

7. 센서·전자·제어 시스템 설계

7.1 메인 MCU 선택(ESP32? STM32? 산업용 PLC?)

- 선정 기준 정의

- 컨베이어 제어(양측 독립 속도 제어, 모터 드라이브 제어)
- 펌프 제어(PWM/릴레이/정압 유지 제어)
- 다수의 센서 확보(레벨, 온도, 압력, 토크, 비상정지, 경사 센서 등)
- 실내/야외 혼합 환경에서 안정성 확보
- 장시간 운용 시 발열·간섭 최소화
- 이동식 장비 특성상 전력 효율/충전 관리 기능 필요
- 통신 요구사항(Wi-Fi? BLE? RS485? CAN? 이더넷?)에 따른 인터페이스 고려

① ESP32 계열(ESP32, ESP32-S3, ESP32-C3)

- 장점

- Wi-Fi/BLE 통신 내장 → 원격 모니터링, OTA 업데이트 용이
- 비용 저렴, 개발 난이도 낮음
- 충분한 연산력(240MHz급), 멀티태스킹 가능
- 다양한 PWM/GPIO 사용 가능

- 단점

- 산업환경에서 EMI/노이즈 내성 부족
- 고온 환경(>60°C)에서 안정성 떨어질 수 있음
- ADC 분해능, 노이즈 내성은 STM32 대비 약함

- 적합한 경우

- 실내 위주 운영
- 통신/IoT 기능이 중요할 때
- 비용을 최소화하고 기능을 빠르게 구현해야 할 때

② STM32 계열(STM32F4/F7/L4/G4/H7 등)

- 장점

- 산업용 수준의 안정성, 넓은 온도 범위(-40~85°C) 지원
- 고분해능 ADC, 안정적인 PWM, 실시간 제어 능력 우수
- CAN, RS485, I²C, SPI 등 센서 확장성 뛰어남
- FreeRTOS 기반 고신뢰성 펌웨어 구성 가능

- 단점

- ESP32 대비 Wi-Fi/BLE 직접 제공 없음(추가 모듈 필요)

- 개발 난이도 및 초기 설정이 높음
 - 단가 증가
 - 적합한 경우
 - 24시간 장시간 운전, 잦은 진동, 고온 환경 등 산업적 신뢰성이 중요할 때
 - 컨베이어/펌프 제어 정확도가 높아야 할 때
 - 다양한 센서와 통신 버스를 연결해야 할 때
-

③ 산업용 PLC(LS, Siemens LOGO!, Mitsubishi FX, Micro PLC 등)

- 장점
 - 고신뢰성 · 방진 · 방수 · 내열 설계
 - 산업 표준 I/O 모듈 확장 쉬움
 - 유지보수 및 정비가 매우 편리
 - 펌프/모터/밸브가 많은 장비에 최적
- 단점
 - 가격 매우 높음
 - 크기와 무게 증가 → 냉장고 크기 장비에는 부담될 수 있음
 - OTA/무선 업데이트 불가능에 가까움
 - 세세한 UI/디스플레이 연동은 약함
- 적합한 경우
 - 공장 자동화 라인과 연계해야 할 때
 - 극도로 높은 신뢰성 요구
 - 정식 인증(CE, KC, 산업기계 인증)을 받아야 하는 상업용 제품 개발 시

결론: 어떤 MCU가 이 장비에 최적?

냉장고 크기의 이동식 폐식용유 수거 로봇이라는 조건에서 가장 적합한 선택은:

🏆 최적 조합: STM32 + ESP32 듀얼 MCU 구조

- **STM32**: 메인 제어(컨베이어, 펌프, 센서 처리, 안전 로직)
- **ESP32**: 통신 전담(Wi-Fi/BLE, OTA, UI 앱 연동)

장점:

- 실시간 안정성 + IoT 기능을 동시에 확보
- 산업 장비 수준의 신뢰성 유지
- 무선 업데이트 및 데이터 전송도 가능
- PLC 대비 저비용, 소형화 용이

7.2 컨베이어 모터 드라이버

기본 요구사항 정의

- 좌·우측 컨베이어 각각 독립 제어
- 정/역회전 지원
- 저속 고토크 구동(폐식용유 및 이물질을 끌어올리는 구조 특성)
- PWM 기반 속도제어 필요
- 과부하/막힘 상황에서 **토크 리미트 또는 전류 제한** 기능 필수
- 점도 높은 폐유 접촉으로 인해 **모터 stall 가능성 높음** → 보호 회로 요구됨
- IP54~IP65 수준의 방진·방수 요구
- MCU(주로 STM32)와의 인터페이스는 **PWM + 방향(DIR) + 피드백(CUR 센서)** 방식 추천

① 모터 종류에 따른 드라이버 선택

A. DC 기어드 모터(브러시드)

- 장점:**
저속·고토크, 제어 단순, 드라이버 가격 저렴
- 필요 드라이버:**
 - BTS7960(43A)
 - VNH5019(30A)
 - IBT-2 기반 H브릿지
- 적합성:**
 - 소형 냉장고급 장비에서 가장 실용적
 - 유지보수 쉬움
- 단점:**
 - 브러시 마모 → 장기적 신뢰성은 BLDC보다 떨어짐

B. 브러시리스 DC 모터(BLDC, 3상)

- 장점:** 고효율·저발열·긴 수명
- 필요 드라이버:**
 - 3상 FOC 기반 드라이버 (STSPIN32, DRV8305, DRV8316 등)
- 적합성:**
 - 장시간 운전, 실외 환경
 - 고토크가 필요하지만 모터 크기를 줄이고 싶을 때
- 단점:**
 - 제어 복잡(FOC 구현 필요)

- 가격 상승
-

C. 스텝퍼 모터(고정밀 속도 제어 가능)

- 장점: 일정한 속도 유지, 부하 변화에 대한 제어 쉬움
- 필요 드라이버:
 - DM542, TB6600 등 고전류 스텝퍼 드라이버
- 적합성:
 - 정밀 동작이 필요한 특수 용도
- 단점:
 - 효율 낮음, 발열 크고 토크 대비 크기 큼
 - 막힘 상황에서는 스텝로스 발생

→ 이 장비에는 스텝퍼는 비효율적이므로 비추천.

