

## 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, I<sup>2</sup>C, 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 신뢰성**이 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. 스테퍼 모터(고정밀 속도 제어 가능)

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

→ 이 장비에는 스테퍼는 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<sub>limit</sub>) 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 푸셔추가 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, 스틸그레이트 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
  - 휠 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 강하며 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 휠 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 채시 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-amp로 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 UART	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

- ① 흡입 라인에 유체가 실제로 들어오는지,
- ② 필터 막힘/펌프 부하 증가 여부,
- ③ 탱크 유입량 실량 계산,
- ④ 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( $\Delta P$ ) → 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 알람”
- 

## 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 알고리즘**으로 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 홀 센서 클램프
- 노이즈 방지를 위해 전원부와 떨어진 장소에 배치

## 3) 압력 센서

- 펌프 토출부
- 필터 앞/뒤  $\Delta P$  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 ×  $\Delta t$ 
```

- 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  $\Delta P > 0.5 \text{ bar}$
- 유량 감소 < 정상치의 60%
- 일정 시간  $T > 0.5 \text{ sec}$  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 토출압 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/센서값**을 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( $\Delta P$ )

- 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( $\Delta P$  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, I<sup>2</sup>C/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 I<sup>2</sup>C (OLED/LCD 16x2/20x4 백패커)

- 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 크기(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 (I<sup>2</sup>C)
- 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 커스터마이징 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 안정성**이 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(OC): 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 센서저항 (Shunt)

- $\pm 50\text{A}/100\text{A}$  등급
- 저항값:  $0.5\text{m}\Omega \sim 5\text{m}\Omega$
- 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, I<sup>2</sup>C, CAN, RS-485
- 제공 정보
  - 각 셀 전압
  - 팩 전압
  - 충전/방전 전류
  - 온도
  - SoC/SoH
  - 알람 상태(OVP/UVLP/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