

6. 유체 시스템(펌프/배관) 설계

6.1 펌프 종류 선정(기어 펌프, 로터리, 다이어프램 등)

폐식용유 특성에 맞는 펌프 선정 기준

- 점도 범위(실온~60°C 가열 조건)
- 고형물(튀김찌꺼기) 혼입 가능성
- 부식성·산패 반응 고려 여부
- 연속 운전 시간, 소음 허용치, 유지보수 주기

기어 펌프 적용 가능성 분석

- 장점: 구조 단순, 안정된 유량, 폐유처럼 점도가 높은 액체에 적합
- 단점: 고형물이 섞이면 내부 마모 → 전처리 필터 필수
- 적용 조건: 1차 필터 + 60°C 전처리 가열 시 효율 좋음

로터리 베인 펌프(회전베인)의 적합성

- 장점: 점도 높아도 스무스한 유입, 토출脈動 거의 없음
- 단점: 고체 이물질 유입 시 베인 손상 위험
- 적용 조건: 중·고점도 폐유 수송에 매우 유리, 소형 장비에 적합

다이어프램 펌프(에어/전동) 적용성

- 장점: 이물질·찌꺼기 내성이 가장 높음, 건식 작동도 일부 허용
- 단점: 유량이 낮고 소음·진동이 큼
- 적용 조건: 필터 전단의 예비 단계로 적합
 - 컨베이어가 퍼올린 유닛에서 “슬러지+폐유”를 1차로 빨아낼 때 유용

기어 vs 로터리 vs 다이어프램 선택 가이드

- 필터 전단 → 다이어프램 펌프
- 필터 후단 → 기어 펌프 또는 로터리 베인 펌프
- 냉장고 크기 장비 기준(소형)
 - 50~200 L/h급 요구 시 기어 펌프 권장
 - 이물질 위험이 높을 경우 로터리 베인이 더 안정적

펌프 위치 배치 고려

- 폐유 저장 탱크 아래쪽(자흡 지원)
- 펌프 열 발생 → 저장탱크 점도 안정과 상호 영향 고려
- 유지보수 교체 접근성 확보(전면 패널 or 후면 점검구)

펌프 재질(내열·내식성) 요구

- Housing: SUS304/316
- Seal: Viton 또는 EPDM
- Shaft: Hardened steel 또는 SUS

펌프 연속듀티 및 모터 사양

- 24V 또는 48V BLDC 구동
- 연속듀티(Continuous duty) 등급
- 유량/압력 제어 위한 PWM/FOC 기반 제어기 필요

6.2 폐식용유 점도에 맞는 펌핑 압력

폐식용유 점도 특성 범위 정의

- 실온(20~25°C)에서 점도: **50~200 cP**
- 튀김 후 방치된 폐식용유: **200~500 cP**
- 온도 상승(50~60°C 가열) 시: **20~60 cP**로 급감
→ 점도에 따라 요구 펌핑 압력 변화가 매우 큼

점도에 따른 요구 압력 계통 설계 기준

- 점도(μ) 증가 시 펌프 내부 마찰·토출 저항 증가
- 일반적으로 폐유 이송 펌프는 **0.3~1.5 bar** 범위에서 운전
- 60°C로 예열했을 경우 **0.2~0.6 bar**면 충분히 안정적 이송 가능

펌핑 온도별 권장 압력

- **25°C / 점도 200~500cP → 1.0~1.5 bar**
- **40°C / 점도 80~150cP → 0.6~1.0 bar**
- **60°C / 점도 20~60cP → 0.3~0.6 bar**
- 결론: 가열기를 탱크 전단에 두어 점도 안정시키면 0.5 bar 이하로 충분.

