

캡스톤디자인 중간보고서

제 목	국문	딥러닝 기반 딸기 숙성도 분류 및 로봇 팔을 활용한 수확 자동화
	영문	Deep Learning-Based Strawberry Ripeness Classification and Automated Harvesting Using a Robotic Arm
진 행 상 황	중요 마일스톤	<p>데이터 구축 및 전처리</p> <ul style="list-style-type: none">• 테스트와 실험을 위한 딸기 수확 환경 구축• 촬영 환경 조건(조도, 거리, 각도 등) 계획 수립• RGB-D 카메라를 이용한 딸기 이미지 및 Depth 데이터 수집• 수집된 이미지에 대해 라벨링 수행• 학습 및 알고리즘 테스트용 데이터셋 구성 완료 <p>딸기 탐지 기능</p> <ul style="list-style-type: none">• Bbox 기반 딸기 위치 탐지를 위한 딥러닝 모델 탐색 및 실험• 픽셀 단위 딸기 위치 탐지를 위한 Instance segmentation 모델 탐색 및 실험• Rotated Bbox 기반 딸기 위치 탐지를 위한 모델 탐색 및 실험 <p>딸기 분류 기능</p> <ul style="list-style-type: none">• 딸기 숙성도 판단을 위한 색상 기반 알고리즘 개발• RGB 및 HSV 색공간에서의 분포 분석을 통해 숙성도 기준 임계값 설정 <p>로봇팔 제어 기능</p> <ul style="list-style-type: none">• 간단한 로봇팔 제어 테스트를 통해 로봇팔 동작 별 오차 실험

	진행상황	<p>딸기 탐지 기능</p> <ul style="list-style-type: none">• Bbox 기반 딸기 위치 탐지를 위한 딥러닝 모델 탐색 및 실험 중• Rotated Bbox 기반 딸기 위치 탐지를 위한 모델 탐색 및 실험 중 <p>딸기 숙성도 분류 기능</p> <ul style="list-style-type: none">• RGB, HSV 등의 색공간 분석 기반 분류 알고리즘 개발 중 <p>데이터 구축 및 전처리</p> <ul style="list-style-type: none">• 테스트와 실험을 위한 딸기 수확 환경 구축 완료• 촬영 환경 조건(조도, 거리, 각도 등) 계획 수립 완료• 데이터 촬영 및 라벨링 동시 진행 중 <p>로봇팔 제어 기능</p> <ul style="list-style-type: none">• OpenManipulator-X 테스트베드 구축 완료• 기본 포인트 이동 제어 진행 중• 고정 좌표 설정을 통한 반복 이동 테스트 진행 중		
산출물	요구사항 정의서(별첨 1), 중간보고서(별첨 2)			
팀 구성원	학년	학 번	이 름	연락처(전화번호/이메일)
	4	20202066	안다운	010-6281-0952/20202066@edu.hanbat.ac.kr
	4	20201737	백민우	010-3407-5779/20201737@edu.hanbat.ac.kr
	3	20222008	조민서	010-7205-0031/20222008@edu.hanbat.ac.kr
	4	20222278	박동현	010-4425-5483/20222278@edu.hanbat.ac.kr
<p>컴퓨터공학과와 프로젝트 관리규정에 따라 다음과 같이 요구사항 정의서와 중간보고서를 제출합니다</p> <p>2025 년 05 월 02 일</p> <p>책임자 : 안다운 (인)</p> <p>지도교수 : 이현빈 (인)</p>				

[별첨1]

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: 20202066@edu.hanbat.ac.kr

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

본 프로젝트는 RGB-D 카메라와 딥러닝 기반 인공지능 기술을 활용하여 딸기의 수확 가능 여부와 위치를 판단하고, Indy 7 로봇팔을 통해 자동으로 딸기 수확을 수행하는 시스템을 개발하는 것을 목표로 함. 프로젝트는 딸기 탐지, 숙성도 분류, 수확 대상 선정, 파지점 결정, 로봇팔의 이동 경로 지정, 수확 동작 제어, 오차 제어까지의 과정을 포함. 시스템 구성도는 하드웨어 (Indy 7 로봇팔, RGB-D 카메라, Jetson nano) 및 소프트웨어 (딸기 탐지 및 분류 알고리즘, 로봇팔 제어 알고리즘)로 구성됨.

