

(기술·연구·표준) 동향

바이오 항공유 최신 기술 동향



제 1장 개요

3

바이오항공유

3

바이오항공유 개발 기술

8

바이오항공유 현황

11

제 2장 동향

15

정책동향

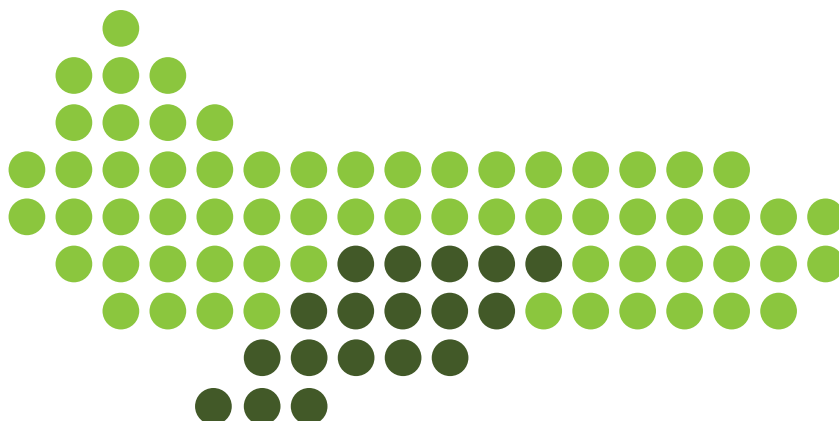
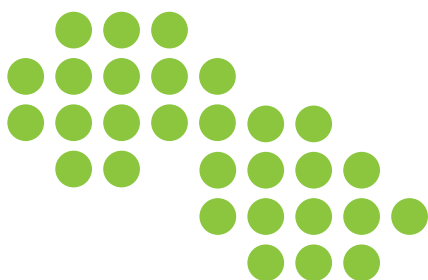
15

기술동향

16

시장 및 산업동향

18



제 1장 개요

✎ 바이오항공유

(항공유) 사용분야에 따라 군용과 민간용으로 대분류하고, 원료의 특성 및 투입 첨가제의 종류에 따라 세부적으로 분류되며 아래와 같음.

- (민간) 1950년대 항공사 설립 당시부터 등유류를 항공유로 사용하였으며, 미국은 Jet A, 그 외 국가는 Jet A-1을 주로 사용함.

표 민간제트유 종류

Fuel	생산년도	유형	빙점(°C)	인화점(°C)	비고
Jet A	1950s	kerosene	-40	38	인화점 100°F 이상, 어는점 -40°F, 범용.
Jet A-1	1950s	kerosene	-47	38	비행시간이 긴 국제선 항공기, 특히 노선상 극지방을 거치게 되는 항공기에 적합
TS-1	—	Right kerosene	—	28	러시아, 동유럽에서 경등유를 바탕으로 제조
JET B	—	wide-cut	-51	—	가솔린과 등유를 혼합한 연료

- (군용) 제트유는 최초 등유를 원료로 생산하였으나, 수급 문제 개선을 위해 휘발성 기체와 혼합한 제트유도 일시 사용, 19세기 중반 이후에는 연료손실 및 화재의 위험이 낮은 등유 형태의 JP-8이 주류임.

표 군용제트유 종류

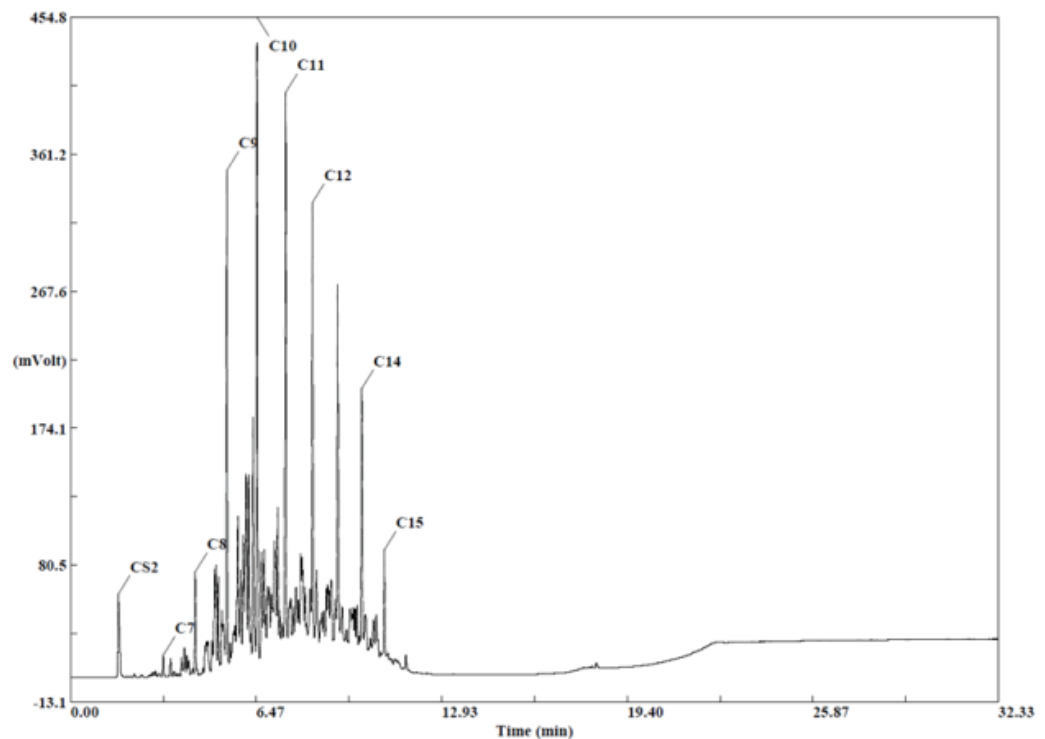
Fuel	생산년도	유형	빙점(°C)	인화점(°C)	비고
JP-1 (폐기)	1944	kerosene	-60	43	비점 300°F~500°F로 규격이 까다로워 생산수율(약 3%)에 한계가 있어 폐기
JP-2 (폐기)	1945	wide-cut**	-60	—	JP-1의 공급한계를 극복하기 위해 개발되었으나 점도와 인화성 때문에 폐기
JP-3 (폐기)	1947	wide-cut**	-60	—	가솔린과 등유를 혼합하여 만들. 생산수율은 향상(45%)되나, 증발에 의한 연료손실로 폐기
JP-4	1951	wide-cut	-72	—	중질나프타와 등유를 혼합하여 만들. 연소성 및 점화성이 좋음

Fuel	생산년도	유형	빙점(°C)	인화점(°C)	비고
JP-6 (폐기)	1956	kerosene	-54	—	시험용으로 사용. 완전 폐기됨.
JP-7	1960	kerosene	-43	60	블랙버드라 불리는 SR-71에 사용. 내열안전성과 저휘발성의 등유 타입 연료
JP-8	1968	kerosene	-47	38	민간용 Jet A-1과 유사. 인화점이 105°F로 JP-4의 대체연료로 '68년에 채택
JP-8+1 01	1998	kerosene	-47	38	JP-8에 열안정향상제를 첨가하여 제트엔진의 열 분산 등 성능 개선한 미 공군연료
JP-9	—	—	—	—	공중발사 크루즈 미사일 등 강력한 추진제인 합성화학제품을 혼합한 고밀도 연료.
JP-10	—	—	—	—	Ramjet와 공중발사 크루즈 미사일용으로 화학제품을 첨가한 고밀도 수소연료.

