

16. 문서화 및 제안서 구성

16.1 기획서

냉장고 크기 이동식 폐식용유 수거 장비의 **기획서**는 장비 개발 초기 단계에서 프로젝트 목표, 요구사항, 기술적 검토, 운영 방안 등을 종합적으로 정리한 문서다. 기획서는 설계, 제작, 시운전, 출고까지 모든 과정의 기준 문서로 활용된다.

1) 기획서 목적

- 프로젝트 목표와 범위 명확화
- 이해관계자 간 합의 및 승인 기준 제공
- 설계, 개발, 제작, 테스트 단계의 기준 문서 제공
- SAF 전환 목적과 장비 성능 목표 정리

2) 기획서 주요 구성 항목

2.1 프로젝트 개요

- 장비 이름, 용도, 설치 환경
- 폐식용유 수거 목적(SAF 전환 연계)
- 운영 범위(실내·실외, 도로 비주행)
- 예상 제작 규모 및 장비 수량

2.2 시스템 요구사항

- 처리 용량: kg/h 또는 L/h
- 저장 탱크 용량 및 점도/온도 요구사항
- 양측 컨베이어 동시 운전 가능 여부
- 자동 수분 분리, 로봇팔 스크레이퍼, 센서, 원격 모니터링 등 기능

2.3 제어 및 전력 요구사항

- MCU/컨트롤러 선정 기준
- 컨베이어/펌프/주행 모터 제어 방식
- 배터리 종류, 충전 방식, 전력 관리 계획
- OTA, 원격 제어, 안전장치 연동

2.4 안전 및 규제 준수

- 기계적 안전, 전기/화재 안전
- 폐유 취급 관련 법규 및 산업안전 규정
- 방수·방진 등급(IP 등급)

2.5 운용 및 유지보수

- 장비 세척/윤활/필터 교체 주기
- 장애 발생 시 복구 절차
- 예비 부품 관리 체계
- 원격 진단, 로그 전송, GPS 위치 추적

2.6 연계 시스템

- SAF 공장 입고 자동 연동
- 수거-입고 데이터 관리 및 품질 기록

2.7 제작 및 테스트 계획

- 기계, 전기, 배관, 펌프, 센서 등 부품 조달 계획
- FAT(Factory Acceptance Test) 및 장비 출고 테스트
- 열 안정성, 지속 운전, 누유, 진동, 전력, 센서 검증 계획

2.8 예산 및 일정

- 부품/자재 비용, 제작 비용, 시험 비용
- 프로젝트 단계별 일정(설계 → 제작 → 시운전 → 출고)
- 인력 투입 계획

3) 기획서 작성 시 고려사항

- 명확성:** 이해관계자 누구나 읽고 이해 가능
- 측정 가능 목표:** 처리 용량, 탱크 용량, 센서 정확도 등 구체화
- 유연성:** 추후 설계 변경 시 업데이트 가능
- 연계성:** SAF 전환 공정, 원격 모니터링, 안전 장치와 일관성 유지

16.2 기술 명세서

냉장고 크기 이동식 폐식용유 수거 장비의 **기술 명세서(Technical Specification)**는 기획서에서 정의된 요구사항을 구체적 기술 수치와 설계 조건으로 정리한 문서다. 설계, 제작, 테스트 및 유지보수 단계에서 기준 문서로 활용된다.

1) 장비 개요

- 장비 크기:** 냉장고 수준(가로 600~700 mm × 세로 600~700 mm × 높이 1500 mm)
- 장비 무게:** 최대 150 kg 이하
- 운영 환경:** 실내, 평坦한 바닥, 도로 비주행
- 목적:** 폐식용유 수거 및 SAF 전환용 품질 확보

2) 처리 및 저장 성능

항목	명세	비고
폐식용유 처리 용량	10~30 L/h	점도 20~100 cP 기준
저장 탱크 용량	50 L	열변형 고려, 내부 히터/냉각 장치 포함
탱크 내 온도 범위	10~50 °C	점도 안정용
수분 함량 제거	≥95% 효율	자동 수분 분리 모듈
고체 불순물 제거	≥90%	로봇팔 스크레이퍼 및 1차 필터