② 권장 모터 드라이버 구조: H브릿지 기반 DC 기어모터 + 전류 센싱

- 왜 DC 기어드 모터 + H-브릿지가 최적인가?
 - 저속에서도 높은 토크
 - 컨베이어 특성상 위치 제어가 필요하지 않음 → 속도제어만으로 충분
 - 모터 stall 대응(전류 제한)이 간단
 - 전체 시스템 비용 최소화
 - 방수 설계 및 유지보수가 쉬움

③ 구체적인 드라이버 추천

1) ST VNH5019 (30A 피크 / 12~24V)

- 산업용 등급에 가까운 안정성
- 전류 센싱 내장 → stall 감지 쉬움
- 20~30kgf·cm 급 기어드 모터에 적합

2) Infineon BTS7960 모듈 (43A)

- 저렴·고전류
- 단, 방열판 요구
- 실외 환경에서는 방수 하우징 필수

3) TI DRV8871/8873(10A 이하) – 소형 컨베이어용

- 소형 냉장고급 장비에서 전력 소모 낮을 때
 - 전류 제한 기능 우수
-

④ 보호 기능 설계(필수요구)

- 과전류 차단(OCP): 모터 stall 또는 이물질 끼임 대비
 - 과열 보호(OTP): 장시간 운전 대비
 - 저전압 보호(UVLO): 배터리 보호
 - 전류 피드백 기반 토크 리미트
 - 목표 전류(I_limit) 설정
 - stall 감지 → 자동 역회전/재시도 알고리즘 가능
-

⑤ MCU와의 인터페이스 구조

- PWM → 속도 제어
 - DIR → 정/역 회전
 - FB(Current sense) → 부하 감지
 - Fault 핀 → 긴급 정지
 - Enable → 모터 전원 차단
-

⑥ 향후 확장성(멀티 모터 포함)

- 좌측·우측 컨베이어 외에
 - 스크레이퍼 구동
 - 이물질 제거 브러시
 - 보조 유입 푸셔
- 추가 가능 → 드라이버 3~5개 확장 대비
- CAN 또는 RS485 기반의 확장 모터 모듈 구성 가능

7.3 주행 모터 드라이버

기본 요구 조건 정의

- 소형 냉장고급 이동식 장비(약 40~80kg)
- 실내/실외 바닥(타일, 콘크리트, 스틀그레이트 등)에서 안정적 주행
- 구동부는 일반적으로 **2륜 차동 주행(좌/우 독립 구동)**
- 등판 능력(5~10도) 고려
- 장시간 저속 운전 및 빈번한 정지/출발
- 저소음·고토크·저발열 필요

- MCU(주로 STM32)와의 인터페이스 편의성
-

① 추천 구동 모터 타입: 24V 브러시리스 DC 모터(BLDC) + 감속기

왜 BLDC가 좋은가?

- 지속 토크 우수
- 브러시 마모 없음 → 유지보수 감소
- 속도대비 소음 매우 낮음
- 효율 높고 발열 적어 배터리에도 유리
- FOC 드라이버 사용 시 부드러운 제어 가능
- 실외 진동·충격 환경 대응 우수

모터 사양 예시

- 24V, 150~350W
 - 감속비 10:1~20:1
 - 훨 토크 15~40 N·m
 - 최대 속도 1~3 km/h 정도로 제한
-

② 주행 모터 드라이버 종류 비교

A. BLDC 전용 드라이버(FOC 기반 3상 인버터) — 최적 선택

- 장점
 - 실시간 속도제어·토크제어 가능
 - 저속에서 진동 없이 부드럽게 주행
 - 전류/토크 제한 기능 우수 → 안전
 - 과열/과전류/저전압 보호 대부분 내장
- 대표 제품군
 - TI DRV8305/8301 계열
 - ST STSPIN32G4 (MCU + 드라이버 통합)
 - ODrive(고출력, 자율주행 로봇용)
 - RoboteQ FBL series (산업용)

B. 브러시드 DC 모터 드라이버(H-브릿지) — 저가형 대안

- 장점: 회로구성 간단, 비용 낮음
- 단점: 소음/발열/수명 짧음
- 예시: BTS7960, VNH7040
- 적합성: 극저가 또는 시제품

C. PMSM 인버터 + 엔코더 기반 산업용 드라이브

- 장점: 산업 로봇 급 안정성
 - 단점: 가격 매우 비쌈
 - 적합성: 정식 인증 제품, 대량 생산 대비
-

③ 권장 드라이버 구조: BLDC FOC 듀얼 모터 드라이버

왜 듀얼 모터 드라이버인가?