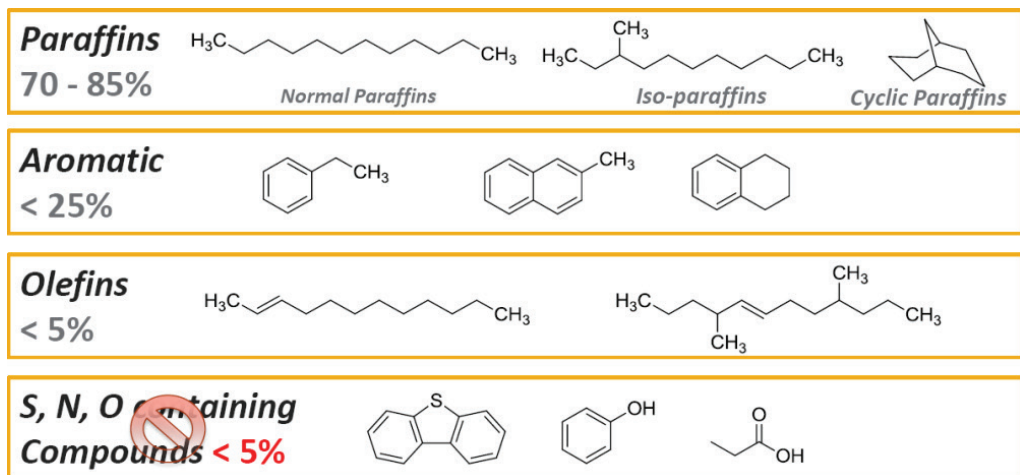
* JP은 Jet Proportion의 약자로 압력차에 의한 고속분출(추력 발생)의 정도를 의미

** 등유에 휘발유, 탄화수소를 혼합한 연료유로 증발에 의한 연료손실, 화재 등 단점

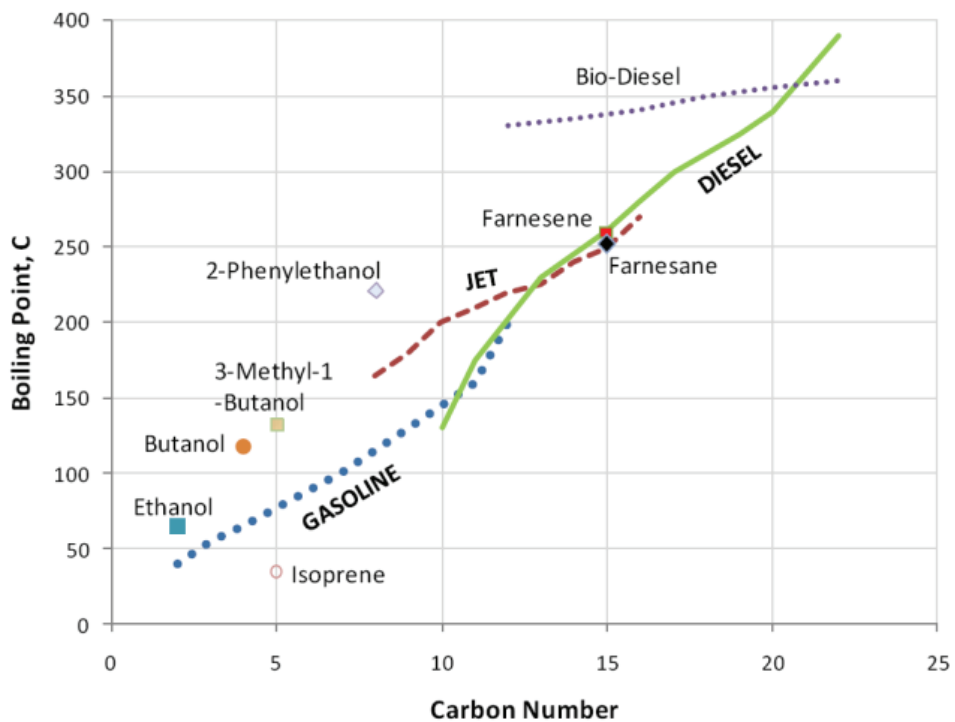
- 원유로부터 생산된 항공유 (Jet A-1)의 탄화수소 분포도는 [그림]과 같다. 일반적으로 C8-C16의 노말 및 아이소 파라핀으로 구성되어 있으며, 아이소머의 비율이 높은 것을 알 수 있다.



[항공유 Jet A-1의 가스크로마토그램]



[항공유 내 다양한 구성성분]



[다양한 연료 물성]

- 바이오항공유 전환 공정은 HEFA-SPK(Synthesized Paraffinic Kerosine from Hydro-processed Esters and Fatty Acids)이므로 <표>와 같이 ASTM D7566 내 Annex 2에 명시된 해당 품질 기준을 만족해야 함.
- ASTM D7566의 Table 1 중 Part 1은 석유계 항공유 품질기준인 ASTM D1655와 동일하지만 식물성 오일 유래 바이오항공유와 석유계 항공유를 혼합한 연료의 경우, Part 2에서 명시한 기준을 추가적으로 만족해야하므로 이를 항공유급 바이오연료의 물성평가 기준으로 설정함.

표 ASTM D7566의 100% 바이오항공유(HEFA-SPK) 품질 기준

항목			품질 기준	시험 규격	
전산가 mg KOH/g			Max	0.015	D3242/IP 354
증류성상	10 % 유출온도(T10), °C		Max	205	D86 or IP 123 or D7344 or D7345
	50 % 유출온도(T50), °C		Max	보고	
	90 % 유출온도(T90), °C		Max	보고	
	종말점, °C		Max	300	
	T90-T10, °C		Min	22	
	잔류량, %		Max	1.5	
	손실량, %		Max	1.5	
인화점, °C			Min	38	D56 or D3828, IP 170 or IP 523
밀도 @15°C, kg/m3			—	730~772	D1298/IP 160 or D4052 or IP 365
빙점, °C			Max	-40	D5972/IP 435, D7153/IP 529, D7154/IP 528 or D2386/IP 16
현존검, mg/100mL			Max	7	D381, IP 540
FAME, ppm			Max	<5	IP 585, IP 590
열안정성	조건(min. 325 °C, 2.5 h)				D3241/IP 323
	필터 압력강하 mmHg		Max	25	
	택 1	1) VTR, VTR color code	Less than	3	
		2) ITR or ETR	Max	85	
산화방지제, mg/L			—	17~24	

