

9. 폐식용유 항공유 전환용 전처리 요구 반영

9.1 SAF(지속가능 항공유) 전환 공정 개요

폐식용유(Used Cooking Oil, UCO)는 재생 가능 탄소원으로서 **지속가능 항공유(Sustainable Aviation Fuel, SAF)** 생산에 매우 적합한 원료입니다.

본 장에서는 UCO → SAF 로의 전환 과정 전체를 **기계적 전처리** → **화학적 정제** → **촉매 반응** → **분별** → **항공유 규격화** 순으로 정리하여, 이동식 수거 장비가 왜 특정 품질 기준의 폐유를 제공해야 하는지 개괄합니다.

① SAF 생산 경로 개요

SAF는 여러 공정으로 생산될 수 있으나, 폐식용유 기반 SAF는 대부분 다음 두 가지 기술을 사용함:

A. HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) 공정 — 가장 널리 사용됨

- 폐식용유·동물성 지방 등 지방산을 **수소화(hydrotreating)** 하여 탄화수소를 생산
- 이후 **아이소머화(isomerization)** 를 통해 항공유 규격에 맞게 조정
- 현재 상업적으로 가장 성숙한 기술
- 대부분의 SAF 플랜트가 HEFA 기반

B. HVO(Hydrotreated Vegetable Oil) → SAF 전환

- 디젤 대체 연료 HVO를 생산한 뒤
- 추가 아이소머화 공정을 거쳐 항공유 사양에 맞춤
- HEFA와 유사한 촉매·반응기 사용

→ 본 장비의 수집 대상인 폐식용유(UCO)는 HEFA 공정의 대표 원료.

② HEFA 공정의 전체 흐름도

아래는 UCO 기반 SAF 공정의 표준 전환 단계:

1. 전처리(Pre-treatment)

- 고체 불순물 제거
- 물·침전물 분리
- 점도 조절(예열)
- 금속/염분 제거(중요)
- FFA(유리지방산) 함량 조정
→ 이동식 수거기에서 깨끗하게 분리될수록 전체 공정비 절감

2. 수소화 반응(Hydrotreating)

- 지방산을 포화 탄화수소로 변환
- 산소 제거(탈산소화, deoxygenation)
- 고압 수소 사용(30~80 bar)

- 온도 300~400°C

3. 아이소머화(Isomerization)

- 직쇄형 탄화수소를 분지형으로 변환
 - 저온유동성, 안정성, 냉각점(CFPP) 개선
 - 항공유 요구사항 충족

4. 분별(Distillation/Fractionation)

- 규격 범위의 탄화수소(kerosene cut)만 추출
- 경유·LPG·나프타 등의 부산물도 생산

5. 첨가제 혼합(Blending & Additives)

- ASTM D1655 / ASTM D7566 기준 충족 위해 조정
- 필요시 항산화제·정전기 억제제 등 첨가

6. 품질검증(Quality Assurance)

- 동점도, 비중, 냉각점, 발열량, 아로마틱 함량 검사
- 항공사·정유사 품질 시험 통과 필요

③ 폐식용유 특성(UCO)이 SAF 생산성에 미치는 영향

1) FFA(Free Fatty Acid) 함량

- FFA가 높으면 반응 중 비누화, 촉매 중독 발생
- **0.5~2 wt% 이하**로 맞추는 것이 이상적
- → 전처리 및 수거 과정에서 **이물질·물 분리를 정확히** 해야 함

2) 수분·염분(Water & Salt)

- 수소화 촉매(platinum, nickel 등)에 독성 영향
- 수분 함량 **0.3% 이하**로 유지
- 염분은 거의 '0' 수준이 요구
- → 이동식 장비의 **침전·스크린·필터 구조가 매우 중요**

3) 불순물(고형물, 탄화물 등)

- 고압 펌프·반응기 손상
- 분별증류 과정에서 슬러지 침전 문제
- → 수거 단계에서 **크러스트·튀김 찌꺼기 최대 제거** 필요

4) 점도 및 열안정성

- 폐유의 점도가 높은 경우
- 펌핑·가열 비용 증가
- 전처리 설비 설계 난이도 상승
- → 수거기 내부 예열·점도 안정 시스템이 생산 효율에 직접 영향

④ SAF 규격(요약)

SAF는 ASTM D7566에 따라 다음 주요 항목을 만족해야 한다.

