

캡스톤디자인 II 중간보고서(표지)

프로젝트명 : 딥러닝 기반 딸기 숙성도 분류 및 로봇 팔을 활용한 수확 자동화

캡스톤 디자인Ⅱ, 중간보고서

Version 1.0

개발 팀원 명(팀리더): 안다은
백민우
조민서
박동현

대표 연락처: 010-6281-0952
e-mail: cyma54@naver.com

캡스톤 디자인 II 중간보고서 내용

1. 요구사항 정의서에 명시된 기능에 대하여 현재까지 진척된 결과 및 그 내용을 기술하시오.

(1) 시스템 구성도

•하드웨어 구성요소

- Jetson Orin Nano (8GB)
- Indy7 로봇팔 + OpenManipulator-X 엔드이펙터
- Intel RealSense D455 (RGB-D 카메라)
- 테스트베드 프레임 및 고정 거치대

•소프트웨어 구성요소

- Ubuntu 20.04 + IndyDCP2
- 딸기 탐지(YOLOv5n)
- 숙성도 분류(MobileNetV3-UNet + HSV 보정)
- 좌표 변환 모듈
- Firebase 연동 앱 (실시간 카메라 영상 스트리밍, 실시간 현황, 수확 로그 표시)

(2) 기능별 상세 요구사항 (유스케이스 기반)

• 카메라 화면 실시간 스트리밍

- Jetson에서 RTSP 서버 송출 → 앱에서 수신
- 재생/일시정지, 전체화면, 새로그침, 실시간 점프 기능 구현 완료
- 버퍼링 및 영상 수신 오류 시 예외 처리

• 실시간 수확 현황 정황 정보

- 로봇팔이 감지한 딸기 수와 수확 성공 신호를 Firebase DB에 전송
- 앱에서 전체/성숙/미성숙/수확된 딸기 수 실시간 표시

• 수확 로그

- 누적/기록시점 데이터를 Firebase에 저장
- 기록시점(연-월-일 시:분) 기준 로그 표시, 성숙 딸기 비율 계산 제공

• 딸기 탐지 기능

- YOLOv5n 기반 Bbox 탐지 및 실험 진행
- Instance segmentation, Rotated Bbox 탐색도 병행
- Depth 정보 활용해 3D 좌표 산출

• 숙성도 분류 기능

- HSV 색공간 분석, MobileNetV3-UNet 활용
- 조도 변화 대응을 위한 보정 알고리즘 적용

- 로봇팔 제어 기능
 - 고정 좌표 기반 포인트 이동 테스트 완료
 - IndyDCP2 API 기반 task_move_by, joint_move_by 명령 테스트
 - TTL + U2D2를 통한 엔드이펙터 연결 완료, 노이즈 테스트 예정
 - 좌표 변환식(카메라 좌표계 → 로봇 Global 좌표계) 수립 완료
- 수확 시퀀스 통합 제어
 - 모듈별 개발 및 단위 테스트 진행, 9월 중순 통합 테스트 예정

(3) 설계 모델

클래스 다이어그램

CameraStreamManager : RTSP 송출 및 앱 연결 관리

StrawberryDetector : YOLO 기반 딸기 탐지

MaturityClassifier : HSV + MobileNetV3-UNet 분류

PoseTransformer : 카메라 좌표계 → 로봇 base 좌표계 변환

RobotController : Indy7 API 호출 및 수확 시퀀스 수행

FirebaseManager : 실시간 DB 연동, 로그 기록

(4) UI 분석/설계 (앱 프로토타입)

홈 화면:

└── 상단: 실시간 카메라 영상 스트리밍

└── 하단: 전체/성숙/미성숙/수확 수 표시 (Firebase 연동)

로그 화면: 기록시점 별 수확 로그(누적 통계/기록시점 통계) + 성숙 비율 표시

(5) 데이터/DB 설계

Firebase Firestore 구조

collections: strawberries

└── doc: status

fields: total, ripe, unripe, harvested

└── doc: logs

fields: timestamp, total, ripe, harvested

(6) 테스트 계획서

좌표 변환 정확도 테스트 (± 1 cm 이내) → 기본 성공

수확 시퀀스 테스트 (탐지→분류→좌표계산→이동→수확) → 9월 중순 예정

앱 테스트: 스트리밍 안정성, Firebase 데이터 연동, 로그 저장/표시 검증 → 완료

2. 프로젝트 수행을 위해 적용된 추진전략, 수행 방법의 결과를 작성하고, 만일 적용과정에서 문제점이 도출되었다면 그 문제를 분석하고 해결방안을 기술하시오.

