

10. 배터리 및 전력 관리 시스템

10.1 장비 전체 전력 요구 분석

1) 구성 장치별 전력 소모 요소

장비 전체 전력 요구량을 산정하려면 각 부하의 소비전력($P = V \times I$)을 모두 더하고, 동시에 피크 부하(최대 동시 구동 상황)를 고려해야 한다. 주요 부하는 다음과 같다.

- 컨베이어 구동 모터
 - DC 기어드 모터 또는 BLDC
 - 정격 소비전력 30~150 W
 - 기동 시 순간 피크 전류 2~3배
 - 폐유 펌프(기어/로터리/다이어프램)
 - 점도에 따라 40~200 W
 - 배관 압력 상승 시 피크 전류 증가
 - 주행 모터(좌/우 또는 4WD)
 - $2 \times (80 \sim 200 \text{ W})$
 - 경사나 과부하에서 2배까지 증가 가능
 - 센서류(레벨, 압력, 온도, 초음파 등)
 - 센서 개수에 따라 2~10 W 수준
 - 무시할 수 있는 수준이지만 항상 포함
 - MCU/제어기/통신 모듈(Wi-Fi/LTE/BLE)
 - MCU: 0.5~3 W
 - 통신: LTE 모듈은 송신 시 최대 3~7 W까지 상승
 - 지속 전력 + 순간 전력 모두 고려
 - UI(OLED/LCD/터치)
 - OLED: 0.5~2 W
 - LCD: 3~10 W
 - 백라이트 구동이 있으면 더 증가
 - 히터/온도 유지 장치(점도 유지용)
 - 탱크 내부 히터는 가장 큰 부하
 - 80~300 W(점도에 따라 60~120°C 유지 시)
-

2) 정상 운전 시 평균 전력 추산

예시 산정(중형 이동형 폐유 수거 장비 기준):

장치	소비전력(W)
컨베이어 모터	~80
폐유 펌프	~120
주행 모터 ×2	~300
센서 전체	~5
MCU + 통신	~5
UI	~5
히터	~150
총합 평균	665 W

→ 일반적인 작업 상황이면 **600~700W**급 전력 요구량으로 계산됨.

3) 피크 부하 계산(최대 동시 부하)

아래 조건을 가정:

- 주행 + 펌핑 + 컨베이어 + 히터가 동시에 동작
- 각 모터는 기동 시 2~3배 피크
- 히터는 순간적으로 최대치 동작

따라서,

- 컨베이어(80W → 160W)
- 펌프(120W → 240W)
- 주행 모터 ×2(300W → 600W)
- 히터(150W → 150W 그대로)

총 피크 약 **1,150W**

4) 배터리 용량 산정(예: 48V 시스템 기준)

전압이 높을수록 전류가 낮아져 효율적이므로 **48V 배터리**를 추천.

예) 48V에서 평균 부하 650W → 필요 전류

1 | $I = P / V = 650\text{W} / 48\text{V} \approx 13.5\text{A}$

작업 시간 목표를 2시간으로 한다면:

- 1 필요 용량 = $13.5A \times 2h = 27Ah$
- 2 안전계수 1.5 적용 → 약 40Ah 필요

즉,

48V 40Ah (약 2kWh)

정도면 안정적인 작동 가능.

5) 배터리 보호 및 전력 관리 고려사항

- BMS
 - 60~80A 방전 가능 모델
 - 온도센서·셀 밸런싱 필수
- 피크 전류 버퍼용 슈퍼커패시터 고려
 - 모터 기동 시 전압 강하 방지
- 전력 분배 모듈(PDU)
 - 주행/펌프/컨베이어 독립 라인
- 히터는 릴레이 또는 SSR로 독립 제어
- 비상정지 시 전체 전력 차단 회로 포함

10.2 배터리 종류(LiFePO4 등) 선택 기준

폐식용유 수거·운반 장비는 높은 안정성, 반복 충/방전 내구성, 온도 변화 대응력, 순간 피크 전류 대응이 매우 중요하다. 아래는 주요 배터리 종류별 특성 비교와 실제 선택 기준이다.

