

(기술·연구·표준) 동향

SAF 최신 기술 동향



제 1장	개요	3
	항공분야 온실가스 배출 현황 및 전망	3
	바이오항공유 개발 필요성	3
제 2장	바이오항공유 기술동향	4
	국제적으로 인증된 SAF 기술	4
	인증대기중인 SAF 기술	6
	차세대 SAF 생산 기술	7
제 3장	바이오항공유 산업동향	7
	관련 산업현황	7
제 4장	바이오항공유 정책동향	9
	국제민간항공기구(ICAO) 동향	9
	미국의 SAF 정책 동향	10
	유럽의 SAF 정책 동향	11
	일본의 SAF 정책 동향	13
제 5장	R&D 투자동향	14
	SAF 확대를 위한 경쟁적인 R&D 진행	14
제 6장	참고문헌	16

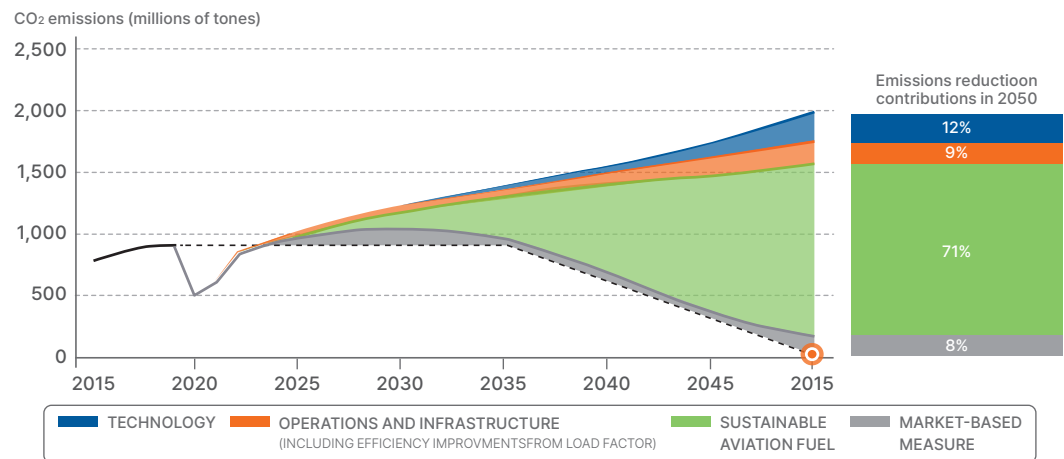
제 1장 개요

항공분야 온실가스 배출 현황 및 전망

- 2019년 전세계 CO_{2,eq} 배출량은 497.6억톤 (화석연료 및 토지용도 변경 포함)이며, 이 중 화석연료 사용에 의한 CO_{2,eq} 배출량은 371억톤에 해당됨. 이 중 항공 및 배송 분야 CO_{2,eq} 배출량은 13.1억톤이며 직접 화석연료 활용에 따른 항공분야 CO₂ 배출량은 9.1억톤에 해당하여 항공분야 온실가스 배출량은 전세계 배출량의 약 2.6%에 해당함.
- 성층권에서 높은 직접 온실가스 배출은 전체 CO_{2,eq} 배출 기여도를 증가시켜, 일반적으로 전체 CO_{2,eq} 발생량의 6%의 수치로 인용됨 (비행운, NO_x 및 기타 연소 부산물 포함).
- 국내 항공유 소비량은 약 2015년 약 34,400천 배럴에서 2018년 39,900천 배럴로 증가하였으나, 코로나19로 인해 2020년 21,700천 배럴로 감소하였고, 2022년 다시 25,300천 배럴로 증가함. ¹⁾
- 국제선 탄소배출량은 2016년 1.9천만톤 CO₂에서 2019년 2.2천만톤 CO₂로 약 17% 증가하여, 수송 부문 전체 배출량의 약 16%에 해당됨. 특히 우리나라는 국제선:국내선 = 94:6으로 국제선의 비중이 월등히 높음.
- 국제선 탄소배출량은 2025년 2.3천만톤 CO₂, 2050년 4,300만톤 CO₂로 증가 예상 증가할 것으로 예상하여, 2019년 국제항공탄소상쇄감축제도(Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA) 기준치를 넘어설 것으로 전망됨. 이에 따라 국적항공사의 의무탄소 상쇄량은 2025년 61만 톤 CO₂에서 2050년 17백만톤 CO₂로 증가될 것으로 전망됨.

바이오항공유 개발 필요성

- 장거리 비행의 경우 상당한 양의 연료를 운반해야 하고 항공유로 사용하는 탄화수소는 다른 에너지원에 비해 매우 고에너지 화합물이기 때문에 항공분야는 다른 분야에 비해 전기화·수소화로 탈탄소화가 매우 어려움.
- 따라서 특히 장거리 여행에 있어서 저탄소 연료(예: 지속 가능한 원료로 만든 제트 연료)인 바이오항공유 또는 지속가능한 항공유 (Sustainable Aviation Fuel, SAF) 활용이 필수적임.
- Net Zero 2050 달성을 위해서 SAF의 활용이 전체 항공분야 온실가스 감축수단 중 70% 이상 차지할 것으로 예상함.



항공분야 탈탄소화를 위한 공격적인 SAF 배치 시나리오²⁾

제 2장 바이오항공유 기술동향

✎ 국제적으로 인증된 SAF 기술

- 현재까지 ASTM D7566에서 인증된 바이오항공유 생산기술은 총 8가지가 있으며, ASTM D1655에서 부록으로 수록된 바이오항공유 기술은 3가지가 있음.³⁾

표 ASTM 인증된 SAF 생산기술

ASTM reference	제조방법	인증 년도	원료	혼합 상한	상용화 회사
ASTM D7566 Annex 1	FT-SPK (Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene)	2009	석탄, 천연가스, 바이오매스	50%	Fulcrum Bioenergy, Red Rock Biofuels, SG Preston, Kaidi, Sasol, Shell, Syntroleum
ASTM D7566 Annex 2	HEFA-SPK (Synthesized paraffinic kerosene from hydroprocessed esters and fatty acids)	2011	식물성오일, 동물성지방, 폐기름	50%	World Energy, Honeywell UOP, Neste Oil, Dynamic Fuels, EERC
ASTM D7566 Annex 3	HFS-SIP (Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars)	2014	당분 생성용 바이오매스	10%	Amyris, Total
ASTM D7566 Annex 4	FT-SKA (Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources)	2015	석탄, 천연가스, 바이오매스	50%	Sasol

