

이슈보고서

산업경제팀

VOL.2023-이슈 (2023.07.17.)

친환경 바이오연료 시장 동향과 전망(수송용 액체연료를 중심으로)

CONTENTS

<요약>

I. 연구배경

II. 주요 바이오연료 종류와 특성

III. 세계 바이오연료 시장 동향 및 전망

IV. 국내 바이오연료 산업 현황

V. 결론 및 시사점

<부록 1>

<부록 2>

작성

선임연구원 성동원 (6252-3611)





< 요약 >

현재 바이오연료* 시장은 매우 협소하나, 주요국의 2050년 탄소중립 목표 수립 등으로 수송 부문의 대대적인 에너지 전환이 필요하며 그 대안으로 바이오연료 부상

* 바이오매스를 원료(feedstock)로 하여 얻어지는 생성물로서 열화학적, 생물화학적, 물리화학적 변환과정을 통해 고체, 액체, 기체 형태로 만들어진 연료이며, 본 보고서는 액체 바이오연료 중심으로 작성

- 2021년 세계 총 에너지 공급량 중 재생에너지는 약 12%를 차지하며, 재생에너지 중 액체 바이오에너지 비중은 5.4%로 전체 에너지 중 액체 바이오연료 비중은 1% 미만
- 향후 바이오연료는 특히 대형 트럭, 선박, 항공* 등 현재 화석연료가 지배하고 있지만 탄소감축이 어려운 수송 부문의 탈탄소화에 핵심적인 역할을 할 것으로 기대

* 동체가 크고, 장거리 수송용으로서 높은 에너지밀도의 동력원이 필요하여 현실적으로 전기(배터리), 수소 등으로 직접 대체가 어려워, 바이오연료가 유력한 탄소감축 해결책으로 부상

2022년 세계 바이오연료 수요는 미국, 유럽, 브라질 등의 정책적 지원에 힘입어 전년 대비 6%, 91억 리터 증가한 약 1,600억 리터 수준(IEA, 세계에너지기구)

- 2022년 바이오연료 유형별 수요는 재생디젤, 바이오에탄올, 바이오디젤 순으로 증가
 - **(바이오에탄올)** 당질계, 전분계 등의 원료를 사용하여 제조하는 알코올 기반의 바이오연료로서 휘발유(가솔린)와 혼합 사용
 - 미국, 브라질 등을 중심으로 바이오에탄올을 자동차용 휘발유에 혼합하여 사용하고 있으며, 2022년 현재 세계 60여 개국에서 바이오에탄올 정책 및 규정을 도입·운영 중
 - **(바이오디젤)** 식물성 기름 또는 동물 지방을 원료로 하여 메탄올과 반응시켜 합성하며, 유럽과 아시아 국가를 중심으로 석유디젤과 혼합하여 사용
 - 상대적으로 높은 온도에서 동결되어 실제 최종 소비를 위해 석유디젤과 혼합 시 최대 혼합비율에 제한을 두고 있음
 - **(재생디젤)** 식물성 기름 또는 동물 지방을 고온에서 수소 처리하여 제조하는 '수첨 바이오디젤(HVO, Hydro-treated vegetable oil)'로서 석유기반의 디젤(경유)을 대체하여 사용 가능
 - 재생디젤 생산을 위한 수소 처리 공정은 원유를 휘발유, 디젤 및 기타 석유 제품으로 '분해'하는 정제공정과 유사하며, 드롭인(drop-in)* 탄화수소 연료로서 석유디젤을 완전히 대체
- * 현재의 디젤, 가솔린, 항공연료와 동등한 품질 규격과 기존 인프라를 '있는 그대로(drop-in)' 사용가능한 연료
- **(바이오항공유)** 동·식물성 기름 등의 바이오매스 원료를 발효, 촉매 공정을 통해 전환하여, 석유계 항공유 대체 사용 가능
- 2022년 세계 액체 바이오연료에 대한 투자 규모는 지난 10년 동안 두 번째로 높은 금액인 59억 달러 기록(BNEF)
 - 투자액의 약 93%는 재생디젤과 SAF(Sustainable Aviation Fuel, 지속가능한 항공유로 바이오항공유가 대표적) 부문이 차지



2022-2027년간 세계 바이오연료 수요는 350억 리터 또는 20% 증가하여 2027년 1,900억 리터 수준 전망(IEA의 기준 전망, main case)