- 차동구동 로봇 특성상 좌/우 모터를 항상 함께 관리해야 함
- 2개의 드라이버를 따로 쓰면
 - 속도 편차 증가
 - 회전 반응성 저하
 - 동기화 어려움
- 듀얼 FOC 드라이버는
 - 두 모터의 RPM / 전류를 동기제어
 - 직진 안정성 향상
 - 회전 명령(Line/Angular Velocity) 구현 편리

추천 구조 예시

- STSPIN32G4 × 2개 → 모터 2개 제어
 - RoboteQ FBL2360 → 산업용 2채널 BLDC 드라이버
 - ODrive S1(48V) → 고성능 BLDC 주행 제어
-

④ 필수 보호 기능(안전 요건)

- 전류 제한(Current Limit)
 - 장애물 또는 경사면에서 stall 방지
 - 차동 쇼크 보정(Differential Correction)
 - 바퀴 미끄러짐 또는 바닥 요철 대응
 - 과열 보호(OTP)
 - 배터리 저전압 보호(UVLO)
 - 비상 정지(E-stop) 우선 차단 기능
 - 전자 브레이크(Electric Brake) 기능
 - 정지 시 슬립 방지
 - 탱크가 가득 찼을 때 무게 증가 대응
-

⑤ MCU와 드라이버 간 인터페이스

- PWM 입력 모드
 - 좌/우 속도 직접 제어
 - 구현 간단하나 정밀도 제한
 - CAN 통신 모드(권장)
 - RoboteQ, ODrive, ST 기반 드라이버 대부분 지원
 - 속도 명령, 토크 피드백, fault 정보 실시간 전송
 - 전기적 노이즈 강하여 선 길이 자유도 증가
 - UART 모드
 - 디버깅 및 저속 제어에 유용
 - 주행 응답성에서는 CAN보다 떨어짐
-

⑥ 주행 안정성 알고리즘(컨트롤 로직)

- 저속 시작(Smooth ramp-up)
 - 폐유 가득 때 무게가 커 → 모터 보호
 - 장애물 감지 시 감속
 - 전류 스파이크 감지 → 자동 감속
 - 곡선 주행 PID 제어
 - 좌/우 훨 RPM 피드백 사용
 - 경사 보정(tilt compensation)
 - IMU 센서 기반 → 등판 시 출력 증가
 - 중량 변화에 따른 토크 보정
 - 탱크 레벨 기반 출력 자동 증가
-

⑦ 드라이버 설치 및 방열·방수 설계

- 알루미늄 방열판 + 강제 공랭 또는 자연 냉각
- 전기함 내부 IP65 실링
- MOSFET/IGBT 발열을 냉장고 새시 하부로 배출
- EMI 필터 + 코일 노이즈 필터링

7.4 레벨 센서, 압력 센서, 온도 센서

① 적용 가능 센서 종류

폐식용유 수거 로봇에서 주로 다루게 될 매질이 “고점도·온도 변화·기름막 존재” 특성이 있으므로, 센서 선택 시 내오염성·온도 영향·유지보수 편의성을 모두 고려해야 합니다.

● 레벨(Level) 센서

• 초음파 레벨 센서

- 장점: 비접촉식, 탱크 내부 오염 영향을 적게 받음
- 단점: 기름 표면의 난반사, 거품 발생 시 오차 증가
- 인터페이스: 24V 산업용(PNP/NPN) 또는 RS485(Modbus), 소형은 5V PWM/Trig-Echo

• 부력식(플로트 스위치)

- 장점: 단순·저가·확실한 동작
- 단점: 오염 시 움직임 방해, 배출/청소 시 구조적 배려 필요
- 인터페이스: 단순 스위치 ON/OFF

• 차압식 레벨 센서(고정밀)

- 장점: 탱크 수위와 무관하게 유체 높이를 정밀 측정
- 단점: 고점도 유체라 막힘 우려 → 격막(다이어프램) 타입 권장
- 인터페이스: 4-20 mA, 0-10 V, CAN, RS485

● 압력(Pressure) 센서

• 격막식 압력 센서(Diaphragm)

- 폐식용유 배관에서 필수 (막힘 방지)
- 펌프 흡입/토출 압력 모니터링에 사용
- 인터페이스:
 - 4-20mA → 장거리/노이즈 강함
 - 0-5V/0-10V → 단거리/아날로그 ADC
 - RS485 → 시리얼 통신 가능, 가장 안정적

• 기어펌프 토출 압력 확인용

- 최대 압력: 2~6 bar 정도 되는 센서 추천
- 온도 영향 적게 받는 산업용 등급 권장

● 온도(Temperature) 센서

폐식용유의 점도는 온도에 매우 민감하므로 일정 온도(예: 30~40°C) 유지가 필요할 수 있음.

• NTC/PT100/PT1000 온도센서

- PT100/1000 → 정확도 매우 높음, 배관/탱크 벽면 삽입 가능

- NTC → 저가, MCU에 바로 연결 가능하지만 비선형
 - 디지털 온도 센서
 - DS18B20 (내열 튜브형) → 폐식용유 탱크 내부 온도 측정에 자주 사용
 - 인터페이스: 1-Wire
-

② 센서 인터페이스 회로 설계

1) 아날로그 센서(0-5 V / 0-10 V) → MCU

- 0-10V → **분압회로 + 버퍼 op-amp**로 0-3.3V 변환
 - 노이즈 많은 환경 → **RC 로우패스 필터** 추가
 - MCU: STM32 ADC(12~16bit) 추천
-

2) 4-20mA 산업용 센서 → MCU

가장 표준적이며 신뢰성 높음.

회로 구성

- 4-20mA → 165Ω 정밀 저항 → ADC에서 0.66~3.3V로 읽기 가능
예:
 - $4\text{mA} \times 165\Omega = 0.66\text{V}$
 - $20\text{mA} \times 165\Omega = 3.3\text{V}$
 - 장점:
 - 긴 배선에서도 정확한 신호
 - 노이즈에 매우 강함
 - 산업용 센서 대부분 지원
-

3) 디지털 센서(USART / RS485 / I2C / CAN)

- **RS485 센서가 가장 현실적**
 - 장거리/노이즈에 매우 강함
 - 센서들을 Daisy-chain으로 연결 가능
 - 프로토콜: Modbus RTU가 일반적
 - **I2C는 비추천**
 - 배관/모터/펌프 등 노이즈 심한 환경에서는 불안정
-