ASTM reference	제조방법	인증 년도	원료	혼합 상한	상용화 회사
ASTM D7566 Annex 5	ATJ-SPK (Alcohol-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene)	2016	바이오 매스로부터 얻은 에탄올, 이소부탄올	50%	Gevo, Cobalt, Honeywell UOP, Lanzatech, Swedish Biofuels, Byogy
ASTM D7566 Annex 6	CHJ (Catalytic hydrothermolysis jet fuel)	2020	트리글리세리드	50%	Applied Research Associates (ARA)
ASTM D7566 Annex 7	HC-HEFA-SPK (Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon-hydroprocessed esters and fatty acids)	2020	해조류	10%	IHI Corporation
ASTM D7566 Annex 8	ATJ-SKA (Alcohol-to-Jet Synthetic Kerosene with Aromatics)	2023	당	-	Swedish Biofuels
ASTM D1655 Annex A1	Co-processed HEFA (co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery)	2018	FOG(지방, 오일, 그리스)와 석유의 공동처리	5%	
ASTM D1655 Annex A1	Co-processed FT (co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery)	2020	Fischer-Tropsch 탄수화물과 석유의 공동처리	5%	Fulcrum
ASTM D1655 Annex A1	Co-processed biomass (co-hydroprocessing of biomass)	2023	바이오매스 유래 원료와 석유의 공동처리	5%	

- **ASTM D7566 Annex 1, FT-SPK(피셔-트롭스 수소처리 합성 파라핀 등유):** 바이오매스, 석탄, 천연가스 등을 원료로 활용 하여 합성가스($\text{CO} + \text{H}_2$)를 생산한 후에 Fischer-Tropsch Synthesis (FTS) 반응을 통해 파라핀(n-paraffin)을 제조하는 공정. 기존 석유계 항공유에 50%까지 혼합하여 사용 가능.
- **ASTM D7566 Annex 2, HEFA-SPK(수소처리된 에스테르와 지방산으로부터 합성된 파라핀 등유):** 식물성 기름, 폐유, 동물성 지방에서 추출한 지방산 또는 지방산 에스테르를 원료로 하여 수소 처리, 수소화 분해 및 이성화 반응으로 항공유를 제조하는 공정. 분류와 같은 고전적인 정제 공정에서 후속 처리되기 전에 수소 처리를 통해 산소 및 기타 원치 않는 헤테로원자 (S, N 등)를 제거. 기존 석유계 항공유에 최대 50%까지 혼합하여 사용 가능.
- **ASTM D7566 Annex 3, HFS-SIP(수소처리된 발효당으로부터 합성된 이소파라핀):** 당질계 및 목질계 바이오매스를 원료로 가수분해 공정으로 생산된 당으로부터 변형된 효모를 사용하여 발효 및 수소화 처리를 거쳐 이소파라핀(iso-paraffin)을 합성함. 기존 석유계 항공유에 최대 10%까지 혼합될 수 있음.
- **ASTM D7566 Annex 4, FT-SKA(비석유 공급원의 경질 방향족 화합물을 알킬화하여 파생된 방향족 화합물로 합성된 등유):** 바이오매스, 석탄, 바이오매스, 천연가스 등 비석유 공급원에서 경질 방향족의 알킬화에 의해 벤젠으로 더욱 강화된 SPK를 합성하며 최대 50%까지 기존 석유계 항공

유에 혼합될 수 있음. SAF에 필요한 최소 25% 방향족 범위를 쉽게 충족시키는 방향족 함량으로 인해 유용한 혼합원료임.

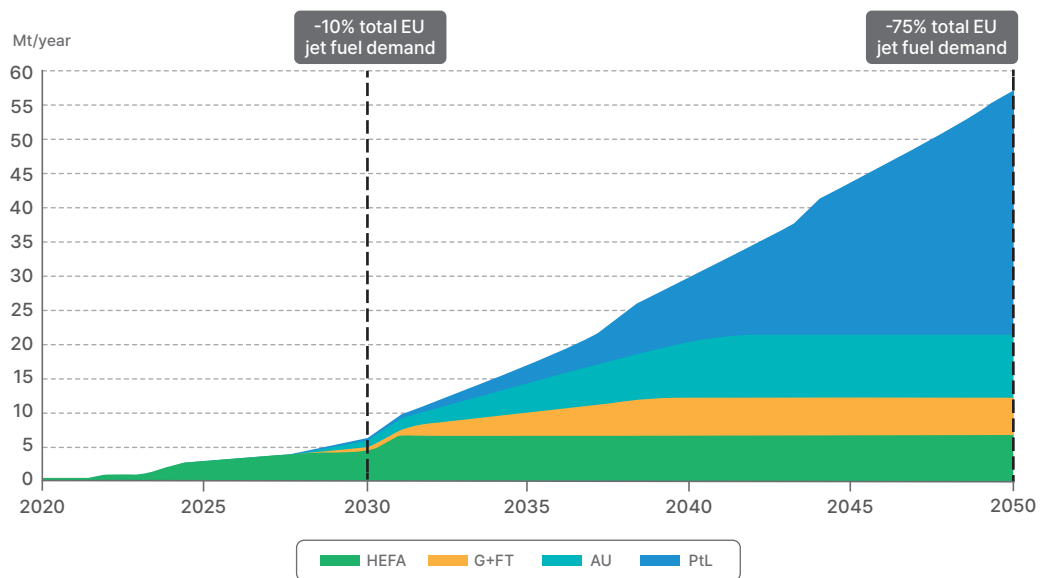
- **ASTM D7566 Annex 5, ATJ-SPK(알코올-제트(Alcohol-to-Jet(ATJ)) 합성 파라핀 등유):** 전분·설탕(옥수수, 사탕수수, 사탕수수, 사탕무, 덩이줄기) 또는 발효된 당을 원료에서 추출한 알코올을 탈수 및 올리고머화 과정을 거쳐 SAF를 생산. 기존 석유계 항공유에 최대 50%까지 혼합될 수 있음.
- **ASTM D7566 Annex 6, CHJ(촉매 수열분해 제트 연료):** 폐유 처리에서 파생된 깨끗한 유리 지방산(free fatty acid, FFA) 또는 트리글리세라이드를 원료로 촉매 열수분해 장치에서 고압 및 고온에서 반응하여 생성된 화학 물질 혼합물에 후속으로 수소 처리, 수소화 분해, 이성화로 SAF를 제조함. 기존 석유계 항공유에 최대 50%까지 혼합될 수 있음.
- **ASTM D7566 Annex 7, HC-HEFA-SPK(탄화수소 수소처리 에스테르와 지방산으로부터 합성된 파라핀 등유):** 미세조류에서 추출한 유지를 원료로 활용하여 촉매 수소 처리, 수소화 분해, 이성화로 SAF를 제조함. 기존 석유계 항공유에 최대 10%까지 혼합될 수 있음.
- **ASTM D7566 Annex 8, ATJ-SKA(방향족을 함유한 알코올-제트 합성 등유):** 당류 및 리그노셀룰로오스의 가수 분해를 통해 생성된 중간생성물인 알코올의 탈수, 올리고머화등을 통해 방향족 합성을 포함하는 등유를 합성하는 기술임. 기존 석유계 항공유에 최대 50%까지 혼합될 수 있음.
- **ASTM D1655 Annex 1, Co-processed HEFA(기존 석유 정제공정에서 에스테르와 지방산의 공동 수소화 처리):** 기존의 정유 공장의 중간 증류액과 FOG(지방, 오일, 그리스) 처리를 기반으로 하여 SAF를 생산하는 기술. 기존 석유계 항공유에 최대 5%까지 혼합 가능.
- **ASTM D1655 Annex 1, Co-processed FT(기존 석유 정제소에서 Fischer-Tropsch 탄화수소의 공동 수소처리):** 기존의 정유 공장의 중간 증류액과 FT 바이오 원유 처리를 기반으로 하여 SAF를 생산하는 기술. 기존 석유계 항공유에 최대 5%까지 혼합 가능.
- **ASTM D1655 Annex 1, Co-processed biomass(기존 석유 정제소에서 바이오매스 유래 원료와 공동 수소처리):** 기존의 정유 공장의 중간 증류액과 바이오매스 유래 원료 처리를 기반으로 하여 SAF를 생산하는 기술. 기존 석유계 항공유에 최대 5%까지 혼합 가능.