(1) 추진전략 및 수행 방법

- 병렬적 개발 전략
: 딸기 탐지·분류 알고리즘, 좌표 변환, 로봇팔 제어, 앱 개발을 병렬적으로 진행하여 일정 지연을 최소화.
- 로봇 제어 방식
: INDYDCP2 라이브러리를 활용하여 로봇 제어.
: joint_move_by, task_move_by 등을 사용한 포인트 이동 및 Pose 제어 테스트 수행
: 카메라 좌표계 → 로봇 base 좌표계 변환식을 수립하여 target pose 계산 후 직접 전달
- 사용자 인터페이스 확장 전략
: 앱 기능을 기존의 실시간 현황에서 스트리밍·로그 관리까지 확대하여 실시간 모니터링과 기록 관리 지원.

(2) 문제점 및 해결방안

- 하드웨어 통신 문제
 - 문제점: 엔드이펙터 연결 시 TTL 신호의 노이즈 발생 가능성이 있어 제어 안정성이 우려됨.
 - 해결방안: U2D2 모듈을 사용하여 3핀 TTL 연결을 완료하고, 테스트 후 문제가 지속되면 납땜 방식으로 신호선을 고정하여 안정성을 확보할 예정임.
- 요구사항 변경 관리
 - 문제점: 초기 요구사항 정의서에는 앱 기능이 "실시간 현황 표시"에 한정되어 있었으나, 사용자 편의성과 시연 효과를 높이기 위해 실시간 스트리밍, 로그 관리 기능이 추가됨.
 - 해결방안: Firebase DB 구조를 확장하고 UI를 개선하여 변경 요구사항을 반영함.
모든 변경 내역은 회의록에 기록하고, 기능별 책임자를 지정하여 일정 내 추가 개발을 완료함.
- 수행 결과 요약
 - 추진전략: 병렬적 개발 + 통합 테스트 전략 채택
 - 문제 해결: 하드웨어 통신 안정화, 모듈 교차 테스트 방식 전환, 일정 우선순위 조정, 요구사항 변경 관리 체계화
 - 현재까지의 결과: 앱 3대 핵심 기능(스트리밍·현황·로그) 구현 완료, 로봇팔 엔드이펙터 연결 성공, 좌표계 변환식 확립 → 9월 중순 통합 시퀀스 테스트 준비 단계에 도달