1) 후보가 되는 배터리 종류

- LiFePO4 (리튬인산철)
 - 장점
 - 매우 높은 안전성(열폭주 거의 없음)
 - 수명 2,000~5,000 사이클(업계 최장)
 - 고방전 성능 양호(30~100A BMS와 쉽게 조합)
 - 온도 변동에 강함 (실외 장비 적합)
 - 전압 안정적(48V 구성 시 51.2V 명목)
 - 단점
 - 동일 Wh 기준 무게가 약간 무거움
 - 저온 충전 성능이 떨어짐(0°C 이하 충전 제한)

→ 현장 이동형 장비에는 가장 적합(사실상 1순위)

● NMC (리튬 니켈망간코발트)

● 장점

- 에너지 밀도 가장 높음(가벼운 배터리 설계 가능)
- EV에서 광범위하게 사용

● 단점

- 열폭주 위험 존재
- 셀 가격 불안정
- 충/방전 횟수는 LiFePO_4 보다 짧음(800~1500 사이클)

→ **경량화가 최우선일 때 선택**, 하지만 실외 산업 장비에는 위험도가 커서 비추천.

● LTO (리튬티타네이트)

● 장점

- 가장 긴 수명(7,000~20,000 사이클)
- 초저온·초고전류 환경에 최강
- 충전 속도 매우 빠름

● 단점

- 에너지 밀도 매우 낮아서 부피 크게 커짐
- 가격이 매우 비쌈

→ **군용·혹한 환경·초고속 충전 요구 장비에서만 선택**

● SLA(납축/젤/AGM)

● 장점

- 가격 저렴
- 충전 회로 단순

● 단점

- 무거움(같은 용량 대비 3~4배)
- 유지보수 필요
- 깊은 방전 시 수명 급감

→ **산업용 이동장비에는 무게 때문에 사실상 배제**

2) 배터리 선택 시 고려해야 할 기준

(1) 안전성 (가장 중요한 요소)

폐유는 기름이므로 화재 위험성이 존재한다.

→ **LiFePO₄**가 가장 우수

- 폭발·열폭주 가능성 거의 없음
- BMS 결합 시 화재 리스크 최소화

(2) 최대 방전 전류(펌프+주행+컨베이어 피크 대응)

장비는 모터 3종 + 히터 + 펌프가 동시에 켜질 수 있음.

- 예상 피크: **50~80A(48V 기준)**
- 배터리+BMS 사양: **≥100A 지속 방전 가능** 모델 필요

LiFePO₄ 팩은 100A BMS 장착 모델 구하기 용이.

(3) 방전 깊이(DoD)와 실제 사용 사이클

- LiFePO₄: 80~90% 깊은 방전 가능
- NMC: 70% 내외
- 납축: 50% 이상 방전하면 수명 급격히 감소

작업 시간 확보 관점에서도 LiFePO₄가 가장 유리.

(4) 온도 환경(-10 ~ 45°C 실외 운영 고려)

- LiFePO₄ → 0°C 충전 제한
 - 해결: **히터 내장형 BMS 또는 배터리 하우징 히터 사용**
- NMC → 영하에서도 충전 가능하지만 발열 위험 증가
- LTO → 최강이나 크기/무게/가격이 너무 큼

(5) 무게와 공간 배치 구조

- LiFePO₄: 적당한 무게
- NMC: 가장 가벼움(장점)
- LTO/SLA: 너무 무거움

장비 내부에 공간이 충분하다면 LiFePO₄의 무게는 문제 없음.

3) 실제 설계 시 추천 조합

✓ **1순위: LiFePO₄ 48V 40~60Ah + 100A BMS 탑재팩**

이유:

- 높은 안정성
- 긴 수명

- 높은 방전 전류
- 모터 장비·펌프 장비와 궁합 좋음
- 실외 충격·진동에도 강함
- 가격과 성능 밸런스 최적

✓ 저온 환경 시

LiFePO₄ + 배터리 히터 패드(5~10W)

- 겨울철 장비 운용 시 필수

✓ 경량화 최우선 시

NMC 48V 사용, 하지만:

- 반드시 고급 BMS + 하우징 방염 설계 필요
- 실외 장비에서는 권장 X

4) 용량 선택 기준(요약)

- 평균 소비전력: 600~700W
- 48V 기준 평균 전류: 13~15A
- 2시간 운용 목표
 - 최소 30Ah
 - 안전 계수 1.5~1.8 적용 → 45~55Ah 권장

따라서

"48V 50Ah LiFePO₄"

이 장비 범주에서 가장 표준적인 선택이다.

