

SMO (Super Multi cross flow Oscillation) 기술

SMO Power Reactor™

- 다중 교차 흐름 + 나노캐비테이션 + 충격파
- 강한 미세혼합, 유화, 분산, 물질전달 향상
- 반응 촉진, 에너지 절감, 품질 향상
- 연속식 대용량 적용 가능

적용 효과 (바이오디젤)

- ✓ 빠른 반응 속도, 높은 전환율
- ✓ 메탄올/촉매 사용량 절감
- ✓ 글리세린 분리 용이
- ✓ 세척 효율 향상, 품질(색도/산가/안정도) 개선
- ✓ 규격(EN14214, D6751) 충족 용이

장점

- ✓ 저급 원료도 고품질 연료로 전환 가능
- ✓ 반응 효율 및 수율 향상
- ✓ 에너지 및 운전비 절감
- ✓ 설비 컴팩트화 및 연속 운전 적합
- ✓ 제품 품질 및 규격(HEFA/Biodiesel) 충족 용이
- ✓ 지속가능성 및 경제성 향상



주요 산출물

SAF (HEFA-SPK)

- ASTM D7566 (HEFA-SPK) 충족
- 저탄소 항공유
- 기존 항공유와 혼합 사용 가능 (최대 100%)

바이오디젤 (FAME)

- EN14214 / ASTM D6751 충족
- 경유 대체 연료
- B100 또는 B20 등 혼합 사용

※ SMO 적용 위치 : 원료 품질 개선, 유화, 반응 가속, 후처리 등 핵심 공정에 적용하여 저급 동물지방으로도 고품질 SAF 및 바이오디젤 생산 가능.

I. 저급 우지(동물지방) 사용, SAF(HEFA) 및 바이오디젤 통합 제조공정 PFD

※ SMO는 전처리 / 반응촉진 / 품질향상 / 정제 보조 공정에 적용

※ SMO는 저압(≤ 10 bar), 저온($\leq 100^{\circ}\text{C}$)에서 운전되며, 나노캐비테이션(나노기포 밀도 $\sim 3 \times 10^8$ /ml, 크기 ~ 140 nm)을 통해 전처리 및 반응성 향상을 지원합니다.

※ HEFA 반응(수소화)은 고온·고압 조건($300 \sim 400^{\circ}\text{C}$, $30 \sim 80$ bar)에서 별도 수행됩니다.

SMO operates under low-pressure (≤ 10 bar) and low-temperature ($\leq 100^{\circ}\text{C}$) conditions and enhances pretreatment and reaction efficiency through nanocavitation (approximately 3×10^8 bubbles/mL, average bubble diameter ~ 140 nm).

HEFA hydrogenation reactions are conducted separately under high-temperature and high-pressure conditions ($300 \sim 400^{\circ}\text{C}$, $30 \sim 80$ bar).

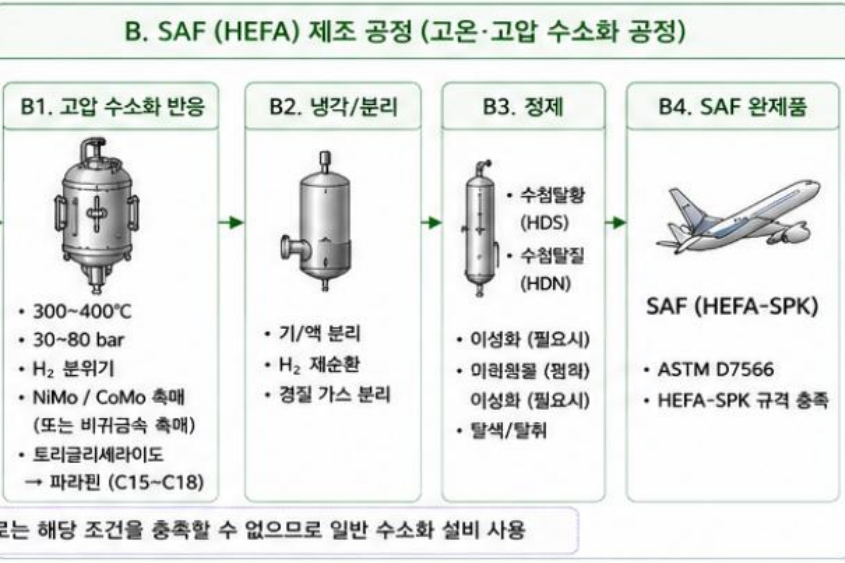
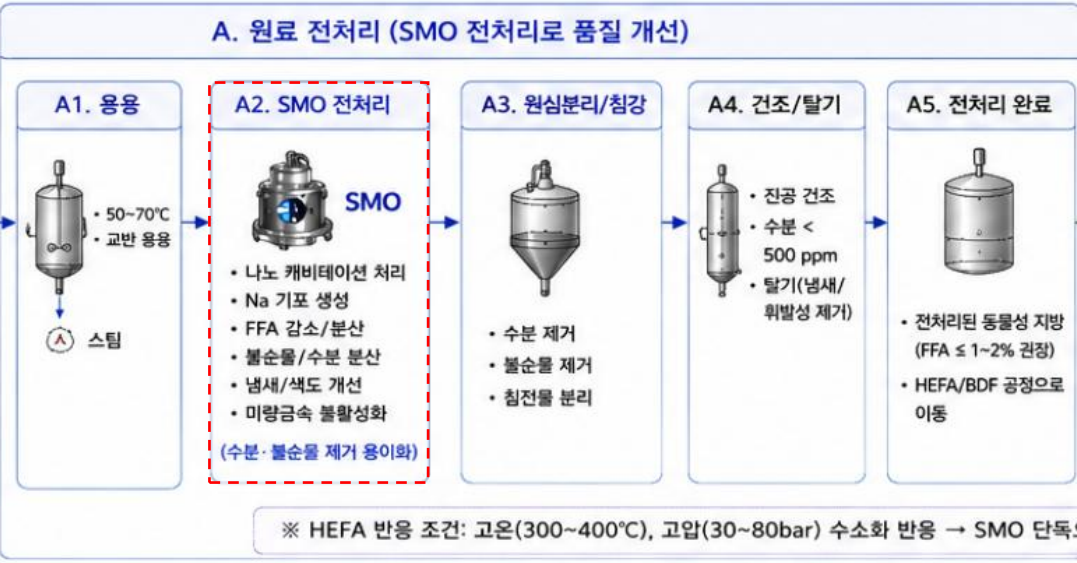
원료
(동물성 지방)