압력 부족 시 문제

- 펌프 캐비테이션(기포 발생)
- 유량 불안정 → 컨베이어 유입부와 레벨센서 제어 불안
- 고온 점도 저하 시에는 오히려 펌프 내부 누설 증가 가능성

압력 과다 시 문제

- 배관·실(seal) 누유
- 필터 파손 위험(특히 1차 스크린 후단의 미세 필터)
- 탱크 레벨 변동 시 역류 문제 발생 가능

냉장고 크기 장비 기준 압력 최적값

- 배관 길이 1m 미만, 굴곡 2~4개 가정
- 24V BLDC 기어 펌프 사용 시
- **최적 설정: 0.4~0.7 bar**
→ 소음·진동 저감, 이물질 통과율 확보, 펌프寿命 증가

압력 제어 구현 방식(제어 시스템 연계)

- BLDC 모터 PWM 제어를 통해 토출압력 조절
- 토출측 압력센서(0~2 bar급) 상시 모니터링
- 점도 상승 시 자동 RPM 상승 알고리즘
- 과압(>1.5bar) 시 자동 바이패스 밸브 개방

권장 압력센서 선정

- 측정 범위: 0~2 bar
- 출력 방식: 4~20mA or 0~5V
- 내열성: 85°C 이상
- 유체 접촉 재질: SUS316

6.3 배관 재질/경로/내열성

배관 설계 기본 기준

- 폐식용유는 산패·부유물·수분이 섞여 있으며 온도 변화에 따라 점도가 크게 달라지므로 **내식성 + 내열성 + 점도 변화 대응**이 가능한 재질 선택이 필수.
- 냉장고 크기의 소형 장비 기준:
배관 길이 **0.5~1.2m** / 굴곡 **최소 2~4개**로 설계.

1) 배관 재질(내열·내식성 기준)


- **SUS304/316 스테인리스 파이프**
 - 장점: 내식성·내열성 가장 우수, 불순물 침착 적음
 - 단점: 무겁고 가공성 떨어짐
 - 적용 위치: 펌프 토출, 히터 부근, 고온 부위
- **고내열 실리콘 호스(식품등급)**
 - 장점: 180°C 이상 내열, 유연성 좋아 장비 내부 라우팅 편함
 - 단점: 기름에 지속 노출되면 경화 가능 → 주기적 교체 필요
 - 적용 위치: 진동 많은 구간, 프레임 굴곡부
- **NBR(부틸) 오일 호스**
 - 장점: 기름 저항성 좋고 상대적으로 저렴

- 단점: 내열성이 낮아 80°C 이상에서는 경화·팽창
 - 적용 위치: 상온 위주의 이송부
 - **PTFE(테프론) 라이닝 튜브**
 - 장점: 최고 내화학성, 내부 슬러지 부착 거의 없음
 - 단점: 굴곡 반경 큼, 가격 높음
 - 적용 위치: 고온+고점도 혼재 구간, 유지보수 어려운 심부 배관
-

2) 배관 경로(레이아웃) 최적 설계

- 목표:
가열→이송→저장 흐름이 직선에 가깝도록 하여
점도 높은 폐유의 압력 손실을 최소화.
 - 배관 경로 설계 원칙
 - 굴곡(Bend) 최소화: **3개 이하** 권장
 - 펌프 흡입측은 **가능한 짧고 직선으로** 배치
 - 필터 전단은 교체 접근성 고려
 - 히터 전단/후단은 배관 내 체류 시간 최소화
 - 배관 내부 단차 또는 틈(Dead space) 최소화
 - 탱크 상단 유입 시 **S자 곡선 금지**(경화·슬러지 축적 위험)
 - 유지보수용 **Drain 포트**를 하단에 배치
 - 냉장고 크기 장비 권장 경로 예시
 - 좌측 컨베이어 → 1차 트레이 → 1차 필터
→ 전처리 히터 → 펌프 → 저장 탱크 상단 유입
 - 전체 길이 약 **0.9m(±0.2m)**
-

3) 내열성·온도 설계 기준

- 폐유 점도 안정 목적 가열 온도: **40~60°C**
→ 배관 내열 기준은 **최소 80°C 이상** 요구.
 - 온도별 배관 선택 기준
 - < 60°C : NBR, 실리콘, SUS 모두 사용 가능
 - 60~120°C : 실리콘 / SUS304 / PTFE
 -  120°C : PTFE / SUS316 필수
 - 배관 단열 필요성 여부
 - 60°C 이하에서는 불필요
 - 겨울철(영하 환경) 운용 시
보온재(난연 고무폼) 감싸는 것이 바람직
→ 배관 내부 응고·고화 방지
-