- 재생디젤 및 바이오항공유 소비 증가는 미국, 유럽 등 선진국 중심으로, 바이오에탄올과 바이오디젤의 소비 증가는 대부분 브라질, 인도네시아, 인도 등 신흥국 중심으로 이루어질 전망
- 2027년 세계 바이오항공유 수요는 2021년의 37배인 39억 리터 수준으로 확대되어, 전체 항공기 연료 수요 중 바이오항공유가 1~2%를 차지할 전망
- 바이오디젤, 재생디젤, 바이오항공유의 생산 증가세가 현재와 같이 지속될 경우 2022~2027년 바이오연료 생산을 위한 원료 부족에 대한 우려도 제기

바이오연료 관련 각국의 정책 강화로 시장 확대가 가속화(IEA의 가속화 전망, accelerated case)될 경우 2027년 바이오연료 수요가 기준 전망 대비 25% 증가한 2,400억 리터 전망

- 바이오연료 시장의 가속화 전망은 중국, 유럽, 인도, 미국 등지에서 수요 촉진을 위해 보다 엄격한 정책을 시행하고 미국과 인도에서 바이오에탄올 혼합비율을 더 높인다는 전제하에 가능
 - 이 경우 미국, 중국, 유럽, 인도가 바이오연료 소비 증가의 80% 차지
- 시장 확대가 가속화될 경우 2027년 바이오항공유 수요는 81억 리터로 급증할 전망
- 또한 재생디젤, 바이오항공유 등의 생산 확대를 위해 폐기물 및 잔여물 등의 원료 공급 확대 필요

한국 바이오연료 시장은 최근 성장세에 있으나, 세계 시장 중 약 1% 수준의 낮은 비중을 차지하며, 기술수준이 미국 등 선진국 대비 열위

- 한국 바이오연료 생산 부문은 세계 16위, 소비 부문에서는 20위 차지(2023 BP 통계)
- 한국은 그동안 바이오연료에 대한 규제(품질검사, 등록의무, 위반 시 과징금 부과 등)에 비해 국내보급 활성화나 산업 육성을 위한 법·제도적 근거와 정책적 지원이 상대적으로 부족했던 상황
- 2011년 그린에너지 전략로드맵의 일환으로 바이오연료 로드맵을 수립하고, 생산기술 연구개발을 진행 중이나 미국, 유럽 등 선진기술 대비 기술수준이 낮음
- 지난해 10월, 정부는 기존 바이오연료 보급을 확대하고, 신규 바이오연료 도입을 추진하는 내용 등을 포함하는 친환경 바이오연료 확대방안 발표

2050 탄소중립 및 2030 국가 온실가스 감축목표 40% 달성뿐 아니라 신성장동력 확보 차원에서도 향후 바이오연료 시장 확대를 위한 정책적 지원을 더욱 강화할 필요

- 산학연 공동연구 등을 통한 기술 경쟁력 확보에 주력하는 한편 바이오연료 산업 생태계 조성기반 마련을 위한 투자 확대, 글로벌 바이오 원료경쟁 심화에 대비한 국내외 원료 공급망 구축 등 필요