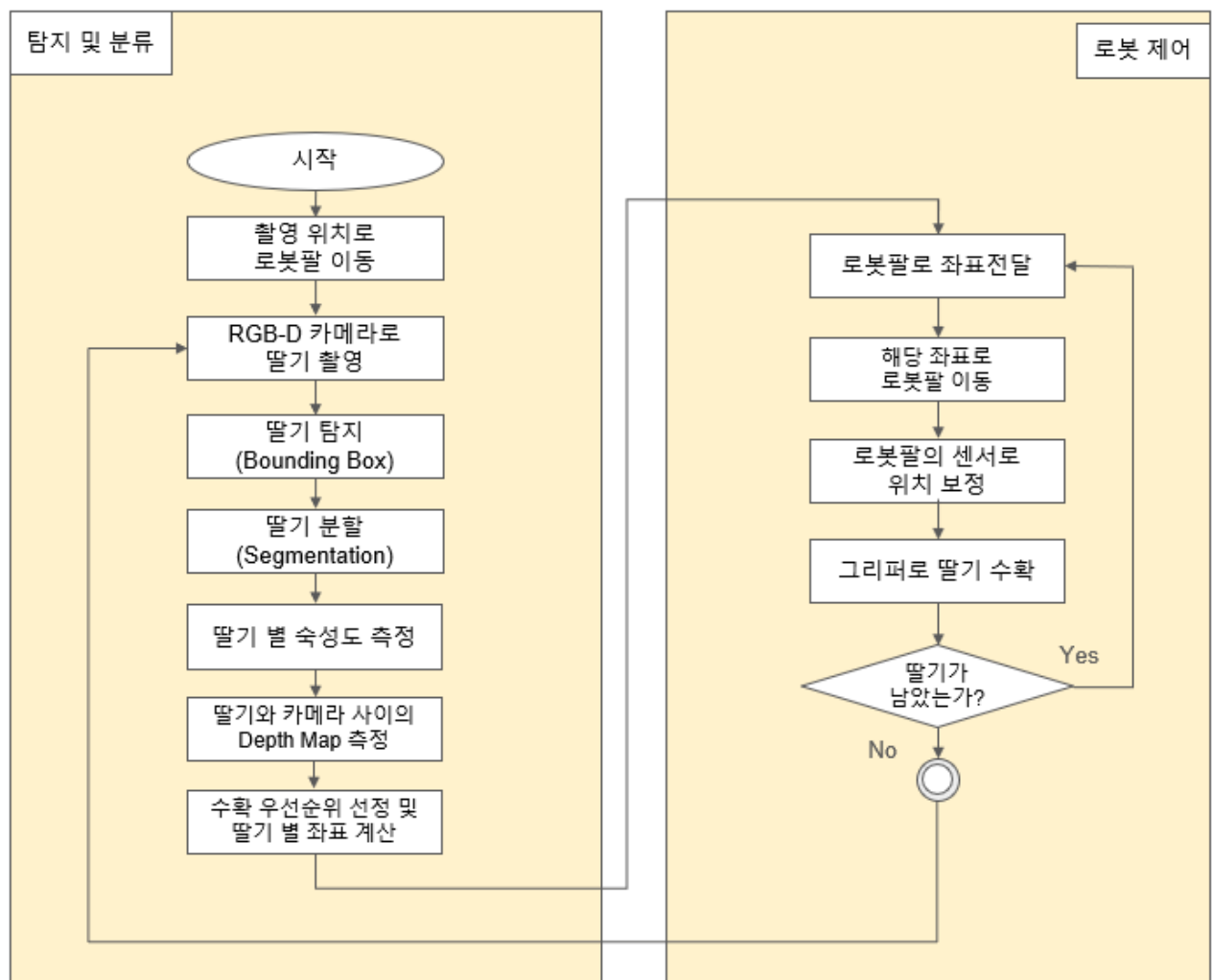


그림 1 전체 시스템 구상도

2. 시스템 장비 구성요구사항

– 요구사항 고유번호: ECR-001

요구사항 고유 번호		ECR-001		
요구사항 명칭		로봇팔 기반 수확 시스템		
요구사항 분류		시스템 장비구성 요구사항	용량수준	필수
요구사항 상세설명	정의	로봇팔 및 RGB-D 카메라를 활용해 딸기의 위치를 탐지하고, 지정 좌표로 이동하여 수확 동작을 수행할 수 있는 시스템 제어 장비 구성		
	세부 내용	장비 품목	OpenManipulator-X 로봇팔, 12V 어댑터, 고정 거치대, Intel RealSense D435 (RGB-D 카메라)	
		장비 수량	1세트	
		장비 기능	딸기 위치 인식 및 거리 측정 좌표 기반 로봇팔 이동 제어 수확 동작 수행	
		장비 성능 및 특징	<ul style="list-style-type: none"> • 6자유도 관절형 로봇팔, 내장형 2-핑거 그리퍼 포함 • ROS 기반 제어 가능 • 카메라 해상도 최대 1280×720, 실시간 depth 인식 • 위치 오차 ±1cm, 제어 반응 속도 평균 2초 이내 	
		시간 제약사항	장비는 연구실에 사전 설치되어 있으며, 별도 도입 일정 없이 즉시 운용 가능	
		자원 제약사항	로봇팔 및 카메라 설치 시 기구적 고정 필요 (책상, 프레임 등 확보 필수)	
		장애 처리	카메라 인식 오류, ROS 통신 장애 발생 시 Jetson 보드 재부팅 및 ROS 노드 재시작으로 복구 가능	

- 요구사항 고유번호: ECR-002

요구사항 고유 번호		ECR-002		
요구사항 명칭		Jetson Orin Nano 기반 제어 및 추론 장비		
요구사항 분류		시스템 장비구성 요구사항	용량수준	필수
요구사항 상세설명	정의	AI 모델 추론, ROS 기반 로봇팔 제어, 영상 인식 및 센서 통합 처리를 위한 고성능 엣지 컴퓨팅 보드 구성		
	세부 내용	장비 품목	Jetson Orin Nano (8GB), 128GB SD 카드, 5V 4A 전원 어댑터, 방열판 포함 케이스	
		장비 수량	1세트	
		장비 기능	<ul style="list-style-type: none"> • 객체 탐지 및 HSV 기반 속성도 분류 실행 • ROS 노드 구동 및 로봇팔 제어 명령 송신 • RGB-D 카메라, 센서, 디스플레이 연동 	
		장비 성능 및 특징	<ul style="list-style-type: none"> • 1024-core Ampere GPU, 67 TOPS • 6-core Cortex-A78AE CPU @ 1.7GHz • 8GB LPDDR5 @ 68 GB/s • NVMe 저장 확장, USB 3.2, PCIe Gen3, 1x GbE LA 	
		시간 제약사항	부팅 후 약 30초 이내 시스템 자동 구동, ROS 노드 및 탐지 스크립트 초기화 포함	
		자원 제약사항	고성능 연산으로 인해 발열 심화 → 방열판 및 팬 설치 필요, USB 장비 연결 시 고속 포트 우선 배정	
		장애 처리	ROS 통신 중단, 추론 실패 시 Jetson 재부팅 및 자동 복구 스크립트 실행 가능 (시리얼 모니터 링 포함)	