- 비중: **0.775~0.840**
- 방향족(Aromatics): **8% 이하**
- 동점도: **1.3~1.9 mm²/s @ 40°C**
- 냉각점(Freeze point): **-47°C 이하**
- 점화성(Flash point): **38°C 이상**
- 황(Sulfur): **0.3% 이하**
- 산가(Acid number): 극저 (<0.1 mg KOH/g)

폐식용유의 품질이 좋을수록 SAF 규격화 과정에서 처리비용이 낮아짐.

⑤ 폐식용유 수거 장비가 SAF 공정에 기여하는 핵심 요소

1) 고체 이물질 제거(스크린·컨베이어)

→ 정유 플랜트 전처리 비용 감소

2) 수분/물성 분리(침전 탱크)

→ 촉매 수명 연장

3) 점도 안정화(탱크 히터)

→ 전처리 히트러닝 비용 절감

4) 오염도 기록·추적

→ 원료 로트 관리 편의

→ SAF 공정 전체 품질 관리(QA)에 직접 기여

⑥ 요약

폐식용유 기반 SAF(지속가능 항공유)는 현재 가장 상업성이 높은 바이오 항공유 생산 경로이며, 이동식 폐유 수거 장비가 **정확한 전처리, 이물질 제거, 수분·점도 관리** 기능을 수행해야 SAF 제조 업체가 요구하는 품질을 충족할 수 있다.

9.2 수거 단계에서 필요한 품질 기준

(SAF(Sustainable Aviation Fuel) 전환 공정 – Feedstock Collection Stage Requirements)

수거 단계에서의 품질 기준은 최종 SAF 생산 수율, 촉매 수명, 공정 안정성에 직접적으로 영향을 주는 핵심 요소입니다. SAF 원료(폐식용유, 동·식물성 지방, 농업 잔여물 등)는 공급원별 품질 편차가 매우 크기 때문에, 수거 단계에서부터 명확한 규격을 설정하고 관리해야 합니다.

1. 수분(Free Water & Bound Water) 기준

- **허용 한도:** 일반적으로 $\leq 0.5 \text{ wt\%}$, 일부 정유사는 $\leq 0.1 \text{ wt\%}$ 요구
 - **이유:**
 - 에스터 교환 반응(Transesterification) 저해
 - 촉매 비활성화 (특히 NaOH/KOH, H₂ 기반 탈산소 공정)
 - 저장 탱크 부식 가속
 - **측정 방법:** Karl-Fischer Titration
-

2. FFA(Free Fatty Acid) 함량 기준

- **허용 한도:** 10~15 wt% 이하 (원료 종류에 따라 상이)
 - **영향:**
 - FFA가 높으면 비누(SOAP) 형성 증가 → 공정 수율 저하
 - 추출/정제 공정 비용 증가
 - **사전 관리:**
 - 산가(Acid Value) 측정
 - 고FFA 원료는 전처리(에스터화) 필요
-

3. 불순물(Impurities) 기준

▷ 고형물 (Solid Particulates)

- $\leq 0.5 \text{ wt\%}$ 또는 500 ppm 이하
- 식물 잔여물, 금속 파편, 탄화 잔여물 등이 포함될 수 있음
- 고형물은 펌프·밸브 마모 및 촉매 지지체 폐색을 유발

▷ 금속(Fe, Ca, Mg, Na, K 등) 이온

- 보통 $\leq 10\text{--}50 \text{ ppm}$ 이하
- 금속 오염은 HDO(Hydro-Deoxygenation) 촉매 독성 유발
- ICP-OES 분석

▷ 기타 오염물질

- 폴리머, 플라스틱, 산업용 오일 등 혼입 금지
 - 수거 단계에서부터 이물질 차단 필터링 시스템 적용 필요
-

4. 색도(Color) 및 산화 안정성

- 색도는 직접적인 품질 지표는 아니지만 산화·열분해 여부를 간접적으로 확인
- ASTM D1500 기준 활용
- 산화가 심한 원료는 Peroxide Value 증가 → 미리 제거 필요