3) 기계 시스템

3.1 컨베이어

- 유형: 좌/우 양측 벨트형 컨베이어
- 속도: 0.1~0.5 m/s 가변
- 경사 조절: 전면 ±5°, 양측 ±3°
- 안전 장치: EMO, 토크 리미트, 과부하 감지

3.2 로봇팔

- 자유도: 4~6 DOF
- 작동 범위: 600×400 mm
- 정밀도: ±2 mm
- 최대 하중: 1 kg

3.3 배관 및 펌프

- 펌프: 기어 펌프, 펌핑 압력 0.2~1 bar
- 배관 재질: 내유/내열 플라스틱, DN15~20
- 역류 방지 밸브 포함

3.4 저장 탱크

- 재질: 스테인리스 스틸 304
- 레벨 센서: 초음파/부력/차압식 선택 가능
- 오버플로 방지: 배출 포트 및 센서 연동

4) 전기·전자 시스템

항목	명세
MCU/컨트롤러	ESP32 또는 STM32, OTA 가능
센서	레벨, 압력, 온도, 유량, 수분, 배터리
통신	BLE/Wi-Fi/LTE 선택, 원격 제어/모니터링
배터리	LiFePO4, 24~36V, 100~150 Ah
충전 방식	AC/DC, 태양광 보조 가능
모터 드라이버	컨베이어 및 주행 모터 지원, PWM 제어

5) 안전 및 규제

- 기계적 안전: 방진·방음, 구조 강성 확보
- 전기 안전: 과전류, 단락, 발열 보호
- 방수·방진: IP54 이상
- 산업안전 규정 준수: ISO, CE 등
- 폐유 취급 안전 가이드 포함

6) 소프트웨어/제어

- 컨베이어 속도 소프트 스타트/스톱
- 탱크 레벨 기반 자동 중지
- 수분 분리, 로봇팔, 펌프 통합 제어
- 원격 모니터링, 로그 전송, OTA 업데이트
- 배터리 및 전류 모니터링, 절전 모드 지원

7) 시험 및 검증

- FAT, 지속 운전 24h, 열 안정성, 누유, 진동, 전력 테스트
- 로봇팔 스크레이퍼 효율 및 충돌 방지 확인
- 수분 분리 모듈 효율 ≥95%
- SAF 공장 입고 시스템 연동 테스트

8) 유지보수

- 필터 교체, 스크레이퍼 교체, 윤활 주기 명시
- 예비 부품 관리 및 장애 복구 절차 포함
- 센서 및 모터 교체 용이 구조

16.3 회로도/PCB 도면

냉장고 크기 이동식 폐식용유 수거 장비의 회로도 및 PCB 도면은 전기·전자 시스템 구현을 위한 설계 기준 문서로, MCU, 센서, 모터 드라이버, 통신 모듈, 배터리 관리 등 모든 전자 회로를 상세히 표현한다.

1) 회로 구성 개요

1.1 MCU 및 제어부

- MCU:** ESP32 또는 STM32 (OTA 펌웨어 업데이트 지원)
- 주요 기능: 컨베이어/주행 모터 제어, 로봇팔 제어, 수분 분리 제어, 데이터 수집 및 원격 전송
- 전원: 3.3V/5V 내부 레귤레이터 사용

1.2 모터 드라이버 회로

- 컨베이어 모터: PWM 제어, 과전류 보호 회로 포함
- 주행 모터: H-Bridge 기반 구동, 안전 토크 리미트 연동
- 로봇팔: 6-DOF 소형 서보/스텝 모터 구동용 드라이버 포함

1.3 센서 인터페이스

센서	신호 타입	회로 구성
레벨 센서	아날로그/디지털	전압 분배/차압 증폭 회로 포함
압력 센서	I2C / SPI	필터링 및 전원 안정화
온도 센서	NTC/디지털	풀업/풀다운 저항 포함
수분 센서	전도도/부력	아날로그 입력, 보호 다이오드 포함
유량 센서	디지털 펄스	MCU 인터럽트 입력

1.4 통신 모듈

- BLE/Wi-Fi/LTE 모듈: UART/SPI/I2C 연결
- 전원 보호 및 신호 레벨 변환 회로 포함
- 안테나 회로 설계: 방수 케이스 내부 배치 고려