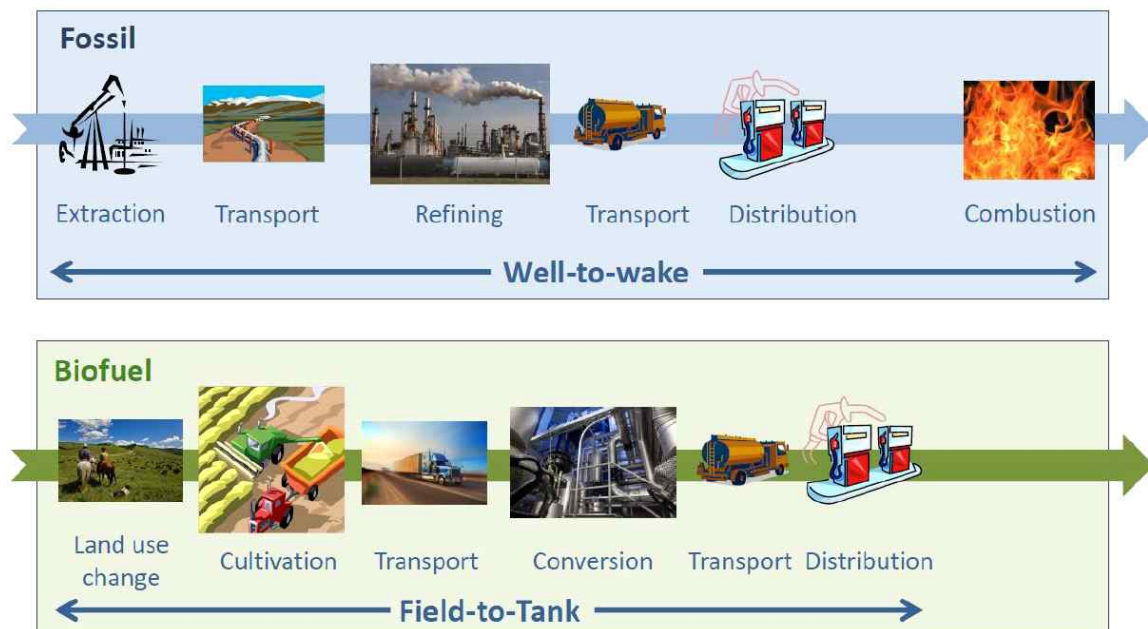


I. 연구배경

2050년 탄소중립 목표 달성과 글로벌 환경규제 강화에 대응하기 위해 석유기반의 연료 비중이 높은 수송용 부문에서 바이오연료¹⁾의 역할과 중요성 확대

- 주요국들이 2050년까지 탄소중립 목표 수립, 수송 부문에서도 대대적인 에너지 전환이 필요하며 그 대안으로 바이오연료 부상
 - 바이오연료는 특히 대형 트럭, 선박, 항공* 등 현재 화석연료가 지배하고 있지만 탄소감축이 어려운 수송 부문의 탈탄소화에 핵심적인 역할을 할 것으로 기대
 - * 동체가 크고, 장거리 수송용으로서 높은 에너지밀도의 동력원이 필요하여 현실적으로 전기(배터리), 수소 등으로 직접 대체가 어려워, 바이오연료가 유력한 탄소감축 해결책으로 부상
- 화석연료와 바이오연료는 그 기원이 모두 바이오매스(biomass)²⁾에 있다는 점은 동일하나, 화석연료가 오랜 기간에 걸친 탄화작용에 의해 생성된 데 반해 바이오연료는 생성 및 소비 과정의 탄소사이클이 균형을 이루고 있다는 점에서 탄소 중립적 에너지로 취급
 - IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 바이오매스에서 기인한 이산화탄소는 광합성 작용에 의해 재순환(탄소순환)되기 때문에 대기 중의 이산화탄소 농도 증가에 영향을 미치지 않는다는 논리로 바이오연료를 탄소중립 연료로 인정

온실가스 배출 전주기 비교분석(화석연료 vs. 바이오연료)



자료: 국토교통부(2019)

- 1) 바이오연료는 바이오매스를 원료(feedstock)로 하여 얻어지는 생성물로서 열화학적, 생물화학적, 물리화학적 변환과정을 통해 고체, 액체, 기체 형태로 만들어진 연료를 의미함
- 2) 태양에너지를 받는 식물과 미생물의 광합성에 의하여 생성되는 식물체, 균체 그리고 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물유기체를 총칭



- 세계 바이오연료 시장은 원료인 바이오매스가 풍부한 미국, 브라질 등을 중심으로 발달
 - 미국 등은 바이오연료 보급 확대를 위해 RPS(Renewable Energy Portfolio Standards, 재생에너지 의무 할당제도), RFS(Renewable Fuel Standard, 재생에너지연료 의무혼합제도)³⁾ 등의 정책 시행
- 바이오매스는 1~3세대로 구분되며 3세대로 갈수록 탄소저감 효과가 크나 기술적 난이도가 높음
 - 바이오매스는 자원작물(당질, 전분, 유지작물 등), 임산자원(임산 잔여물), 농산자원(벼짚, 왕겨, 밀짚 등), 각종 폐기물(가축배설물, 음식물폐기물, 폐목재, 하수 슬러지 등) 등 매우 다양
 - 곡물 등 1세대 식용 자원을 바이오매스로 사용하는 경우 곡물 가격 상승, 식량 부족 등의 문제로 이어질 수 있어 목재, 미세조류, 해조류 등의 2~3세대 비식용 자원이 차세대 연료원으로 부상