5. 냄새·부패(Hygienic Quality) 기준

- 부패한 원료는 FFA 상승, 미생물 활성 증가
- 장기보관 시 발효·악취 발생 → 촉매중독(특히 Ni 기반) 일으킬 수 있음
- 권장 보관 온도: 20°C 이하
- 입고 후 48시간 이내 전처리가 산업 표준

6. 혼합금지 규정 (Feedstock Segregation Rule)

아래 원료는 수거 단계에서 절대 혼합 금지:

- 폐식용유(UCO) + 산업용 윤활유
- 동물성 지방(Tallow) + 폐합성유(Polyester 기반 등)
- 식물성 오일 + 폐용제(Solvent Waste)
→ 혼합될 경우 FFA, 금속 농도 급상승 및 전처리 비용 폭증

7. 트레이서빌리티(Traceability) 기준

SAF는 ICAO CORSIA와 ASTM D7566 규정을 충족해야 하므로 원료의 공급처·날짜·수거 경로·운송 환경을 완전 기록해야 함.

- Batch ID 발급
- 수거 차량 온도·컨테이너 상태 기록
- 오염 방지용 밀봉(Sealing)

8. 운송·저장 기준

- 물·산소와 접촉 최소화
- 불활성가스 질소 패딩(N2 Padding) 권장
- 운송용 드럼/탱크는 지정된 식품/바이오 오일 전용 용기 사용

9. 입고 검사 표준(Receiving Inspection Checklist)

항목	기준	측정 방법
수분	≤ 0.5 wt%	Karl-Fischer
FFA	≤ 10~15 wt%	Acid Value
고형물	≤ 500 ppm	필터 시험
금속	≤ 50 ppm	ICP-OES
색도	ASTM D1500 준수	색도계
냄새/산화	허용 기준 충족	관능/Peroxide

9.3 불순물 제거 수준(고체, 수분, 음식물 찌꺼기)

SAF(Sustainable Aviation Fuel) 제조 공정에서 원료(pretreated feedstock)의 품질은 전체 공정의 효율, 촉매 수명, 장치 부식, 최종 유분 품질에 결정적 영향을 미친다. 따라서 전처리 과정에서 **고체·수분·음식물 잔사(fines & food residues)** 등 주요 불순물은 국제 정유·바이오디젤 산업이 요구하는 기준 수준까지 제거되어야 한다.

아래 기준은 ASTM D7566 기반 SAF 공정 및 HDO(탈산소)·HEFA 공정에서 일반적으로 요구되는 수준을 반영한다.

1. 고체(Solid Particulates) 제거 수준

■ 요구되는 최종 수준

- ≤ 50 ppm 이하 (일반적 정유사 기준)
- 고순도 SAF용 HDO 공정에서는
≤ 10~20 ppm 까지 요구하는 경우도 있음

■ 포함되는 고형물 종류

- 음식물 찌꺼기 입자 (crumbs, carbonized residues)
- 식물성 섬유질
- 금속 파편(Fe, Cu, Zn)
- 플라스틱/고무 미세조각
- 탄화된 오일 잔사

■ 제거 기술

- 1차: 스크린 필터(100~500 μm)
- 2차: Bag filter (10~50 μm)
- 3차: Cartridge filter (1~5 μm)
- 고품질 요구 시: 원심분리기(Centrifuge) + 여과 조합 적용

2. 수분(Water, Free & Emulsified) 제거 수준

■ 최종 허용 수분 함량

- $\leq 0.05 \text{ wt\% (500 ppm)}$ — 일반 산업 기준
- 고순도 HDO 촉매 사용 시
 $\leq 0.02 \text{ wt\% (200 ppm)}$ 이하 요구

■ 수분 제거 이유

- 수소화탈산소(HDO) 촉매 중독
- 비누(Soap) 형성 증가 → 수율 감소
- 반응기 및 저장탱크 부식
- 에스터화·전이에스터 반응 효율 저하

■ 제거 기술

- 가열 탈수(Heating to 90–110°C)
 - 진공 탈수(Vacuum Dehydration)
 - 원심분리(Centrifugation)
 - Coalescer 필터 (물방울 응집)
 - N₂ 스트리핑(불활성가스 이용)
-

3. 음식물 찌꺼기(Food Residues)·유기 고형물 제거 수준

음식물 찌꺼기와 유기 잔사는 일반 고형물보다 제거 난이도가 높으며, **FFA 증가의 주요 원인**이므로 별도 관리가 필요하다.