10.3 충전 방식(AC/DC, 태양광 보조 가능성)

기본 충전 구조 개요

냉장고 크기급 이동식 폐식용유 수거 장비는

실내·매장·주방 뒷편 환경에서 충전하는 경우가 대부분이므로,

기본 충전 방식은 다음 두 가지 형태로 구성된다.

- AC 기반 외부 충전기(정류형 충전기)
- 장비 내장형 DC/DC 관리 회로(BMS 연동)

정격 배터리: 48V LiFePO₄ 40~60Ah 기준으로 설계.

1) AC 충전(기본 방식)

● AC 220V 단상 입력 → 54.6V 리튬 충전기

- 가장 현실적이고 안정적
- 장비 내부 배터리팩과 BMS에 최적화
- 매장/창고/주방 뒷편 어디서든 사용 가능

● 권장 충전기 스펙

- 출력전압: 54.6V (LiFePO₄ 전용 커브)
- 출력전류: 8A~15A
 - 50Ah 팩 기준 충전 시간:
 - 8A → 약 6~7시간
 - 10A → 약 5시간
 - 15A → 약 3~4시간

● 장비 외부 커넥터

- 산업용 GX16-3 or GX20-3
- 방수형 IP67 커넥터 적용 가능

● 보호 기능

- 셀 밸런싱
- 온도 기반 충전 중단(Thermal Cutoff)
- 역전압 보호
- 연결 오류 방지(Polarized Connector)

→ AC 충전은 이 장비의 기본 충전 방식으로 필수.

2) DC 충전(차량, 이동식 전원, 산업 전원 기반)

장비가 실내 이동형이며 도로주행 없음 → 필수는 아님.

하지만 이동 전원차량이나 발전기 환경에서 충전 가능하도록 옵션 제공.

● DC 입력 예

- 12V 또는 24V 차량배터리 → 48V 승압(Boost) 충전
- 60V~120V 산업 DC 라인 → DC/DC 스텝다운

● 장점

- 외부 AC 없어도 충전 가능
- 작업 현장에서 신속한 비상 충전 가능

● 단점

- 변환 효율 저하
- 열 발생↑
- 충전 속도 느릴 수 있음(대개 5~8A)

→ 선택 옵션으로만 탑재 권장.

3) 태양광 보조 충전(현실성 평가)

장비 크기: 냉장고 정도(폭 60~70cm, 높이 100~140cm 상정)

설치 가능한 태양광 패널 면적은 매우 제한됨.

● 태양광 적용 가능 여부

- 150~300W급 패널 1장 설치 가능(상판 기준)
- 실제 발전량(실사용): **70~150W 정도**

● 현실적 충전량

- 48V 계통에서 100W 발전 시
→ 약 1.8A 충전
- 하루 4시간 유효 발전 가정
→ **7~8Ah/day 충전량**

→ 하루 7Ah 보조는 의미는 있지만 '주 충전 방식'이 될 수는 없음.

● 태양광의 장점

- 배터리 장기 보관 시 트릭클 충전
- 기본 소비(대기전력) 보조
- 매장 외부에서 전기 없는 환경에서 서서히 보충

● 태양광의 단점

- 충전 속도가 매우 느림
- 패널이 오염(기름, 먼지, 비산물)되면 출력 급감
- 패널 보호 구조 필요(스틸 프레임+투명 보호커버)

● 현실적 결론

→ 태양광: "보조 충전 또는 비상 충전"으로만 의미 있음.

→ 메인 충전: 반드시 AC 220V 기반.