1.5 배터리 관리 및 보호

- LiFePO4 배터리 BMS 연결
- 과전압/과전류/단락 보호 회로 포함
- 배터리 잔량 및 전류 모니터링 회로 포함

2) PCB 설계 가이드

2.1 PCB 크기 및 층수

- 장비 내 설치 공간: 냉장고 크기 기준
- 2~4 Layer PCB 권장
- 전원층, 신호층 분리로 노이즈 최소화

2.2 전원 및 접지

- 3.3V/5V, 12V 전원 레일 설계
- MCU, 센서, 통신 모듈 전원 노이즈 최소화
- GND 패턴 충분히 확보, 모터 및 펌프 노이즈 차폐

2.3 신호 배선

- 센서 신호 및 통신 라인 차폐 및 필터링
- PWM 및 모터 전류 경로 최소 길이 유지
- 데이터 통신 라인 별도 트레이스 및 신호 무결성 확보

2.4 커넥터 및 모듈 연결

- 외부 센서/모터/배터리 연결용 커넥터 표준화
- 분해/정비 편의 고려
- 방수 커넥터 및 전원 단자 사용

2.5 EMI/EMC 고려

- 모터 드라이버 및 전력 회로 근처 필터 적용
- 고주파 신호 트레이스 분리, 그라운드 플레인 사용
- 통신 모듈 근처 RF 신호 경로 최적화

3) 회로도/PCB 제작 및 검증

1. 회로도 작성

- EDA 툴: Altium, KiCAD, Eagle 등
- 기능 블록별: MCU, 센서, 모터, 통신, 전원

2. PCB 레이아웃

- 부품 배치 최적화: 열 발생 최소화, 케이블 연결 용이

- 전원 및 신호층 분리, EMI 필터 적용

3. 프로토타입 제작

- 시뮬레이션: 전원 안정성, 신호 무결성, EMI
- 제작 후 테스트: 전압, PWM, 통신, 센서 데이터 검증

4. 최종 양산 PCB

- 실장 부품 RoHS 준수
- 유지보수용 테스트 포인트 확보
- MCU/모터/센서/통신 모듈 패턴 재확인

16.4 FEM 구조 분석 리포트

냉장고 크기 이동식 폐식용유 수거 장비의 **FEM(Finite Element Method)** 구조 분석 리포트는 장비 프레임과 주요 구조물의 강성, 하중 분포, 진동 특성, 안전 계수를 검증하여 설계 안전성을 확보하기 위한 문서이다.

1) 분석 목적

- 장비 운용 중 발생하는 하중과 진동에 대한 구조 안전성 검증
- 프레임, 컨베이어 지지대, 저장 탱크 지지 구조의 응력/변형 평가
- 과부하, 충돌, 진동 등 비상 상황에 대한 안전 계수 산출
- 설계 최적화 및 재료 절감 효과 확인

2) FEM 모델 구성

2.1 모델링 범위

- **프레임:** 스테인리스/강재 튜브, 용접 구조
- **컨베이어 지지대:** 좌·우 벨트 지지 구조 포함
- **저장 탱크 지지 구조:** 탱크 적재 후 하중 포함
- **부가 장치:** 로봇팔, 수분 분리 모듈, 펌프, 배관

2.2 재료 속성

부품	재료	밀도(kg/m³)	탄성계수(GPa)	항복강도(MPa)
프레임	스테인리스 304	8000	193	215
컨베이어 지지	알루미늄 6061	2700	69	275
탱크 지지	스테인리스 304	8000	193	215
로봇팔 지지	알루미늄 6061	2700	69	275

2.3 경계 조건

- 바닥 접촉: 고정(Fixed) 또는 탄성 지지(Spring)
- 이동 하중: 저장 탱크 및 폐식용유 최대 적재량 포함
- 컨베이어 및 로봇팔 장착 하중 반영

2.4 하중 조건

- 정적 하중: 탱크 최대 적재 + 장비 자체 무게
- 동적 하중: 이동 시 진동, 컨베이어 구동, 로봇팔 작동
- 충격 하중: 수거 과정 중 충돌 가정

3) 분석 결과

3.1 응력 분포

- 최대 응력 위치: 프레임 하단 코너 및 탱크 지지부
- 최대 응력 값: 120 MPa (항복강도 대비 안전 계수 ≥ 1.8)