■ 허용 수준

- 눈에 보이는 음식물 잔사(Visible Residues) = 0
(정유사 공급 규격의 필수 조건)
- 음식물 유기 입자(organic fines)
→ $\leq 50 \text{ ppm}$, 고급 공정은 $\leq 10 \text{ ppm}$

■ 제거 기술

- 가열 후 원심분리(Heated Centrifuge)로 지방과 고형물을 분리
 - 3단계 필터링
 - Sludge trap(슬러지 트랩) 설치
 - 대형 식용유 업체에서는 **Decanter + Disc Stack Centrifuge** 조합 사용
-

4. 대표 전처리 공정 흐름 (고체·수분·찌꺼기 제거)

1	수거 원료 → 스크린 필터 → 가열 (90-110 °C) → 원심분리 (1차: 고형물/찌꺼기 분리)
2	→ 진공 탈수 → 미세여과 (5 μm) → Coalescer → 탱크 저장

이 과정을 거친 후에야 원료가 HEFA/HDO 반응기로 투입될 수 있다.

5. 산업 적용 기준 요약 표

항목	최종 허용 기준	일반 전처리 수준	고급 SAF 정유사 요구 수준
고체 불순물	≤ 50 ppm	10-50 ppm	10-20 ppm
음식물 잔사	Visible 0 / ≤ 50 ppm	20-50 ppm	≤ 10 ppm
수분	≤ 0.05 wt%	0.02-0.05 wt%	≤ 0.02 wt%

9.4 수분 분리 워터컷 센서 가능성

폐식용유(UCO, Used Cooking Oil)의 전처리 단계에서 **수분(Free water + Emulsified water)** 을 실시간으로 계측하는 기능은 SAF(지속가능 항공유) 제조 공정에서 매우 중요하다. 특히 수분 함량이 일정 기준(예: 0.05 wt% 이하)을 초과할 경우 **촉매 중독, 비누 생성, 반응 수율 저하, 부식** 등이 발생하므로, 원료 단계에서 즉시 탐지할 필요가 있다.

기존 정유/석유 산업에서는 **워터컷 센서(Water-cut Meter)** 를 이용하여 원유·연료 중의 수분을 연속 측정하지만, **폐식용유(UCO)에 그대로 적용 가능한지는** 점도·유화 상태·고형물의 존재 때문에 추가 검토가 필요하다.

1. 워터컷 센서의 기본 원리

워터컷 센서는 일반적으로 다음 원리를 이용해 액체 내 수분 비율을 측정한다.

■ (1) RF/마이크로파 유전율(Dielectric Constant) 방식

- 물의 유전율(≈ 80)
- 오일의 유전율(≈ 2-4)
→ 차이를 이용해 **수분 비율 추정**

■ (2) 용량식(Capacitive) 센서

- 오일의 ε 값 변화로 수분량 계산

■ (3) IR/NIR 흡광 기반 광학식

- 특정 파장에서 물 흡수 특성 측정

■ (4) 음파/초음파 전파속도 기반

- 수분이 많을수록 음향 임피던스 변화

정유 분야에서는 일반적으로 RF/유전율 방식 워터컷 센서를 사용한다.

2. 폐식용유(UCO)에 적용 시의 문제점

문제 요소	설명
높은 점도(Viscosity)	유동성이 낮아 센서 감도가 떨어짐
유화된 수분(Emulsified Water)	물방울이 미세하게 분산되어 물과 기름 경계면이 불명확
온도에 따른 유전율 변화	20°C ↔ 80°C에서 오일 유전율이 크게 변동
불순물(고형물·찌꺼기)	센서 주변에 부착 → 오차 증가
FFA(유리지방산) 존재	유전율에 영향 → 보정 알고리즘 필요

따라서 표준 워터컷 센서를 그대로 적용하면 정확도가 떨어질 가능성이 높다.