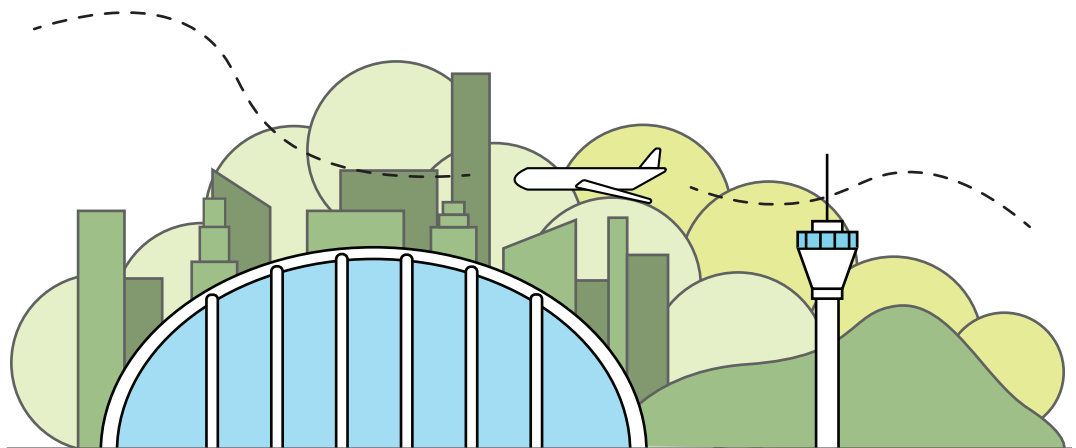
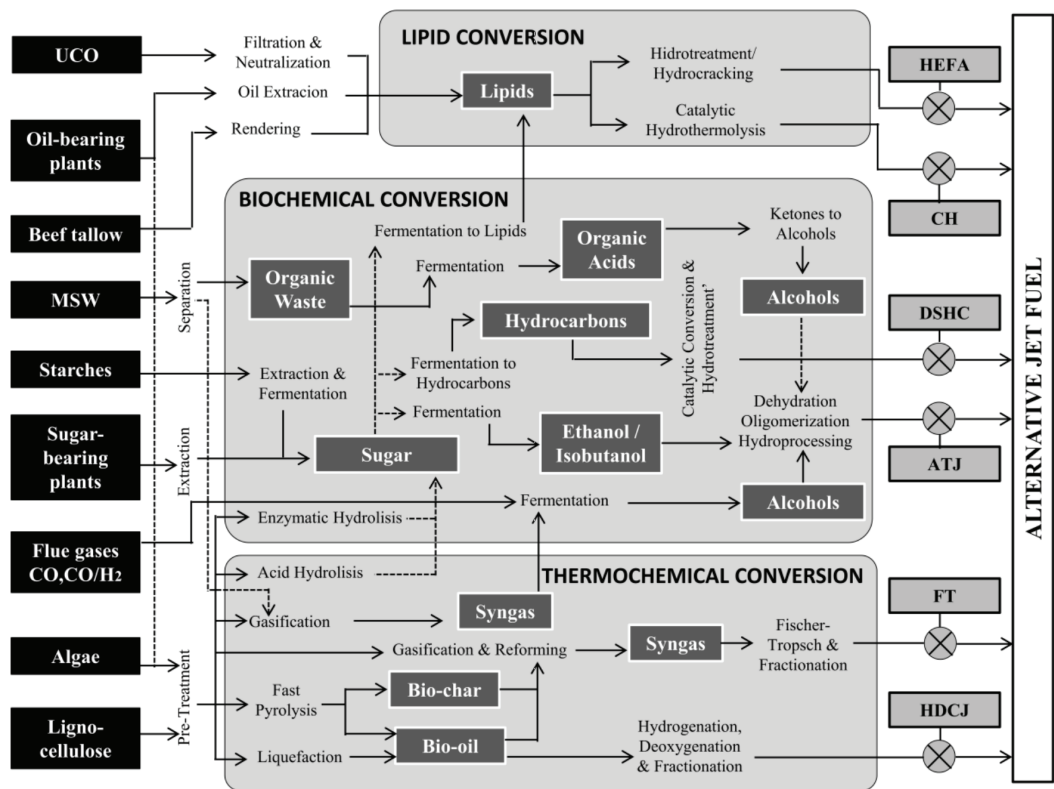


표 ASTM D7566의 혼합 바이오항공유 품질 기준 (Part 1, 2)

Part 1-필수 조건				
항목		품질 기준		시험 규격
전산가 mg KOH/g		Max	0.10	D3242/IP 354
방향족, %v/v(택1)		Max	25	D1319 or IP 156
		Max	26.5	D6379/IP 436
황분	황, 머캅탄, %m/m	Max	0.003	D3227/IP 342
	황, 질량 %m/m	Max	0.30	D1266, D2622, D4294, D5453 or IP 336
증류성상	10 % 유출온도(T10), °C	Max	205	D86, D2887/IP 406, D86, IP 123, D7345
	50 % 유출온도(T50), °C	Max	보고	
	90 % 유출온도(T90), °C	Max	보고	
	종말점, °C	Max	300	
	잔류량, %	Max	1.5	
	손실량, %	Max	1.5	
인화점, °C		Min	38	D56 or D3828, IP 170 or IP 523
밀도 @15°C, kg/m ³		—	775~840	D1298/IP 160 or D4052 or IP 365
빙점, °C		Max	-40(Jet A) -47(Jet A-1)	D5972/IP 435, D7153/IP 529, D7154/IP 528 or D2386/IP 16
동점도 @-20°C, mm ² /s		Max	8.0	D445/IP 71, Section 1, D7042 or D7945
발열량, MJ/kg		Min	42.8	D4529, D3338, D4809 or IP 12
연점 (택1)	1) 연점, mm	Min	25.0	D1322/IP 598
	2) 연점, mm	Min	18.0	D1322/IP 598
	나프탈렌, %v/v	Max	3.0	D1840
동판부식, 100 °C, 2 h		Max	No.1	D130/IP 154
열안정성	조건(260 °C, 2.5 h)	—	—	D3241/IP 323
	필터 압력강하 mmHg	Max	25	
	택1 1) VTR, VTR color code	Less than	3	
	2) ITR or ETR	Max	85	
현존검, mg/100mL		Max	7	D381, IP 540
물분리도	전기전도도 첨가제 미적용시	Min	85	D3948
	전기전도도 첨가제 적용시	Min	70	
전기전도도, pS/m		Min	50~600	D2624/IP 274

Part 2-추가 조건				
항목		품질 기준		시험 규격
방향족, %v/v(택1)	Min	8		D1319 or IP 156
	Min	8.4		D6379/IP 436
증류성상	T50-T10, °C	Min	15	D2887/IP 406 or D86 or IP 123 or D7344 or D7345
	T90-T10, °C	Min	40	
윤향성, mm		Max	0.85	D5001
동점도 @-40°C, mm²/s		Max	12	D455/IP 71, Section 1 or D7945

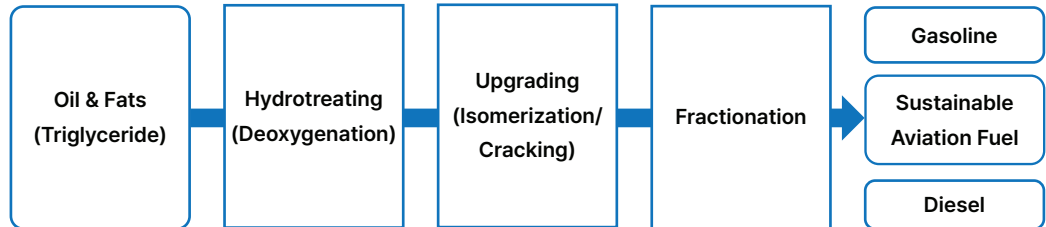
✎ 바이오항공유 제조 기술



[바이오항공유 제조 공정별 원료 및 기술 개요]

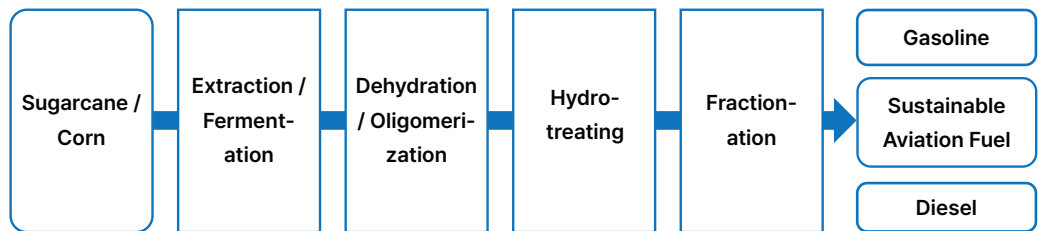
바이오항공유 생산기술은 크게 출발 물질 및 공정에 따라 OTJ(Oil-to-Jet), ATJ (Alcohol-to-Jet), GTJ(Gas-to-Jet), STJ(Sugar-to-Jet) 4가지의 기술 유형으로 분류 가능함.