3. 기능 요구사항

– 요구사항 고유번호: SFR-FA-001

요구사항 고유번호		SFR-FA-001		
요구사항 명칭		딸기 객체 탐지 및 위치 인식		
요구사항 분류		기능 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	RGB-D 카메라로 입력된 영상에서 딸기 객체를 탐지하고, 위치 좌표를 계산하여 로봇팔 제어 시스템으로 전달하는 기능		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 객체 탐지 모델을 이용하여 영상 내 딸기를 실시간으로 탐지 • 탐지된 객체의 중심점 및 외곽 영역을 기반으로 위치 좌표 계산 • Depth 정보를 이용하여 거리 값 추출 • 중복, 가림, 겹침 등 다양한 환경에서도 안정적으로 동작 탐지 정확도 85% 이상, 지연 시간 0.3초 이하 목표 		

– 요구사항 고유번호: SFR-FA-002

요구사항 고유번호		SFR-FA-002		
요구사항 명칭		딸기 숙성도 분류		
요구사항 분류		기능 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	딸기의 색상 정보를 기반으로 숙성도를 분석하고, 수확 여부를 자동 판별하는 기능		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • HSV 색공간으로 변환한 후 Hue, Saturation을 기준으로 성숙도 분류 • 임계값 기준 설정(예: 빨강 영역 H값 범위 등)을 통한 자동 분류 • 미숙/숙성/과숙 상태를 판단하여 수확 대상 여부 결정 • 조명 변화에 따른 색 보정을 위해 Calibration 알고리즘 적용 예정 • 정확도 90% 이상 목표 		

– 요구사항 고유번호: SFR-FA-003

요구사항 고유번호		SFR-FA-003		
요구사항 명칭		로봇팔 이동 및 수확 제어		
요구사항 분류		기능 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	딸기의 위치 좌표를 기반으로 로봇팔이 이동하여 수확 동작을 수행하는 기능		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 전달받은 좌표로 로봇팔이 정확히 이동 (오차 $\pm 1\text{cm}$ 이내) • 이동 후 내장 그리퍼로 딸기 줄기를 안전하게 수확 • 이동 경로 최적화 알고리즘으로 불필요한 동작 최소화 • 장애물 인식 및 회피 기능 포함 • ROS 기반 메시지 통신 구조 사용 		

– 요구사항 고유번호: SFR-FA-004

요구사항 고유번호		SFR-FA-004		
요구사항 명칭		수확 시퀀스 통합 제어		
요구사항 분류		기능 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	딸기 탐지부터 숙성도 판별, 좌표 계산, 로봇팔 이동 및 수확까지의 일련의 작업을 통합 제어하는 기능		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 딸기 탐지 → 숙성도 분류 → 좌표 계산 → 로봇팔 이동 → 수확 완료 → 다음 탐지의 순환 구조로 실행 • 각 단계는 독립된 모듈로 구성되며 ROS 메시지 기반으로 연결 		

		<ul style="list-style-type: none">수확 완료된 딸기를 자동으로 기록하고, 남은 대상이 없으면 종료예외 발생 시 각 단계별 재시도 또는 예외처리 루틴 수행 전체 시퀀스 평균 처리 시간 3분 이내 목표
--	--	--

4. 성능 요구사항

– 요구사항 고유번호: PER-001

요구사항 고유번호		PER-001		
요구사항 명칭		객체 탐지 및 분류 처리 시간		
요구사항 분류		성능 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	딸기 이미지 입력 시, 탐지 및 속성도 분류가 완료되기까지의 평균 응답 시간		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> 입력 영상 1건에 대해 딸기 탐지 및 속성도 분류까지 처리 완료되기까지의 평균 시간은 0.5초 이내여야 함 Jetson Orin Nano에서 딸기 탐지 및 HSV 분류 알고리즘을 병렬 실행하여 처리 속도 확보 단일 처리 기준 최대 응답 시간은 1초를 초과하지 않아야 하며, 평균 처리 시간은 0.3초 이하로 유지하는 것을 목표로 함 		

– 요구사항 고유번호: PER-002

요구사항 고유번호		PER-002		
요구사항 명칭		로봇팔 이동 및 수확 처리 시간		
요구사항 분류		성능 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	탐지된 딸기의 좌표를 수신한 이후 로봇팔이 수확 동작을 완료하기까지의 시간		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> 딸기 좌표가 전달된 시점부터 수확 완료까지의 평균 응답 시간은 3초 이내여야 함 실시간 ROS 제어 시, 이동 오차 $\pm 1\text{cm}$ 이내로 유지되며 동작 시간 지연은 0.2초 이하로 설정함 		

- 요구사항 고유번호: PER-003

요구사항 고유번호		PER-003		
요구사항 명칭		시스템 자원 사용률		
요구사항 분류		성능 요구사항	용량 수준	선택(혹은 필수)
요구사항 상세설명	정의	Jetson Orin Nano 상에서 탐지·분류·제어 알고리즘 실행 시 자원(CPU/GPU/메모리)의 최대 사용률		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 평균 GPU 사용률은 70% 이하, CPU 사용률은 60% 이하를 유지해야 함 • 메모리 점유율은 전체 8GB 기준으로 6.5GB 이하를 유지하도록 알고리즘 구조 최적화 필요 • ROS 및 딥러닝 연산을 동시에 수행할 경우에도 총 시스템 사용률이 90%를 초과하지 않도록 구성해야 함 		