4) 기계 진동·확장 고려

- 펌프 및 이동 플랫폼 진동을 고려해
진동흡수 조인트(플렉시블 커넥터) 사용 권장
 - 소재: 실리콘 또는 EPDM
 - 위치: 펌프 ~ 배관 직후 구간
- 열팽창 대응
 - SUS 배관은 직선 구간마다 **10~20mm 여유 슬랙** 확보
 - 고정 브래킷은 20~30cm 간격으로 배치

5) 유지보수 설계 체크리스트

- 배관 끝단에 **Drain 밸브** 필수
- 필터 직후 배관은 탈착 가능한 **Tri-Clamp** 구조 권장
- 탱크 연결부는 **오일 전용 가스켓(Viton)** 사용
- 배관 분해 없이 세척 가능하도록
내부 90° 코너 최소화

6.4 역류 방지 밸브

1) 역류 방지 밸브 필요성

폐식용유 수거 장비는

- 펌프 정지 시 **중력에 의한 유체 역류**
- 탱크 레벨 변동 시 **압력 차에 의한 역류**
- 필터 막힘 시 **펌프 토출측 역압 증가**

와 같은 위험이 존재하므로 **역류 방지 밸브(Check Valve)**는 필수 구성 요소이다.

특히

- 점도가 높아 역류 시 **배관 막힘·슬러지 고착**
- 저온 시 응고된 폐유가 **펌프 내부에 역침투**
→ 펌프 손상 및 재시동 실패 위험 증가.

2) 적용 가능한 체크 밸브 종류 비교

- **스프링 체크 밸브(Spring Loaded Check Valve)**
 - 장점: 빠른 차단, 설치가 간단, 누유 적음
 - 단점: 폐유 속 불순물에 의해 스프링이 오염·고착될 수 있음
 - 추천 사용 위치: **탱크 유입 전단, 펌프 토출 직후**
- **볼 체크 밸브(Ball Check Valve)**
 - 장점: 구조 단순, 끈적한 고점도 유체에 강함

- 단점: 저압 구간에서는 개폐 반응이 둔함
 - 추천 위치: **저압 + 고점도 구간(필터 전단)**
 - **플랩 체크 밸브(Swing Check Valve)**
 - 장점: 이물질 내성 높음
 - 단점: 작은 소형 장비에는 사이즈가 큼
 - 추천 위치: **좁은 장비에는 비추천**
 - **PTFE 라이닝 체크 밸브**
 - 장점: 내부 부착물 최소화
 - 단점: 비용 높음
 - 추천 위치: **고온·고부식 환경**
-

3) 냉장고 크기 장비 기준 최적 구성

- 펌프 토출 직후:
 - **스프링 체크 밸브(SUS304 또는 316)**
 - 열·압력 변화 대응성 좋고 소형 탱크에 적합
 - 펌프 흡입측 전단:
 - **볼 체크 밸브**
 - 이물질 혼입 시에도 막힘·고착 위험 낮음
 - 탱크 상단 유입부:
 - 선택 옵션(필수 아님)
 - 탱크 압력 변화가 크지 않은 구조라면 생략 가능
 - 단, 장비 이동 중 흔들림으로 인해 역류 발생 우려가 크면 추가 장착 권장
-

4) 개방 압력(Crack Pressure) 설계 기준

- 점도 높은 폐유는 개방 압력을 너무 높게 설정하면 유입이 어려움
 - 권장 수치:
 - **0.05~0.15 bar** (저압 펌프 시스템)
 - 60°C 가열 운전 시에는 **0.05 bar 이하**도 가능
 - 스프링 강도(경도) 낮은 모델을 선택하는 것이 안정적
-

5) 재질 및 내열성

- 밸브 바디: **SUS304/316**
 - 씰 재질: **Viton(130°C)** 또는 **EPDM(120°C)**
 - 스프링: **SUS316**
 - 점도 안정 온도 40~60°C를 고려할 때,
내열 100°C 이상 확보 모델 사용 권장
-

6) 설치 방향 및 유지보수

- 유체 흐름 방향(→) 반드시 일치해야 함
- 점검구 근처 설치하여 교체 용이성 확보
- 6개월~12개월 주기 점검:
 - 스프링 부식 여부
 - 볼/플랩에 폐유 찌꺼기 고착 여부
 - 크랙 압력 상승(고착의 징후)

7) 체크밸브 + 바이패스 라인 구성(권장)

펌프 과압 방지를 위해

- 체크 밸브 + 릴리프 밸브 + 우회(바이패스) 배관
3요소를 조합하는 것이 이상적.