③ 센서 설치 포인트 설계

● 레벨 센서 위치

- 초음파 → 탱크 맨 윗부분의 중앙부
- 부력식 → 탱크 측면(필요한 레벨에 맞춰 복수 배치)
- 차압식 → 탱크 밑면 or 사이드 포트

● 압력 센서 위치

- 펌프 토출부 After-pump
- 펌프 흡입부 Before-pump
- 필터 전/후 압력차 확인(PF ΔP 모니터링)

● 온도 센서 위치

- 탱크 내부 벽면 or 바닥 근처
- 폐식용유 예열기 사용 시 입구/출구 2지점 측정

④ MCU와 센서 연결 요약

센서 종류	신호 타입	추천 MCU 포트	이유
초음파	PWM / UART	GPIO/USART	단순, 비접촉
플로트	On/Off	GPIO	스위치 감지
차압식	4-20mA	ADC	고정밀 수위 가능
압력 센서	4-20mA 또는 RS485	ADC 또는 USART	산업 표준
온도 센서	1-Wire / PT100	GPIO/ADC	점도 제어용

7.5 유입량 계측·부하 감지 센서

폐식용유 수거 로봇에서 “유입량(flow-in)”과 “부하(load)”는

- 흡입 라인에 유체가 실제로 들어오는지,
- 필터 막힘/펌프 부하 증가 여부,
- 탱크 유입량 실량 계산,
- 과부하·과압 자동 보호

를 위해 중요합니다.

① 유입량(FLOW) 계측에 사용되는 센서 종류

1) 유량 센서(Flow Sensor) - 폐식용유 전용 구조 필요

폐식용유는 점도가 높기 때문에 일반적인 플로우 센서는 사용이 어렵습니다.

산업 현장에서는 다음 3가지 방식이 현실적입니다.

● 기어형 유량 센서(Positive Displacement Gear Flow Meter)

(★ 폐식용유·점성 유체에 가장 적합)

- 내부의 두 개의 기어가 회전 → 펄스 출력
- 점성 유체에서 정확성이 높음
- 주로 24V PNP/NPN 펄스 또는 RS485(Modbus) 방식
- 장점: 온도 영향 적음, 점도 높은 매질에 최적
- 단점: 가격이 있음, 이물질에 취약

● 로터리 베인형(Rotary Vane) 유량계

- 중점도 ~ 고점도까지 사용 가능
- 토크 증가량으로 유량 추정
- 장점: 큰 입자 포함된 유체에 일부 대응
- 단점: 정밀도는 기어형보다 떨어짐

● 차압식 간접 유량 측정

- 펌프 흡입/토출 압력 차이(ΔP) → 유량 간접 추정
- 장점: 센서 부착이 쉬움
- 단점: 정확한 유량 값은 어렵고, “막힘/부하” 감지용으로 적합

② 부하(Load) 감지 방식

유입이 되지 않거나, 배관이 막히거나, 점도 상승으로 펌프에 부하가 걸릴 때 이를 감지해야 함.

1) 전류 센서(Current Sensor) - 펌프 부하 감지

펌프가 막히면 소비 전류가 증가함.

따라서 펌프 전류만 모니터링해도 막힘 감지가 가능.

추천 센서

- ACS712 / ACS758 / MLX91220
- 산업용 전류 트랜스포머(CT)
- 샌드위치형 홀 센서(고정밀)

감지 방식

- 정상 전류: 0.5~1A
 - 막힘/점도 상승: 2~3A
→ MCU에서 threshold 비교로 “막힘 알림”
-

2) 토크/로드셀 기반 부하 감지

펌프 축에 직접 설치하면 정밀 부하 측정 가능하지만

구조 복잡·비용 높음 → 비추천

(산업식 오일 이송에서는 거의 사용하지 않음)

3) 압력 기반 부하 감지

펌프 토출 압력 상승(예: 0.8 bar → 1.8 bar)이

배관 막힘 또는 오일 점도 증가를 의미.

→ 압력 센서 + ΔP 알고리즘으로 막힘 조기 감지 가능.

③ 센서 신호 타입 및 MCU 인터페이스

● 기어형 유량 센서

- 펄스 출력(PNP/NPN 24V)
→ 옵토커플러 + 디바운스 → MCU GPIO
- RS485(Modbus RTU)
→ 전송 안정성 최고, 산업용 최고 등급

● 전류 센서

- 아날로그 센서(ACS758) → ADC
- 디지털 전류계 → I2C/UART
- 산업용 CT → burden resistor + ADC

● 압력 센서

- 4-20mA → 정밀 저항 변환 후 ADC
 - RS485 → 산업 현장 최강 조합
-

④ 기계적 설치 포인트

1) 유량 센서 설치

- 펌프 “토출 직후” 직관부에 설치
- 상·하류에 최소 5D 직관 확보(가능하다면)
- 기어형은 반드시 수평 방향 설치

- 역류 방지 밸브 이후 설치

2) 전류 센서

- 펌프 전원선(DC/AC)에 허센서 클램프
- 노이즈 방지를 위해 전원부와 떨어진 장소에 배치

3) 압력 센서

- 펌프 토출부
- 필터 앞/뒤 ΔP 측정
- 온도 영향으로 offset 발생하므로 보정 필요

⑤ 유입량 및 부하 감지 알고리즘

1) 유입량(Flow) 계산

기어형 센서 기준:

1	Flow_rate (L/min) = (Pulse_per_sec × K_factor)
2	유입량 누적 = \sum Flow_rate × Δt

- MCU 타이머 인터럽트 활용
- K-factor: 센서 제조사가 제공 (예: 0.01 L/pulse)

2) 부하 감지(Load Detection)

펌프 전류 + 압력센서 + 유량센서를 조합

막힘 감지 조건

- 전류 증가 $\Delta I > 30\%$
- 압력 증가 $\Delta P > 0.5$ bar
- 유량 감소 < 정상의 60%
- 일정 시간 $T > 0.5$ sec 유지

→ 자동 정지 + 경고 출력

3) 흡입 실패 감지(Empty Suction / Dry Run)

- 유량 0 L/min
- 압력 거의 없음 (0 bar)
- 전류 급감

→ 펌프 보호를 위한 자동 차단

⑥ MCU에 적용 시 최종 결론

유입량 센서

- 1순위: 기어형 유량 센서 RS485 타입
- 2순위: 기어형 PNP 펄스 출력 + MCU GPIO

부하 감지

- 펌프 토출 압력 센서(4-20mA)
- 펌프 전류 센서(ACS758/CT)
둘 조합이 산업현장에서 가장 안정적입니다.