인증대기중인 SAF 기술

- **HDO-SK/HDO-SAK:** 수소탈산소 합성등유 (Hydrodeoxygenation Synthetic Kerosene)/수소탈산소화 합성 방향족 등유(Hydrodeoxygenation Synthetic Aromatic Kerosene)공정은 Virent社에서 당류계 및 셀룰로오스를 원료로 수소화 탈수소화(HDO)를 거쳐 등유 및 방향족 등유 합성하는 기술임. 현재 HDO-SK는 ASTM 인증 비활성화 단계에 있으며, HDO-SAK는 2단계 ASTM 테스트중임.
- **HFP-HEFA-SK:** 고동결점 수소처리 에스테르 및 지방산 합성 등유(High Freeze Point Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Kerosene) 공정은 Boeing社에서 개발중인 기술로 재생 가능한 지방, 오일, 및 그리스 (FOG)를 원료로 고빙점 수소처리를 거쳐 등유를 합성함. 현재 ASTM 1단계 OEM 검토 단계임.
- **IH2:** 통합된 가수열분해 및 수소전환(Integrated Hydropyrolysis and Hydroconversion) 공정은 Shell社에서 개발중인 기술로 다양한 바이오매스를 원료로 통합된 수열분해 및 수소화 전환을 거쳐 SAF를 합성하는 기술임. 현재 ASTM 1단계 OEM 검토 단계임.

차세대 SAF 생산 기술

- **PtL(Power-to-Liquid)**: 재생 가능한 에너지를 활용한 수전해 등을 통해 얻어진 그린수소(수전해 등)와 이산화탄소 등의 원료를 이용하여 액체 탄화수소 연료를 얻는 공정. 석탄이나 가스와 같은 화석연료를 연소할 때 발생하는 산업 폐가스 활용 및 공기중 이산화탄소를 직접 활용할 수 있음.
- 단기적으로는 기존 유지를 원료로 이용하는 HEPA공정을 합성되는 SAF가 주요 기술로 인식될 것이나, 기존 화석원료 유래 항공유를 전량 대체하기 위한 바이오매스 자원이 부족한 상황을 고려할 때 향후 PtL로 합성되는 SAF가 주요 기술로 각광받을 예상됨.

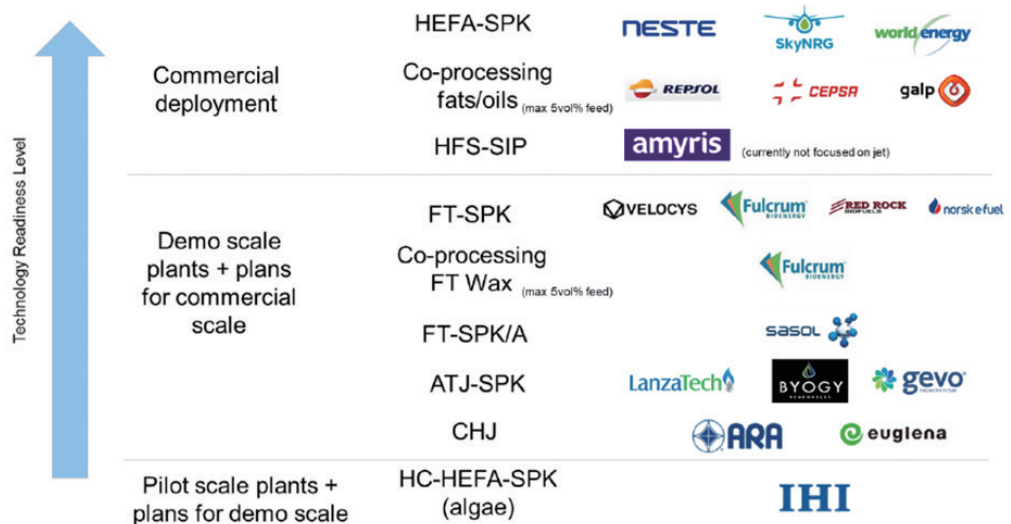
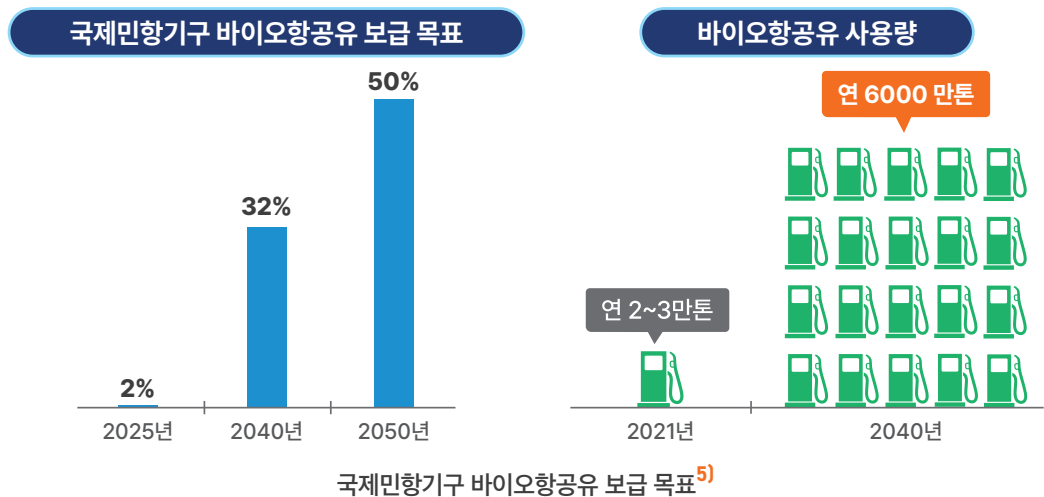