4) 추천 충전 구조 패키지(최종)

✓ 필수

- AC 220V 외부 충전기 54.6V 10A
- 장비 외벽에 방수 충전 포트(GX16-3)

✓ 옵션 1

- 12V/24V → 48V Boost DC 충전 모듈 (5A급)
 - 차량/이동식 전원 대응

✓ 옵션 2

- 150~200W 태양광 패널 + MPPT + 48V Boost 충전기
 - 하루 5~7Ah 충전되는 보조 전원

10.4 모터 구동 시 전류 피크 관리

이동식 폐식용유 수거 장비는 컨베이어, 펌프, 주행 모터 등 다수 모터가 동시에 작동할 수 있으며, 특히 **기동 순간**에는 전류가 급격히 증가한다.

전류 피크 관리를 제대로 하지 않으면 **배터리 과부하**, **BMS 경고**, **전원 차단**, **장비 손상**이 발생할 수 있으므로 설계 단계에서 다음과 같이 관리한다.

1) 전류 피크 발생 원인

구간	원인
모터 기동	정지 상태에서 부하 → 순간 기동 전류 2~3배
컨베이어 + 펌프 동시 구동	병렬 부하로 합산 전류 상승
점도 높은 폐유 이송	펌프 부하 증가 → 전류 증가
경사 주행	주행 모터 부하 증가 → 피크 전류 발생
히터 구동	순간 전류 변화는 크지 않지만 전력 총합에 포함

→ 설계 시 평균 소비전력뿐 아니라 최대 피크전류까지 반드시 고려.

2) 피크 전류 관리 방법

2.1 소프트 스타트(Soft Start)

- DC 모터, BLDC 모터 모두 적용 가능
- PWM duty를 0% → 100%로 서서히 증가
- 장점
 - 기동 전류 급증 방지

- 기계적 충격 감소
- 구현 방법
 - MCU 기반 PWM 제어
 - 모터 드라이버에서 전류 제한 설정

1 | 예: 컨베이어 모터 0~100% PWM, ramp-up 시간 0.5~1초

2.2 전류 제한 회로(Current Limiting)

- 드라이버 또는 BMS 연동
- 설정: 모터별 정격 전류 + 안전 계수 20~30%
- 초과 시
 - PWM duty 자동 감소
 - 부하 완화 후 재증가
- 효과
 - 배터리 보호
 - 전원 차단 방지

2.3 부하 분산 전략(Sequential Start)

- 모든 모터를 동시에 켜지 않고, 순차적으로 구동
 1. 주행 모터 기동
 2. 컨베이어 모터 가동
 3. 펌프 가동
- MCU 스케줄링으로 0.5~1초 간격 적용
- 결과
 - 피크 전류 합산 최소화
 - 배터리 부하 분산

2.4 전압 강하 및 BMS 연동 감지

- 배터리 전압이 순간적으로 급락하면 BMS가 차단할 수 있음
- 설계 대응
 - 슈퍼커패시터 또는 배터리 버퍼를 모터 기동 시 병렬 연결
 - 50~100F 커패시터로 1~2초 피크 전류 공급
- 효과
 - BMS 과전류 차단 방지
 - 안정적인 모터 기동

2.5 모터 및 드라이버 선택 기준

- 기동 전류 < 배터리 최대 연속 방전 가능 전류
- 드라이버에서 피크 전류 제한 기능 지원
- BLDC 모터는 Hall 센서 기반 closed-loop 제어 → 피크 억제 용이
- DC 기어드 모터: PWM ramp-up으로 소프트 스타트 구현

3) 설계 예시(냉장고 크기 장비 기준)

모터	정격 전류(A)	기동 피크(A)	피크 관리 방법
컨베이어	2.0	4.5	소프트 스타트 0.5s, PWM
펌프	2.5	5.5	소프트 스타트 1s, 전류 제한
주행 모터 ×2	6.0	12	순차 기동 + 커패시터 버퍼
합산 평균	10.5	22	BMS 연동 전류 제한, 배터리 안전계수 적용

- 배터리 48V 50Ah + BMS 100A 기준 → 충분히 대응 가능
- 필요 시 모터 driver에서 current sensing 회로 내장

4) 총괄 요약

- 기동 시 피크 전류는 배터리 과부하, BMS 차단, 장비 손상의 주요 원인
- 대응 전략
 - PWM 기반 소프트 스타트
 - 전류 제한 기능 드라이버 선택
 - 순차 기동 전략
 - 커패시터/배터리 버퍼 적용
- 장비 설계 단계에서 피크 전류 합산과 배터리 최대 방전 전류를 반드시 검증

→ 안전하고 안정적인 연속 운전과 배터리 수명 확보를 동시에 달성 가능

10.5 절전 모드 및 자동 Sleep

냉장고 크기 이동식 폐식용유 수거 장비는 연속 운전뿐만 아니라 대기 상태에서도 전력 관리가 매우 중요하다. 배터리 용량이 제한적이고, 장비가 장시간 사용되지 않을 경우 자동 절전 모드를 구현하면 효율적이다.