7.6 긴급 정지 시스템

① 긴급 정지(E-Stop) 기능 개요

- 전체 시스템(컨베이어, 펌프, 주행 모터, 히터 등)을 즉시 안전한 상태로 전환
- 기계적 충돌·과부하·누유·전기적 이상 등 발생 시 즉각 차단
- IEC 60204-1 / ISO 13850 긴급정지 요구사항 준용
- 수동 버튼(E-Stop) + 자동 감지 소프트웨어 정지 모두 포함

② 긴급 정지 우선 순위 정의

긴급 정지 시 전원 차단 우선순위(안전-critical 우선):

1. 주행 모터 드라이브(ESC/BLDC 인버터)
2. 컨베이어 모터
3. 펌프/밸브 계통
4. 히터, 온도 조절부
5. MCU는 동작 유지(로그 저장 및 복구용)

③ 긴급 정지 입력 장치 구성

1) 물리적 E-Stop Button (비상버튼)

- 버섯형, 일체형 latching 타입
- 기계식 강제개폐(NC 접점)
- 프레임 전면 또는 상단에 1개
- 좌측/우측 서비스용 보조 E-Stop 1~2개 옵션

2) 리셋 버튼

- E-Stop 해제 후 재가동 시 필요한 별도 리셋 스위치
 - 실수로 자동 재동작 방지 (ISO 13850 요구)
-

④ 자동 긴급 정지 트리거 조건

1) 전기적 트리거

- 모터 드라이버 과전류(> 정격 120%)
- 배터리 과전압/저전압
- MOSFET 온도 과열(> 85°C)
- 펌프 드라이버 과전류

2) 기계적/유압 트리거

- 펌프 토큰 압 급상승(막힘)
- 탱크 레벨 센서 오버플로 임계치 도달
- 컨베이어 토크 증가(이물질 걸림)
- 차체 기울기 센서(예: > 15°) – 전도 방지

3) 환경·운영 트리거

- 외함 열센서(50–60°C 이상)
- 배관 온도/히터 이상 상승
- 연기 감지(optional)

4) 사용자 소프트웨어 트리거

- UI/컨트롤러에서 “긴급 정지” 메뉴 선택
 - 무선 리모컨 E-Stop(옵션)
-

⑤ 긴급 정지 시 즉각 수행되는 동작

1. 주행 모터 PWM 즉시 0 (하드웨어 차단)
 2. 컨베이어 모터 전원 릴레이 차단
 3. 펌프 전원/릴레이 차단 (역류·과압 방지)
 4. 히터 SSR·릴레이 차단
 5. 밸브는 스프링 리턴으로 닫힘(default closed)
 6. MCU는 전원 유지하며 에러 로그 기록
 7. 경고등/부저 활성화
 8. 운영자 UI에 원인 메시지 표시
-

⑥ 배선/회로 아키텍처

1) E-Stop Loop (하드웨어 차단 회로)

- 전체 안전-critical 라인을 한 루프로 구성
- NC(정상 시 닫힘) → 절단 시 전체 릴레이 차단
- 모터/펌프/히터 라인 기준
- MCU는 단지 모니터링 역할만 담당(차단은 하드웨어가 담당)

2) Safety Relay 또는 Power Cutoff Relay

- 24V/48V DC 메인 버스를 직접 차단
- Fail-safe 설계
- 릴레이 코일은 E-Stop 루프에 연결 → E-Stop 눌리면 즉시 오프

3) MCU 독립 전원 공급

- 긴급정지 이후에도 MCU는 기록 및 UI 유지
- 배터리 BMS 출력 중 “논리 전원” 라인 별도 확보
- Hard-stop 영역과 Soft-stop 영역 분리

⑦ 긴급 정지 해제 및 복구 절차

1. 이상 원인 해결

- 막힘, 과온, 과전류 등 확인

2. E-Stop 버튼 해제 (회전하거나 당겨서 해제)

3. 리셋 버튼 누름

- 릴레이/드라이버 초기화

4. MCU 시스템 점검 시작

- 센서 self-test
- 전류·압력 정상 범위 확인

5. 정상 운전 가능 상태 확정 후에만 재동작

⑧ 진단 및 로그 기록 기능

MCU는 긴급 정지 시 다음 정보를 저장:

- 트리거 센서 ID
- 당시 전류/압력/온도
- 모터 RPM상태
- 배터리 전압
- 펌프 유량

- 타임스탬프

→ 유지보수 및 오작동 분석에 매우 유용

⑨ 통신 연계

- RS485/Modbus 또는 CAN으로 상태 보고
 - PC/태블릿 UI에서 긴급 정지 원인 확인
 - 원격 리셋 기능(안전 규제 상 차단할 수도 있음)
-

⑩ 기계적 설치 포인트

- 프레임 상단 또는 전면에 크게 노출
- 작업자가 이동 중에도 쉽게 누를 수 있는 위치
- 방진·방수(IP65 이상)
- 내부 배선은 shield 케이블 사용
- 진동이 많은 모듈 근처는 기계식 보호 가이드 설치

7.7 원격 모니터링(BLE/Wi-Fi/LTE)