향후 기술 경로별 SAF 산출량⁴⁾

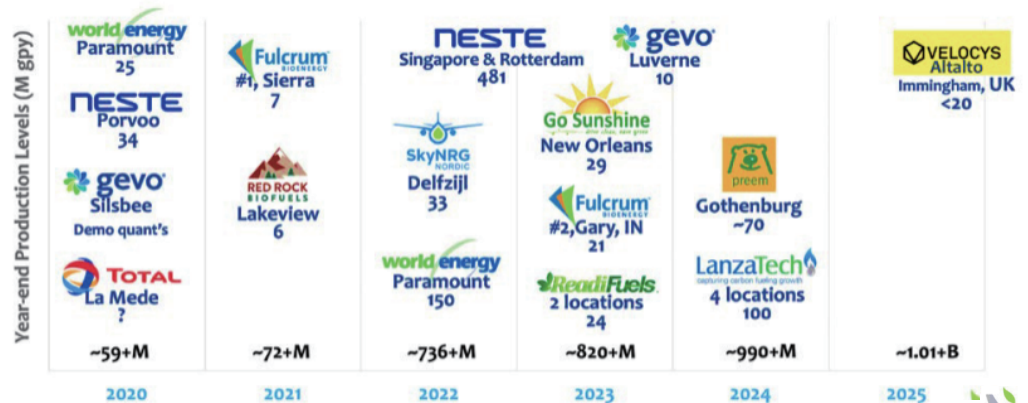
제 3장 바이오항공유 산업동향

관련 산업현황

- 항공 산업은 2011년부터 SAF를 사용하고 있으며 현재 450,000편 이상의 상업용 항공편이 SAF를 사용하여 운항하였고, 현재까지 약 40개 이상의 오프테이크 계약이 체결됨. 이에 따라 SAF 생산량은 2030년까지 급속한 성장이 예상됨.
- SAF 생산 산업은 처음에는 성장이 더뎠지만, 신규 및 기존 기업이 대량의 SAF를 생산하기 시작한 2019년부터 생산량이 많이 증가하였고 더 많은 기술과 기업이 시장에 진입함에 따라 규모가 기하급수적으로 성장할 것으로 예상됨.
- SAF 생산량은 크게 증가했지만 기존 화석원료 유래 항공유를 의미있는 볼륨으로 대체하기 위한 상업적 물량은 여전히 적음(현재 항공 부문에서 사용되는 연료의 1% 미만). 상업적 SAF 생산은 2021년 9개의 공항에 일상적으로 공급하는 두 개의 공장(Neste 및 World Energy)으로 제한됨.
- 유럽은 2021년 세계 시장의 56.2%를 차지하는 현저한 점유율을 차지하기 때문에 엄격한 에너지 규정의 시행을 통해 유럽의 항공 부문에서 SAF의 채택이 증가하고 있음.



세계 SAF 생산 기업 현황



* Not comprehensive; CAAFI estimates (based on technology used & public reports) where production slates are not specified

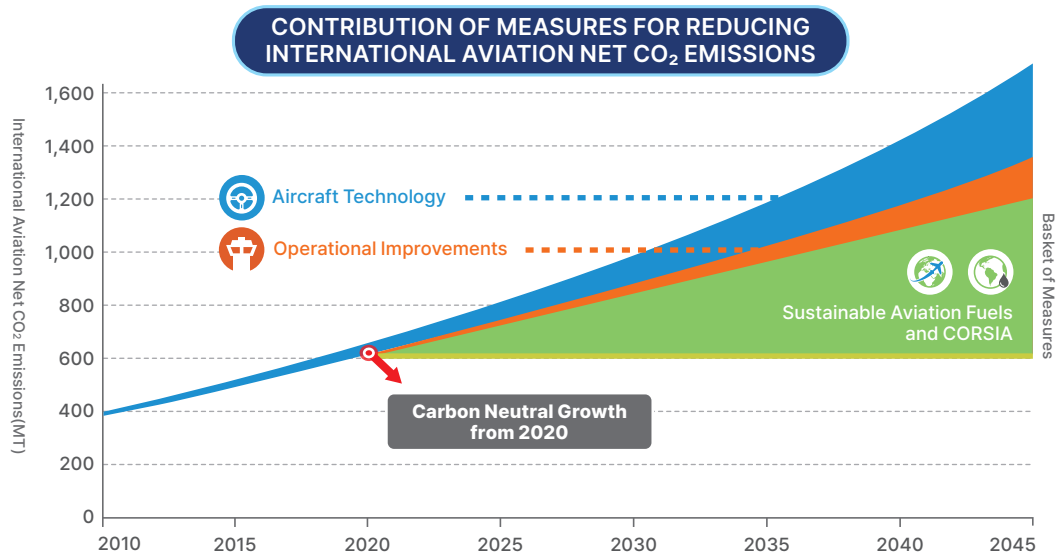
* 13 August 2020

전세계 SAF 생산 예측⁶⁾

제 4장 바이오항공유 정책동향

✎ 국제민간항공기구(ICAO) 동향

- ICAO(International Civil Aviation Organization)의 온실가스 감축 목표와 이행 수단: ICAO는 제37차 총회(2010년)에서 국제항공부문의 온실가스 감축을 위해 2020년 이후부터는 탄소배출량을 증가시키지 않는다는 온실가스 감축목표(CNG2020, Carbon Neutral Growth from 2020)와 연비개선 매년 2% 달성이라는 목표를 선언함. 국제항공산업에서 발생하는 온실가스 배출량을 저감하기 위한 수단으로서 항공기 제작기술 및 운항 기술에는 한계가 있음을 인정하고 온실가스 감축목표 달성(CNG2020)하기 위한 수단으로서 연료 및 시장기반 조치를 활용함. ICAO의 제39차 총회(2016) 결의문 A39-3에 따라 ICAO 회원국의 항공사는 국제선 운항에 따른 온실가스 배출량에 대해 시장기반 조치로서 항공사의 온실가스 감축노력 및 초과분에 대해 상쇄하는 제도를 시행하고 있으며, 우리나라는 시범 및 자발적 이행기간 (2021년~)부터 참여를 선언함.