프로젝트명 : 딥러닝 기반 딸기 숙성도 분류 및 로봇 팔을 활용한 수확 자동화

소프트웨어 요구사항 정의서

Version 1.0

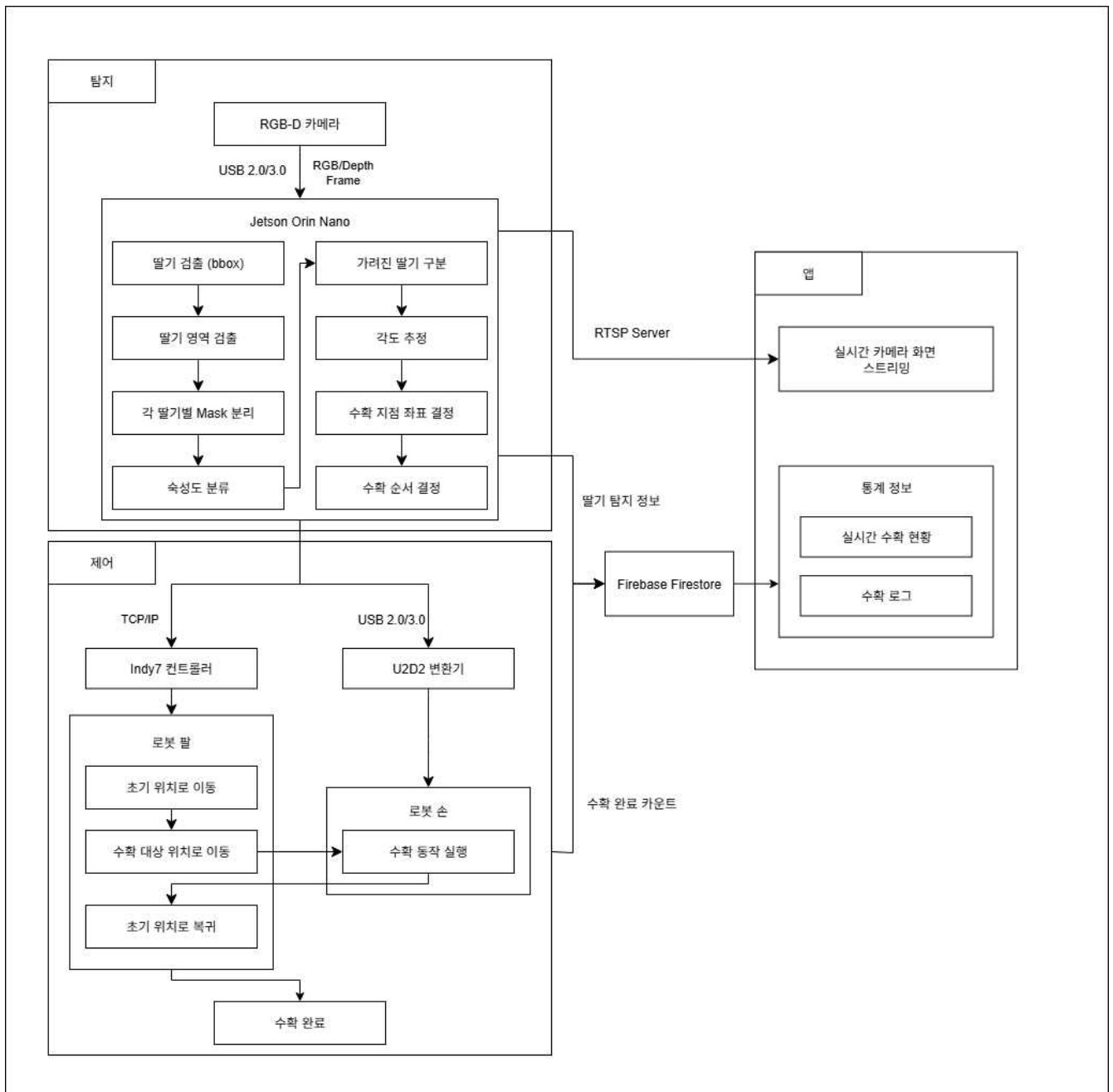
개발 팀원 명(팀리더): 안다은
백민우
조민서
박동현

대표 연락처: 010-6281-0952
e-mail: cyma54@naver.com

목차

1. 개요
2. 시스템 장비 구성요구사항
3. 기능 요구사항
4. 성능 요구사항
5. 인터페이스 요구사항
6. 데이터 요구사항
7. 테스트 요구사항
8. 보안 요구사항
9. 품질 요구사항
10. 제약 사항
11. 프로젝트 관리 요구사항

1. 시스템 개요



2. 시스템 장비 구성요구사항

- 요구사항 고유번호 ECR-001

구분	내용
요구사항 고유번호	ECR-001
요구사항 명칭	로봇팔 기반 수확 시스템
요구사항 분류	시스템 장비 구성 요구사항
용량 수준	필수
정의	로봇팔과 엔드이펙터를 이용하여 딸기의 좌표로 이동 후 수확 동작을 수행하는 장비 구성
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 품목: Indy7 로봇팔 + OpenManipulator-X 엔드이펙터 (U2D2 + TTL 연결) - 장비 수량: 1세트 - 장비 기능: 딸기 좌표 기반 이동 및 2-핑거 그리퍼 수확 - 장비 성능 및 특징: 6자유도, $\pm 1\text{cm}$ 정밀도, 반복 위치 정확도 높음, INDYDCP2 라이브러리 기반 제어 지원
시간 제약 사항	연구실 내 사전 설치 완료
자원 제약 사항	고정 프레임 필요, TTL 케이블 안정적 연결 필요
장애 처리	제어 오류 발생 시 INDYDCP2 라이브러리 재실행, 통신 오류 시 장비 재부팅

- 요구사항 고유번호 ECR-002

구분	내용
요구사항 고유번호	ECR-002
요구사항 명칭	영상 인식 및 추론 장비
요구사항 분류	시스템 장비 구성 요구사항
용량 수준	필수
정의	딸기 탐지, 숙성도 분류, 로봇팔 제어 연산을 수행하는 고성능 엣지 컴퓨팅 장치
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 품목: Jetson Orin Nano (8GB) - 장비 수량: 1세트 - 장비 기능: 객체 탐지 및 숙성도 분류, INDYDCP2 API 실행, 카메라 입력 처리 - 장비 성능 및 특징: 1024-core Ampere GPU, 6-core CPU, 실시간 AI 연산 처리 가능
시간 제약 사항	부팅 후 30초 이내 자동 구동

자원 제약 사항	고속 USB 3.0 포트 필요, 발열
장애 처리	추론 실패 시 재부팅 스크립트 실행, 로그 저장 후 복구

- 요구사항 고유번호 ECR-003

구분	내용
요구사항 고유번호	ECR-003
요구사항 명칭	영상 입력 장치
요구사항 분류	시스템 장비 구성 요구사항
용량 수준	필수
정의	딸기 탐지, 좌표 계산을 위한 영상 입력 및 거리 데이터 제공
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 품목: Intel RealSense D455 (RGB-D 카메라) - 장비 수량: 1개 - 장비 기능: RGB 영상 + Depth 데이터 수집, 딸기 위치 및 거리 계산 - 장비 성능 및 특징: 최대 1280×720 해상도, Depth ±2mm 오차, 다양한 조도 환경 지원
시간 제약 사항	카메라 설치 위치 고정 필요
자원 제약 사항	USB 3.0 포트 필요
장애 처리	인식 오류 시 드라이버 재설치 또는 카메라 재부팅