3. 적용 가능성 평가(Feasibility Assessment)

■ 결론: "가능하나 센서 단독으로는 정확도 부족 → 보조 시스템 + 보정 알고리즘 필수"

세부 평가

기술 방식	UCO 적용 가능성	비고
RF/유전율 방식	★★★★☆ (높음)	온도·점도 보정 필수. 가장 유력한 후보
용량식(Capacitive)	★★★☆☆	UCO의 유화 특성 때문에 정확도 저하
광학식(IR/NIR)	★★★☆☆	색이 진하면 오차 증가. 고형물에 취약
초음파식	★★☆☆☆	점도 높을수록 감쇠 커짐
중량 기반(密度 변화)	★★★★☆	정적(탱크 내부) 환경에서 유효

가장 현실적인 방식은 RF 유전율 워터컷 센서 + 온도센서 + 탱크 교반기 조합이다.

4. UCO 전용 워터컷 측정 구현 구조 (추천)

(1) 장비 구성

- RF 유전율 기반 워터컷 센서 (0-5% 범위)
- 온도 센서(PT100/NTC)
- 점도 보정용 히터(40-60°C 유지)

- 소형 교반기(찌꺼기 정체 방지)
- MCU 기반 보정 알고리즘

(2) 보정 알고리즘 핵심

```
1 Measured_WC = f(ε_measured, Temperature, Viscosity)
2
3 Corrected_WC = Measured_WC × K1(temp) × K2(viscosity) × K3(FFA)
```

- 온도 상승 → 오일 유전율 감소
- 점도 증가 → 센서 감도 감소
- FFA 증가 → 오일 유전율 증가

따라서 단일 센서로는 불가능하며 **멀티 파라미터 보정**이 필수적이다.

5. 산업에서의 실제 적용 사례

✓ 바이오디젤 공장(UCO Feedstock)

- 일부 공장에서는 유전율 기반 워터컷 센서를 사용하되
0.1-1.0 wt% 정도의 ±20-30% 오차 발생
- 그래서 **원심분리기 후단에서만** 사용하는 경우가 많음

✓ 정유사(HEFA/SAF 원료)

- UCO보다는 **PFAD, CPO**, 기타 탈검·탈산 원료에서 주로 사용
- 원료 상태가 일정한 경우 정확도가 높음

6. 요약: UCO에 워터컷 센서를 적용할 수 있는가?

■ 가능

■ 단, 아래 조건을 만족해야 실용적

1. 유전율 기반 센서 사용
2. 온도 50-60°C에서 점도 안정화
3. 교반기 또는 순환펌프로 균일화
4. 온도·점도·FFA를 고려한 보정 알고리즘 적용
5. 원심분리기 후단(정제 단계)에서 측정 시 가장 효과적

정리하면,

"폐식용유(UCO)는 일반 원유보다 복잡하지만, 워터컷 센서를 보정·보완하여 적용하는 것은 가능하다."

9.5 열 처리 및 점도 관리

폐식용유(UCO, Used Cooking Oil)는 원천별·조리 히스토리별로 점도(Viscosity), 유동성(Flowability), 응고점(Cloud Point), 불순물 함량이 크게 다르다. 따라서 수거 장비 단계에서부터 열 처리(Heating), 점도 관리(Viscosity Conditioning)를 통해 일관된 유동성과 펌핑성을 확보해야 SAF(지속가능 항공유, Sustainable Aviation Fuel) 전환 공정의 요구 조건을 충족할 수 있다.

1. 점도와 열 처리의 필요성

■ (1) SAF 전환 공정에서는 일정 점도 유지가 필수

HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) 기반 SAF 생산에서 UCO는 반응기 전단에서 정확한 펌핑·계량·분무가 필요하다.

점도 변동이 크면 다음 문제가 발생한다.

- 유량 제어 오류 → 혼합비 어긋남 → 반응 효율 저하
- 펌프 과부하 및 맥동 증가
- 분무기 노즐 막힘
- 선행 분리 공정(탈검·탈산) 성능 저하

따라서 수거 단계에서 점도 편차를 최소화하여 후단 정제 공정의 부하를 줄이는 것이 매우 중요하다.