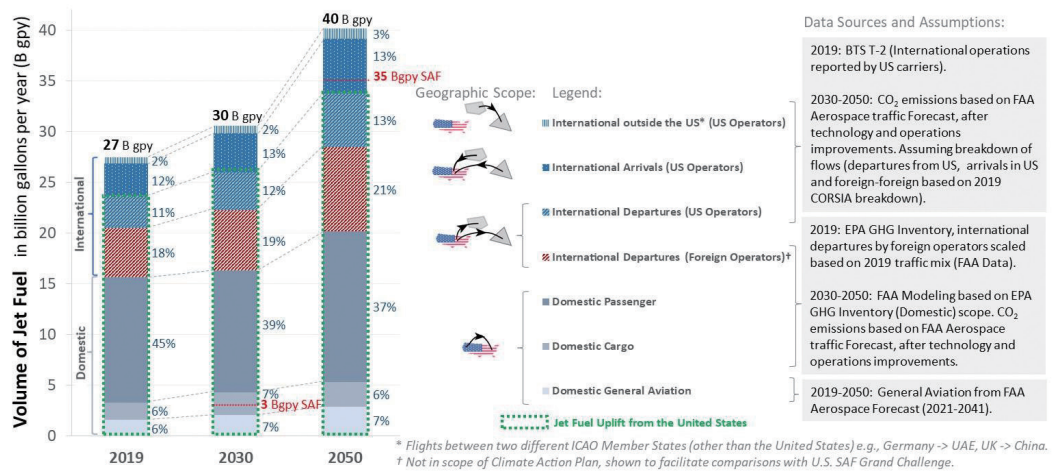


국제민간항공기구의 온실가스 감축목표(CNG2020)⁷⁾

- 국제항공탄소상쇄감축제도(CORISA, Carbon Offsetting & Reduction Scheme for International Aviation): CORSIA는 항공산업의 온실가스 감축 한계를 인정하고 타 분야에서 발생한 온실가스 감축 실적을 목표 달성에 활용하기 위해 설계된 국제항공 온실가스 감축을 위한 시장기반 제도임. 항공사는 자신의 탄소 배출량을 산정 및 검증하여 보고(monitoring, reporting and verification, MRV)하고 ICAO는 상쇄의무량을 국가에 통보하며, 국가는 항공사에게 상쇄의무량을 제시하는 메커니즘임. 이때, 항공사가 이행해야 하는 CORSIA 상쇄의무량은 기준배출량과 항공부문의 성장률을 반영하여 산정하고 항공사는 SAF 사용에 따른 온실가스 감축량을 제외한 나머지에 대해서 상쇄배출권 구매가 필요함.

✎ 미국의 SAF 정책 동향

- **SAF Grand Challenge (2021.09):** SAF에 대한 연방 정책의 가장 명확한 성명으로, 미국 에너지부(DOE, Department of Energy), 교통부(DOT, Department of Transportation) 및 농림부(USDA, United States Department of Agriculture)가 비용 절감, 지속 가능성 향상, SAF의 생산 및 사용 확대를 시도하는 정부 차원의 양해 각서(MOU)를 개시한 결과임. 기존 연료에 비해 수명 주기 온실 가스 배출량 최소 50% 감소를 목표로, 2030년까지 SAF 생산량 연간 최소 30억 갤런 이상 증가하여 항공연료 수요 10% SAF 대체, 2050년까지 항공 연료 수요(연간 350억 갤런)를 100% SAF 대체를 목표로 함.

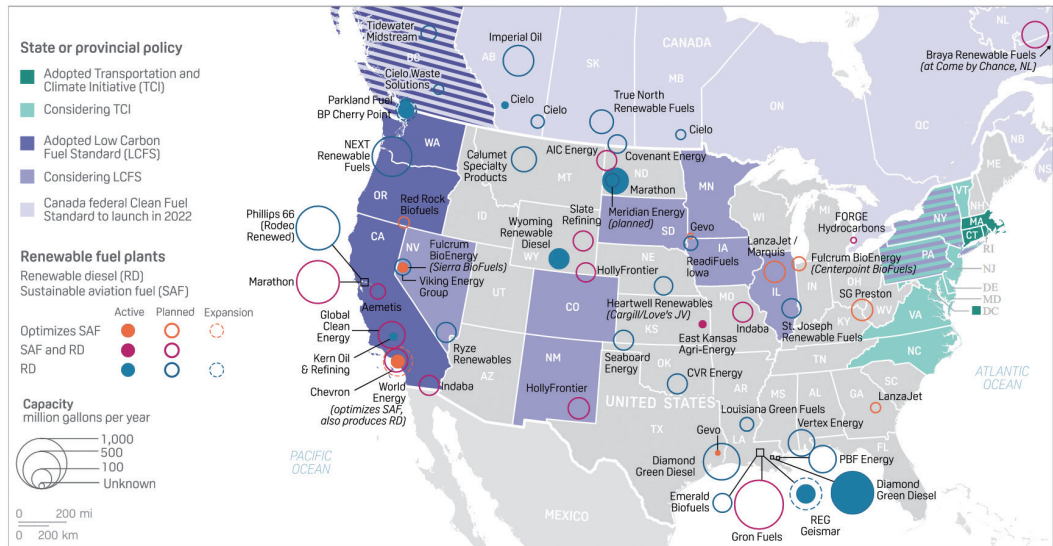


SAF Grand Challenge Roadmap 개요⁸⁾

- **Inflation Reduction Act (IRA):** 2023-2024 내 판매 또는 사용된 SAF가 바이오매스 기반에서 미국에서 생산되며, 미국 내 항공기 연료 탱크로 이송되고, 수명주기 배출량의 최소 50% 이상 감소 될 경우 갤런당 \$1.25 세금을 공제함. 갤런당 \$1.25 이상의 금액은 50% 이상의 GHG 감소를 기준으로 하며 1% 추가 감소마다 갤런당 \$0.01씩 증가하여 최대 갤런당 \$1.75 세금 공제가 가능함. IRA에서 SAF 세금 공제가 만료되는 2024년에 이어 2025년 새로운 청정연료 생산에 대한 세금 공제를 생성함. 해당 바이오매스를 이용하여 미국에서 생산되고 배출 계수가 50 kg CO₂e/MMBtu 이하인 SAF에 대해 갤런당 크레딧 기본 금액은 갤런당 \$0.35이며 임금 및 건설 요건이 충족될 경우 갤런당 \$1.75로 증가함.
- **지속 가능한 하늘법(U.S. Sustainable Skies Act):** 2021년 SAF 사용에 대한 인센티브를 강화하기 위해 지속 가능한 하늘법(Sustainable Skies Act) 도입함. 크레딧은 50% 이상의 수명 주기 GHG 절감 효과가 입증된 SAF를 공급하는 블렌더에 대해 갤런당 \$1.50부터 시작하며 갤런당 최대 \$2까지 더 높은 GHG 달성에 대한 보상을 제공함. 이 법안은 적절한 SAF가 환경 무결성을 보장하기 위한 보호 조항 중 하나로 ICAO 지속 가능성 기준 전체 활용을 요구함. 미국에서 SAF 생산 시설의 수를 확장하기 위해 5년 동안 10억 달러의 보조금 지원을 포함함.