특히 이 작은 장비 구조에서는:

- 체크 밸브: 역류 방지
- 릴리프 밸브: 과압 시 압력 해소
- 바이패스 라인: 펌프 보호 및 재순환(점도 안정)

6.5 드레인·배출 포트 설계

1) 드레인·배출 포트의 필요성

폐식용유는 시간이 지나면 응고·점도 상승·슬러지 침전이 발생하므로
장비 내부 배관·탱크·필터 등 모든 구간에서
완전 배출(Drain) 기능이 필수이다.

드레인 포트가 없으면:

- 장비 이동 시 내부 유체 흔들림으로 오염·재혼합
- 장기간 방치 시 고착 → 펌프·배관 막힘
- 세척·살균 작업 불가
- 겨울철 상온 이하에서 내부 응고로 장비 재가동 불가

따라서 냉장고 크기의 소형 장비라도 최소 3개 이상의 배출 포트가 필요하다.

2) 드레인 포트 구성(소형 장비 기준 최적 배치)

위치	용도	권장 포트 크기	재질
저장 탱크 최하단	전체 폐유 배출	1/2" 또는 3/4"	SUS304/316
침전 구간(슬러지 트랩) 하단	침전된 이물·슬러지 제거	1/4" 또는 3/8"	SUS304

위치	용도	권장 포트 크기	재질
배관 최저점	배관 라인 내 잔류유 제거	1/4"	SUS304 or PTFE 라이닝
필터 하우징 하단 (선택)	필터 교체 전 잔류유 제거	1/4"	SUS304

3) 포트 설계 시 고려 요소

(1) 완전 배출(Full Drain)이 가능해야 함

- 탱크 바닥이 평평하면 잔여 유체가 남음
→ 콘 형태 또는 미세 경사(2~5°) 적용
→ 포트는 바닥의 가장 낮은 한 점에 배치

(2) 포트 높이 및 지면 간섭

냉장고 크기 장비라 바닥 클리어런스가 낮음

- 드레인 밸브가 지면과 충돌하지 않도록
→ 수평 배출 구조 + 90° 엘보 + 밸브 조합 권장

(3) 세척 용이성

드레인 포트는 넓은 내부 직경이 유리

- 폐유 세척 시, 미온수 또는 약품류 통과 필요
- 1/2" 이상부터 세척 효율 급증

4) 배출 밸브 선택 기준

- 볼 밸브(Ball Valve)
 - 장점: 이물질 내성 강하고 점도 높은 유체도 쉽게 통과
 - 냉장고 크기 장비에서는 대부분 볼 밸브 추천
- 게이트 밸브(Gate Valve)
 - 장점: 개방 시 내부 흐름 저항 거의 없음
 - 단점: 조작 스트로크 길고 소형 장비에 부적절
- 니들 밸브
 - 정밀 누유 제어에 좋으나 점도 높은 폐유에는 비추천
- 재질
 - 바디: SUS304/316
 - 시트/살: Viton 또는 PTFE
 - 내열성: 최소 100°C 이상

5) 드레인 포트 캡 및 안전 구조

- 더블 씰(Double Seal) 구조 권장
 - 내부: 볼밸브
 - 외부: 나사 캡(SUS304)
→ 옥외 보관 시 누유 완전 차단
 - 미끄럼 방지 가드
 - 드레인 밸브가 장비 외부로 돌출되므로
→ 스틸 가드(Protection Cage) 설치 필요
→ 이동 중 충격 방지
 - 배출 시 넘침 방지
 - 호스 연결용 Hose Nipple + 클램프
 - 유량이 많을 경우 3/4" 호스 연결구 권장
-

6) 겨울철 동결 대비

- 배출 포트 주변에 단열재(고무폼) 10mm 이상 감싸기
 - 필요 시 실리콘 히트 패드(20~40W) 부착
→ 외기 0°C 이하에서도 역류·응고 방지
-