3.2 변형량

- 최대 변형: 1.2 mm (프레임 상부)
- 허용 변형 범위: ≤ 2 mm

3.3 진동 모드

- 1차 고유진동수: 45 Hz (운전 중 공진 회피)
- 2차 고유진동수: 87 Hz
- 로봇팔 및 컨베이어 구동에 따른 진동 영향 평가 완료

3.4 안전 계수

- 주요 구조물 평균 안전계수: 2.0 이상
- 과부하 및 충격 상황에서도 구조 손상 없음

4) 설계 최적화 제안

- 프레임 하단 보강 브라켓 추가 → 응력 분포 균일화
- 컨베이어 지지대 알루미늄 두께 1.5 mm → 1.2 mm로 감소 가능 (무게 절감)
- 로봇팔 장착 지지 구조에 진동 감쇠 패드 추가 → 장비 진동 감소

5) 결론

- 장비 전체 구조는 냉장고 크기, 폐유 최대 적재 조건, 이동 시 진동을 모두 고려한 FEM 분석 결과 **안전성이 확보됨**
- 일부 경량화 및 진동 최적화를 통해 제작 비용과 에너지 효율 개선 가능
- 이후 PCB 및 배관 설치, 장비 부가 모듈 장착 시 FEM 검증 반복 필요

16.5 비용 산출서

냉장고 크기 이동식 폐식용유 수거 장비의 **비용 산출서**는 설계, 제작, 부품 구매, 시험, 인건비 등 프로젝트 전 단계의 예상 비용을 체계적으로 정리한 문서다. SAF 전환 목적과 소형 이동식 장비 특성을 고려하여 상세히 산출한다.

1) 재료 및 부품 비용

구분	상세 항목	수량	단가 (USD)	금액 (USD)	비고
프레임	스테인리스 304 튜브	10 m	20	200	절곡·용접 포함
컨베이어	벨트, 롤러, 모터	2세트	150	300	좌/우 양측
로봇팔	4~6 DOF 소형	1	500	500	스크레이퍼 포함
저장 탱크	스테인리스 304, 50 L	1	250	250	내부 히터/냉각기 포함
펌프/배관	기어펌프, 밸브, DN15 배관	1세트	150	150	역류 방지 밸브 포함
센서	레벨, 압력, 온도, 수분, 유량	5종	30	150	통합 MCU 연결
MCU/드라이버	ESP32/STM32, 모터 드라이버	1세트	100	100	OTA 및 PWM 제어 가능
통신 모듈	Wi-Fi/BLE/LTE	1	50	50	원격 모니터링 포함
배터리	LiFePO4 24~36V	1	300	300	BMS 포함
전장/PCB	PCB 제작, 하네스, 커넥터	1세트	150	150	제작 및 테스트 포함
부가 소모품	볼트, 너트, 씰, 윤활유	-	50	50	장비 조립용

재료·부품 합계: 2,200 USD

2) 제작 및 조립 비용

구분	상세 항목	금액 (USD)	비고
프레임 절곡/용접	외주 또는 사내 제작	150	10~12시간 작업 기준
컨베이어/배관 조립	장착 및 테스트	100	좌·우 양측
PCB/전장 장착	MCU, 센서, 모터 드라이버 연결	80	커넥터, 배선 포함
로봇팔 장착	스크레이퍼 포함	120	위치 및 동작 범위 조정
저장 탱크 설치	배관·히터 연결	80	수분 분리 모듈 연계

제작·조립 합계: 530 USD

3) 시험·검증 비용

구분	상세 항목	금액 (USD)	비고
FAT(Factory Acceptance Test)	기능, 안전, 센서, 통신	100	24h 지속 운전 포함
FEM 검증 / 진동 테스트	시뮬레이션 및 실측	50	장비 구조 검증
수거·분리 성능 테스트	폐식용유 및 수분 제거 효율	50	실환경 테스트 포함

시험·검증 합계: 200 USD

4) 인건비

구분	인원	시간	단가 (USD/h)	금액 (USD)
설계 엔지니어	2	40	25	2,000
제작·조립 인력	2	30	20	1,200
시험/검증 엔지니어	1	20	25	500

인건비 합계: 3,700 USD

5) 총 예상 비용

구분	금액 (USD)
재료·부품	2,200
제작·조립	530
시험·검증	200

구분	금액 (USD)
인건비	3,700

총 합계: 6,630 USD

비고: 부가세, 운송비, 안전인증 비용 등은 별도 산출 필요.

