	97.14
Cell Not Okay	≥95	95.24

6. Conclusion

- 자동화를 통한 기대 효과
 - 시간 : 인력 : 1일 8시간 주5일 근무 -> 로봇 : 1일 24시간 주7일 근무
 - 사이클 타임 : 인력 : 2셀 기준 10 초 -> 로봇 : 2셀 기준 약 1분
 - 검출 : 인력 : 약 70~90% 정확성 (Jo, H) -> 머신 비전 : 약 92% 정확성
 - 검색 속도 : 머신 비전이 검색 속도(search speed) 120% 빠르다(Jiang, X)
- 결론
 - 인력과 재정을 아끼며 높은 정확성으로 공장 효율을 높일 수 있다.
- Future Study
 - 공정 속도를 높이고 surface detection 정확성 향상

Reference

1. 박예나. (2024년 11월 17일). "배터리 삼국지"... 中 질주 속 K배터리의 난제는. 서울경제.
<https://www.sedaily.com/NewsView/29X4QWC74S>
2. Attia, P. M., Moch, E., & Herring, P. K. (2025). *Challenges and opportunities for high-quality battery production at scale*. **Nature Communications**, **16**, 611.
<https://doi.org/10.1038/s41467-025-55861-7>
3. Jiang, X., Gramopadhye, A.K., Melloy, B.J. and Grimes, L.W. (2003), Evaluation of best system performance: Human, automated, and hybrid inspection systems. *Hum. Factors Man.*, 13: 137-152. <https://doi.org/10.1002/hfm.10031>
4. Jo, H., Park, H., Baek, S., & Kang, E. K. (2017). Low back pain in farmers: The association with agricultural work management, disability, and quality of life in Korean farmers. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 27(3), 156–165. <https://doi.org/10.1002/hfm.20699>