7) 유지보수 인터벌

- 주기적 점검: 1개월 또는 50회 사용마다
 - 체크 항목:
 - 드레인 밸브 작동 부드러움 여부
 - 내부 슬러지·침전물 잔여 여부
 - 개방 시 폐유 흐름 막힘/압력 증가 여부
 - 실링 가스켓 갈라짐 여부
-

8) 전체 배출 시나리오(운영 절차 예시)

1. 장비 종료
2. 탱크 드레인 밸브 개방
3. 약 5~10분 자연배출
4. 침전구 드레인 개방 → 슬러지 제거
5. 배관 드레인 오픈
6. 내부에 40~50°C 정도의 미온수를 1~2L 순환
7. 재배출
8. 드레인 밸브/캡 복구

6.6 압력 센서·유량 센서 배치

1) 센서 배치 목적

폐식용유는 점도 변화가 크고 이물질이 많아

- 펌프 부하 감시
- 필터 막힘 감지
- 배관 누유·공기 혼입 감지
- 유입량·저장량 실시간 모니터링

을 위해 **압력 센서 + 유량 센서의 최적 배치**가 필수이다.

냉장고 크기 소형 이동식 장비 기준으로는

과도한 센서 사용을 피하고 핵심 포인트 3~4곳에 집중하는 것이 최적.

A. 압력 센서 배치

① 펌프 토출측(가장 핵심 위치)

- 목적:
 - 필터 막힘 감지
 - 펌프 과압 검출
 - 점도 상승 → 펌프 부하 증가 감지
 - 위치:
 - 펌프 토출 플랜지에서 5~10cm 상단
 - 장비 조건:
 - 범위 0~2 bar
 - 85°C 이상 내열
 - 폐유 내 오염 대비 스테인리스 다이어프램 타입
-

② 필터 전단 압력센서(차압 감시 용도)

- 목적:
 - 1차 필터·스크린 막힘 정도 판단
 - “전단 압력 ↑ + 후단 압력 ↓” → 필터 교체 시기 알림
 - 위치:
 - 1차 필터 하우징 **INLET** 위치
 - 옵션:
 - 전단 + 후단 압력센서 2개 설치 시 차압 계산 가능
 - 소형 장비에서는 **전단만 설치**해도 충분
-

③ 탱크 상단 배관 압력센서(선택)

- 목적:
 - 탱크 내부 압력 증가 예방
 - 온도 상승 시 팽창 압력 감지
 - 환기구 막힘 여부 모니터링
 - 필수는 아님
 - 냉장고 크기 수준에서는 탱크 환기 설계가 더 중요
-

B. 유량 센서 배치

폐식용유는 점성이 높아 터빈식 유량 센서 불가 → 막힘/비교적 큰 오차 발생
따라서 아래 두 가지 방식이 현실적:

- 코리올리 유량계(고정밀)
 - 장점: 점도 영향 적고 정확
 - 단점: 고가(소형 장비에는 과함)
- 저점도·고점도 겸용 기어형 유량계(Gear Flow Meter)
 - 장점: 폐유와 이물질에 가장 적합
 - 단점: 점도 변화에 따라 $\pm 5\%$ 정도 오차

냉장고 크기 장비에서는 기어 유량계 사용을 권장.

① 펌프 토출측 유량 센서(메인 유량 센서)

- 목적:
 - 총 수거량(L/h) 계산
 - 점도 상승 시 유량 감소 → 자동 RPM 증가로 피드백
 - 장비의 생산성(수거 속도) 계산
 - 설치 위치:
 - 펌프 토출 라인 바로 뒤
 - 필터 전단 or 후단 모두 가능
 - 가장 추천: 필터 후단
→ 필터로 인해 유량 변동이 발생하므로 “필터를 지난 순수 유량” 측정 가능
 - 조건:
 - 유량 범위: 0.5~20 L/min
 - 내열 100°C
 - SUS316
-

② 컨베이어 유입구 유량 모니터링(선택)

컨베이어에서 떨어지는 폐유는

정량적인 “유량 센서”보단 **중량 기반(Load Cell) 모니터링**이 더 유효.

단, 필요 시:

- 초음파 표면 유속 센서 또는
- 저압 차압식 센서(헤드 높이 기반)

를 사용할 수 있으나 오차가 큼.