바이오매스 세대별 특징

주요 작물		세대 구분	특징
식용 자원	옥수수, 사탕수수, 대두유, 팜유 등	1세대	<ul style="list-style-type: none"> • 국가별로 부존량 상이 • 곡물가격 상승 부작용과 식량 경합성 등 지속가능성 이슈 존재
비식용 자원	식물줄기, 목질계, 폐식용유, 동물유지 등	2세대	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소저감 효과가 높으나 원료확보가 제한적 • 자원수집 및 수송을 위한 비용 부담 • 목질계 등의 셀룰로오스 분해를 위한 추가공정 및 비용 소요
	미세조류, 포집탄소·수소 등	3세대	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소저감 효과가 크고, 원료가 거의 무제한 • 기술이 초기단계로 경제적 대량생산을 위한 기술개발 보완 필요

자료: Kistep, 산업통상자원부 등

바이오연료는 최종 제품의 상태에 따라 크게 고체, 액체, 기체로 구분되고 이중 액체와 기체 상태의 연료를 수송용 연료로 사용 가능

- 고체 연료는 발전용 연료로 사용되어 높은 에너지 효율의 목재 펠릿 성형 기술개발이 진행 중이며, 발전소에서는 고형 바이오연료를 활용한 혼소(co-combustion) 기술개발 추진 중
- 액체 연료는 사탕수수 등을 발효하여 제조하는 바이오에탄올과 식물성 기름/동물성 지방과 메탄올을 에스테르 교환반응시켜 제조하는 바이오디젤 등이 대표적이며 자동차용 연료(휘발유, 경유) 등에 혼합하여 사용 가능
 - IEA는 액체 바이오연료 공급량의 경우 2020년 수송 분야의 4% 점유율에서 2050년 14%까지 증가할 것으로 전망(IEA, Net zero by 2050)
- 기체 연료는 유기성 바이오매스, 폐기물 등을 다양한 혐기성 미생물에 의해 분해하여 메탄과 이산화탄소로 전환하는 '혐기성 소화(anaerobic digestion) 과정'을 통해 제조하며, 바이오메탄으로 사용하거나 바이오수소 전환 원료로 사용

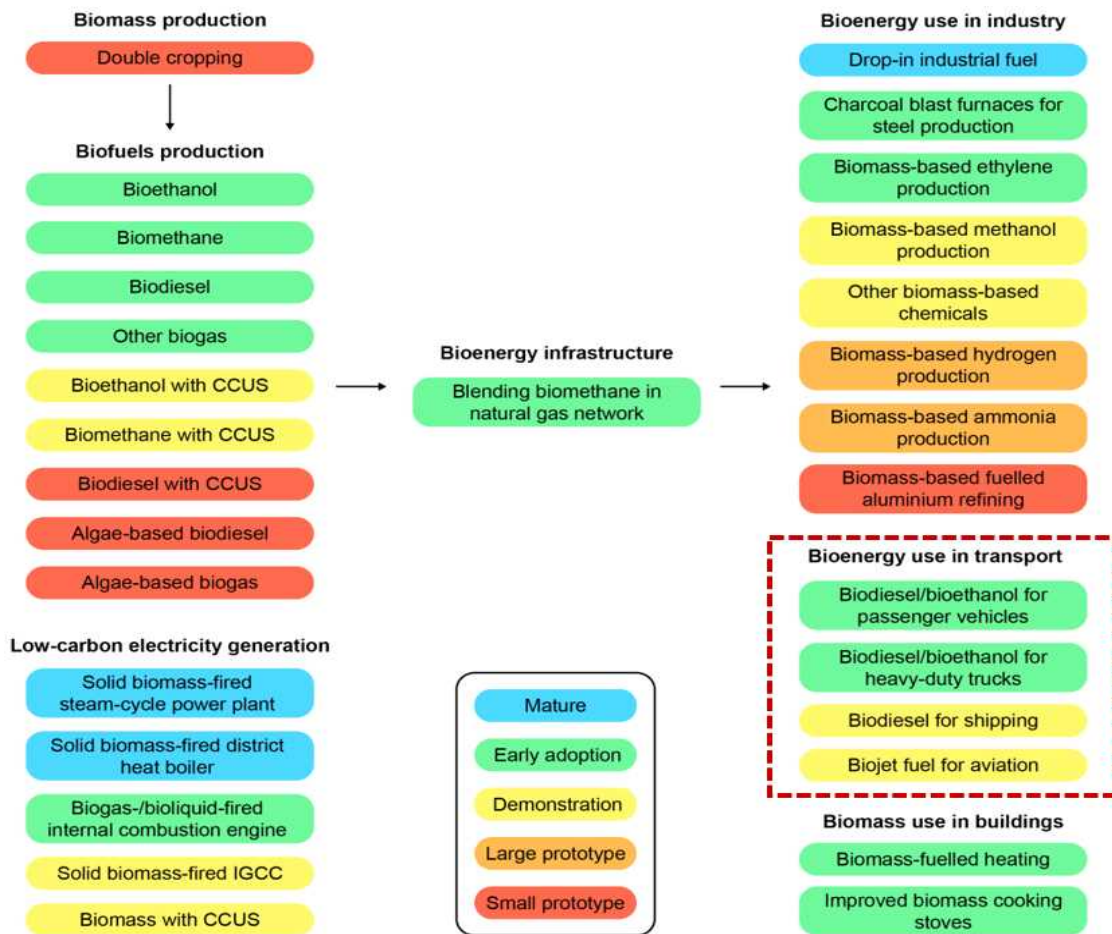
3) 도로용 자동차연료(휘발유, 경유, CNG 등)에 바이오연료(바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오가스 등)를 강제적으로 의무혼합하게 하는 정책