5. 인터페이스 요구사항

1) 사용자 인터페이스 요구사항 분석 및 도출

– 요구사항 고유번호: SIR-001

요구사항 고유번호		SIR-001		
요구사항 명칭		실시간 수확 상태 시각화		
요구사항 분류		사용자 인터페이스 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	농부가 수확 상태를 쉽게 파악할 수 있도록, 실시간 수확 현황을 직관적으로 시각화하여 제공		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none">• 탐지된 딸기 수, 수확 여부, 숙성도를 큰 글씨/색상/아이콘으로 표시• ROS 실행 중 경고(에러, 통신 장애 등)는 빨간색 배경 + 경고 표시로 알림• 한 화면에 상태요약 + 진행단계 + 사용자 버튼(시작/중지 등)을 포함• 고령 사용자를 고려한 큰 폰트/높은 대비• 터치스크린 또는 마우스 기반 작동 지원		
주석	<ul style="list-style-type: none">• 농촌 현장의 사용자(농부)는 대부분 정보기기 사용에 익숙하지 않으므로, 복잡한 그래픽 요소 대신 단순 아이콘과 알림 위주의 UI 구성• 추후 웹 기반 또는 태블릿 기반 앱으로 확장할 수 있도록 인터페이스 레이아웃은 반응형으로 설계 권장			
요구사항 출처	팀 내부 회의 결과 (2025.04.15)			

2) 시스템 인터페이스 요구사항 분석 및 도출

요구사항 고유번호		SIR-002		
요구사항 명칭		좌표 전달 인터페이스 (Jetson → 로봇팔)		
요구사항 분류		시스템 인터페이스 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	Jetson에서 계산된 딸기 좌표 정보를 ROS 메시지 형태로 로봇팔 제어 시스템에 전달		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 좌표 포맷: (X, Y, Z, 속성도) • 연계 방식: ROS Topic (/target_position) • 송신 주기: 수확 대상 하나당 1회 • 송신 단위: 딸기 1개 기준으로 하나의 메시지 전송 • ROS 노드 간 통신으로 즉시 반영되어야 함 		
기타 고려 사항		<ul style="list-style-type: none"> • 통신 지연 발생 시 메시지 재송 요청 기능 필요 • 좌표 데이터 로그는 Jetson 내 CSV로 저장 (디버깅용) 		
산출정보		<ul style="list-style-type: none"> • (X, Y, Z) 형식의 위치 정보. Depth map + Bounding Box 기반으로 Jetson에서 계산 • 가장 앞쪽/왼쪽 순으로 부여된 딸기 번호 • 전송된 좌표 메시지는 로그로 CSV 또는 rosbag 형태 저장 가능 		
요구사항 출처		팀 내부 회의 결과 (2025.04.26)		

6. 데이터 요구사항

- 요구사항 고유번호: DAR-001

요구사항 고유번호		DAR-001		
요구사항 명칭		탐지 및 분류 데이터셋 저장 및 라벨링 구조		
요구사항 분류		데이터 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	탐지 및 속성도 분류 모델 학습을 위한 데이터셋을 수집하고, 이미지 및 객체 단위로 라벨링할 수 있는 구조를 정의		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> 수집 대상: 딸기 이미지 (다양한 조도, 각도, 거리 조건 포함) 라벨링 항목: 이미지 파일명, 바운딩 박스 좌표, 클래스 (딸기/비딸기), 속성도 라벨 저장 형식: 딸기 탐지 및 분류 모델 입력 데이터 형식 라벨링 툴: LabelImg 또는 Label Studio 활용 전체 데이터셋은 train / valid / test 폴더 구조로 구분 저장 자동/수동 혼합 라벨링 시, 정확도 검증 후 merge 처리 수행 		

- 요구사항 고유번호: DAR-002

요구사항 고유번호		DAR-002		
요구사항 명칭		데이터 수집 및 라벨링 관리 기준		
요구사항 분류		데이터 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	탐지 및 분류 학습용 이미지 수집 및 라벨링 품질 관리를 위한 기준 정의		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 수집 이미지 수: 최소 1000장 이상 확보, 조도/각도/배경 다양성 고려 • 라벨링 품질 확보를 위해 2인 이상 교차 확인(이중 검수) 시행 • 라벨 오류 발생 시 검수 로그 남기고 수정본 반영 • 라벨 클래스 간 중복 또는 미정의 항목이 없도록 기준표 공유 • 수집/라벨링 작업 현황은 주차별 시트로 관리 		

- 요구사항 고유번호: DAR-003

요구사항 고유번호		DAR-003		
요구사항 명칭		숙성도 라벨 기준 정의		
요구사항 분류		데이터 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	딸기의 숙성 상태를 분류하기 위한 HSV 색상 기반 라벨 기준을 정의하고 일관되게 적용		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 라벨 구성: 0=미숙, 1=반숙, 2=완숙의 3단계 • HSV 기준 범위 정의 • 기준표는 프로젝트 문서로 공유되며, 전 팀원은 해당 기준으로 라벨링 수행 • 향후 자동 분류 모델의 평가 기준으로도 동일한 라벨 구조 사용 • 라벨링 툴에서 사전 정의된 선택지로 구성하여 오류 방지 		

7. 테스트 요구사항

- 요구사항 고유번호: TER-001

요구사항 고유번호		TER-001		
요구사항 명칭		딸기 객체 탐지 정확도 테스트		
요구사항 분류		테스트 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	딸기 탐지 모델이 실제 환경에서 딸기 객체를 정확하게 탐지하는지 검증		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트 대상: 다양한 배경, 조도, 거리 조건의 딸기 이미지 100장 • 방법: 라벨(GT)과 탐지 결과 비교하여 Precision, Recall, F1-score 계산 • 기준: Precision \geq 85%, Recall \geq 80%, F1-score \geq 0.825 / 탐지 실패율 10% 미만 • 추가: 동일 포즈 3회 반복 탐지로 일관성 확인, 오탐지 로그 저장 		

– 요구사항 고유번호: TER-002

요구사항 고유번호		TER-002		
요구사항 명칭		숙성도 분류 정확도 테스트		
요구사항 분류		테스트 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	딸기의 색상 정보를 기반으로 분류한 숙성도가 정답 라벨과 일치하는지 확인		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트 대상: 라벨링 된 300개 딸기 이미지 • 방법: 자동 분류 결과 vs 수동 라벨 비교, 혼동 행렬 (Confusion Matrix) 작성 • 기준: 전체 분류 정확도 90% 이상, 클래스 간 오분류율 5% 이하 • 추가: 조도 변화 조건 포함한 분류 테스트 수행 		