- OTJ 기술로 대표적인 HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)는 수소처리된 식물성 기름 연료의 특정 유형으로서 현재 이것이 유일하게 입증된 상용급 기술이며, 이로부터 제조된 HEFA-SPK 연료는 기존 제트 연료를 대체할 주요 대체 연료로 간주됨. HEFA-SPK는 조류, 자트로파 및 카멜리나 등의 원료 지방산에 대하여 탈산소화 및 수소화 처리를 통해 생산됨.



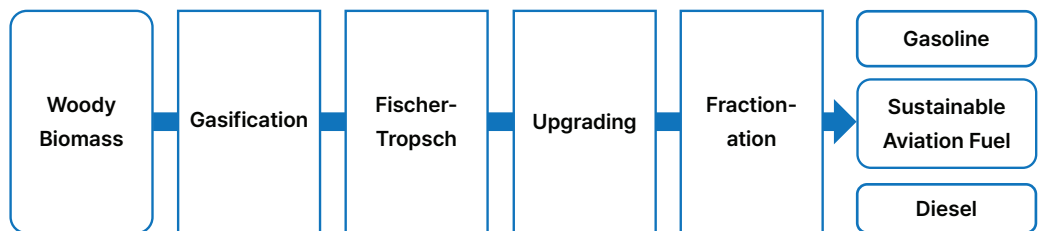
[HEFA 기반 바이오항공유 제조 공정 개요]

- ATJ은 목질계 바이오매스의 가스화나 당질계 원료의 가수분해를 통해 생성된 에탄올이나 부탄올 등과 같은 알코올을 기반으로 지속가능항공유를 제조하는 기술임. Gevo는 이소부탄올을 생산하기 위해 기존 에탄올 공장을 개조하는 기술을 개발함.



[ATJ 기반 바이오항공유 제조 공정 개요]

- GTJ에는 목질계 바이오매스 원료를 가스화반응을 통해 합성가스로 전환한 후 F-T(Fischer-Tropsch) 공정을 통해 바이오항공유를 생산하는 F-T to Jet기술이 있고, Gas Fermentation의 기술이 있음



[F-T 기반 바이오항공유 제조 공정 개요]

표 ASTM 인증 획득 바이오항공유 제조공정 기술

ASTM reference	Conversion process	Abbreviation	Possible Feedstocks	Maximum Blend Ratio
ASTM D7566 Annex 1	Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene	FT	Coal, natural gas, biomass	50%
ASTM D7566 Annex 2	Synthesized paraffinic kerosene from hydroprocessed esters and fatty acids	HEFA	Bio-oils, animal fat, recycled oils	50%
ASTM D7566 Annex 3	Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars	SIP	Biomass used for sugar production	10%
ASTM D7566 Annex 4	Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources	FT-SKA	Coal, natural gas, biomass	50%
ASTM D7566 Annex 5	Alcohol to jet synthetic paraffinic kerosene	ATJ-SPK	Biomass from ethanol, isobutanol or isobutene	50%
ASTM D7566 Annex 6	Catalytic hydrothermolysis jet fuel	CHJ	Triglycerides such as soybean oil, jatropha oil, camelina oil, carinata oil, and tung oil	50%
ASTM D7566 Annex 7	Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon - hydroprocessed esters and fatty acids	HC-HEFA-SPK	Algae	10%
ASTM D7566 Annex 8	ATJ derivative starting with the mixed alcohols	ATJ-SKA	—	
ASTM D1655 Annex A1	co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery	co-processed HEFA	Fats, oils, and greases (FOG) co-processed with petroleum	5%
ASTM D1655 Annex A1	co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery	co-processed FT	Fischer-Tropsch hydrocarbons co-processed with petroleum	5%
ASTM D1655 Annex A1	co-hydroprocessing of biomass	co-processed biomass	—	5%

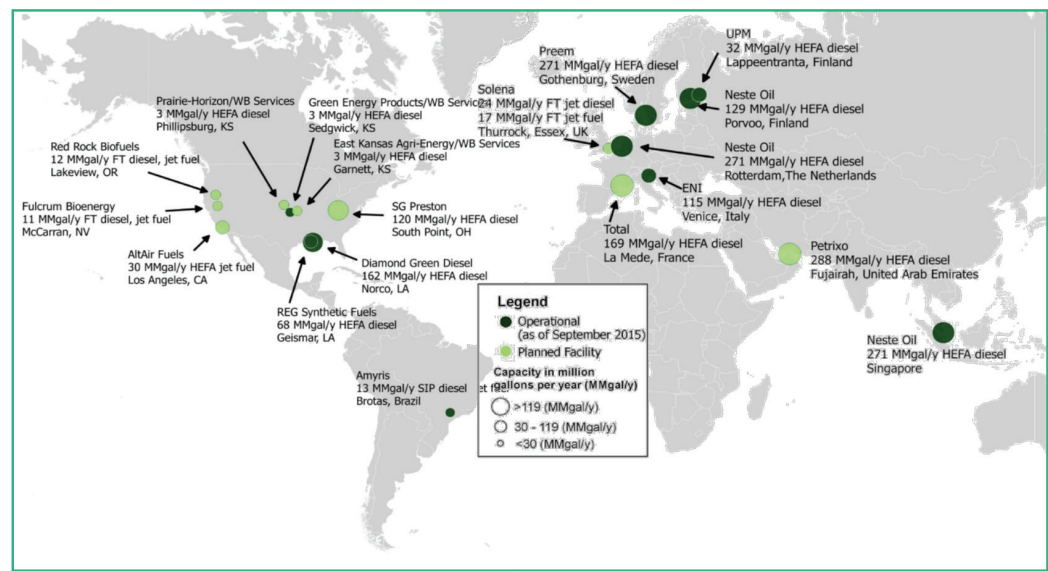
표 ASTM 인증 획득 위한 심사 중인 바이오항공유 제조 공정 기술

Conversion process under evaluation	Abbreviation	Lead developers
Synthesized aromatic kerosene	SAK	Virent
Integrated hydropyrolysis and hydroconversion	IH2	Shell
Alcohol-to-Jet(ATJ) derivative utilising biochemical production of isobutene	—	Global Bioenergies
SingleReactorHEFA (Drop-in Liquid Sustainable Aviation and Automotive Fuel)	DILSAAF	Indian CSIR-IIP
Pyrolysis of non-recyclable plastics	ReOIL	OMV
Co-processing of pyrolysis oil from used tires	—	—
Methanol to jet	—	ExxonMobil

바이오항공유 현황

- 2017년 ATAG(Air transport action group) 및 2015년 미국 에너지관리청(Energy information administration)에서 발간한 자료에 의하면 연간 제트 연료유 소비량은 80억 갤런에 달하며 바이오항공유 생산량은 설비 기준 2억 갤런으로 나타남.
- 이 중 1.9억 갤런의 상업화 공정은 HEFA 공정으로 조사되며, HEFA 공정의 경우 기존 바이오매스 원료를 이용하여 자동차용 경유를 생산할 수 있는 Green Diesel 혹은 HVO(Hydrotreated Vegetable Oil) 시설과의 유사성이 높기 때문인 것으로 추정됨.
- 국가별로는 아래 그림과 같이 스웨덴, 네덜란드, 싱가포르, UAE가 전체 생산 용량 중 50%에 해당하는 대규모 생산 시설을 보유한 것으로 조사되었으며, 미국의 경우 8개 지역에서 생산하고 있으나 생산 규모로는 20%에 그치고 있음.
- 대표적인 바이오항공유 제조사로는 세계 최초로 바이오항공유 생산을 위해 Honeywell UOP의 기술을 도입하여 2013년에 설립된 AltAir Fuels Refinery가 있으며, 핀란드, 싱가포르 그리고 네덜란드에 각각 연간 200만 갤런 이상 생산시설을 보유하고 있는 Neste oil이 있음.