① 원격 모니터링 기능 개요

- 기기의 현재 상태/경고/센서값을 실시간으로 외부 장치(스마트폰·PC·서버)에 전송
 - 운영자(매장 직원/수거기사)가 **근거리(BLE)** 또는 **사업장 내부(Wi-Fi)**, **광역(LTE)** 범위에서 장치를 확인·제어
 - 펌프 고장, 막힘, 누유, 오버플로 등의 위험을 현장에서 벗어나 있어도 즉시 알림
 - 데이터 로그 자동 업로드 → 수거량/운영시간 관리
-

② 통신 모듈 옵션 비교

1) BLE (Bluetooth Low Energy)

- 주로 스마트폰 근거리(3~10m) 모니터링
- 실시간 확인, 초기 설정, 펌웨어 업데이트 등에 사용
- 장점: 저전력, 앱 연동 용이
- 단점: 거리 짧음, 건물 내 장애물 영향 큼

2) Wi-Fi

- 매장 내부 공유기와 연결 → 내부망/클라우드 업로드
- 로컬 대시보드 운영 가능
- 장점: 속도 빠름, 데이터 용량 제한 적음
- 단점: 매장 Wi-Fi 세팅 필요

3) LTE (Cat-M1 / NB-IoT / 일반 4G)

- 전국 어디서나 상태 조회·통보 가능
- 수거 스케줄 관리 자동화
- 장점: 광역 통신, 관리 서버 연동 최적
- 단점: 모듈 가격 + 유심 비용 발생

③ 네트워크 아키텍처 구성

1) 내부 MCU → 통신 모듈 데이터 전달

- UART / SPI / I2C 중 UART 사용 권장 (가장 안정적)
- 데이터 프레임 예시:

```
1 <HEADER>
2 TS=1738292      // timestamp
3 FLOW=1.23        // L/min
4 LEVEL=78         // %
5 TEMP=46.2         // °C
6 PRESS=0.48        // bar
7 ERR=0             // fault code
8 </END>
```

2) 통신별 데이터 전달 구조

- **BLE:** GATT 서비스 구조
 - Service: 0x180A (Device Info) + Custom Service
 - Characteristic: 센서값/명령용 UUID
- **Wi-Fi:**
 - MQTT over TLS
 - HTTP/REST API (장비가 서버로 POST)
- **LTE:**
 - MQTT(S)
 - LwM2M
 - FTP 로그 업로드(선택)

④ 원격 모니터링 데이터 항목

1) 실시간 센서 데이터

- 탱크 레벨 (%)
- 유량(L/min), 유입량 누적(L)
- 펌프 압력(ΔP)

- 온도(탱크·히터·배관)
- 컨베이어 토크/전류
- 주행 배터리 잔량(%)
- 충전 상태(SOC/전류/전압)

2) 상태/이상 정보

- 막힘 감지
- 오버플로 감지
- 과압/과열
- 펌프 공회전(dry-run)
- E-Stop 활성화 여부
- 모터/드라이버 과전류

3) 동작 기록(Log)

- 하루 수거량(L)
- 컨베이어 가동 시간
- 펌프 동작 시간
- 주행 거리(옵션)
- 유지보수 타이머

⑤ 서버·클라우드 연동 기능

1) 클라우드 플랫폼 선택 옵션

- AWS IoT Core
- Azure IoT
- Firebase
- 자체 MQTT 브로커(모스키토 등)

2) 업로드 방식

- 간격 데이터(주기: 1~10 sec)
 - 이벤트 기반 데이터(E-Stop, 과압 등)
 - 배치 로그 업로드(1시간마다)
-

⑥ 보안(Security) 설계

1) BLE 보안

- BLE pairing + encryption
- 인증된 스마트폰만 접근 가능
- 관리용 PIN/토큰 적용

2) Wi-Fi 보안

- WPA2/WPA3
- HTTPS/TLS 암호화
- 인증 토큰(JSON Web Token) 사용

3) LTE 보안

- SIM 인증(기본)
- MQTT over TLS 적용
- 장비 고유 Device Key 저장(secure flash)

⑦ 원격 제어 기능(안전 제한 포함)

허용되는 원격 제어(안전 장치 통과 후만)

- 컨베이어 ON/OFF
- 펌프 ON/OFF
- 히터 설정 온도 변경
- 주행 모터 제한 속도 설정
- 로그 다운로드
- 펌웨어 업데이트(OTA)

금지되는 명령(안전 규정상)

- 원격 E-Stop 비활성화
- 원격 주행 완전 제어(충돌 위험)
- 오버라이드로 히터 강제 On

⑧ 펌웨어/앱 UI 기능 요소

1) BLE 스마트폰 앱

- 실시간 센서 모니터링
- 초기 세팅(Wi-Fi SSID/PW, LTE APN 설정 등)
- 펌웨어 업데이트(OTA)

- 진단 메시지 표시

2) 웹 대시보드(Wi-Fi/LTE 연동)

- 오늘/일간 수거량 그래프
- 기기 위치(GPS 탑재 시)
- 이벤트 로그
- 유지보수 알람
- 장비 리스트 관리 (다수 운영용)

⑨ 기계 외형·배치 고려

- BLE 안테나는 금속 하우징 내부 실드는 피함
- Wi-Fi/LTE는 상단부 플라스틱 영역에 내장 안테나 설치
- 진동 및 기름/수분 환경 대비 IP65 케이블 글랜드 사용
- EMI/ESD 필터 포함

⑩ 전원 관리

- 통신 모듈의 소비전력:
 - BLE: 20~40mA
 - Wi-Fi: 120~300mA
 - LTE: TX 시 1A~2A 순간 요구

→ 장비 내부 메인 배터리와 별도 **5V/3.3V DC-DC 안정화 회로** 필요

⑪ 원격 진단/유지보수

- 장비 스스로 헬스체크 결과를 서버로 전송
- “필터 교체 필요”
- “배관 막힘 임박(ΔP 증가)”
- “탱크 청소 필요”
- “히터 효율 저하”
- OTA 업데이트로 기능 추가/버그 패치

7.8 UI 표시(OLED/LCD/터치패널)

사용자 인터페이스(UI) 표시 장치는 유지보수 편의성, 현장 운용성, 방진·방수 환경 등을 고려해 선택해야 한다.
설비 상태, 경고 정보, 센서 값, 네트워크 상태, 모터 부하 등을 직관적으로 확인하는 것이 목적이다.