- **범캘리포니아 지역의 LCFS(Low Carbon Fuel Standard):** 2018년 캘리포니아 대기 자원 위원회(CARB)는 대체 항공 연료를 “옵트인”으로 포함하여 SAF가 인출 없이 연료 풀에서 규정 준수 크레딧을 얻을 수 있도록 함. SAF는 별도의 프로그램을 선택하여 LCFS 필수 준수 의무에서 면제함. CARB에서 SAF가 2019년부터 LCFS 크레딧을 생성하도록 허용하였으며, 2030년까지 SAF 20% 이상 CARB에 할당된 특정 계획을 수립함. 이러한 인센티브는 연방 RFS 및 연방 BTC를 통한 인센티브와 함께 쌓을 수 있음.
- **RFS(Renewable Fuel Standard):** SAF 생산 활성화를 위해 항공 연료 생성 준수 의무 없이 규정 준수 단위를 생성 (“옵트인”방식)함. SAF가 적정 공급원료를 사용하여 수소 처리로 생산되거나 셀룰로오스로부터 생산되는 경우 RIN(Renewable Identification Numbers, 재생 식별 번호)을 생성하도록 허용함. 예를 들어 수소처리 방식의 경우 갤런당 1.6 RIN을 형성하고, 셀룰로오스를 활용할 경우 갤런당 1.7 RIN을 생성하도록 허용함. 이 접근 방식은 SAF가 재생 가능 디젤에 비교하여 더 경쟁력을 갖게 하고 의무 사용 책임 없이 SAF에 대한 친숙도를 높이는 데 활용함.

US REFINERS JUMP ON THE RENEWABLE FUEL BANDWAGON

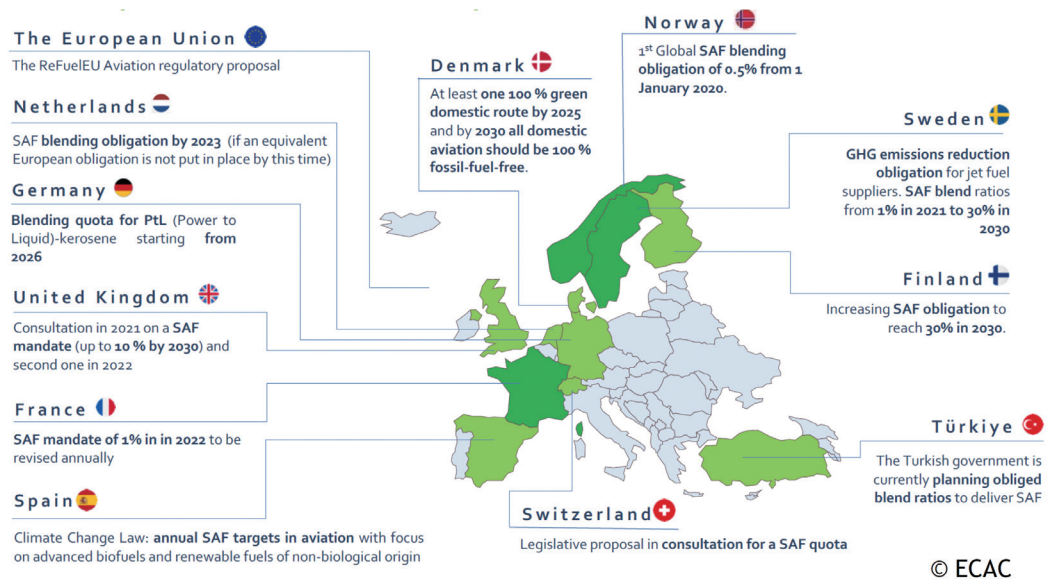


Source: S&P Global Platts; EIA

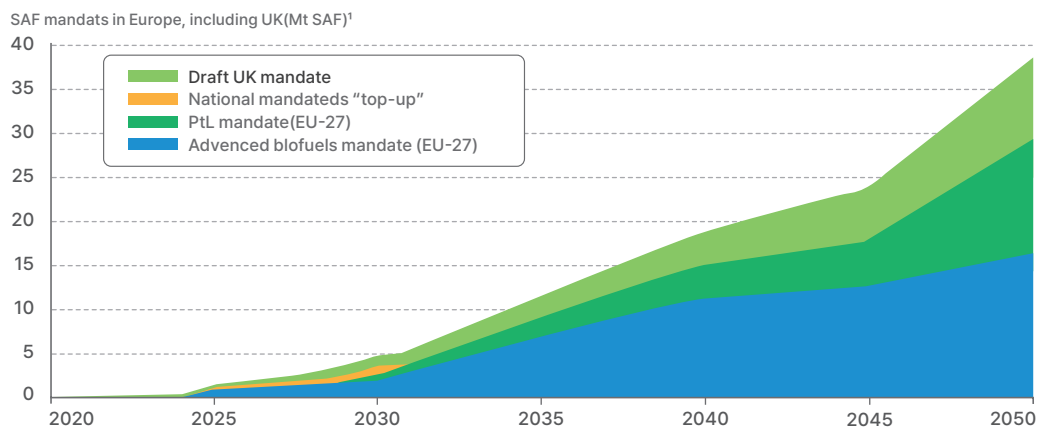
미국의 SAF 정책 채택 현황⁹⁾

✎ 유럽의 SAF 정책 동향

- **EU의 2050 탄소중립 목표:** 법적 구속력이 있으며, 2021.06.30 유럽 기후법(European Climate Law)과 파리조약에 명시함. 2030년 순배출량 감축목표를 ;55%까지 상향. 이 목표는 제안된 법안의“Fit for 55”패키지를 통해 구현함.
- **EU의 재생에너지지침 (Renewable Energy Directive, RED):** 운송에 대한 특정 목표와 함께 EU의 재생 가능 에너지 목표 설정함. 하지만, SAF는 운송 대상을 준수하는 데 사용할 수 있지만 의무는 아님. 고급 및 PtL 연료에 대한 하위 목표를 설정하고, 식품 및 공급 원료에 대한 캡을 설정하였으며, 간접 토지 사용 변경(Indirect Land Use Change, ILUC) 위험이 높은 공급 원료에 대한 단계적 폐지를 설정함. 항공 연료의 더 높은 가격 격차를 인식하고 SAF가 식품 또는 공급 원료에서 제공하지 않는 경우 1.2배 크레딧을 인정함.