- 요구사항 고유번호 ECR-004

구분	내용
요구사항 고유번호	ECR-004
요구사항 명칭	데이터 저장 및 연동 장치
요구사항 분류	시스템 장비 구성 요구사항
용량 수준	필수
정의	수확 현황 및 로그를 기록하고 앱에서 실시간 조회 가능하도록 지원하는 클라우드 DB
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 품목: Firebase Cloud - 장비 수량: - (클라우드 서비스) - 장비 기능: 실시간 데이터 기록 및 로그 저장, 앱 연동 - 장비 성능 및 특징: JSON 기반, 실시간 동기화, 모바일 SDK 지원

시간 제약 사항	인터넷 연결 필수
자원 제약 사항	네트워크 안정성 필요
장애 처리	네트워크 실패 시 재동기화 루틴 수행, 로컬 캐싱 후 동기화

3. 기능 요구사항

- 요구사항 고유번호 SFR-FA-001

구분	내용
요구사항 고유번호	SFR-FA-001
요구사항 명칭	딸기 객체 탐지 및 위치 인식
요구사항 분류	기능 요구사항
용량 수준	필수
정의	RGB-D 카메라로 입력된 영상에서 딸기를 객체 단위로 탐지하고, 위치 좌표를 계산하여 로봇팔 제어에 전달하는 기능
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 객체 탐지 모델(YOLOv5n)을 이용하여 실시간 딸기 탐지 - 탐지된 객체의 중심점, 외곽 영역 기반 좌표 계산 - Depth 정보로 실제 거리 값 추출 - 가림/겹침 상황에서도 안정적 탐지 - 목표 성능: 탐지 정확도 85% 이상, 지연 시간 0.3초 이하

- 요구사항 고유번호 SFR-FA-002

구분	내용
요구사항 고유번호	SFR-FA-002
요구사항 명칭	딸기 숙성도 분류
요구사항 분류	기능 요구사항
용량 수준	필수
정의	탐지된 딸기의 색상 정보를 분석하여 미숙/숙성/과숙으로 판별하고, 수확 여부를 결정하는 기능
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - HSV 색공간 변환 후 Hue, Saturation을 기준으로 분류 - MobileNetV3-UNet 기반 분류 모델 적용 - 조명 변화에 따른 보정 알고리즘 적용 - 수확 대상 여부 자동 판별 - 목표 성능: 정확도 90% 이상

- 요구사항 고유번호 SFR-FA-003

구분	내용
요구사항 고유번호	SFR-FA-003
요구사항 명칭	로봇팔 이동 및 수확 제어
요구사항 분류	기능 요구사항
용량 수준	필수
정의	계산된 좌표를 기반으로 로봇팔이 이동하여 그리퍼로 딸기를 수확하는 기능
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - INDYDCP2 라이브러리를 통해 좌표 기반 이동 제어 수행 - $\pm 1\text{cm}$ 오차 이내 이동 - 내장 그리퍼로 줄기를 안전하게 절단/수확 - 이동 경로 최적화로 불필요한 동작 최소화 - 장애물 회피 동작 포함

- 요구사항 고유번호 SFR-FA-004

구분	내용
요구사항 고유번호	SFR-FA-004
요구사항 명칭	수확 시퀀스 통합 제어
요구사항 분류	기능 요구사항
용량 수준	필수
정의	탐지-분류-좌표계산-로봇팔 이동-수확까지의 전체 과정을 통합적으로 제어하는 기능
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 순환 구조: 딸기 탐지 → 숙성도 분류 → 좌표 계산 → 이동 → 수확 완료 → 다음 탐지 - 각 단계는 독립 모듈로 구성, 데이터는 메시지 기반 전달 - 딸기 탐지/분류 및 수확 완료 데이터는 Firebase DB에 기록 - 예외 발생 시 재시도 또는 예외 처리 루틴 실행 - 목표 성능: 전체 시퀀스 평균 처리 시간 3분 이내

4. 성능 요구사항

- 요구사항 고유번호 PER-001

구분	내용
요구사항 고유번호	PER-001
요구사항 명칭	객체 탐지 및 분류 처리 시간
요구사항 분류	성능 요구사항
용량 수준	필수
정의	입력 영상이 들어왔을 때 딸기 탐지 및 숙성도 분류가 완료되기까지 걸리는 평균 응답 시간
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 평균 처리 시간: 0.5초 이내 - Jetson Orin Nano에서 탐지와 HSV 기반 숙성도 분류를 병렬 처리 - 단일 프레임 최대 응답 시간은 1초 이하 - 목표: 평균 0.3초 이내 유지

- 요구사항 고유번호 PER-002

구분	내용
요구사항 고유번호	PER-001
요구사항 명칭	로봇팔 이동 및 수확 처리 시간
요구사항 분류	성능 요구사항
용량 수준	필수
정의	탐지된 딸기의 좌표를 수신한 후 로봇팔이 이동하여 수확을 완료하기 까지 걸리는 평균 응답 시간
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 평균 응답 시간: 3초 이내 - 이동 오차: $\pm 1\text{cm}$ 이내 유지 - INDYDCP2 기반 제어 시, 동작 지연은 0.2초 이하 - 수확 동작의 안정성을 고려해 경로 최적화 적용