– 요구사항 고유번호: TER-003

요구사항 고유번호		TER-003		
요구사항 명칭		수확 대상 우선순위 결정 로직 테스트		
요구사항 분류		테스트 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	여러 딸기 중 어떤 순서로 수확할지를 정하는 우선순위 로직의 정확도 검증		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 방법: 다양한 위치·숙성도 조건으로 딸기 모형 배치 → 실제 수확 순서와 예측 순서 비교 • 기준: 10회 중 9회 이상 정답과 일치 • 추가: 순서 판단 실패 시 원인 로그 및 시각화로 검토 		

– 요구사항 고유번호: TER-004

요구사항 고유번호		TER-004		
요구사항 명칭		로봇팔 이동 좌표 정확도 테스트		
요구사항 분류		테스트 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	로봇팔이 사전 지정된 좌표로 정확하게 이동하는지 검증하는 단위 테스트		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 대상: OpenManipulator-X 로봇팔 • 조건: 5개 고정 테스트 포인트 지정 (좌표 단위) • 방법: 각 포인트에 대해 3회 반복 이동 / RViz 및 실측 좌표 비교 • 기준: 평균 오차 $\pm 1\text{cm}$ 이내, 도달 성공률 100% 		

– 요구사항 고유번호: TER-005

요구사항 고유번호		TER-005		
요구사항 명칭		통합 수확 시퀀스 테스트		
요구사항 분류		테스트 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	탐지 → 분류 → 이동 → 수확까지의 전체 시스템 흐름이 정상 작동하는지 통합적으로 검증		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 대상: 전체 수확 시퀀스 구성 (탐지, 분류, 제어, 수확) • 조건: 다양한 조도/각도 환경에서 딸기 3~5개 배치 • 방법: 전체 동작을 10회 반복 실행 / 성공률과 평균 처리 시간 측정 • 기준: 평균 처리 시간 5초 이내, 수확 성공률 90% 이상 		

8. 보안 요구사항

- 요구사항 고유번호: SER-001

요구사항 고유번호		SER-001		
요구사항 명칭		데이터 접근 권한 제한		
요구사항 분류		보안 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	수집된 학습 데이터 및 라벨링 결과 파일에 대해 관리자 외에는 접근 및 수정이 불가능하도록 권한을 설정하는 보안 조치		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • Jetson Orin Nano 및 라벨링 PC 내 학습용 데이터 디렉토리는 읽기/쓰기 권한을 관리자로 제한 • 일반 사용자 계정 또는 ROS 사용자 노드는 데이터 저장 디렉토리에 접근 불가 • 수작업 라벨링 데이터는 외부 저장 장치에 백업하고, 중요 데이터는 팀 내 클라우드로 암호화 전송 • 외부로 데이터 이동 시에는 압축 및 암호화(zip + 암호 설정) 적용 • 허가되지 않은 외부 USB 장치 연결 시 자동 차단 또는 관리자 승인 필요 		

- 요구사항 고유번호: SER-002

요구사항 고유번호		SER-002		
요구사항 명칭		테스트 환경의 장비 인증 제한		
요구사항 분류		보안 요구사항	용량 수준	선택 (권장)
요구사항 상세설명	정의	테스트베드 환경에서 연결된 장비(로봇팔, 카메라, 제어 보드 등)가 사전 승인된 장치인지 확인하고, 등록되지 않은 장치는 작동되지 않도록 설정		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • OpenManipulator-X 로봇팔, RealSense 카메라, Jetson 보드는 사전 등록된 장비로만 운용 • ROS 노드 실행 시, 장치 고유 ID 또는 포트 주소를 기반으로 인증 체크 수행 • 미등록 장비 감지 시 제어 노드 실행을 자동 중단하고 경고 메시지 출력 • 장비 변경 또는 교체 시, 관리자 승인 하에 등록 테이블 업데이트 필요 • 향후 장치별 로그 기록 기능 추가 예정 		

– 요구사항 고유번호: SER-003

요구사항 고유번호		SER-003		
요구사항 명칭		소스코드 및 모델 파일 유출 방지		
요구사항 분류		보안 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	딥러닝 모델 가중치, Python 소스코드 및 ROS 패키지가 외부로 무단 유출되지 않도록 접근 및 복사 제한		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 학습된 모델 파일은 일반 사용자 계정에서 복사/다운로드 불가능하도록 권한 제한 • Git 등 버전 관리 시스템을 사용할 경우, 외부 리포지토리 접근 차단 • USB 등 저장장치로의 복사는 관리자만 허용 • 최종 배포 모델은 압축 및 암호화 후 저장 • 모델 백업 및 이전 시, 반드시 암호화된 내부 공유 폴더 사용 		

9. 품질 요구사항

– 요구사항 고유번호: QUR-001

요구사항 고유번호		QUR-001		
요구사항 명칭		로봇 시스템의 신뢰성 확보		
요구사항 분류		품질 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	시스템이 장시간 연속 작동 시에도 오류 없이 안정적으로 수확 기능을 수행할 수 있도록 하는 신뢰성 확보		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 연속 운용 시 기준: 최소 1시간 이상 연속 작동 중 오작동 횟수 0회 • ROS 통신 장애 발생 시 자동 재시작 스크립트 구성 • 라벨링 데이터 또는 좌표값 손상 시, 해당 샘플을 자동 제외하도록 예외처리 • 장애 로그는 자동 저장되며, 3회 이상 연속 장애 발생 시 사용자 경고 발생 • 내부 상태 확인을 위한 Watchdog 타이머 또는 상태 모니터링 노드 구성 예정 		