• 주요 제조업체와 여기서 생산된 바이오항공유를 사용하고 있는 항공사 관련 정보는 아래 <표>에 명시함.



[전세계 바이오항공유 제조시설 위치 및 규모]

표 바이오항공유 구매 계약(Off-Take) 현황

생산자	구매자	위치(공항)	연간 배출 생산		배포 계약 시작	배포 계약 기간(년)	비고
			(백만 갤런)	(Mt)			
Agrisoma	Qantas		52.770	0.160	2020	Not available	
Air Total	Airbus/China Airlines	Airbus-Toulouse	Not available	Not available	2017	Not available	5 A350-900 deliveries at 10% blend
AirBP	Airbus/jet blue	Airbus-Mobile	Not available	Not available	2018	1	5 A321 deliveries at 15 blend
	Avinor	Bergen	Not available	Not available	2017	Not available	
	SAS, BRA, Kalmar Municipality	Kalmar Airport	0.026	0.000	2018	3	50%

[출처] IEA, The flight paths for biojet fuel, 2015
[출처] ICAO homepage, Facts and Figures, 2019

생산자	구매자	위치(공항)	연간 배출 생산		배포 계약 시작	배포 계약 기간(년)	비고
			(백만 갤런)	(Mt)			
Amyris / Total	Airbus/ Cathay pacific		Not available	Not available	2016	2	48 A350 deliveries at 10% blend
Fulcrum	AirBP		50.000	0.152	2020	10	
	Carhay Pacific		37.500	0.114	2020	10	
	United		90.000	0.274	Not available	10	
Gevo	Lufthansa		8.000	0.024	Not available	5	
RedRock	FedEx		0.429	0.001	Not available	7	
	Southwest		3.000	0.009	Not available	1	
SG Preston	Jet Blue		33.000	0.100	2019	10	30/70 blend
	Qantas	Los Angeles International Airport	8.000	0.024	2020	10	50/50 blend
World Energy (AltAir)	Gulfstream / World Fuel		Not available	Not available	2015	3	30/70 blend
	SkyNRG / KLM	Los Angeles International Airport	Not available	Not available	2016	3	
	SkyNRG / KLM	Växjö Småland Airport	0.032	0.000	2018	0.5	5% blend
	Swedavia	Stockholm Arlanda Airport, Göte- borg Landvetter Airport, Bromma Stockholm Airport, Visby Airport, Luleå Airport	0.148	0.000	2016	Not available	
	United	Los Angeles International Airport	5.000	0.015	2016	3	

생산자	구매자	위치(공항)	연간 배출 생산		배포 계약 시작	배포 계약 기간(년)	비고
			(백만 갤런)	(Mt)			
World Energy (AltAir) / Neste	KLM / SAS / Lufthansa / AirBP	Oslo Airport	0.330	0.001	2016	3	
World Energy (AltAir) / Shell	SkyNRG, KLM, SAS and Finnair	San Francisco International Airport	Not available	Not available	2018	Not available	

- ICAO에 의하면 전 세계적으로 약 40개 항공사에서 18만 건 이상(2019년 6월 기준) 바이오항공유 시험 비행이 이루어졌으며, 2019년 기준 바이오항공유 혼합 연료를 급유할 수 있는 공항은 7곳으로 <표>에 나타냄.
- 민간 항공사와는 별도로 미군 공군과 해군에서는 유사시 대체 연료 확보를 위해 항공기를 대상으로 바이오항공유 적용을 위한 시험 비행이 이루어진 것으로 조사됨.

표 바이오항공유 급유 가능한 공항

항공사	국가	교통 유형	공항
United Airlines	미국	Departures	Los Angeles International Airport(미국)
KLM to Amsterdam	네덜란드		
Lufthansa	독일	Departures	Oslo Airport(노르웨이)
SAS	스칸디나비아		
KLM / KLC	네덜란드		
SAS	스칸디나비아	Departures	Stockholm Arlanda Airport(스웨덴)
KLM	네덜란드		
All Airlines	—	Departures	Bergen Airport(노르웨이)
KLM	네덜란드	Arrivals	Växjö Småland Airport(스웨덴)
KLM	네덜란드	Departures	San Francisco Airport(미국)
SAS	스칸디나비아		
Finnair	핀란드		
BRA	스웨덴	Departures	Halmstad City Airport(스웨덴)

제 2장 동향

✎ 정책 동향

(해외) 전 세계적으로 모든 산업에서의 탄소중립 실현 가속화 정책에 따라 항공부분에서도 온실가스 배출감축을 유도하는 강력한 정책을 수립 & 시행

- 유럽연합(EU)는 바이오 항공유를 포함한 지속가능한 항공유(Sustainable Aviation Fuel, SAF)를 혼합하는 규정을 제정. 혼합비율은 2025년 2%, 2030년 5%, 2035년 20%, 2040년 32%, 2050년 63%로 혼합비율 확대 계획, 특히 항공사가 아닌 급유 공항에 SAF 혼합의무 부여 방침을 수립
- (EU) 그린뉴딜 추진정책(그린수소 및 바이오 연료 등 친환경 원료 사용 촉진), FIT For NET-ZERO(항공기 연료內 바이오연료 혼합 의무화)
- (일본) 2050 탄소중립 실현을 위한 녹색 성장 전략(무탄소 대체연료 선박 연료 전환), 혁신적 환경 이노베이션(수송 부문 연료 기술 개발)

(국내) 「석유 및 석유대체연료 사업법」에 근거한 바이오연료 중 바이오디젤과 바이오중유는 상용화되어 품질기준이 정립되어 있으며, 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」에 따라 수송용과 발전용 에너지원으로 각각 보급 중임.