2. 폐식용유 점도가 변하는 요인

요인	영향
온도	온도가 낮으면 급격히 점도 상승, 응고·겔화 발생
고형물(찌꺼기)	점도를 기하급수적으로 증가
수분 함유량	유화 상태에서는 점도 다르게 변화
FFA(유리지방산)	산가가 높은 UCO는 점도 증가 경향
산화 정도(폴리머화)	오래된 식용유일수록 점도 증가

특히 겨울철 실외 환경에서 수거하는 경우 10°C 이하에서는 거의 흐르지 않을 수 있다.

3. 적정 점도 목표 설정

SAF 전환 공장(HEFA)에서 요구하는 전처리 단계 점도는 보통 다음 범위 내로 유지된다.

- 40–80°C에서 20–80 cP 영역
- 펌핑/이송 기준 100 cP 이하
- 원심분리기 투입 기준 < 50 cP 추천

이를 수거 장비에서도 맞추기 위해 온도 관리(Built-in Heating)가 필수적이다.

4. 열 처리(Heating) 방식 선택

✓ (1) 탱크 외벽 히터(Heating Jacket)

- 실리콘 히터 패드
- 알루미늄 플레이트 히터
- 전기 발열판 방식
→ 가장 단순하고 유지보수 용이

✓ (2) 배관 열선(Heat Trace Cable)

- 배관 내부 유량이 적을 때 점도 상승 방지
- 동결 방지용

✓ (3) 침투식 히터(Immersion Heater)

- 직결 온도 상승 속도 빠름
- 고온부는 카본화·찌꺼기 부착 위험 → 온도 제어 필수

✓ (4) 열풍식 가열(Air Blower Heating)

- 공간 전체 가열
- 구조가 커야 해서 냉장고 크기 플랫폼에는 비적합

✓ (5) 순환 가열(Circulation Heating Loop)

- 펌프로 오일을 순환시키면서 파이프 히팅
- 가장 균일한 점도 유지 가능
- 장비 규모가 커짐 → 대형 탱크에서는 유효, 소형 장비는 제한적

추천 조합 → 탱크 외벽 히터 + 배관 열선 + 온도 센서

5. 목표 온도 제어 전략

✓ 점도 안정 목표 온도: 45-60°C 범위 유지

- 50°C 기준: 대부분 UCO의 점도 급락(유동성 확보)
- 60°C 이상: 산화/열분해 속도 증가 → 가열 과다 금지

✓ 온도 제어 알고리즘

```
1  T_set = 55°C
2  Hysteresis = ±2°C
3
4  if T < 53°C → 히터 ON
5  if T > 57°C → 히터 OFF
```

- PID 제어 적용 시 맥동 최소화
- 과열 방지(65°C 이상 시 안전 차단)

6. 점도 관리 하드웨어 구성

■ (1) 히터부

- 실리콘 히터 패드 150-300W
- 탱크 벽면 부착형
- 절연재(유리섬유, 세라믹) 외피로 효율 ↑

■ (2) 온도 센서

- PT100/RTD (정확도 높음)
- 탱크 바닥 + 중앙 + 배출구 3점 측정 추천

■ (3) 점도 간접 추정 센서

작은 장비에서는 실시간 점도계를 탑재하기 어렵기 때문에 아래 파라미터로 추정식 구현:

- 모터/펌프 전류 변화 (점도 증가시 전류 증가)
- 탱크 온도 변화율 (점도 감소 속도 확인)
- 배관 압력 센서(ΔP 증가 \rightarrow 점도 \uparrow)

■ (4) 탱크 교반기(Optional)

- 균일한 점도 유지
- 상분리 방지
- 탱크 모서리에 찌꺼기 축적 방지

7. 실외 환경 대비 (냉장고 크기 이동식 장비 기준)

■ 문제 요인

- 겨울철($\sim 0^{\circ}\text{C}$) 실외 수거 시 오일 응고
- 냉장고 크기 장비는 단열재 공간 제한
- 배관 노출 시 순간적으로 유동성 상실

■ 해결책

1. 탱크 전체 단열(30-50mm PU폼)
 2. 지면과 접촉부 단열 고무패드
 3. 배관 전구간 열선 적용
 4. 장비 내부 공기 순환 팬(저전력, 40°C 유지)
 5. 수거 즉시 예열(Pre-heating) 모드 제공
-

8. SAF 전환 공정 측면의 요구 조건과 연계

SAF 제조(HEFA/Power-to-Liquid 전처리)에서는 다음이 요구된다.