- 요구사항 고유번호: QUR-002

요구사항 고유번호		QUR-002		
요구사항 명칭		사용자 중심의 쉬운 운용성		
요구사항 분류		품질 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	비전문 사용자(농부 등)도 시스템을 쉽게 작동시킬 수 있도록 단순하고 직관적인 조작 인터페이스를 제공		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 작동은 전원 연결 후 자동 부팅 → ROS 실행까지 자동화 • 화면 상 인터페이스는 글자 크기 큼, 컬러 대비 높음, 클릭 중심의 단순 구성 • 주요 기능은 한 화면 내에서 조작 가능 (수확 시작, 중지, 재시작 등) • 사용 설명서는 A4 1장 분량으로 요약 제공 예정 • 전원 케이블만 연결하면 바로 작동 가능한 상태 ("플러그 앤 플레이") 		

– 요구사항 고유번호: QUR-003

요구사항 고유번호		QUR-003		
요구사항 명칭		타 환경 이식 가능성		
요구사항 분류		품질 요구사항	용량 수준	선택 (권장)
요구사항 상세설명	정의	본 수확 시스템이 다른 농작물 대상 또는 다른 플랫폼(예: 다른 PC, 보드)에도 쉽게 이식 가능하도록 구성		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 학습된 모델과 제어 코드는 Docker 또는 가상환경 기반으로 이식성 고려 • ROS 패키지는 Ubuntu 18.04 + Melodic 기준이지만, ROS Noetic도 지원 가능하도록 테스트 예정 • 딸기 외에도 토마토, 파프리카 등으로 클래스 확장 시 구조 변경 최소화 • 데이터셋 교체만으로 재학습이 가능하도록 파이프라인 구성 		

10. 제약 사항

– 요구사항 고유번호: COR-001

요구사항 고유번호		COR-001		
요구사항 명칭		시스템 개발 플랫폼 및 환경 제약		
요구사항 분류		제약사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	본 시스템은 NVIDIA Jetson Orin Nano 보드 기반으로 개발되며, 개발 및 운용 시 해당 하드웨어 및 ROS 환경에 의존함		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 운영 환경: Ubuntu 18.04 + ROS Melodic 고정 • ROS 노드는 Python 3.6 환경에서 구동되어야 하며, ROS 패키지 호환성 유지 필요 • Jetson Orin Nano 8GB 버전 기준으로 리소스 사용 최적화 • 카메라는 Intel RealSense D435 고정, 카메라 변경 시 다시 보정 및 테스트 필요 • ROS 2 또는 다른 운영체제로의 이식은 추후 연구 과제로 분리 예정 		

- 요구사항 고유번호: COR-002

요구사항 고유번호		COR-002		
요구사항 명칭		학습 데이터 저장 및 사용 제약		
요구사항 분류		제약사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	본 프로젝트에서 수집되는 딸기 탐지 및 분류용 데이터는 수업 및 학술 목적 외 상업적 사용이 제한되며, 내부 규약에 따라 저장/활용되어야 함		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터는 내부 서버 또는 SD 카드에 저장하며 외부 유출 금지 • 데이터 활용은 "탐지/분류 알고리즘 개선 및 성능 평가" 목적에 한정 • 외부 과제, 학술 논문 제출 시에도 식별 정보 제거 및 라벨 익명화 필요 • 수집한 이미지 데이터는 일정 기간(예: 6개월) 후 폐기 가능 • 학습 데이터 공유 시에는 연구 책임자의 사전 승인을 받아야 함 		

– 요구사항 고유번호: COR-003

요구사항 고유번호		COR-003		
요구사항 명칭		프로그래밍 언어 및 실행 방식 제약		
요구사항 분류		제약사항	용량 수준	선택
요구사항 상세설명	정의	본 시스템의 실행은 Python 언어를 기반으로 하며, ROS 노드 통신은 launch 파일을 통한 자동화 실행 방식으로 제한됨		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 주 개발 언어는 Python이며, C++ 기반 노드는 사용하지 않음 • 실행은 roslaunch로 수행되며, 노드별 수동 실행은 비표준으로 간주 • GUI는 ROS RViz 또는 간단한 Qt GUI로 제한 • 배포 시에는 Docker 이미지 기반으로 구성하는 것을 권장 • 웹서버, 클라우드 연동 등은 프로젝트 범위를 초과하므로 제외 		

11. 프로젝트 관리 요구사항

– 요구사항 고유번호: PMR-001

요구사항 고유번호		PMR-001		
요구사항 명칭		프로젝트 수행 조직 구성 및 역할 정의		
요구사항 분류		프로젝트 관리 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	프로젝트 수행을 위한 팀 구성원 간의 역할과 책임을 명확히 하여, 각 단계의 효율적인 추진을 도모하기 위한 조직 체계 수립		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 팀명: Little Sentinels • 구성원: 총 4명(안다운, 백민우, 조민서, 박동현) • 역할 분담 : <ul style="list-style-type: none"> • 안다운 <ul style="list-style-type: none"> – 로봇팔 제어 및 ROS 노드 개발 – 시스템 통합 테스트 관리 – 데이터 수집 및 라벨링 • 백민우 <ul style="list-style-type: none"> – 딸기 탐지 및 분류 알고리즘 개발 – 시스템 실험 환경 구축 – 데이터 수집 및 라벨링 • 조민서 <ul style="list-style-type: none"> – 딸기 탐지 및 분류 알고리즘 개발 – 하드웨어(카메라, Jetson 보드 등) 통합 세팅 – 데이터 수집 및 라벨링 		

		<ul style="list-style-type: none"> • 박동현 <ul style="list-style-type: none"> - 딸기 탐지 및 분류 알고리즘 개발 - 하드웨어(카메라, Jetson 보드 등) 통합 세팅 - 데이터 수집 및 라벨링
--	--	---