1) 절전 모드 필요성

- 배터리 수명 연장
 - LiFePO4 배터리는 깊은 방전과 잦은 충/방전이 수명에 영향
 - 장시간 대기 시 소비 전류를 줄이면 수명 향상

2. 대기 전력 최소화

- MCU, 센서, 통신 모듈, UI 등 모두 대기 전류 존재
- 절전 모드 미적용 시 하루 1~2Ah 소비 가능

3. 운영 효율 개선

- 장비 미사용 시 전력 손실 최소화
- 안전하게 장기 방치 가능

2) 절전 모드 설계 전략

2.1 모터 및 펌프 완전 차단

- 주행 모터, 컨베이어, 펌프 구동 회로 전력 차단
- 릴레이 또는 MOSFET 스위치로 MCU에서 완전히 분리

2.2 MCU 저전력 모드 진입

- ESP32 예시:
 - **Deep Sleep**: 약 10~150 μ A
 - RTC Timer 또는 GPIO 인터럽트로 깨움 가능
- STM32 예시:
 - **STOP/Standby 모드**
 - 센서 인터럽트 또는 RTC 타이머로 재가동

2.3 UI 및 디스플레이 전원 차단

- OLED/LCD 백라이트 OFF
- 전원 공급 차단 또는 PWM 0% 제어

2.4 센서 및 통신 모듈 관리

- 배터리 모니터링, 레벨 센서, 압력 센서: 간헐적 샘플링
- BLE/Wi-Fi/LTE 모듈:
 - Sleep 모드 또는 간헐적 Beacon 모드
 - 필요 시 Wake-up 후 데이터 전송

3) 자동 Sleep 조건 예시

조건	설명	동작
모터/펌프 미사용	연속 2분 이상 구동 없음	모터/펌프 전원 OFF
센서 변화 없음	레벨·온도 변화 < 설정치	MCU Deep Sleep 진입
UI 미사용	터치 입력 없음, 디스플레이 꺼짐	UI 전원 차단

조건	설명	동작
배터리 저전압	SOC < 10%	자동 Sleep, 알람 송출

- Wake-up 조건:
 - 컨트롤러 터치 입력
 - 센서 변화 감지
 - 원격 명령(BLE/Wi-Fi/LTE)

4) 절전 모드 설계 시 고려 사항

1. Wake-up latency 최소화
 - 절전 모드에서 깨어날 때 모터/펌프가 지연 없이 구동 가능해야 함
 - 예: 0.5~1초 내 모터 소프트 스타트
2. 데이터 유실 방지
 - 전력 차단 전 센서 데이터 및 상태 저장
 - RTC 또는 비휘발 메모리에 마지막 상태 기록
3. BMS 연동
 - Deep Sleep 상태에서도 배터리 과방전 방지
 - 저전압 감지 시 자동 절전 모드 진입
4. 통신 유지 여부
 - 원격 모니터링 필요 시 BLE/Wi-Fi 모듈을 간헐적 Beacon 모드로 유지
 - 모든 모듈 완전 차단 시 데이터 송신 불가

5) 설계 구현 요약

- 자동 Sleep 로직: MCU → 모터/펌프/UI → 센서/통신 → Wake-up 조건 설정
- 목표: 대기 시 평균 전류 0.1~0.5A 수준 유지
- 효과:
 - 하루 1~2Ah 소비 절감
 - 배터리 수명 연장
 - 안전한 장기 방치 가능

10.6 배터리 안전성 테스트(발열/단락/과충전)

냉장고 크기 이동식 폐식용유 수거 장비에서 사용하는 **LiFePO₄ 48V 배터리**는 안전성을 최우선으로 고려해야 한다. 배터리 안전성 테스트는 **발열, 단락, 과충전/과방전** 등 다양한 위험 시나리오를 검증하여 장비 운용 중 사고를 예방하는 목적이 있다.