- 요구사항 고유번호 PER-003

구분	내용
요구사항 고유번호	PER-003
요구사항 명칭	시스템 자원 사용률
요구사항 분류	성능 요구사항
용량 수준	선택(권장)
정의	Jetson Orin Nano에서 탐지·분류·제어 알고리즘 실행 시 CPU, GPU, 메모리 사용률 제한
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 평균 GPU 사용률: 70% 이하 - CPU 사용률: 60% 이하 - 메모리 점유율: 6.5GB 이하 (총 8GB 기준) - 탐지·분류·제어를 동시에 수행해도 총 시스템 사용률은 90% 초과 금지

- 요구사항 고유번호 PER-004

구분	내용
요구사항 고유번호	PER-003
요구사항 명칭	통신 지연·안정성(제어/버스/스트리밍)
요구사항 분류	성능 요구사항
용량 수준	필수
정의	각 통신 링크의 지연·안정성 한계
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - IndyDCP2: 명령→ACK ≤50 ms(p95), 주기 제어 10~100 Hz 내 안정 동작 - DYNAMIXEL/TTL: 쓰기→상태응답 ≤30ms(p95), 에러/재전송률 <1%

5. 인터페이스 요구사항

- 요구사항 고유번호 SIR-001

구분	내용
요구사항 고유번호	SIR-001
요구사항 명칭	실시간 영상 스트리밍 UI
요구사항 분류	인터페이스 요구사항
용량 수준	필수
정의	앱 내에서 로봇팔 카메라의 실시간 영상을 재생할 수 있는 사용자 인터페이스 제공
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 앱 화면 상단에 스트리밍 화면 영역을 배치해야 함 - 재생/일시정지, 전체화면, 새로고침, 실시간 건너뛰기 버튼 제공 - 네트워크 지연/버퍼링 발생 시 로딩 메시지를 표시해야 함
주석	사용자 편의성을 위해 스트리밍 조작 버튼은 직관적 아이콘 형태로 배치 필요
요구사항 출처	자체 기능 정의 및 UI 설계안

- 요구사항 고유번호 SIR-002

구분	내용
요구사항 고유번호	SIR-002
요구사항 명칭	실시간 수확 현황 표시 UI
요구사항 분류	인터페이스 요구사항
용량 수준	필수
정의	수확된 딸기의 현황(전체, 성숙, 미성숙, 수확 수)을 실시간으로 표시하는 사용자 인터페이스
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - Firebase에서 데이터를 수신하여 앱 화면에 즉시 반영 - 전체, 성숙, 미성숙, 수확된 딸기의 수량을 구분하여 색상/아이콘으로 표시 - 데이터 갱신 실패 시 오류 메시지 및 새로고침 기능 제공
주석	직관적인 시각화를 위해 아이콘 및 색상 구분 필수 (예: 성숙=빨강,

	미성숙=초록 등)
요구사항 출처	앱 기능 정의서 및 사용자 편의성 고려

- 요구사항 고유번호 SIR-003

구분	내용
요구사항 고유번호	SIR-003
요구사항 명칭	수확 로그 조회 UI
요구사항 분류	인터페이스 요구사항
용량 수준	선택(권장)
정의	과거 수확 기록을 앱에서 확인할 수 있는 로그 화면 제공
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 기록시점(연-월-일 시:분) 기준으로 로그 구분 - 각 로그마다 누적/기록시점 별 전체/성숙/수확 수, 성숙 비율 표시 - 전체 로그 리스트는 스크롤 방식으로 조회 가능하며, 항목마다 펼치기/접기로 로그 열람이 가능해야 함
주석	로그는 성능 요구사항과 연결되어 데이터 동기화 정확성이 필수적
요구사항 출처	자체 기능 확장 정의 (사용자 편의성 요구사항)

- 요구사항 고유 번호 SIR-004

구분	내용
요구사항 고유번호	SIR-004
요구사항 명칭	로봇 제어 통신 사양(IndyDCP2/TCP/IP)
요구사항 분류	인터페이스 요구사항
용량 수준	필수
정의	Jetson ↔ Indy7 컨트롤러 간 제어/상태 통신 사양 확정
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - IndyDCP2 over TCP/IP, 기본 포트 6066 - 단일 클라이언트 접속 원칙 - 최대 통신 주기 100 Hz (10ms) - 네트워크는 동일 L2 내 유선 LAN, 정적 IP 사용 - 링크 다운 시 자동 재접속 (≤2s)

- 요구사항 고유 번호 SIR-005

구분	내용
요구사항 고유번호	SIR-005
요구사항 명칭	엔드이펙터 통신 사양(DYNAMIXEL/TTL)
요구사항 분류	인터페이스 요구사항
용량 수준	필수
정의	Jetson(U2D2) ↔ OpenMANIPULATOR-X(DYNAMIXEL) 통신 사양
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - DYNAMIXEL Protocol 2.0, half-duplex UART(TTL) - 권장 baud 1Mbps, 서보 ID 맵 표준화, Protocol Version=2.0 강제 - 공통 GND 및 전원 분리, 케이블 길이·섀딩 규격 명시