- 요구사항 고유번호: PMR-002

요구사항 고유번호		PMR-002		
요구사항 명칭		프로젝트 일정 계획 수립 및 진척 관리		
요구사항 분류		프로젝트 관리 요구사항	용량 수준	필수
요구사항 상세설명	정의	프로젝트의 주요 단계별 일정을 수립하고, 주차 단위로 진척을 점검할 수 있는 관리 체계를 마련		
	세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 전체 일정: 약 12주 기준 운영 • 주차별 주요 단계 계획: <ul style="list-style-type: none"> - 5월 1-2주 : 요구사항 정의 및 실험 환경 구축 - 5월 2-3주 : 데이터 수집 및 라벨링 진행 - 5월 3-4주 : 탐지/분류/제어 알고리즘 설계 - 5월 3-4주 : 탐지/분류/제어 알고리즘 개발 진행 - 6월 1주 : 탐지/분류/제어 알고리즘 개발 진행 - 6월 1-2주 : 통합 테스트 및 시나리오 검증 - 6월 1-2주 : 최종 발표 및 문서 정리 • 매주 주간 회의를 통해 진척 상황 보고 및 계획 수정 • Notion 등을 활용한 일정 관리 보조 도구 사용 		

[별첨2]

중간보고서

1. 요구사항 정의서에 명시된 기능에 대하여 현재까지 분석, 설계, 구현(소스코드 작성) 및 테스트한 내용을 기술하시오.

1) 시스템 구성도 (Hardware + Software)

- 하드웨어 구성요소
 - Jetson Orin Nano (8GB)
 - OpenManipulator-X 로봇팔
 - Intel RealSense D435 (RGB-D 카메라)
 - 테스트베드 프레임 (고정 거치대 포함)
- 소프트웨어 구성요소
 - Ubuntu 18.04 + ROS Melodic
 - Python 기반 ROS 노드 구조
 - 딸기 탐지 알고리즘 예정
 - 숙성도 및 딸기 크기 분류 알고리즘 예정

2) 기능별 상세 요구사항 (유스케이스 기반)

기능 번호	기능명	요약 설명	현재 진행 상황
SFR-001	딸기 탐지	딸기 객체 탐지	진행 중
SFR-002	숙성도 분류	색상 기반 숙성도 분류	진행 중
SFR-003	좌표 인식 및 로봇팔 이동	딸기 좌표로 로봇팔 이동	진행 중
SFR-004	수확 우선순위 결정	우선 수확 순서 설정	미착수(5월 말 예정)

3) DB 설계 / E-R 다이어그램

- 본 프로젝트에서는 데이터베이스를 별도 운영하지 않음
- 학습용 데이터셋(이미지, 라벨)은 로컬 드라이브로 관리

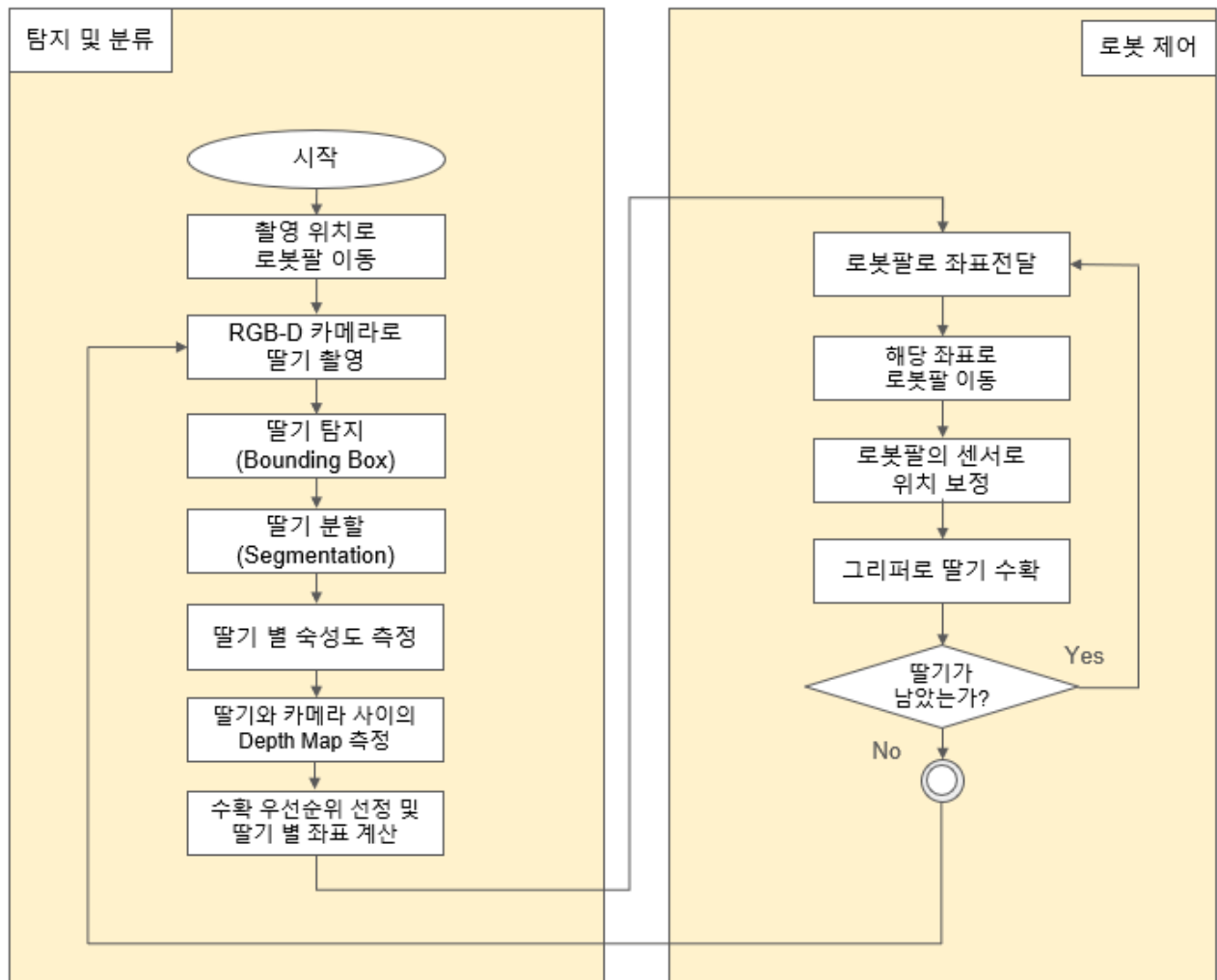
4) 테스트 계획서 (테스트 요구사항 기반)