1) 발열 테스트 (Thermal Test)

목적

- 배터리팩 및 배터리 하우징의 온도 상승 한계 확인
- 모터 구동, 펌프, 컨베이어 등 동시 최대 부하 상황 시 안전 확인

방법

- 배터리 팩을 장착한 상태에서 최대 피크 부하 시뮬레이션
 - 컨베이어 + 펌프 + 주행 모터 동시 가동
 - 히터 포함
- 배터리 셀 온도 모니터링
 - BMS 온도 센서 또는 열화상 카메라 사용
- 기준
 - LiFePO₄ 셀 안전 최고 온도: 60~70°C
 - 팩 내부 온도 상승: 50°C 이하 유지 필요

결과 분석

- 온도 상승률이 허용 범위 초과 시
 - 방열 구조 개선
 - 공기 흐름 개선(팬, 통풍구)
 - 배터리 하우징 소재 변경

2) 단락 테스트 (Short Circuit Test)

목적

- 장비 사고 시 배터리 단락 가능성 대비
- 과전류로 인한 화재, BMS 차단 기능 확인

방법

- 배터리 팩 단자를 의도적으로 단락 (저항값 0.01Ω 이하)
- BMS 보호 회로가 즉시 작동하는지 확인
- 측정 사항
 - 배터리 단자 온도 상승
 - BMS 차단 반응 속도
 - 외부 케이블, 커넥터 과열 여부

안전 기준

- BMS 차단 시간 < 100ms
 - 외부 케이블 발열 $\leq 60^{\circ}\text{C}$
 - 화재 또는 폭발 없음
-

3) 과충전/과방전 테스트

목적

- BMS 및 보호회로 정상 작동 확인
- 배터리 수명 저하 예방

3.1 과충전 테스트

- 배터리 팩 48V 기준 **54~55V 이상**에서 충전 시뮬레이션
- 기대 동작
 - BMS가 충전 차단
 - 셀 밸런싱 수행
 - LED/경보 표시

3.2 과방전 테스트

- 배터리 팩 SOC 0~5%까지 방전
 - 기대 동작
 - BMS가 모터/컨베이어 펌프 전력 차단
 - 경보 전송 (OLED, BLE/LTE)
-

4) 충격 및 진동 테스트 (배터리 하우징 안전)

- 이동식 장비 특성상 **냉장고 크기**라도 운반 중 충격 가능
 - 테스트
 - 낙하, 충격, 진동 반복
 - 배터리 연결 단자 안정성 확인
 - 배터리 팩 내부 접속 불량, 단락, 누액 여부 확인
-

5) 절연 및 안전회로 검증

- 배터리 팩과 장비 차체 사이 **절연 저항 측정**
 - 500V 절연 테스트기 기준, 최소 10M Ω 이상
- 배터리 보호 회로
 - 과전류, 단락, 과충전/과방전, 온도 이상 시 전력 차단

6) 테스트 요약

항목	목표	기준
발열	피크부하 시 셀 안전 온도	$\leq 60\sim70^{\circ}\text{C}$
단락	BMS 차단 기능 확인	$< 100\text{ms}$, 화재 없음
과충전	BMS 충전 차단	54.6V 이상 시 차단
과방전	BMS 방전 차단	SOC 5% 이하 차단
진동/충격	접속 안정성 확인	단락, 누액 없음
절연	안전 절연 확보	$\geq 10\text{M}\Omega$

7) 결론

- LiFePO₄ 배터리는 **BMS 연동, 발열 모니터링, 과전류 차단**과 함께 사용할 경우 안전성을 확보할 수 있음
- 이동식 폐식용유 수거 장비의 배터리는 **동시 피크 부하 + 대기 전력 + 안전 보호회로**를 모두 고려한 설계 필수
- 정기적인 테스트 및 로그 확인으로 장비 신뢰성 유지 가능