- 「2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안」 ('21.10월, 관계부처 합동)에서 수송부문의 대응방안으로 해운·항공분야 친환경 연료 보급확대 제시
- 「2050 탄소중립 시나리오안」 ('21.10월, 관계부처 합동)에서 수송부문 탄소배출량을 B안(도로부문 내연기관차의 대체연료 사용 가정)으로 9.2백만톤CO₂eq로 감축, 감축수단에 해운·항공분야 바이오연료 확대 제시, 정책제언으로 대체연료 관련 기술개발 및 상용화 방안 마련, 친환경 수송수단 비중확대를 위한 규제 및 인센티브 마련 제시
- 「2050 탄소중립 에너지기술로드맵」 (2021.12) 대한민국 2050 탄소중립 전략에 따르면 바이오연료 확대 및 친환경 선박·항공기 전환을 통해 감축 후 1.8백만톤 배출
 - (항공부문) 국제민간항공기구의 「국제항공 탄소상쇄 및 저감 계획(CORSIA*)」 이행을 위해 CO₂ 배출을 감축하기 위한 바이오항공유 개발 및 보급이 필요.전체 항공유 소비량 중 30%는 바이오항공유 확대, 20%는 전기·수소항공기 도입



* CORSIA: 국제항공 온실가스 배출량을 '20년 수준으로 동결하는 것을 목표로 하고 이를 초과하여 배출한 항공사는 탄소시장에서 배출권을 구매하여 상쇄하도록 하는 제도

기술 동향

(국외) 2015년 이전에는 1, 2, 3세대를 아우르는 바이오매스 전환 공정에 의한 바이오연료 생산 기술 개발 시도, 2015년 이후에는 2 & 3세대 바이오매스 전환 HEFA(Hydroprocessed ester fatty acid) 공정 혹은 FT공정이 상업화 대상기술로 개발 및 투자 확대함. 해외에서는 오래 전부터 온실가스 감축을 목적으로 바이오항공유 제조를 위한 기술개발을 진행하고 이를 통해 얻은 성과물을 바탕으로 연료 인증을 통한 실용화 내지 상용화 수준까지 기술력을 확보하였을 뿐만 아니라 항공사와의 제휴를 통해 기존 석유계 항공유와 혼합하여 실제 항공기의 시범운항을 다수 진행한 바 있음.

- Total(프랑스), UOP(미국), Neste(핀란드, 세계 최대 생산) 등 유럽·미국을 중심으로 '19년 기준 65억 리터 생산 (전체 바이오연료 생산량의 4% 차지)
- 자동차용 경유에 혼합 사용, 기존 바이오디젤과 별도 품질기준 마련 (유럽: EN15940, 미국: ASTM D975)
- 약 40개의 항공사가 바이오항공유 사용, '11년 이후 25만 회 이상 항공편 운항, 바이오항공유 급유 공항은 9곳(미국(2), 스웨덴(5), 노르웨이(2))에 이르며 점차 확대

- **(핀란드)** Neste Oil은 폐식용유, 식품산업 폐유, 식물성오일 처리잔류물 등의 원료 전환 수첨탈산소 기반 NEXBTL공정으로 HVO생산, 저온 유동성 향상 위한 이성화(Isomerization) 공정 적용 운전점과 세탄가가 높은 제품 생산. 2023년 1분기 말에 SAF 생산 시작 이후 연간 생산량을 100만 톤으로 확대 계획
- **(미국)** Honeywell Technology는 미세조류 오일 전환 상업적 바이오연료 생산 위한 UOP Ecofining 기술을 Eni SpA와 공동 개발, 일본 IHI Corporation에서 적용 바이오항공유를 생산. 비식용 천연 오일, 동물성 지방 및 기타 폐기물 원료 전환 Honeywell Green Diesel 및 Honeywell Green Jet Fuel 전환, 석유 항공유 최대 10% 혼합 가능, Indaba Renewable Fuels는 Topsoe의 HydroFlex 기술 활용 바이오항공유 생산공장을 캘리포니아와 미주리에 2기 건설, '24년에 생산 착수 예정이며, 1기당 생산량이 하루 6500배럴에 달함, PNNL, UOP 등은 벤치규모 초임계유체 업그레이딩 연구 및 상업화 시설 건설 진행
- **(독일)** Air bp사에서 폐식용유에서 바이오항공유 생산 완료
- **(네덜란드)** SkyNRG는 HEFA 공정기술 적용 폐유 전환 바이오항공유를 공급, '11년 KLM에서 비행을 시작한 이후 현재까지 150,000회 이상 항공편 운항
- **(중국)** Oriental Energy는 Honeywell UOP LLC 공정 기술 라이선스 체결, 식용유와 동물성 지방 전환 연간 100만톤 바이오항공유 생산 공장 건설 예정
- **(영국)** Shell 항공 연료 부문은 네덜란드 소재 바이오항공유 생산공장을 지원, 연간 82만톤의 바이오연료(바이오디젤) 생산 플랜트 건설 투자('21년 발표)
- **(이탈리아)** ENI는 '21년 바이오항공유 생산 시작, 4년 내 연간 110만톤 용량을 두 배 확대, '50년까지 연간 5600만톤으로 확대 계획, 시장동향에 따라 '30년까지 연간 생산량을 최소 500,000톤까지 확대하는 것을 목표로 함

- **(프랑스)** Total은 동물성 지방, 폐식용유, 기타 폐기물 및 잔류물 전환 바이오항공유 생산 시작
- **(일본)** ASTM에서는 Honeywell Technology 기술 지원 일본 IHI에서 생산한 미세조류 전환 10%까지 혼합 가능한 HC-HEFA-SPK 바이오항공유 경로 승인, IHI 그룹은 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization) 및 고베 대학과 협력, 미세조류 전환 바이오항공유 생산 공정 개발 중.

(국내) 국내에서는 2010년부터 수급 가능한 원료(비식용유지, 바이오매스, 미세조류, 바이오알콜 등) 및 전환 공정(Oil-to-Jet, Alcohol-to-Jet, Gas-to-Jet, Sugar-to-Jet 등)에 따라 여러 바이오항공유 제조기술을 산·학·연이 공동으로 연구개발을 진행하여 다수의 기술성과를 창출함.

- **(한국과학기술연구원)** 환경부 환경융합신기술개발사업('09~'14)에서 폐식용유 정제기술 및 유지전환을 위한 기초 촉매 및 초임계·촉매 융합공정 원천 연구개발을 추진함.
- **(한국과학기술원)** 과기부 글로벌 프론티어 차세대 바이오매스 연구단 ('10~'19) 사업에서 미세조류 지질 유기용매 추출 및 효소 또는 촉매 전환 바이오디젤, 그린디젤, 항공유 등의 바이오연료 생산에 필요한 실험실급 원천요소기술을 개발함. 트리글리세라이드 기반 바이오항공유 제조 반응기술을 확보하였으며 분자레벨 촉매설계 통해 고성능 나노 촉매를 설계안을 제시함.
- **(고등기술연구원)** 팜유 유래 촉매기반 수첨 및 업그레이드 기술개발. 15톤/yr규모 설비 구축. 팜유를 원료로 사용하여 ASTM D7566 규격을 만족시킨 바이오항공유 2.5톤 생산 완료, 항공유(Jet A-1) 50% 혼합 바이오항공유 5.0 톤 제조 후 군용 항공터빈엔진 적용시험 성공 ('20년)
- **(SK이노베이션)** 20배럴/d 규모 팜유 전환 HBD (Hydrotreated Biodiesel) 생산 플랜트를 건설하여 HBD 시험생산, 이와 연계하여 HBD 및 MAO/HBD 혼합 원료를 각각 적용하여 파일롯(14 kg/d) 규모로 바이오항공유를 생산하는 기술을 구현하여 팜유 HBD 전환 바이오항공유 800 kg 이상 생산완료, 상업화 위해 성능인자 개선, 수첨 co-processing 기술개발 필요 ('16년 플랜트 철거)
- **(현대오일뱅크)** '21년 에너지·석유화학 분야 세계 최대 특허 보유사 미국 하니웰 UOP와 '친환경 에너지 플랫폼 전환을 위한 기술협력' 업무협약 체결.
- **(한국석유관리원)** '11~'19년에 걸쳐 미세조류 오일을 활용한 바이오연료(바이오디젤, 바이오항공유) 품질 최적화 기술개발 수행
- **(한국에너지기술연구원)** '13~'16년에 걸쳐 자트로파유 전환 바이오항공유 제조에 대한 실험실급 원천기술 개발
- **(한국화학연구원)** '15~'18년에 걸쳐 0.1 톤/일 규모 파일롯급 바이오에탄올 유래 촉매 기반 에탄올 전환 탈수반응 및 에틸렌 전환 올리고머화 반응 적용 바이오항공유 제조 기술 개발