- 수분 0.05% 이하
- 점도 안정화된 균일 원료 공급
- 혼입된 고형물(찌꺼기) 최대한 제거 완료
- 상분리된 수분은 제거된 상태 유지

이 중 점도 불안정은 원심분리기·가열탱크·촉매 반응기까지 모두 영향을 미치므로
수거 단계에서 **점도 안정화(Pre-conditioning)** 를 수행하면 전체 공정 효율이 5-10% 증가할 수 있다.

9. 총괄 요약

- UCO는 온도·유화·찌꺼기에 따라 점도가 심하게 변한다.
- SAF 전환 공정에서는 점도 20-80 cP(약 50-60°C 구간)를 선호한다.
- 소형 수거 장비에는 **탱크 히터 + 배관 열선 + 온도센서 + 점도 간접 추정**이 최적.
- 과열을 피하며 균일한 온도 유지가 핵심.
- 점도 안정화는 후단 정제·반응 공정의 효율을 크게 향상시킨다.

9.6 SAF 공장 운송 규격(용기/압력/온도 조건)

(SAF 제조 공장(HEFA/ESTERIFICATION/HYDROTREATMENT)에서 요구하는 UCO 운송 조건 규격)

폐식용유(UCO, Used Cooking Oil)를 SAF 생산 공정으로 이송할 때 적용되는 운송 규격은 **KOLAS-ISCC·환경부 폐기물 이송 규정**, 그리고 **SAF 전처리 산업 기준(HEFA 기반 기업 규격)** 을 종합하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 용기(Container) 규격

■ (1) 재질(Material)

SAF 전처리 공장은 주로 다음 재질을 요구한다.

- **SUS304 / SUS316 스테인리스**
 - 고온·산화·부식 안정성 우수
 - 산가(FFA) 높은 UCO에도 안정
- **HDPE (고밀도 폴리에틸렌)**
 - 소형 운반용 드럼/IBC에 가장 흔함
 - -20~70°C 사용 가능
- **PP (Polypropylene)**
 - 0~90°C까지 사용
 - 경량 이동식 수거기에 적합

◆ 비허용 재질

- PVC·고무 라이닝 → 고온에서 용출 물질 발생
 - 알루미늄 → FFA(산성 기름)와 반응
 - 도장 강판 → 열·부식에 취약
-

■ (2) 용기 구조 형식

✓ 1) IBC 탱크 (1000 L) — 업계 표준

- 내부 HDPE 블로우 몰딩 탱크
- 외부 아연도강 프레임
- 상부 주입구 + 하부 볼밸브
- SAF 공장 대부분이 **IBC 1,000L** 단위로 입고 처리

✓ 2) 드럼통 (200 L)

- HDPE / 스틸 드럼
- 스크루 캡(2")
- 소형 배치 수거에서 활용

✓ 3) 소형 수거 장비(냉장고 크기)의 내부 탱크

- 내장 50~120 L급
 - 재질: PP/HDPE 또는 SUS304
 - 연결 방식: 퀵커넥터(캅록 Type A/B/C)로 IBC로 옮겨 담는 방식
-

2. 압력(Pressure) 조건

폐식용유는 **압력 용기 운송 대상이 아님**

→ 기본적으로 **대기압(Atmospheric Pressure)** 조건에서 취급한다.

단, 몇 가지 제한 사항이 있다.

■ (1) 상압 운송이 원칙

- UCO는 이송 및 저장 시 압력용기 필요 없음
- IBC 및 드럼 모두 상압 설계
- 공장 진입 시 압력 검사 요구 x

■ (2) 제한 압력 (Safety Margin)

- 통상 **0~0.1 bar(절대압 기준 1.0~1.1 bar)** 범위
- 운송 중 기온 상승으로 인한 팽창 대비
- IBC는 0.2 bar까지 견디도록 설계되어 있음

■ (3) 압력 상승 방지 장치

- 벤트 캡(Vent Cap) 또는 압력 릴리프 기능 필요
 - 냉장고 크기 이동식 수거기에도 다음 요구:
 - 탱크 벨브형 압력 릴리프(± 0.05 bar)
 - 기름 가열 시 팽창 대비 필수
-

3. 온도(Temperature) 조건 규정

SAF 생산 공장은 폐식용유의 입고 온도와 운송 중 온도 조건을 여러 기준으로 맞추기 원한다.