세계 온실가스 감축의 주요수단으로서 바이오연료의 장점과 성장 잠재력이 매우 큰 것으로 평가되나, 일부 기술을 제외하고는 대부분 기술이 아직 초기단계

- 일부 상용화된 기술과 제품도 높은 생산비용과 원료(feedstock) 확보 등이 제약요인으로 작용
- 본 보고서에서는 바이오연료 중 수송용 액체연료(바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오항공유 등)를 중심으로 시장 동향과 전망을 살펴보고 시사점을 도출하고자 함

바이오에너지 가치사슬별 기술 성숙도



자료: IEA(2020), 붉은 점선 안이 수송용 액체연료로 사용되는 바이오연료



II. 주요 바이오연료 종류와 특성

1. 바이오에탄올

바이오에탄올은 당질계, 전분계 및 목질계 등의 원료를 사용하여 제조하는 알코올 기반의 바이오연료로서 석유기반의 휘발유(가솔린) 대체 가능

- 바이오에탄올은 기존 휘발유와 혼합하여 사용하기 때문에 휘발유 엔진, 석유정제, 유통 인프라를 최소한의 설비 변경만으로 그대로 사용할 수 있다는 장점
- 미국, 브라질 등 미주 국가를 중심으로 바이오에탄올을 자동차용 휘발유에 혼합하여 사용하고 있으며, 미국은 최대 10%, 브라질은 최대 27.5%로 의무 혼합하여 사용
 - 미국은 세계 최대의 바이오에탄올 생산국인 동시에 소비국으로서 바이오연료 의무 보급을 위한 에너지정책법, 에너지독립안보법, RFS 제도 시행 등 바이오연료 생산 촉진 정책 선도
 - 2022년 현재 미국을 포함한 세계 60여 개국에서 바이오에탄올 정책 및 규정을 도입·운영 중
- 세계 바이오에탄올 생산량은 2019년 1,150억 리터에서 코로나19 확산 영향으로 2020년 980억 리터로 감소

바이오에탄올은 효소 당화공정 및 발효공정 등을 거쳐 생산되며, 원료에 따라 생산공정에 차이 존재

- 1세대 바이오연료 원료인 식용계 원료는 크게 당질계와 전분계로 구분되며 원료 자체가 당 성분이기 때문에 간단한 분쇄 과정을 거친 후 바로 발효공정을 통해 바이오에탄올 생산
 - 당질계는 셀룰라아제(cellulase), 전분계는 아밀라아제(amyase)를 사용하여 당으로 전환
 - 발효공정에 효모⁴⁾ 또는 박테리아(세균)⁵⁾ 등의 미생물을 이용하고 있으며, 상업화 수준에서는 효모를 주로 사용하며 당화·발효 동시 공정도 개발되어 상업적으로 적용되고 있음

바이오에탄올의 원료별 특징

구분	식용 바이오매스	비식용 바이오매스
종류	전분계, 당분계	농업 부산물, 목질계 등
예	옥수수, 사탕무, 밀, 카사바, 보리 등	벼짚, 옥수수대, 밀짚, 거대역새, 나무 등
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 식량자원 • 단순구조로 쉽게 바이오알콜로 전환 	<ul style="list-style-type: none"> • 비식량자원 • 복잡한 구조로 인해 전환효율이 낮음