- (공주대) '15~'18에 걸쳐 실험실급 바이오부탄올 전환 바이오항공유 제조 원천기술 개발

시장 및 산업동향

글로벌 탄소중립 경제질서에 적응하고 항공산업 경쟁력 유지를 위하여 바이오항공유 수요는 지속적인 증가 추세이며 시장이 활성화될 것으로 전망

- '21년 미국 보스턴에서 열린 국제항공운송협회(IATA) 총회 보고에 따르면, 항공기 운항은 전 세계 탄소 배출량의 약 3%를 차지하며, 항공업계는 향후 30년 동안 탄소 배출량을 약 212톤을 줄여야 하는 가운데, 1조6000억 달러(약 1911조2000억원)의 비용 예상
- 항공기는 전기 및 수소 등의 탄소배출이 없는 연료로 대체하기 어려우므로 바이오 연료가 가장 현실적인 대안이며 정유사들 역시 탄소를 배출하지 않는 비행에 필수적인 바이오항공유 시장 진입을 위해 움직이고 있음
- 바이오항공유 시장은 예측 기간 동안 60.8%의 연평균성장률(compound annual growth rate, CAGR)로 2021년 2억 1900만 달러에서 2030년 157억 1600만 달러로 성장 예상
- '07년 이후로 바이오항공유는 100만 리터 이상이 생산되기 시작하였으나 석유계 항공유 대비 낮은 경제성으로 '11년 이후로 생산량이 급격히 감소
- HEFA 공정기술 발전과 환경문제 등의 이슈와 맞물려 '16년 이후로 바이오항공유 생산량이 급등하며, 현재 메이저 정유사의 활발한 투자와 탄소중립에 대한 글로벌 정책 수립으로 생산량 급증 예상
- 전 세계적으로 많은 항공사가 바이오연료 공급 계약을 체결, 15개 공항에서 바이오항공유를 정기적으로 제공, 250,000회 이상의 상업용 항공편이 바이오항공유 혼합연료로 비행 사례 有. EUROSTAT에 따르면 EU에서 바이오항공유 연간 생산 능력은 '15년부터 '17년까지 1,000톤에 달했으며 '18년에는 7,000톤으로 증가. SAF와 장기 계약을 맺은 유럽 항공사의 예로는 루프트한자와 KLM이 있음
- 국내의 국제항공 수송량은 '03년 이후 '17년까지 연평균 5.1% 증가했고 연료 소비량과 탄소 배출량은 연평균 4.42% 증가
- 또한 국제항공 부문 연료소비량은 지난 '03년 48억 리터에서 '17년 88억 리터로 증가, 탄소 배출량은 '03년 1218억 7천 톤에서 '17년 2233억 7천 톤으로 증가
- 국제항공 연료소비량과 탄소배출량은 '18년 이후 증가, '25년에는 연료소비량이 106억 리터, 탄소배출량은 2686억6000톤에 달할 것으로 예측

(국내 기업 동향) 국내 정유업계 및 항공업계는 친환경 연료 생산 및 도입 등 탄소배출 저감을 위해 노력 중이나, 2050 탄소중립 실현을 위하여 추가적인 감축수단으로 바이오연료 생산 기술 개발 및 상용화가 시급함

- **(현대오일뱅크)** 현대오일뱅크와 대한항공이 친환경 연료 활용 항공운송 확대를 위해 '바이오항공유 제조 및 사용 기반 조성 협력을 위한 양해각서' 체결, 충남 서산 대산공장 내 바이오항공유 생산 공장 건립 검토. '21년 미국 Honeywell-UOP와 '친환경 에너지 플랫폼 전환을 위한 기술협력' 업무협약 체결
- **(LG화학)** 친환경 제품 생산에 필요한 바이오 원료를 확보하기 위해 바이오디젤 전문기업 단석산업과 협력하여 국내 최초 HVO(수소화식물성오일) 공장을 '24년 완공을 목표로 건설 계획으로 'HVO(Hydro-treated Vegetable Oil) 합작법인 설립을 위한 주요조건합의서(HOA)' 체결
- **(대한항공)** '21년 현대오일뱅크와 바이오항공유 사용기반 구축을 위한 양해각서(MOU)를 체결해 협력 중. SK에너지로부터 국내선 항공편에 사용될 탄소중립 항공유 구매. '22년 2월 인천국제공항공사, 에어버스, 에어리퀴드와 '항공업계와 공항의 수소 공급 및 인프라 개발을 위한 업무협약' 을 체결. 파리~인천구간 국제선 정기편 노선에 국내 최초로 지속가능 항공연료(SAF)를 도입 예정 발표
- **(에쓰오일)** '21년 탄소중립 친환경 에너지 사업을 선도하기 위해 삼성물산과 '친환경 수소 및 바이오 연료 사업 파트너십 협약식'을 체결.
- **(인천공항공사)** 인천국제공항공사가 인천공항의 아시아 공항 최초 글로벌 RE100 가입을 공식 선언. 글로벌 RE100 가입을 바탕으로 재생에너지 확대는 물론 수소 항공기 산업 준비, 바이오항공유 인프라 구축 등 관련 사업 발굴, 실행 계획을 발표
- **(SK(주))** 미국 바이오에너지 기업 펄크럼에 국내 사모펀드와 함께 5천만달러를 투자 결정. 펄크럼의 공정과 상업화 능력을 활용해 국내 바이오에너지 시장 진출 계획
- **(GS칼텍스)** 포스코인터내셔널이 동남아에 보유한 야자나무 농장 설비와 GS칼텍스의 바이오 연료 생산기술 설비를 활용, 팜 정제유와 재생 연료 기반 바이오항공유 등 차세대 바이오 사업 예정.

(해외 기업 동향) 미국과 유럽을 중심으로 바이오연료 생산 기술 상용화 및 실증단지 구축 위한 활발한 투자와 플랜트 건설이 추진 중임

- **(미국/Honeywell UOP)** Indaba Renewable Fuels (Indaba)는 2024년 SAF 생산 시작 예상, 생산량은 하루 6500 배럴에 달함.
 - 스페인 연료 생산업체인 Repsol이 바이오연료 생산을 위해 Honeywell Ecofining기술 선택, Ecofining 공정은 2013년부터 재생 가능한 디젤을 생산하고 2016년부터 지속 가능한 항공 연료("SAF")를 생산하기 위해 상업적으로 사용되었음. Honeywell은 오늘 Repsol이 스페인 푸에르토야노에 있는 Repsol 시설에서 폐식용유 및 폐동물성 지방과 같은 공급원료로부터 재생 가능한 연료를 생산하기 위해 Honeywell Ecofining 기술을 라이선싱했다고 발표한 바 있음. Repsol은 연간 약 240,000미터톤(KMTA)의 폐기물 공급/공급 원료를 재생 가능한 디젤 및 기타 제품으로 전환하도록 이 플랜트를 설계함.



[SAF 생산 Repsol 관련 사진]

- BP는 전 세계에 위치한 5개 시설에서 지속 가능한 항공 연료(SAF) 생산량을 늘리기 위해 Honeywell의 Ecofining 기술을 선택한 것으로 알려져 있으며, bp가 2030년까지 전 세계 SAF 시장의 20%를 공급하겠다는 목표를 달성하는 데 도움이 될 것이라 언급한 바 있음.