6. 데이터 요구사항

- 요구사항 고유번호 DAR-001

구분	내용
요구사항 고유번호	DAR-001
요구사항 명칭	실시간 현황 데이터 저장
요구사항 분류	데이터 요구사항
용량 수준	필수
정의	로봇팔이 감지·수확한 딸기 데이터를 Firebase DB에 실시간으로 저장하고, 앱에서 즉시 조회할 수 있어야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 저장 데이터 항목: 전체, 성숙, 미성숙, 수확된 딸기 수 - 데이터는 실시간으로 갱신되어야 하며, 앱 UI에 즉각 반영 - 저장 형식: JSON 기반 (Firestore 문서 구조) - 데이터 무결성 보장 필요 (중복 기록 방지)

- 요구사항 고유번호 DAR-002

구분	내용
요구사항 고유번호	DAR-002
요구사항 명칭	수확 로그 데이터 관리
요구사항 분류	데이터 요구사항
용량 수준	필수
정의	과거 수확 기록을 로그 데이터로 저장하고, 시점별 조회가 가능해야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 로그 단위: 기록 시점(연-월-일 시:분) - 로그 항목: 누적/기록시점 별 전체/성숙/수확 수 - 저장 형식: JSON 기반 (Firestore 문서 구조) - 최소 3개월 이상 기록 유지 필요 - 오래된 로그는 백업 또는 외부 저장소로 이관 가능

- 요구사항 고유번호 DAR-003

구분	내용
요구사항 고유번호	DAR-003
요구사항 명칭	좌표 변환 데이터 관리
요구사항 분류	데이터 요구사항
용량 수준	필수
정의	카메라 좌표(u, v, Z)와 변환된 로봇 base 좌표(X, Y, Z, RPY)를 기록하여 디버깅 및 검증에 활용할 수 있어야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 입력 데이터: 카메라 좌표(u, v, Z) - 변환 결과: 로봇 base 좌표(X, Y, Z, Roll, Pitch, Yaw) - 로그 형태로 기록하여 오류 발생 시 추적 가능 - 데이터 형식: CSV 또는 JSON 파일로 저장 가능 - 실시간 수확 데이터와 연동하여 디버깅에 활용

7. 테스트 요구사항

- 요구사항 고유번호 TER-001

구분	내용
요구사항 고유번호	TER-001
요구사항 명칭	객체 탐지 정확도 테스트
요구사항 분류	테스트 요구사항
용량 수준	필수
정의	YOLOv5n 모델의 딸기 탐지 정확도를 측정하기 위한 테스트
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none">- Precision \geq 85%, Recall \geq 80% 기준으로 테스트 수행- 다양한 조명·배경 조건에서 촬영된 데이터셋 활용- 가림 및 겹침 상황에서도 탐지 정확도 유지 여부 검증- 결과는 혼동행렬(Confusion Matrix) 및 mAP 지표로 기록

- 요구사항 고유번호 TER-002

구분	내용
요구사항 고유번호	TER-002
요구사항 명칭	숙성도 분류 정확도 테스트
요구사항 분류	테스트 요구사항
용량 수준	필수
정의	MobileNetV3-UNet 기반 숙성도 분류 모델의 성능 검증
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none">- 목표 정확도: \geq 90%- 조도 변화, 색상 편차 조건에서 성능 측정- 분류 결과는 Confusion Matrix, Accuracy, F1-score로 평가- 샘플링된 1,000장 이상의 검증용 이미지 사용

- 요구사항 고유번호 TER-003

구분	내용
요구사항 고유번호	TER-003
요구사항 명칭	좌표 변환 정확도 테스트
요구사항 분류	테스트 요구사항
용량 수준	필수
정의	카메라 좌표(u, v, Z) → 로봇 base 좌표(X, Y, Z, RPY) 변환의 정확성 검증
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - ±1cm 이내 오차 유지 - 다양한 거리(30cm ~ 60cm)에서 샘플 좌표 측정 - 변환식 적용 결과와 실제 로봇팔 이동 좌표 비교 - 변환 오차 발생 시 보정 파라미터 재계산 수행

- 요구사항 고유번호 TER-004

구분	내용
요구사항 고유번호	TER-004
요구사항 명칭	로봇팔 이동 및 수확 테스트
요구사항 분류	테스트 요구사항
용량 수준	필수
정의	INDYDCP2 API 기반 로봇팔 제어의 수확 성공률 검증
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 목표 성공률: 90% 이상 - task_move_by, joint_move_by 명령 기반 테스트 - 수확 과정에서 딸기 손상 여부 확인 - 연속 10회 이상 수확 테스트 후 평균 성공률 측정