■ (1) 운송 온도 범위

- 권장: 20-60°C
 - 허용: 5-70°C
 - 금지: 70°C 초과 (산화·열분해 위험)
 - SAF 전처리 공장에 들어오는 대부분의 UCO는 40-55°C로 예열된 상태가 가장 이상적이다.
-

■ (2) 온도 관리 이유

1. 점도 안정 → 펌프토출·계량 안정
 2. 고형물 침전 억제
 3. 탱크 배출 속도 향상
 4. SAF 전처리 공정의 포화/불포화유 혼합 효율 증가
 5. 수분/찌꺼기 상분리 속도 향상(중요!)
-

■ (3) 소형 수거 장비(냉장고 크기)의 요구 온도 규격

- 장비 내부 탱크 온도: 45-60°C 유지 권장
 - 출고 시점 최소 조건: > 35°C
 - 동절기 규정:
 - 외기 < 5°C에서는 히터 On
 - 배관열선 필수
-

■ (4) 운송차량(트럭) 수송 시 권고

- IBC는 단열 없이도 운송 가능하나
겨울철에는 20°C 이하 방치 금지
 - SAF 공장 도착 후 평균 40-60°C로 재가열하는 전처리 탱크가 존재
-

4. SAF 공장 요구 “불순물 규격”과의 연계

운송 용기 규격은 SAF 공정의 품질 기준과 직접 연계된다.

■ (1) SAF 공장이 요구하는 대표 규격 (ISCC/HEFA 업체 공통)

- 고형물: < 1 wt%
- 수분: < 0.5 wt% (전처리 단계에서 최종 0.05 wt% 이하)
- 금속 함량(Na, K 등): 사전에 최대한 낮도록 요청
- 클로로필/염분: 낮을수록 좋음 (촉매 독성 ↓)

→ 이 때문에 수거 장비 단계에서도 응고·점도·수분 분리·온도 관리가 중요해진다.

5. SAF 공장 입고 절차에 맞춘 소형 수거 장비 기준 정리

냉장고 크기의 이동식 폐유 수거기가 SAF 공장에 데이터를 전달하거나 IBC로 넘길 때 맞춰야 할 핵심 규격은 다음과 같다.

✓ (1) 용기 조건

- 내부 탱크는 PP/HDPE/SUS304
- IBC/드럼으로 전환 가능해야 함
- 배출구는 Camlock 1" 또는 1.5" 규격 추천

✓ (2) 압력 조건

- 상압
- ±0.05 bar 릴리프 필요

✓ (3) 온도 조건

- 탱크 내부 45–60°C 유지
- 출고 시 35°C 이상
- 배관 열선 적용

✓ (4) 불순물 조건

- 고형물 5mm 이하 1차 스크린
- 수분 침전 분리된 상태 권장
- 상온에서 응고된 덩어리 없는 상태 유지

✓ (5) 기타 운영 데이터

SAF 공장은 입고 시 다음 데이터를 요구하기도 한다.

- 수거일시
- 수거 장소
- 온도 기록
- 무게(kg) / 부피(L)

- 수분/불순물 추정값(선별 단계)
 - ISCC 인증 프로토콜 준수 여부
-

6. 소형 수거 장비 설계를 위한 최종 요약

냉장고 크기 이동식 폐식용유 수거기 → SAF 공장 인수 기준 맞춰야 하는 핵심 5가지

1. 용기
→ HDPE/PP/SUS304, Camlock 배출 규격
2. 압력
→ 상압, ± 0.05 bar 릴리프 필수
3. 온도
→ 45-60°C 유지 (점도 안정), 70°C 이상 금지
4. 불순물 수준
→ 고형물 제거 + 수분 침전 완료 가급적
5. 운송 호환성
→ IBC(1000L) 또는 200L 드럼으로 쉽게 이송할 수 있는 구조 필요