- 우지 (Beef Tallow)
- 돈지 (Lard)
- 폐지방(식용유 폐유 포함)
- 기타 동물성 지방

저급 원료 특성

- 높은 FFA (자유지방산)
- 수분/불순물/염분 함유
- 산화/냄새/색도
- 미량금속, 인, 황 등



SMO 적용 효과 (바이오디젤 공정)

✓ 빠른 반응 속도	✓ 높은 전환율	✓ 메탄올/촉매 사용량 절감	✓ 글리세린 분리 용이
✓ 세척 효율 향상	✓ 규격(오르 향상, 품질(색도/산가/안정도) 개선		✓ 규격(EN14214, D6751) 충족 용이

D. 부산물 처리 및 활용

D1. 글리세린 (바이오디젤 부산물)

- 정제 후 판매 (의약품, 화장품, 공업용)
- 또는 바이오가스 원료로 활용

D2. 폐수/폐촉매/폐자원

- 폐수 처리 (SMO 전처리로 부하 감소)
- 폐촉매 재생/재활용
- 폐자원 재활용 (비료, 사료 등)

SMO (Super Multi cross flow Oscillation) 적용 범위 및 역할



전처리 (원료 품질 개선)	반응 유화/촉진 (바이오디젤)	후처리/품질 향상 (바이오디젤)
- 나노 캐비테이션 생성 (약 5000K 순간 온도) - 안정화 나노기포: ml당 약 3억개, 크기 140nm - 다중교차 충격파로 강력한 물리화학적 효과	- FFA 감소 / 분산 - 수분/불순물 분산 - 냄새/색도 개선 - 후속 공정 효율 향상	- 메탄올-지방 상분산 - 촉매 반응 촉진 - 반응 시간 단축 - 전환율 향상

주요 제품 규격

SAF (HEFA-SPK)	바이오디젤 (FAME)
- ASTM D7566 - 제트연료 혼합 허용 - 기존 항공유와 100% 혼합 가능	- EN14214 - ASTM D6751 - 경유와 혼합 사용 가능(B20 등)

범례 (흐름)

- SAF(HEFA) 공정 흐름
- 바이오디젤 공정 흐름
- SMO 적용 흐름
- 부산물 흐름
- 기타 흐름

※ SMO는 HEFA 수소화 반응 조건(300~400°C, 30~80bar)을 제공하지 못하므로 HEFA 반응은 일반 고온·고압 수소화 설비를 사용합니다.
SMO는 전처리, 반응 촉진, 후처리, 품질 향상 공정에 적용하여 전체 공정 효율 및 제품 품질을 극대화합니다.