유럽의 SAF 사용 의무화 현황¹⁰⁾



유럽의 SAF 사용 의무화로 예상 사용량¹¹⁾

- **EU의 배출권거래제도 (Emission Trade System, ETS):** GHG 배출 제한을 위한 상한선 거래 메커니즘으로, 항공분야는 2008년도에 ETS에 포함되어 2012년부터 운영중임. 현재 유럽경제지역 내 항공편, 영국, 스위스로 출발하는 항공편에 적용중에 있으며, 주로 다른 ETS 분야 허용을 통해 2013-2020년 항공분야 2억톤의 순배출량 감소를 달성함. EU ETS 지침을 통한 ICAO CORSIA의 구현을 보장하고 CORSIA에 대한 광범위하고 효과적인 참여를 촉진함. 유럽 내 항공편은 EU ETS 적용 및 유럽 외 항공편은 CORSIA를 적용하고 있으며, SAF 전개를 가속화하기 위해 화석 연료와 SAF 사이의 가격 격차의 일부 또는 전체를 충당하기 위해 2천만 ETS 허용량을 예약함.

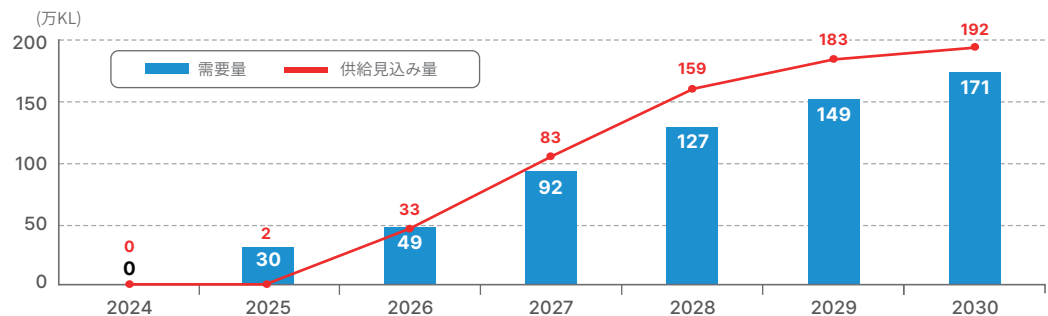
- **ReFuelEU Aviation:** European Commission(EC)에서 2021.07에 항공 연료 공급업체에 대한 혼합 의무를 통해 EU에서 SAF의 공급과 수요를 늘리기 위한 ReFuelEU Aviation 발표하고, 2023.05년 수요의무공급량을 확정함. 명령은 국가 수준이 아닌 EU 수준에서 적용(지침이 아님)하고 있음. SAF 최소 사용량을 2025년 2%에서 시작하여 5년 간격으로 증가하여 궁극적으로 2050년 70% SAF 의무 혼합을 목표로 하고 있음. 특히, 2030년부터 e-fuel에 대한 0.7%의 하위 의무가 포함되며 2050년에는 35%로 점차 증가하는 것을 목표로 함.

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
SAF	2%	6%	20%	34%	42%	70%
e-fuel	-	1.2%	5%	10%	15%	35%

ReFuelEU 단계적 SAF 사용량 목표 상황

✎ 일본의 SAF 정책 동향

- 2030년 현재 SAF 사용량으로서 「일본 항공사의 연료 소비량의 10%를 SAF로 대체」를 목표로 하고 있음. 이 목표를 달성하기 위해서는 국제적으로 경쟁력 있는 국내 생산 SAF의 개발 및 제조를 촉진하고, 공급 측면의 공급업체 및 사용자 측면의 항공사와 협력하여 미래 공급망을 구축 예정임.

일본의 SAF 생산량 예측¹²⁾

- “에너지 공급 구조 고도화에 관한 법률”에 따라 2030년까지 SAF의 공급 목표량이 법적으로 규정. 수요 측면의 요구에 따라 항공 연료 소비의 최소 10% (171 만 kL에 해당)의무화 목표를 설정함. 171만 kL 중 일본 항공사의 총 이용 목표는 880,000kL로 가정함.
- 공급 측면에서 필요하고 충분한 SAF 제조 능력과 원자재 공급망(개발 및 수입 포함)을 확보하고, 국제적으로 경쟁력 있는 가격으로 SAF를 안정적으로 공급할 수 있는 시스템을 구축하고, 수요 측면에서 SAF를 안정적으로 조달할 수 있는 환경을 조성하기 위한 지원 조치를 마련함.