냉장고 크기 장비에서는 **비추천**.

③ 탱크 내부 레벨 센서 기반 유량 환산(보조 센서)

- 실시간 유량이 필요 없고
- “전체 수거량”만 요구한다면
→ 탱크 레벨센서 + 시간 기반 유량 추산 방식도 가능
- 장점: 설치 간단
- 단점: 펌프 불안정, 점도 변화가 클 경우 정확도 떨어짐

C. 최종 추천 센서 구성(가성비 + 유지보수 중심)

압력 센서(2개)

1. 펌프 토출측(필수)
2. 필터 INLET 전단(필수)

유량 센서(1개)

1. 필터 후단 기어 유량계(필수)

레벨·중량 기반 센서(보조)

- 탱크 레벨 센서 1개
 - Load Cell 1~4개(필수 아님, 정밀 수거량 필요 시만)
-

D. 배선·펌웨어 연계(핵심 Summary)

- 압력 센서:
 - MCU ADC 입력(0-5V) or 4-20mA → 250Ω 변환
 - 필터 막힘 감지 알고리즘
 - 펌프 과압 자동 정지
- 유량 센서:
 - 펄스 타입(기어 유량계) → MCU 인터럽트 입력
 - 펌프 RPM 추가 제어
 - 수거량 누적 저장(EEPROM/Flash)

- 레벨 센서:
 - 탱크 과충전 방지
 - 컨베이어 속도 제어와 연계

6.7 배관 씰링(누유 방지용)

배관 체결부 주요 누유 포인트 정의

- 펌프 흡입/토출 포트
- 탱크 인입/배출 플랜지
- 컨베이어 유입 라인 접속부
- 센서류(압력/유량) 삽입 포트 주변
- 이동식 채시로 인해 반복 진동이 발생하는 구간

씰링 방식 비교 및 선정 기준

- **PTFE 테이프(테플론 테이프)**
 - 장점: 저가, 시공 간단, 내열성 우수
 - 단점: 반복 분해 시 마모, 과도한 장력 시 손상
 - 적용: 소구경 나사식 연결부
- **O-ring(EPDM, NBR, Viton)**
 - 장점: 화공액/온도 대응, 누유 저감 효과
 - 단점: 규격 관리 필요, 압착력 조건 맞춰야 함
 - 적용: 탱크 플랜지, 센서 포트
- **가스켓(PTFE, 고무 복합재)**
 - 장점: 평면 플랜지에 적합, 면압 고르게 유지
 - 단점: 체결력 관리 필요
 - 적용: 중간 플랜지, 펌프·필터 모듈 접속부
- **액상 실런트(실리콘, anaerobic sealant)**
 - 장점: 진동 저항, 큰 간극 보정
 - 단점: 분해 난이도 증가
 - 적용: 고진동 영역, 구조적으로 벌어짐 쉬운 구간

재질 선정 기준(폐식용유 특성 기준)

- **내유성:** 식용유 기반이라도 산패 시 산성 증가 → NBR/FKM 계열 우선
- **내열성:** 히팅 탱크 사용 시 40~80°C 대응 필요
- **내점도 유체 대응성:** 점도 높아 틈새 침투 시 실런트 필수
- **세척 화학약품 대응성:** NaOH 기반 세정액 대비 내성이 중요

배관 체결 방식 설계 가이드

- 나사식(NPT/BSPT): PTFE + anaerobic 병행 적용
- 플랜지식: 라인 압력에 따라 O-ring vs 가스켓 선택
- 클램프식(Tri-clamp): 세척 편의성 우수, 위생적
- 신축 조인트 구간: 진동 완화를 위해 벨로우즈 + 가스켓 구조

진동·충격에 의한 누유 방지 대책

- 배관 고정 브래킷 간격 최소화(30~40cm)
- 이동 새시에 rubber damper 추가
- 펌프-배관 접속부에 플렉시블 호스 구간 삽입
- 커넥션 토크 한계 설정(과도 조임 방지)

점검 및 유지보수 루틴 설계

- 운용 100시간마다 O-ring 경화 점검
- 세척 주기마다 가스켓 면압 확인
- 연 1회 PTFE 테이프 구간 재체결
- 누유 감지 센서(유막 센서) 설치 여부 검토

