

# 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 유니트에서 “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 베인**이 더 안정적

### 펌프 위치 배치 고려

- 폐유 저장 탱크 아래쪽(자흡 지원)
- 펌프 열 발생 → 저저장탱크 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( $\mu$ ) 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 가능성

## 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 바이пас스 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 토풀측 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 토풀 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

- 절도 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** 이하도 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**
- 절도 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/실: 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)

- 장비 종료
- 탱크 드레인 밸브 개방
- 약 5~10분 자연배출
- 침전구 드레인 개방 → 슬러지 제거
- 배관 드레인 오픈
- 내부에 40~50°C 정도의 미온수를 1~2L 순환
- 재배출
- 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 배치가 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 설치해도 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 ±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 새시로 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 샐시에 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 휀 → 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 쿼크커픽터(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 카트리지 방식으로 10초 내 분리 가능하게 설계
- 침전 탱크는 상부 오픈 + 회전식 커버로 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 트레이를 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 구조로 제공
- 분해 후 재조립 시 O-ring 위치 고정 홈을 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·산파 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 카트리지 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 굽음 → CIP 세척 → 하단 배수