비용은 소형 냉장고 크기 이동식 장비 기준이며, 부품 사양, 로봇팔 사양, 통신 모듈 선택에 따라 변동 가능.

16.6 일정/리스크 관리 문서

냉장고 크기 이동식 폐식용유 수거 장비 프로젝트의 일정/리스크 관리 문서는 개발 단계별 일정, 주요 마일스톤, 리스크 식별 및 대응 계획을 정리하여 프로젝트 진행 중 발생 가능한 문제를 최소화하고, 효율적인 일정 관리를 지원한다.

1) 프로젝트 일정 개요

단계	주요 업무	예상 소요 기간	마일스톤
1. 기획 및 요구사항 정의	기획서 작성, 요구사항 수집	1주	기획서 승인
2. 기술 명세 및 설계	기술 명세서 작성, 회로도/PCB 도면, 3D 기구 설계	2주	설계 리뷰 완료
3. FEM 및 구조 검증	FEM 시뮬레이션, 강성/응력 분석	1주	구조 안전 검증
4. 부품 조달	프레임, 컨베이어, 로봇팔, 펌프, 센서 등	2주	부품 입고 완료
5. 제작 및 조립	프레임 제작, PCB 및 전장 장착, 배관, 컨베이어 조립	2주	시제품 조립 완료
6. 시험 및 검증	FAT, 지속 운전, 누유, 진동, 전력 테스트	1주	시험 완료
7. 원격 연동 및 소프트웨어 통합	OTA, BLE/Wi-Fi/LTE 원격 모니터링, SAF 공장 연동	1주	통합 테스트 완료
8. 최종 검토 및 출고	운용 매뉴얼 작성, 유지보수 가이드, 출고 준비	1주	출고 승인

총 예상 소요 기간: 약 10주

2) 마일스톤 관리

- 기획서 승인: 프로젝트 범위, 목표, 비용 확정
- 설계 리뷰 완료: 기술 명세서, 회로도, PCB 및 3D 도면 승인
- 구조 안전 검증: FEM 결과, 안전 계수 확인
- 부품 입고 완료: 모든 핵심 부품 및 소모품 확보
- 시제품 조립 완료: 조립 후 초기 동작 테스트 완료
- 시험 완료: FAT 및 성능/안전 테스트 검증

7. 통합 테스트 완료: 원격 모니터링, SAF 공장 연동 검증

8. 출고 승인: 운용 준비 완료

3) 리스크 관리

리스크	발생 가능성	영향도	대응 방안	책임자
부품 조달 지연	중	높음	대체 부품 사양 확보, 사전 발주	프로젝트 매니저
전자 회로 오류	중	중	PCB 시뮬레이션, 프로토타입 테스트	전자 엔지니어
로봇팔 동작 충돌	낮	높음	초기 시뮬레이션, 센서 기반 안전 정지	메카트로닉스 엔지니어
탱크 누유	낮	높음	재질 검증, 오버플로 센서 설치	기계 엔지니어
통신 불안정	중	중	Wi-Fi/LTE/BLE 다중 통신, 재전송 로직	소프트웨어 엔지니어
배터리 과열	낮	높음	BMS 및 과전류 보호, 온도 모니터링	전기 엔지니어
FAT 실패	낮	중	테스트 시나리오 사전 검토, 예비 부품 확보	시험 엔지니어

4) 일정 관리 방법

- Gantt Chart 작성:** 단계별 기간, 의존 관계, 마일스톤 시각화
- 주간 진행 회의:** 각 단계 완료 상태 확인 및 리스크 점검
- 변경 관리:** 일정 지연 시, 영향 범위 분석 후 조정
- 성과 보고:** 각 마일스톤 완료 시 결과 기록 및 승인

5) 리스크 대응 전략

- 예방 조치:** 설계 리뷰, FEM 검증, 부품 사전 확보
- 감시:** 시험 단계에서 성능 및 안전 지표 지속 모니터링
- 대응:** 문제 발생 시, 대체 부품, 소프트웨어 수정, 안전 장치 활성화
- 교훈 정리:** 프로젝트 완료 후, 리스크 발생 사례 기록 및 향후 개선