[SAF 생산 BP 관련 사진]

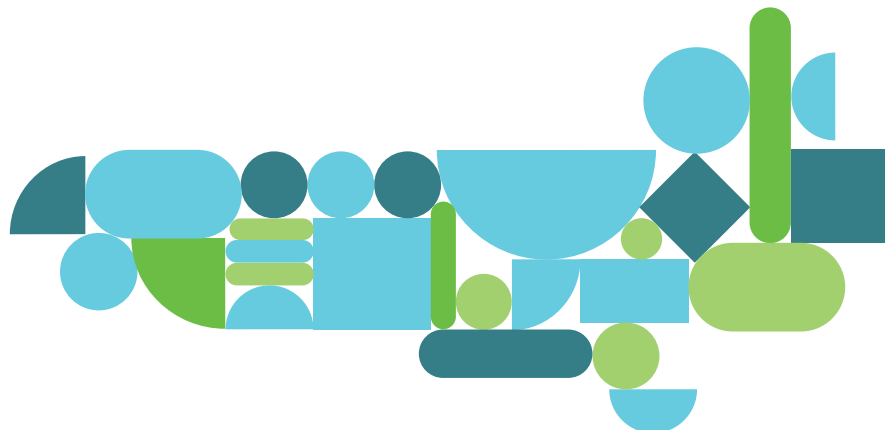
- (미국/GEVO) 사우스다코타주 Lake Preston 근처에 Net-Zero 1이라는 첫 번째 시설을 개발할 계획입니다. 회사는 이 공장에서 최대 6,500만 갤런의 지속 가능한 항공 연료(SAF), 디젤 및 재생 가능 가솔린을 생산할 것으로 계획.

- Gevo Inc.는 SD, Lake Preston 근처 245에이커 부지에서 운영자의 독점 기술을 사용하여 지속 가능한 항공 연료(SAF)를 생산하는 것을 목표로 제안된 Net-Zero 1(NZ1) 프로젝트에 대한 개발 활동을 지속적으로 펼침. Gevo는 NZ1에 대한 가치 엔지니어링, 세부 엔지니어링 및 자본 비용 업데이트를 진행하고 있으며, 연간 6천만 갤런을 포함하여 연간 약 6,500만 갤런의 총 재생 연료를 생산할 것이며 이러한 내용을 8월 10일자 최신 분기별 수익 보고서에서 SAF의 실적을 밝힌 바 있음.



[Gevo Inc.가 Lake Preston에서 제안한 NZ1 프로젝트]

- Hawaiian Airlines는 바이오 연료 회사인 Gevo와 5년에 걸쳐 5천만 갤런의 지속 가능한 항공 연료(SAF)를 구매하기로 합의한 것으로 발표하였으며 Gevo는 미국 중서부에 건설될 시설에서 재생 농업 방식을 사용하여 재배한 먹을 수 없는 옥수수의 잔류 전분을 사용하여 생산한 SAF를 공급 예정임.



- (핀란드/NESTE) 23년 1분기 SAF 생산 시작 이후 연간 생산량을 100만 톤으로 확대 계획
- 2016년 이후 450,000편 이상의 상업용 항공편이 SAF를 사용하였으며, 50개 이상의 항공사와 13개 주요 공항에서 이를 사용 및 공급하고 있으며 그 수는 빠르게 증가하고 있는 가운데, 2024년 초에는 연간 150만톤으로 증가할 예정임.



[NESTE 싱가포르 공장 현지 사진]

- 싱가포르 정유소에서 다년간 16억 유로(17억 달러) 규모의 확장을 완료하였으며, 해당 프로젝트로 시설의 총 생산량을 연간 260만 톤으로 기존 규모의 두 배로 증설하였으며, 그 중 100만 톤은 지속 가능한 항공 연료(SAF)가 될 것으로 알려졌으며, 동시에 공장의 원료 전처리 능력도 향상되어 보다 까다로운 폐기물 및 잔류물 공급원료를 처리할 수 있게 됨.
- (프랑스/Axens) 중국의 지속 가능한 항공 연료(SAF) 프로젝트를 위해 Haike Chemicals에 비건 기술을 제공. BioTfuel 기술 기반 Fischer-Tropsch 프로세스를 사용하여 유럽 최대 규모의 지속 가능한 항공 연료(SAF) 생산 장치를 구축 및 운영을 목표로 2027년까지 가동될 예정.
- 중국 석유화학회사인 Shandong Haike Chemical은 기존 자산을 개조하여 지속 가능한 항공 연료(SAF)를 생산하기 위해 Axens의 Vegan 기술을 선택한 바 있음. Haike Chemicals는 고품질 SAF의 세계 최고의 경쟁력 있는 공급업체가 되기 위해 다른 장치에 프로세스를 적용하기 전에 12개월 이내에 높은 수율의 사양에 따른 생산을 통해 최초의 SAF 전용 장치를 가동하는 것을 목표로 함.



[중국 석유화학회사인 Shandong Haike Chemical 관련 사진]

- (프랑스/TOTAL) 2030년까지 세계 SAF 시장의 10%에 달하는 지속 가능한 항공 연료(SAF)를 연간 150만톤 생산한다는 목표를 발표, 프랑스 뿐만 아니라, 유럽, 미국, 일본 및 한국에 기반을 둔 생산 시설에서 제조될 예정.
- TotalEnergies(이하 Total)는 지속 가능한 항공 연료(SAF) 생산을 늘리기 위하여 다양한 프로젝트를 통해 7억 4천만 유로(8억 8백만달러) 이상을 투자, 2028년부터 50만 톤의 SAF를 생산할 수 있을 것이라고 밝혔으며, 이는 2030년에 6%로 설정된 유럽 SAF 혼합 의무량의 점진적인 증가를 감당하기에 충분할 것이라고 덧붙인 바 있음. 아울러, Grandpuits 공장을 제로 원유 플랫폼으로 전환하기 위해 4억 유로를 투자하여, 주로 동물성 지방 및 폐식용유와 같은 순환 공급원료로부터 SAF를 생산하는 데 중점을 둘 것이라고 밝힘. Grandpuits는 2025년 기준으로 연간 210,000톤의 SAF를 생산할 수 있게 되며, 2027년까지 연간 75,000톤을 추가로 생산한다는 목표를 제시함.



[TotalEnergies의 Grandpuits 플랫폼]

- (이탈리아/ENI) 자회사 Eni Sustainable Mobility SPA의 지속 가능한 항공 연료(SAF) 및 재생 가능한 디젤을 포함한 바이오 연료 생산 역량을 더욱 확장하기 위해 고안된 잠재적인 프로젝트를 평가하기 위해 Saipem SPA와 계약을 체결.
- Eni SPA는 자회사 Eni Sustainable Mobility SPA의 지속 가능한 항공 연료(SAF) 및 재생 가능한 디젤을 포함한 바이오 연료 생산 역량을 더욱 확장하기 위해 고안된 잠재적인 프로젝트를 평가하기 위해 Saipem SPA와 계약을 체결함. 기존 정유 시스템을 더욱 변화시키고 새로운 부지를 추가하여 현재 165만 톤/년(tpy)을 확장하려는 목표를 세운 바 있으며, 2030년까지 바이오정제 용량을 5백만 tpy 이상으로 늘릴 것이라고 발표함.



[Eni SPA의 베니스 포르토 마르게라 바이오리파이너리]



(기술·연구·표준) 동향

바이오 항공유 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.