자료: 바이오연료포럼, <https://k-biofuels.or.kr/front/kor/bio/bio-ethanol>(검색일자: 2023.6.23일)

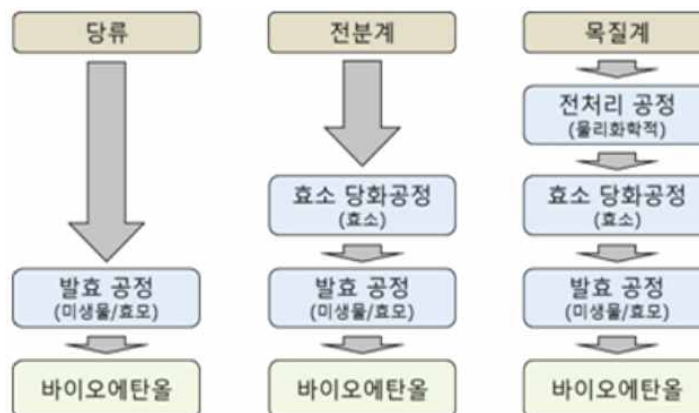
4) 효모는 3대 미생물 중의 하나로 발효식품에 유용하게 쓰이는 진핵생물(핵과 세포소기관 존재) 내 원생생물로, 산소가 있을 때 세포호흡, 산소가 없을 때 알코올 발효

5) 단세포의 미생물로 세포소기관을 가지지 않는 대부분의 원핵생물(핵과 기타 막구조가 없는 생물)이 여기에 속함



- 1세대 바이오에탄올 생산기술은 상업적으로 이미 확립되어 있으나 식량을 원료로 사용한다는 윤리적인 문제점으로 인해, 셀룰로오스계 원료를 이용한 2세대 바이오에탄올 생산기술개발에 관한 관심 증가
- 다만 비식용 바이오매스는 미생물에 의한 분해가 거의 이루어지지 않는 '리그닌'이라는 성분에 둘러싸여 있기 때문에, 리그닌으로부터 셀룰로오스를 분리하는 전처리 공정이 추가적으로 필요하여 전환 효율이 낮음
- 후단의 당화 및 발효 공정에 저해 영향을 주는 부산물의 생성을 최소화하고 경제성을 높이기 위한 다양한 공정이 개발되고 있음

바이오에탄올 원료별 생산기술 공정



자료: 바이오연료포럼, <https://k-biofuels.or.kr/front/kor/bio/bio-ethanol>(검색일자: 2023.6.23일)

- 현재 미국, 브라질 등의 국가를 중심으로 바이오에탄올 생산설비가 가동 중에 있음
- 세계 최초로 상용화된 셀룰로오스계 바이오에탄올 생산설비는 2013년 10월 M&G Group과 산업용 효소 생산업체인 Novozymes이 이탈리아에 설립한 Beta Renewables(연간 2,000만 갤런 규모)로서 수년간 운전되었으나 원료 수급 불안과 경제성 부족 등의 문제로 2017년 가동 중단
- 미국에서는 농업 부산물을 원료로 하여 아이오와주 POET-DSM 공장(2014년 9월, 2,000만 갤런 규모), 캔자스주 Abengoa Bioenergy 공장(2014년 10월, 2,500만 갤런 규모), DuPont 공장 등이 설립(2015년, 3,000만 갤런 규모)
 - ✓ 이후 Abengoa Bioenergy(2015년 12월), DuPont 공장(2017년 11월)은 가동 중단되었고, POET-DSM 공장은 규모를 대폭 축소한 후 가동 중
- 브라질은 2014년 사탕수수에서 당분을 제거하고 남은 목질계 부산물인 바가스(bagasse) 또는 짚을 이용한 바이오에탄올 생산 공장을 설립하여 기존의 사탕수수 바이오에탄올 생산 시설과 함께 가동 중