→ **공정번호 C2와 C4:** 사실상 같은 유체계통에 있음

SMO는 C2 역할 및 C4 역할을 동시에 처리하는 것이 아니라 같은 장비를 공정상 두 번 통과시키는 방식

옵션 1. SMO 1대 사용 (권장)

공정 흐름:

- 원료용융
- SMO (C2)
- 메탄올 + NaOH 투입
- 반응조
- SMO 재순환 (C4)
- 분리조

이 경우 SMO는 하나 (1대)이며,

* 초기에는 원료 전처리(C2)

* 촉매 투입 후에는 반응촉진(C4) 역할 수행

장점

- 설비비 절감
- 배관 단순화
- 유지보수 용이
- 에너지 절감

특히 SMO는 10 bar / 최대 100°C

나노기포 3×10^8 bubbles/mL, 평균 140 nm/bubble 수준이므로,
전이에스테르화 반응의 물질전달 향상이 주된 역할임
따라서 같은 장비를 계속 순환시키는 것이 경제적임

옵션 2. SMO 2대 사용

SMO-1: 원료 전처리 전용

- FFA 저감 보조
- 수분 분산
- 미세고형물 제거 보조
- 원료 균질화

SMO-2: 반응촉진 전용

- 메탄올-우지 유화
- 계면적 증가
- 반응속도 향상

장점

- 대규모 플랜트
- 24시간 연속운전
- 50~100톤/일 이상에서 처리량 증가

단점

- 투자비 증가
- 배관 복잡

II. 저급 우지(동물지방) 사용, SAF 제조 전체공정 PFD

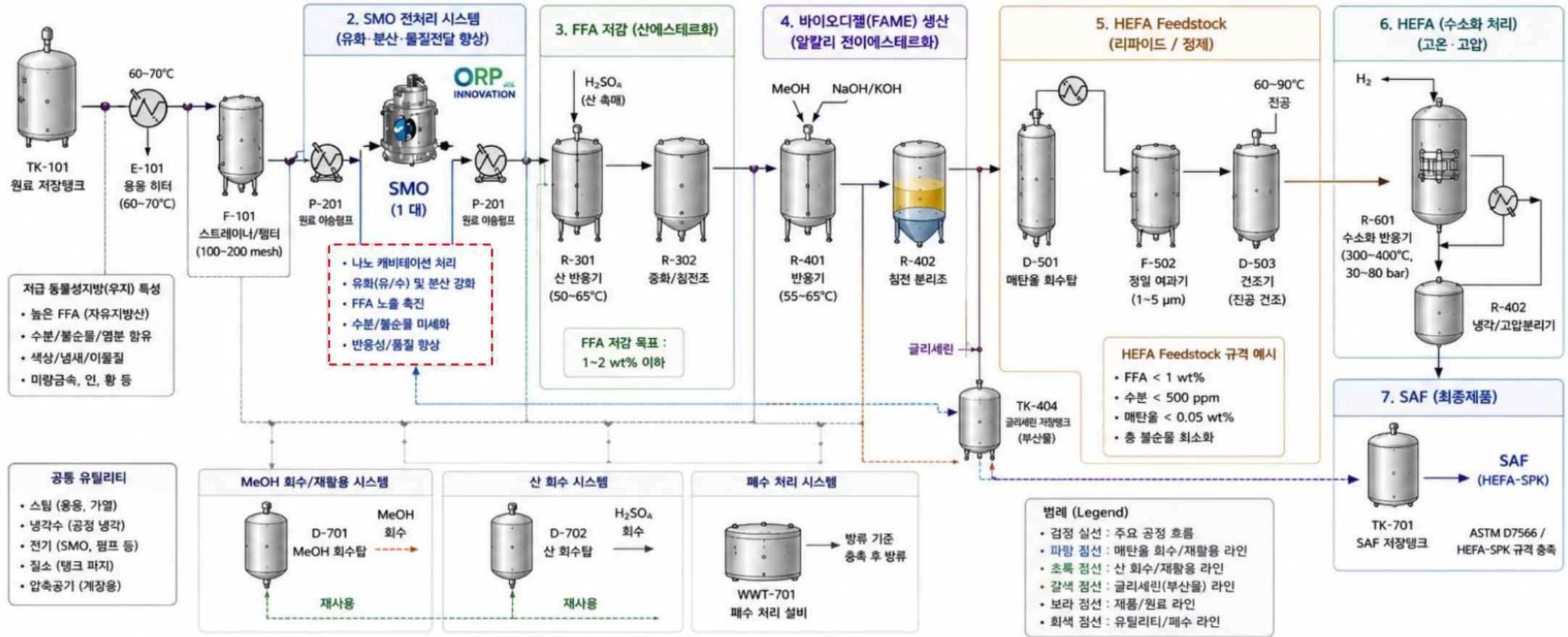
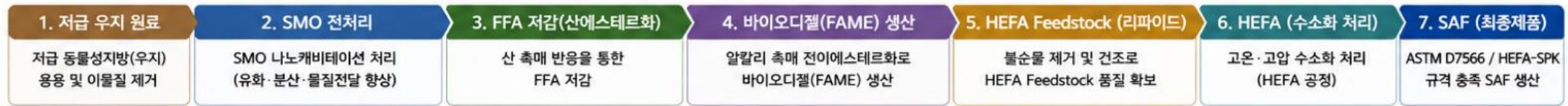
※ 저급 우지 → SMO 전처리 → FFA 저감 → 바이오디젤(FAME) → HEFA Feedstock → SAF

※ SMO는 저압(≤ 10 bar), 저온($\leq 100^{\circ}\text{C}$)에서 운전되며, 나노캐비테이션(나노기포 밀도 $\sim 3 \times 10^8$ /ml, 크기 ~ 140 nm)을 통해 전처리 및 반응성 향상을 지원합니다.