고장 모드(FMEA) 및 대응

- 연결부 토크 과다 → 실링 파손 → 토크 규격 재설정
- 반복 진동 → 체결력 감소 → Lock washer 또는 thread-lock 적용
- 고온 세척 → 가스켓 열경화 → Viton 계열로 교체
- 컨베이어 유입부 충격 → 배관 휨 → 보강 브래킷 추가

6.8 정비성 고려한 분해 구조

모듈 단위 분해 설계(유지보수 시간 단축 목적)

- 배관·펌프·필터를 기능 모듈(흡입 모듈 / 여과 모듈 / 이송 모듈 / 저장 모듈)로 구획
- 모듈 간 연결은 퀵커넥터(Quick coupling) 또는 Tri-clamp 방식 적용
- 고장이 잦은 구간(펌프 전단, 필터 하우징)은 독립 분리형 케이스로 제작하여 별도 탈거 가능
- 컨베이어 유입부는 힌지형 오픈 구조로 상부 개폐 후 즉시 분해 점검 가능하게 설계

배관 분해성 강화 설계

- 고정 배관은 최소화하고, 플렉시블 호스 + 클램프 조임 방식을 적절히 배치해 유지보수 장력 감소
- 배관 지지 브래킷을 슬라이드 레일형으로 제작해 분해 시 도구 사용 최소화
- 협소한 내부 공간에서도 손이 들어가도록 서비스 홀(Service Hole) 확보
- 분해 시 필요 공구를 2개 이하(6mm 육각 + 10mm 스패너 등)로 축소하도록 체결 규격 통일

탱크·펌프·필터의 신속 접근성 설계

- 저장 탱크는 **전면 도어 + 내부 작업 공간 확보형** 구조로 제작 → 세척 및 슬러지 제거 편의
- 펌프는 **서랍식(Tray-slide)**으로 탈거 가능하게 하여 하부 유지보수 용이
- 1차 필터/스크린은 **카트리리지 방식**으로 10초 내 분리 가능하게 설계
- 침전 탱크는 **상부 오픈 + 회전식 커버**로 청소 편의성 확보

전기·배선 정비성 고려

- 컨트롤러(ECU/MCU)는 전면 커버 뒤 **패널 마운트** 방식으로 배치
- 커넥터는 IP67 등급 **방수 커넥터** 사용 + **방향성 라벨링** 제공
- 배선 하네스는 **케이블 트레이**를 이용해 한 번에 분리 가능하도록 구성
- 센서와 액추에이터는 **개별 테스트 포트** 제공하여 분해 없이 상태 확인 가능

세척성(Cleanability) 강화 구조

- 내부 유분 잔여물이 자주 쌓이는 구간은 **라운드 처리(R10 이상)**로 코너 포켓 최소화
- 탱크·배관은 **CIP(자동 세척) 노즐** 옵션 설치 가능하도록 미리 설계
- 세척 후 배수되는 라인을 **하단 일체 경사 구조**로 제공
- 분해 후 재조립 시 **O-ring 위치 고정 홈**을 추가하여 조립 실수 방지

안전 및 내구성 고려한 분해 구조

- 분해 도중 오조립 방지를 위한 **D-컷/비대칭 삽입 구조** 적용
- 고온 히팅 라인 주변은 **절연 커버 분리형** 제공
- 부식·산패 가능성 있는 구간은 **스테인리스 볼트 + 니켈 코팅 나사산** 적용
- 반복 분해에도 내구성 유지하도록 **인서트 너트(Brass insert)** 삽입

정비 공정 시나리오 기반 설계(예시)

- **필터 교체**: 전면 커버 오픈 → 트라이클램프 해제 → 필터 카트리리지 교체 → 재조립 2분 이내
- **펌프 점검**: 전면 슬라이드 트레이 당김 → 펌프 모듈 분리 → 임펠러/기어 점검
- **배관 누유 점검**: 서비스 홀 오픈 → 가스켓 체결 구간 토크 확인
- **탱크 내부 세척**: 상부 개방 → 슬러지 긁음 → CIP 세척 → 하단 배수