1) 디스플레이 종류별 특징 비교

① OLED (모노/컬러)

- 장점
 - 전력 소모 적음
 - 높은 명암비(야간·실내용으로 가독성 우수)
 - 회로 단순, I²C/SPI로 바로 연결
- 단점
 - 강한 햇빛 아래 가독성이 나쁨
 - 산업용 외부 환경(고온·자외선)에 오래 노출 시 번인(Burn-in) 위험
- 추천 적용
 - 실내용 시스템
 - 배터리 기반 장비
 - 간단한 텍스트·아이콘 표시

② LCD (문자 LCD, 그래픽 LCD, TFT-LCD)

- 장점
 - 햇빛 아래도 비교적 가독성 좋음
 - 산업용 장비에서 표준처럼 사용
 - 비용이 낮고 수명이 길다
- 단점
 - 시야각 좁은 모델도 존재
 - 백라이트 필요 → 전력소모 증가
- 추천 적용
 - 실외 장비
 - 센서 값·상태 표시 중심의 시스템
 - 유지보수용 패널

③ 터치패널(HMI 패널)

- 종류: Resistive(저항막), Capacitive(정전용량)
- 장점
 - UI 직관적
 - 메뉴/로그/그래프 표시 가능
 - PLC/STM32/ESP32와 RS-485(Modbus), UART, Ethernet 등으로 쉽게 연동
- 단점
 - 가격 높음
 - 방수·방진 설계 필요(IP65~67급 옵션 가능)
- 추천 적용

- 산업용 전면 패널
 - 관리자용 장비
 - 공장 자동화 및 데이터 로깅 목적
-

2) MCU 인터페이스 구성

① I²C (OLED/LCD 16x2/20x4 백팩커)

- 단순한 UI에 적합
- 2선(bus)으로 센서와 공유 가능
- 노이즈에 약해 30cm 이상은 권장 X → Shielded 케이블 필요

② SPI (고속 TFT-LCD / OLED)

- 빠른 화면 갱신 필요 시 사용
- 케이블 길이 짧아야 안정적

③ UART/RS-485 (HMI 패널)

- 산업용에서 가장 안정적
- Modbus RTU 프로토콜 사용 가능
- 10m~100m 이상 거리도 문제 없음
- PLC 또는 별도 MCU 없이 바로 통신 가능

④ USB/HDMI (고급 UI)

- Raspberry Pi + 7" 터치 같은 고급 UI 구성 시 사용
 - 유지보수 난이도 및 비용 증가
-

3) 표시해야 하는 정보 항목

상태 정보

- 모터 ON/OFF 상태
- 컨베이어 속도
- 배터리 또는 전원 상태

센서 값

- 레벨 센서 수위
- 압력 센서 값
- 온도
- 유량·부하량

경고/에러 알림

- 과압/저압
- 과부하
- 누유 감지
- 긴급 정지 활성화 여부

통신 상태

- Wi-Fi 연결 여부
- BLE 신호 세기
- LTE 모듈 연결 상태

로그 / 유지보수 메뉴

- 최근 에러 기록
- 펌웨어 버전
- 수동 제어 메뉴(모터 테스트 등)

4) UI 사용성(UX) 설계 포인트

① 현장에서 “한눈에” 보이도록

- 숫자 표시 크게(16~32pt)
- 중요한 정보는 항상 상단 고정
- 경고 메시지는 반전·점멸 사용

② 고장 시 접근 편리성

- 정비 모드 별도
- 센서 값 RAW 데이터 확인 가능하게
- 버튼은 장갑 착용 환경 고려

③ 환경적인 요소 고려

- 실외 설치 시 → LCD 권장
- 높은 진동 환경 → 커넥터 고정용 브라켓 필요
- 고온 환경 → OLED 수명 짧아짐

5) 구성 예시(실제 설비 기준)

예시 A — ESP32 기반 소형 장비

- 1.3" OLED (I²C)
- 표시: 속도, 수위, 배터리, Wi-Fi 상태
- 장점: 저전력, 회로 간단
- 단점: 햇빛 아래 가독성 낮음

예시 B — STM32F4 + 3.5" TFT LCD

- SPI 4-wire
- 표시: 센서 그래프, 장비 상태
- 장점: UI 커스터마이즈 용이
- 단점: 케이블 길이 제한

예시 C — 산업용 HMI 터치패널

- 통신: RS-485(Modbus RTU)
- 표시: 모터 제어 메뉴, 에러 로그
- 장점: 산업 현장에 최적화
- 단점: 비용 증가

7.9 배터리 BMS

BMS는 배터리 셀의 안전, 수명, 성능을 관리하기 위한 핵심 회로로서,

산업용 장비·이동 플랫폼에서는 필수 안전 요소에 해당한다.

특히 압력·유량·모터 부하가 존재하는 시스템에서는 전원 안정성이 장비 전반의 신뢰성과 직결된다.