※ HEFA 반응(수소화)은 고온·고압 조건($300 \sim 400^{\circ}\text{C}$, $30 \sim 80$ bar)에서 별도 수행됩니다.

SMO operates under low-pressure (≤ 10 bar) and low-temperature ($\leq 100^{\circ}\text{C}$) conditions and enhances pretreatment and reaction efficiency through nanocavitation (approximately 3×10^8 bubbles/mL, average bubble diameter ~ 140 nm).

HEFA hydrogenation reactions are conducted separately under high-temperature and high-pressure conditions ($300 \sim 400^{\circ}\text{C}$, $30 \sim 80$ bar).



SMO 적용 효과 (전처리 단계)	주요 운전 조건				주요 제품/부산물		품질 기준 (예시)		적용 규격
• 나노 캐비테이션에 의한 강력한 유화·분산 • FFA 입자 표면 노출 증가 → 산 반응성 향상 • 수분/불순물 미세화 → 제거 용이 • 후단 반응(에스테르화, 전이에스테르화) 효율 향상 • 품질 향상 및 불순물/바이오오염 개선	공정	온도	압력	비고	구분	내용	항목	기준	• SAF : ASTM D7566 / HEFA-SPK • Biodiesel : EN14214 / ASTM D6751 • 친환경/지속가능성 인증 대응 가능 (ISCC, RSB 등)
	SMO 전처리	~70℃	~10 bar	상온~저압 (SMO)	SAF(HEFA-SPK)	지속가능 항공유 (ASTM D7566)	FFA (Feedstock)	< 1 wt%	
	산 에스테르화	50~65℃	상압	H ₂ SO ₄ 촉매	HEFA Feedstock	수소화 전 원료 (재활순물, 저수분)	수분 (Feedstock)	< 500 ppm	
	전이에스테르화	55~65℃	상압	MeOH, NaOH/KOH	Biodiesel (FAME)	EN14214 / ASTM D6751 규격	황 함량 (SAF)	< 15 ppm	
	HEFA 수소화	300~400℃	30~80 bar	고압 수소화	글리세린	순도 80~90% (공업용)	세탄가 (SAF)	≥ 60	
							연소열 (SAF)	≥ 42.8 MJ/kg	

※ SMO는 저압(≤10 bar), 저온(≤100°C)에서 운전되며, 나노캐비테이션(나노기포 밀도 ~3억/ml, 크기 ~140 nm)을 통해 전처리 및 반응성 향상을 지원합니다.
HEFA 반응(수소화)은 고온·고압 조건(300~400°C, 30~80 bar)에서 별도 수행됩니다.

III. 고급 우지(동물성지방) 사용, SAF 제조 공정 PFD

전세계 SAF 시장은 급속히 성장하고 있으며 현재 가장 상용화된 SAF생산기술은 아래의 HEFA(HydroprocessedEsters and Fatty Acids) 공정이라 할 수 있으며, 일반적인 공정도는 다음페이지를 참고할 수 있음.

HEFA 공정의 핵심 원료

- 폐식용유(UCO)
- 우지(Tallow)
- 돈지(Lard)
- 계유(Poultry Fat)
- 어유(Fish Oil)

그러나 실제로는 동물성 지방이 아래 문제를 가지고 있음.

주요 문제점

- 높은 수분 함량
- 단백질 잔사
- 인(Phosphorus)
- 칼슘(Ca)
- 마그네슘(Mg)
- 황(S)
- 높은 유리지방산(FFA)
- 악취
- 고융점 지방

이들 불순물은 HEFA 측매를 급격히 비활성화시키므로 정제비용이 매우 높다.

기존 정제 공정의 한계

일반적인 SAF 원료 정제

원료지방
↓
가열
↓
산처리
↓
원심분리
↓
활성백토
↓
탈취
↓
여과
↓
HEFA

문제점

- 화학약품 다량 사용
- 폐백토 발생
- 고온운전
- 에너지 소비
- 높은 OPEX

해법

SMO 적용 개념

공정 개요

동물성 지방
↓
응응조 (60°C)
↓
SMO Nano-Cavitation
↓
불순물 응집
↓
고속 원심분리
↓
SMO 활성정제
↓
여과
↓
SAF Feedstock