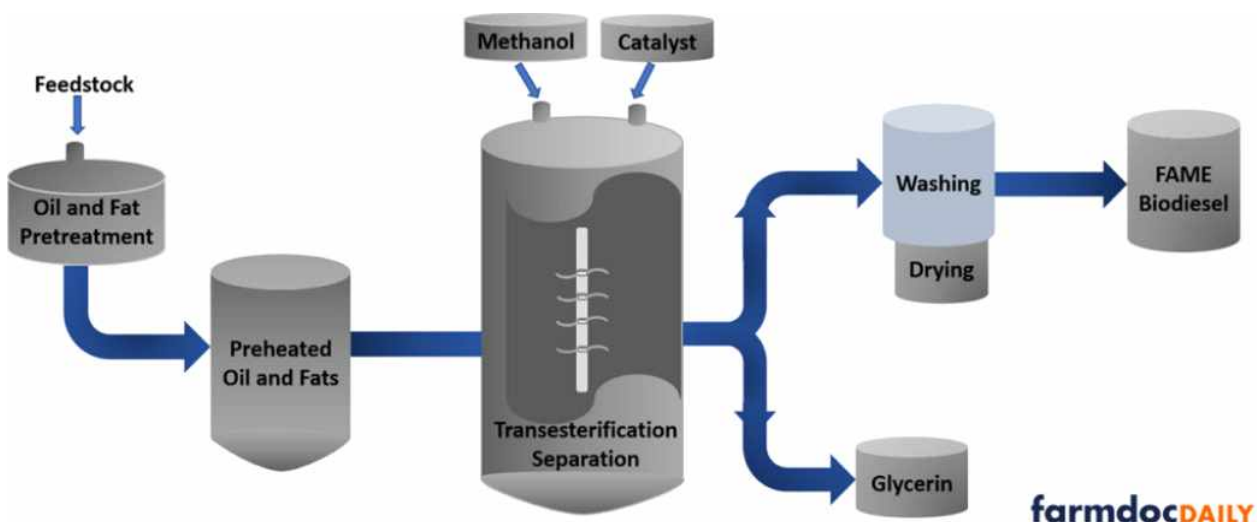
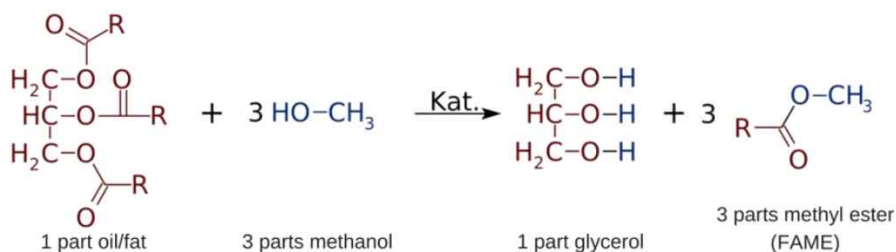


2. 바이오디젤

바이오디젤은 식물성 기름 또는 동물 지방을 원료로 하여 메탄올과 반응시켜 합성하며, 석유 디젤(경유)과 혼합하여 사용 가능

- 유럽과 아시아 국가를 중심으로 자동차용 경유에 혼합하여 사용하며, 유럽은 최대 7%, 아시아는 인도네시아가 최대 20%로 의무 혼합하여 사용
- 2019년 세계 바이오디젤 생산량은 410억 리터를 기록한 이후, 2020년은 코로나19 팬데믹 영향으로 370억 리터로 감소
- 2019년 국가별 바이오디젤 생산량은 프랑스, 독일, 스페인, 네덜란드 등 유럽 생산량이 157억 리터, 미국 84억 리터, 인도네시아 72억 리터 순
- 바이오디젤(FAME, Fatty Acid Methyl Ester)은 고분자량의 오일 및 지방 등의 원료를 촉매반응(일반적으로 수산화칼륨)을 통해 알코올(메탄올)과 에스테르 교환반응(transesterification)에 의해 생산

바이오디젤 전환 반응식(상)과 생산공정(하)



자료: 과학기술정보통신부 블로그, https://blog.naver.com/with_msip/222886320345(검색일자: 2023.6.23.일), <https://farmdocdaily.illinois.edu/2023/02/biodiesel-and-renewable-diesel-whats-the-difference.html>(검색일자: 2023.6.26일) 등