테스트 항목	목적	예정 시기
TER-001: 탐지 정확도 테스트	탐지 정확도	5월 중순
TER-002: 분류 정확도 테스트	HSV 기반 숙성도 분류 정확도	5월 중순
TER-003: 우선순위 판단 테스트	위치/숙성도 기반 순서 정렬 검증	5월 말
TER-004: 포인트 이동 테스트	좌표로 로봇팔 이동 정확도 측정	진행 중
TER-005: 통합 수확 알고리즘	전체 시스템 통합 흐름 검증	6월 중순

5) 현재까지 수행된 작업 요약

항목	진행 여부	비고
테스트베드 제작	완료	-
데이터 수집 및 라벨링	진행 중	-
모델 구현(탐지/분류)	진행 중	-
로봇 제어 테스트	진행 중	-
통합 동작 테스트	미착수	6월 중순 예정

6) 전체 시스템 흐름도



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

1) 추진 전략 및 수행 방법

- 본 프로젝트는 크게 탐지·분류 알고리즘 개발, 좌표 계산 및 로봇팔 제어, 전체 통합 실행이라는 단계로 나뉘며, 각 단계에 따라 역할을 분담하고 병렬적으로 작업을 진행하는 전략을 채택함.
- 탐지 및 분류 모듈은 3인의 팀원이 각자 다른 탐지·분류 방법론을 조사하고 실험적으로 비교하여 최적의 방식을 선정하는 방향으로 추진함.
- 테스트베드 구성은 로봇팔 설치, RGB-D 카메라 고정, Jetson 환경 설정까지 포함하여 로컬 환경에서 반복 실험이 가능하도록 설계함.
- 로봇팔 제어는 좌표 기반 이동(Pose Control)을 목표로 하며, ROS 기반의 포인트 이동부터 단계적으로 테스트를 수행 중임.

2) 문제점 및 해결방안

- 일정 지연 문제

- 문제점:

애초 일정 상 4월 중순까지 데이터셋 구축을 완료하고, 이후 로봇팔 제어 단계로 넘어갈 계획이었으나, 테스트베드 제작 시점에서 지원금 계획 수립 문제로 인해 부품 수령 및 장비 설치 일정이 밀림.

- 해결방안:

일정 유동성을 확보하기 위해 데이터셋 구축과 로봇팔 제어의 순서를 변경함.

즉, 데이터셋 확보 이전에 로봇팔 포인트 이동 제어부터 실험적으로 진행하면서 전체 프로젝트 일정에 유연하게 대응함. 팀원들과의 회의 결과, 탐지/분류 모델의 실험은 테스트베드 구축 이후에도 충분히 병렬적 개발이 가능하다고 판단하여, 우선 로봇팔 제어를 먼저 수행하는 방식으로 개발 우선순위를 조정함.

- 역할 수행 및 조정 문제

- 문제점:

- 탐지·분류 모듈의 설계는 3인이 분담했지만, 실험 환경 세팅이 늦어짐에 따라 방법론 조사까지만 진행되고 직접적인 비교 실험은 보류된 상태.

- 해결방안

- 실험 환경 구축 이후 각자 모듈별로 하나씩 교차 테스트를 진행하는 방식으로 전환하였고, 이후 팀 내 코드 공유 및 기준 성능 비교표를 작성하여 공동 평가 → 최종 방식 선정으로 정리하기로 함.

3) 기타 관리 사항

- 요구사항 변경관리

- 일정 조정에 따라 일부 기능 구현 순서가 변경되었으나, 핵심 요구사항(탐지, 분류, 좌표 계산, 제어)의 범위는 변동 없이 유지되고 있으며, 변경 이력은 팀 내 회의록에 기록함.

캡스톤 디자인 | 중간보고서 채점표

평가도구	평 가 항 목	평 가 점 수				
		1	2	3	4	5
중간 보고서 및 실행 결과	1. 요구사항 정의서(기능, 성능, 인터페이스 등)가 구체적으로 작성되었는가?					
	2. 요구분석, 설계 산출물(모델, 프로토타입 등)의 내용이 충실한가?					
	3. 설계 및 구현 문제를 위해 적용한 이론, 문제해결 방법이 제시되었으며 그 적용이 적합한가?					
	4. 구현된 소프트웨어(또는 이와 동등한 하드웨어 시스템)가 버그 없이 실행되었는가?					
	5. 구현된 소프트웨어(또는 이와 동등한 하드웨어 시스템)의 성능 요구사항은 충족되었는가?					
도구활용	6. 설계 및 구현을 위해 도구가 적절히 활용되었는가?					
	7. 도구의 활용수준(능숙도)은 프로젝트 수행에 적합한가?					
팀원의 업무 및 역할	8. 팀원의 업무분담에 따른 역할 및 협력이 충실히 이루어졌는가? (평가자에 의한 질의)					
	9. 프로젝트 중간 진척상황에 대해 팀원이 충분히 인지하고 있는가?(평가자에 의한 질의)					
합계						
<p>*검토 의견(최종완료 때까지 보완해야할 점에 대해 작성 요망)</p>						
심사위원(소속):		(이름)		(인)		