1) BMS의 핵심 역할

① 충·방전 보호 (Protection)

- 과전압(OVP): 셀 전압 허용치 이상 상승 시 충전 차단
- 저전압(UVP): 과방전 방지 위해 부하 차단
- 과전류(OCP): 모터·펌프 부하 급증 시 보호
- 단락 보호(SCP): 외부 단락·배선 문제 대응
- 온도 보호(OTP/UTP): 셀 과열 또는 극저온 충전 방지

② 셀 밸런싱(Cell Balancing)

• 수동 밸런싱(Passive)

- 저항으로 잉여 셀 전류를 열로 소모
- 구조 단순, 저렴, 소형 장비 대부분 여기에 해당

• 능동 밸런싱(Active)

- 에너지 재배분 방식
- 대용량 배터리/고가 장비/AGV/전기차 수준에서 사용

③ SoC / SoH 계산

- SoC(State of Charge): 남은 배터리 용량
- SoH(State of Health): 배터리 노화 상태
- MCU에 전달해 UI에 표시하거나 주행 성능 조절에 활용

④ 배터리 데이터 로깅

- 충전 횟수
- 최대/최저 셀전압
- 과전류 발생 이력
- 온도 상승 패턴
- 진단용 데이터 확보

2) 배터리 팩 구성 방식

① 1S (3.7V)

- 소형 장비, 센서 모듈
- 보호회로만 쓰는 간단한 경우 많음

② 다셀 직렬팩(2S~6S 등)

- 7.4V / 11.1V / 14.8V / 22.2V 등
- 모터 구동 장비(컨베이어, 주행 모터 등)에 주로 사용
- 셀 밸런싱 필수

③ 대용량(예: E-bike, AGV 등)

- 10S~15S 이상
- RS-485/CAN 통신형 BMS + 히트싱크 + 정밀 온도센서 필요

3) BMS 하드웨어 구성

① 보호 IC(PMU)

- TI: BQ29700 (1S), BQ76920/30/40(3S~15S)
- 중국계: DW01 + 8205A (1S), CF/JK 시리즈(5S~20S)

② 전류 측정 샌스저항 (Shunt)

- $\pm 50A/100A$ 등급
- 저항값: $0.5m\Omega \sim 5m\Omega$
- 모터 부하 변동 감지 가능

③ 온도센서(NTC/PTC)

- 1~3개 배치
- 셀 간 온도 편차 감지

④ 밸런싱 회로

- 수동: 저항 + MOSFET
- 능동: 인덕터/커패시터 기반

⑤ 커넥터

- 셀 밸런스 잭(예: JST-XH)
- CT/DT(CT: charge, DT: discharge) 구분 가능한 출력 구조

4) BMS와 메인 MCU의 인터페이스

① 단순 보호형 BMS

- MCU와 독립적으로 동작
- 보호 기능이 발동되면 출력 전압이 급격히 떨어짐
- MCU는 “전원 끊김” 상태로 인식
- 장점: 단가 낮음
- 단점: 상태 모니터링 불가

② 통신형 BMS

- UART, I²C, CAN, RS-485
- 제공 정보
 - 각 셀 전압
 - 팩 전압
 - 충전/방전 전류
 - 온도
 - SoC/SoH
 - 알람 상태(OVP/UVP/OC, OTP 등)
- 장점: 산업용 장비에 필수
- 단점: 복잡도/단가 증가

→ 공장 자동화, 주행형 장비는 “통신형 BMS”를 강력 추천.

5) 관리 소프트웨어 구조

① 데이터 수집 Task (주기: 100~500ms)

- 셀 전압 배열 읽기
- 팩 전압
- 전류값
- 온도
- SoC 계산

② 이상 판단 로직

- UVP/OVP/HV/OT 과도 상태 감지
- 경고 vs 차단 분리
 - Warning: UI 표시
 - Fault: 모터 드라이버 강제 OFF

③ 로그 기록

- EEPROM / FRAM / SD카드
- 전압·전류 히스토리
- 고장 발생 시점 저장

④ UI 연계

- 배터리 아이콘
- 남은 시간 추정(SoC 기반)
- 충전 중 애니메이션
- Fault 발생 시 팝업

6) 배터리 팩 안전 설계 요소

① 방열 설계

- 셀 사이 열 전달 패드
- 하우징 내부 알루미늄 열판
- 온도 급상승 시 팬 구동 or 출력 제한

② 배선 설계

- 22~18 AWG 실리콘 와이어
- 셀 간 밸런스 리드선을 PCB에 확실히 고정
- 모터 구동선은 반드시 배터리와 분리 배치

③ 퓨즈(Fuse) 또는 PTC

- 단락/과전류 사고 대응
- 용량 2~10A 권장(장비 스펙에 따라 상이)

④ 하우징

- 난연재(ABS V0 등급) 권장
- IP54 이상 방진·방수
- 충격 완화 스펀지 추가

7) 시스템 구성 예시

예시 A — 소형 장비(2S 또는 3S)

- 3S BMS(수동 밸런싱)
- STM32/ESP32와 독립 운용
- UI에서 팩 전압만 표시
- 목적: 단순 전원 공급

예시 B — 주행형 장비(4S~6S)

- 4~6S 통신형 BMS(UART 또는 CAN)
- 모터 드라이버와 연동
- SoC 기반 “잔여 주행 가능 시간” 표시
- 과부하 보호 적극 활용

예시 C — 산업용 PLC 기반

- BMS ↔ PLC(Modbus RTU/485)
- 팩 상태 SCADA에 연동
- Fault 발생 시 자동 정지 + 알람 출력

8) BMS 모델 추천(실제 산업에서 자주 사용)

국내·중국 상용 BMS

- JBD / Daly / ANT BMS (4S~20S)
- 장점: 통신형, 설정 SW 제공, 가격 저렴
- 인터페이스: UART / RS-485 / CAN

TI 기반 고성능 BMS

- BQ769x 시리즈(3S~15S)
- C2000/STM32 연동 필수
- AGV/로봇 수준 고정밀 설비에 사용

단일 셀 보호

- DW01 + 8205A(보호회로)
- 1S 보조 전원에 적합