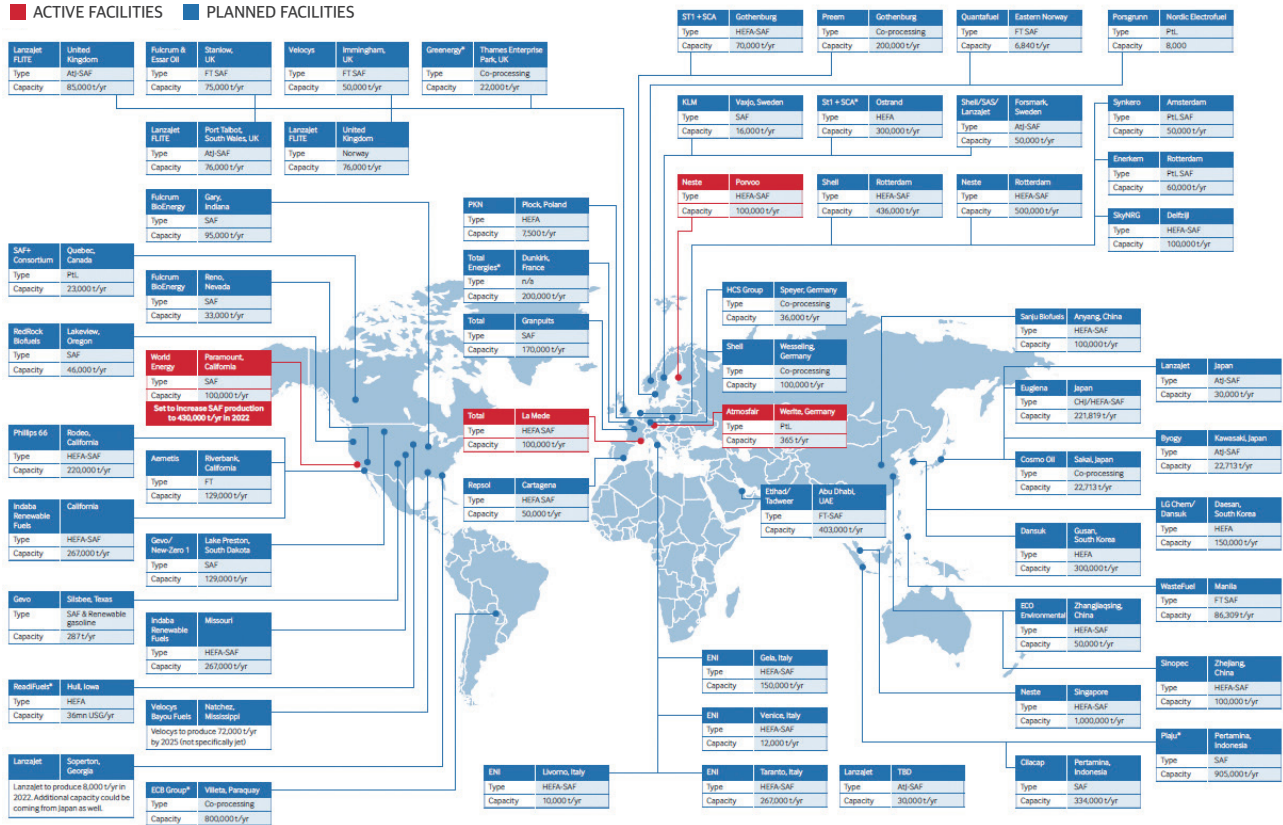
제 5장 R&D 투자동향

✎ SAF 확대를 위한 경쟁적인 R&D 진행

- **HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) 기반 SAF 제조 기술:** 향후 팜유를 원료로 이용하는 HEFA SAF가 유럽에서 활용 금지가 예상됨에 따라 폐기물 및 부산물 성격의 동식물성 유지 원료를 중심으로 R&D가 진행되고 있으며, Neste(핀란드), Honeywell-UOP(미국), Total(프랑스), Air BP(영국) 등이 기술을 보유하고 있음.
- **Co-processing 기반 SAF 제조 기술:** 동식물성 유지 및 비유지 등의 원료 종류 및 수급 한계 극복이 가능하고 기존 정유사 설비를 활용할 수 있어 메이저 정유사에서 상용화 공정 개발 진행중임. Preem(스웨덴), Neste(핀란드), Repsol(스페인) 및 BP(독일) 등 유럽 전역의 여러 회사에서 R&D 투자중임.
- **열분해 오일 유래 SAF 제조 기술:** 장기적 수급 가능한 목질계 바이오매스 기반 원료를 적용 가능함. 수열 액화 기술은 하수, 분뇨 및 식품 가공 폐기물과 같은 다양한 저비용 습식 공급 원료를 처리가 가능함. 현재 상업용 실증 단계에 있으며 2030년 이후에 출시될 가능성이 높음.
- **Gas-FT 기반 SAF 제조 기술:** 셀룰로오스 또는 도시고형폐기물을 원료로 활용 가능하며, 현재 TRL 6~8에 해당하는 기술 수준으로 향후 연료도입 가능성 높음. Fulcrum(미국), Velocys(영국) 등 회사에서 R&D 진행중.
- **ATJ 기반 SAF 제조 기술:** 적용 가능한 원료 종류 및 수급이 장기적으로 용이함. 알코올 및 기타 비유지 원료를 활용 가능하고, 현재 TRL 5~7에 해당하는 기술 수준이며 SAF도입 가능성이 높음. Gevo(미국), Red Rock(미국), LanzaJet(미국) 등 회사에서 R&D 진행중
- **미세조류 유래 유지 활용 SAF 제조 기술:** 일부 아시아 국가에서 유지 원료 수급 제약으로 미래 지향형 기술로 국가 R&D를 중심으로 투자를 진행하고 있음.
- **e-Fuel형 SAF 제조 기술:** 이산화탄소 및 그린 수소 등의 탄소중립 원료를 활용하여 SAF 제조하는 것으로, 유럽의 일부 완성차 업체에서 R&D를 주도하고 있으며, 현재 상용규모 공공정을 개발중에 있음. 국내 정유사에서도 기술을 개발중에 있으며, 향후 바이오매스 유래 원료 수급의 한계를 고려할 때 주요 SAF 생산 기술로 각광받을 가능성이 매우 높음



■ ACTIVE FACILITIES ■ PLANNED FACILITIES



SAF production capacity map - courtesy of Argus media - adapted from www.argusmedia.com/SAF

그림 현재 및 미래 SAF 공급업체¹³⁾

제 6장 참고문헌

1) Petronet (2023)

<https://www.petronet.co.kr/v3/index.jsp> (09 Oct 2023)

2) Waypoint 2050 (2023)

<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>
(09 Oct 2023)

3) ICAO (2023), “Conversion processes”

<https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx>
(09 Oct 2023)

4) World Economic Forum (2021), “Guidelines for a Sustainable Aviation Fuel Blending Mandate in Europe”

https://www3.weforum.org/docs/WEF_CST_EU_Policy_2021.pdf (09 Oct 2023)

5) 머니투데이 (2022), “폐식용유 잘 팔리는 이유... 지속가능한 항공연료 시대”

<https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2022042017263278301> (09 Oct 2023)

6) Fueling Future (2020)

https://www.ebaa.org/app/uploads/2021/09/1mabimnvxn_print-1.pdf (09 Oct 2023)

7) 제39차 총회 결의문 A39-3 Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), 2016, ICAO

8) SAF Grand Challenge Roadmap, 2022

9) S&P Global Platts, EIA

10) European Civil Aviation Conference

11) SkyNRG

12) GX 기본 정책 참조 자료 (09 Oct 2023)

13) Airport Council International (2021)

<https://www.ati.org.uk/wp-content/uploads/2022/06/saf-integration.pdf> (09 Oct 2023)

(기술·연구·표준) 동향

SAF 최신 기술 동향



한양대학교



본 이슈 리포트는 산업통상자원부의 국가 표준 기술력 향상 사업인 '수송 및 발전 분야의 바이오연료 보급 활성화 기반 조성' 과제의 수행 일환으로 제작되었습니다.