- 요구사항 고유번호 TER-005

구분	내용
요구사항 고유번호	TER-005
요구사항 명칭	앱 기능 테스트
요구사항 분류	테스트 요구사항
용량 수준	필수
정의	앱 내 스트리밍·현황·로그 기능 검증
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 스트리밍: RTSP 영상 5분 이상 연속 재생 시 지연/끊김 여부 측정 - 현황: Firebase 연동 실시간 업데이트 지연 ≤ 1초 검증 - 로그: 기록시점 단위 로그 저장 및 조회 가능 여부 확인 - 다양한 네트워크 환경(Wi-Fi, LTE)에서 성능 비교

8. 보안 요구사항

- 요구사항 고유번호 SER-001

구분	내용
요구사항 고유번호	SER-001
요구사항 명칭	데이터 접근 권한 제한
요구사항 분류	보안 요구사항
용량 수준	필수
정의	학습/운영 데이터(이미지, 라벨, 좌표 로그, Firebase 문서 등)에 대해 관리자 외 접근·수정 불가하도록 권한을 설정해야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - Jetson 및 라벨링 PC의 데이터 디렉터리는 관리자 권한으로만 읽기/쓰기 허용 - 일반 사용자 혹은 실행용 계정은 학습 데이터 경로 접근 금지 - 라벨 데이터는 외장 저장장치에 백업하고, 중요 자료는 암호화 전송(zip+비밀번호) 적용 - 외부 USB 연결은 차단하거나 관리자 승인 절차 필수
비고	데이터 반출·반입 시 사전 승인 및 로그 기록 유지.

- 요구사항 고유번호 SER-002

구분	내용
요구사항 고유번호	SER-002
요구사항 명칭	장비/서비스 인증 제한
요구사항 분류	보안 요구사항
용량 수준	권장(선택)
정의	테스트베드에서 연결·동작 가능한 장비/서비스를 사전 등록된 대상 (Indy7, RealSense, Jetson 등)으로 제한하고, 등록 외 장비 감지 시 실행을 중단해야 함. (기존 문서의 테스트 장비 인증 제한 항목을 현 구조에 맞게 일반화)
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - Jetson 부팅 시 장치 ID/포트 기반 화이트리스트 체크(RealSense, U2D2, NIC 등) - 미등록 장비 또는 예상 외 포트가 감지되면 제어 프로세스 중단 + 경고 표시 - 장비 교체 시 관리자 승인 후 등록 테이블 갱신 - 각 연결·인증 이벤트를 로그 파일로 기록
비고	INDYDCP2 제어 프로세스 시작 전 셀프체크 스크립트로 선 검증.

- 요구사항 고유번호 SER-003

구분	내용
요구사항 고유번호	SER-003
요구사항 명칭	소스코드 및 모델 파일 유출 방지
요구사항 분류	보안 요구사항
용량 수준	권장(선택)
정의	딥러닝 가중치(탐지/분류), 좌표 변환 코드, INDYDCP2 연동 모듈 등 핵심 자산의 무단 복제·반출을 방지해야 함.
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 학습된 모델 파일과 핵심 소스는 일반 계정에서 복사/다운로드 불가 권한 설정 - 외부 Git·클라우드 리포지토리 접근 차단(사내/로컬 전용) - USB 저장매체로 복사 금지, 필요한 경우 관리자 승인 하 암호화 보관 - 배포 모델은 암호화 압축으로 관리, 백업도 암호화된 내부 공유 경로만 사용
비고	주기적 권한 점검(월 1회), 모델 해시값 비교로 변조 감시.

9. 품질 요구사항

- 요구사항 고유번호 QUR-001

구분	내용
요구사항 고유번호	QUR-001
요구사항 명칭	탐지·분류 정확도
요구사항 분류	품질 요구사항
용량 수준	필수
정의	딸기 객체 탐지 및 숙성도 분류의 정확도를 일정 수준 이상으로 보장해야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 객체 탐지 정확도(Precision) $\geq 85\%$, 재현율(Recall) $\geq 80\%$ 유지 - 숙성도 분류 정확도 $\geq 90\%$ 유지 - 다양한 환경(조명, 배경, 거리)에서도 성능 편차 $\pm 5\%$ 이내 - 정기적으로 테스트 데이터셋으로 성능 검증 수행

- 요구사항 고유번호 QUR-002

구분	내용
요구사항 고유번호	QUR-002
요구사항 명칭	로봇팔 수확 성공률
요구사항 분류	품질 요구사항
용량 수준	필수
정의	로봇팔이 탐지된 딸기를 목표 좌표로 이동하여 안정적으로 수확할 수 있어야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 수확 성공률 $\geq 90\%$ 유지 - $\pm 1\text{cm}$ 이내 위치 정밀도 보장 - 10회 연속 수확 테스트에서 최소 9회 이상 성공 - 딸기 손상률 $\leq 5\%$ 이내

- 요구사항 고유번호 QUR-003

구분	내용
요구사항 고유번호	QUR-003
요구사항 명칭	앱 안정성
요구사항 분류	품질 요구사항
용량 수준	필수
정의	앱에서 제공하는 스트리밍·현황·로그 기능이 안정적으로 동작해야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 실시간 스트리밍: 5분 이상 연속 재생 시 지연·끊김 발생률 $\leq 5\%$ - Firebase 연동: 데이터 갱신 지연 ≤ 1초 - 로그 저장: 기록 누락 $\leq 1\%$ 이내 - 크래시 발생률 $\leq 1\%$ (100회 실행 중 최대 1회 이하)

10. 제약 사항

- 요구사항 고유번호 COR-001

구분	내용
요구사항 고유번호	COR-001
요구사항 명칭	하드웨어 환경 제약
요구사항 분류	제약사항
용량 수준	필수
정의	시스템은 Jetson Orin Nano와 Indy7 로봇팔, RealSense D455 카메라 환경에서만 정상적으로 동작해야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - Jetson Orin Nano (8GB) 이상 사양 필수 - 로봇 제어는 INDYDCP2 라이브러리에 한정 - Intel RealSense D455 외 카메라 사용 시 호환성 보장 불가 - U2D2 + TTL 모듈을 통한 엔드이펙터 연결 필수

- 요구사항 고유번호 COR-002

구분	내용
요구사항 고유번호	COR-002
요구사항 명칭	네트워크 제약
요구사항 분류	제약사항
용량 수준	필수
정의	Firestore DB와 실시간 스트리밍 기능은 안정적인 네트워크 연결을 전제로 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 인터넷 연결 필수 (Wi-Fi 권장) - 데이터 전송 지연 ≤ 1초 보장 필요 - 네트워크 끊김 발생 시 스트리밍/데이터 동기화 중단 가능성 존재 - 불안정한 환경에서는 로컬 캐시 기능으로 최소한의 로그 보존

- 요구사항 고유번호 COR-003

구분	내용
요구사항 고유번호	COR-002
요구사항 명칭	안전 운용 제약
요구사항 분류	제약사항
용량 수준	필수
정의	로봇팔과 사용자 안전을 보장하기 위한 운용 환경 제약
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 로봇팔 동작 반경 내 사람 출입 금지 - 테스트베드 설치 시 안전 펜스 또는 경고 표시 필요 - 엔드이펙터 구동 시 비상정지 스위치 동작 가능 상태 유지 - 안전 규정을 준수하지 않을 경우 테스트 중단

11. 프로젝트 관리 요구사항

- 요구사항 고유번호 PMR-001

구분	내용
요구사항 고유번호	PMR-001
요구사항 명칭	역할 및 책임 관리
요구사항 분류	프로젝트 관리 요구사항
용량 수준	필수
정의	팀원의 역할과 책임을 명확히 정의하고 관리해야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 각 팀원의 전담 역할 정의 (탐지:분류, 로봇 제어, 앱 개발, 하드웨어 통합 등) - 역할 충돌 또는 공백 발생 시 PM이 조정 - 주간 단위로 역할 수행 상황을 보고 및 기록

- 요구사항 고유번호 PMR-002

구분	내용
요구사항 고유번호	PMR-002
요구사항 명칭	일정 관리
요구사항 분류	프로젝트 관리 요구사항
용량 수준	필수
정의	프로젝트 진행 일정을 체계적으로 관리하고, 지연 발생 시 대응 방안을 수립해야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 주차별/월별 상세 일정 수립 및 관리 - 부품 수급·장비 설치 지연 발생 시 보완 계획 수립 - Gantt Chart 기반 진행률 시각화 - 일정 지연 발생 시 우선순위 재조정 및 병렬 작업 수행

- 요구사항 고유번호 PMR-003

구분	내용
요구사항 고유번호	PMR-003
요구사항 명칭	변경 관리
요구사항 분류	프로젝트 관리 요구사항
용량 수준	필수
정의	요구사항 변경 발생 시 이를 추적·기록하고, 영향 분석을 수행해야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - 변경 요청은 회의록 및 변경 요청서로 기록 - 변경 시 프로젝트 범위·일정·리스크 영향도 분석 - 승인된 변경사항만 반영 - 변경 이력은 산출물과 함께 관리

- 요구사항 고유번호 PMR-004

구분	내용
요구사항 고유번호	PMR-004
요구사항 명칭	산출물 관리
요구사항 분류	프로젝트 관리 요구사항
용량 수준	권장
정의	프로젝트 산출물(보고서, 소스코드, 학습 데이터, 모델, 앱 빌드 파일 등)을 체계적으로 관리해야 함
요구사항 상세 설명	<ul style="list-style-type: none"> - GitHub/GitLab을 통한 버전 관리 - 문서 및 코드 산출물은 팀 공유 드라이브에 보관 - 주요 산출물은 단계별 태그를 붙여 이력 추적 가능하게 관리 - 최종 산출물은 별도의 보관소에 백업