- 일반적으로 바이오디젤 1갤런과 글리세롤(글리세린) 0.9파운드 생산에 약 7.5파운드 원료 필요
- 원료는 불순물 제거를 위해 전처리된 후 화씨 약 130도에서 메탄올 및 염기 촉매와 함께 반응기에서 화학반응을 시킨 후, 반응 혼합물을 몇 시간 동안 침전시킴
- 밀도 차이로 글리세롤은 반응기 바닥, 바이오디젤은 반응기 상단에 침전되며, 침전 완료 후 글리세롤은 정제하여 탱크에 저장하고, 메틸 에스테르는 다른 탱크로 옮겨 여러 번 세척
- 메틸 에스테르의 세척 후 건조작업을 통해 남아있는 수분을 제거하고, 바로 소비할 수 있는 FAME 바이오디젤 상태로 탱크에 저장
- 바이오디젤 생산공정을 통해 생산되는 순수 FAME 바이오디젤은 업계에서 B100으로 알려져 있으며, 석유기반의 디젤과 같은 탄화수소 연료가 아니기 때문에 몇 가지 주요한 차이점이 있으며 실제 사용에 있어 장단점 존재
 - 첫째, FAME 바이오디젤에는 분자 내에 산소를 포함하고 있는데 높은 산소 함량은 수분 발생 등 부식을 유발하는 산화로 인해 저장가능한 시간을 제한할 수 있음
 - 둘째, FAME의 화학성분은 저장탱크 관리가 부실할 때 미생물 오염에 더 취약하며, 이로 인해 저장 탱크의 부식과 연료관의 막힘을 초래할 수 있음
 - 셋째, FAME 바이오디젤은 상대적으로 높은 온도에서 동결되기 시작하여 눈에 보이는 결정 형성(연료의 흐림점, cloud point of the fuel)*
 - * 가령, 대두유로 만든 FAME 바이오디젤의 흐림점은 석유 디젤의 화씨 약 16도에 비해 높은 화씨 약 34도
 - 동결 과정이 계속되면 연료가 결국 '겔화' 상태로 응고되어 연료관을 통해 흐르지 않게 되므로 FAME 바이오디젤은 실제 최종 소비를 위해 석유디젤과 혼합하여 사용해야 함
 - 이러한 바이오디젤의 특성으로 인해 석유디젤 혼합 시 최대 혼합비율에 제한을 두고 있으며, 일반적인 혼합물 종류에는 B5(최대 5% 바이오디젤) 및 B20(6~20% 바이오디젤) 등이 있음
 - 한편 바이오디젤 사용에 있어서 문제점들 외에 긍정적인 측면도 존재하는데, 가령 바이오디젤은 화학적 조성으로 인해 바람직한 윤활 특성이 있어 조기 엔진 마모 방지에 도움이 됨
- 바이오디젤 생산 과정의 부산물인 글리세롤은 동물 사료 또는 다양한 화학 공정에 사용되며 고가의 화장품 등의 생산원료로 활용하는 기술은 바이오디젤 생산의 경제성을 높이는 데 중요한 역할
- 바이오디젤은 다양한 원료를 이용하여 생산 가능하며 지역적, 환경적, 사회적 여건에 따라 적합한 원료를 선택하여 생산 단가를 낮추고 있음
 - 바이오디젤 원료는 대두(soybean), 유채(rapeseed), 팜(palm), 코코넛(coconut)유와 같은 ①식용 가능한 식물성 오일, 자트로파(jatropha), 카스토로(castor), 님(neem)유 등의 ②비식용 식물성 오일, 소(tallow), 닭(chicken), 생선(fish) 기름 등에서 나오는 ③동물성 유지, 미세조류, 폐식용유 등 ④기타 유지 등으로 구분 가능
- 다만 바이오디젤의 원료인 식물성 기름 또는 동물성 지방의 공급량이 화석연료 기반의 디젤을 대체하기에는 매우 부족하기 때문에 일부 환경 단체는 바이오디젤의 원료인 식물성 기름을 생산하기 위한 광범위한 재배가 과도한 비료, 농약 사용으로 이어질 수 있다고 비판



- 특히 바이오디젤의 핵심 원료 중 하나인 팜유는 기름야자(오일팜)에서 채취되며 인도네시아 등 동남아에서 70% 이상이 생산되는데 팜유농장 확대를 위해 우림을 불태우는 등의 문제점들로 인해 오히려 환경에 유해하다는 지적이 있으며, 이에 EU는 2030년까지 팜유를 바이오디젤의 원료에서 퇴출하기로 결정
- 최근 식량, 에너지, 환경 문제에 대한 관심과 중요성이 커지며 전 세계적으로 미세조류 바이오디젤에 관한 관심이 증대되고 고지질 미세조류종 개발, 대량 배양, 수확 및 오일 추출, 부산물 활용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음

3. 재생디젤(Renewable Diesel)

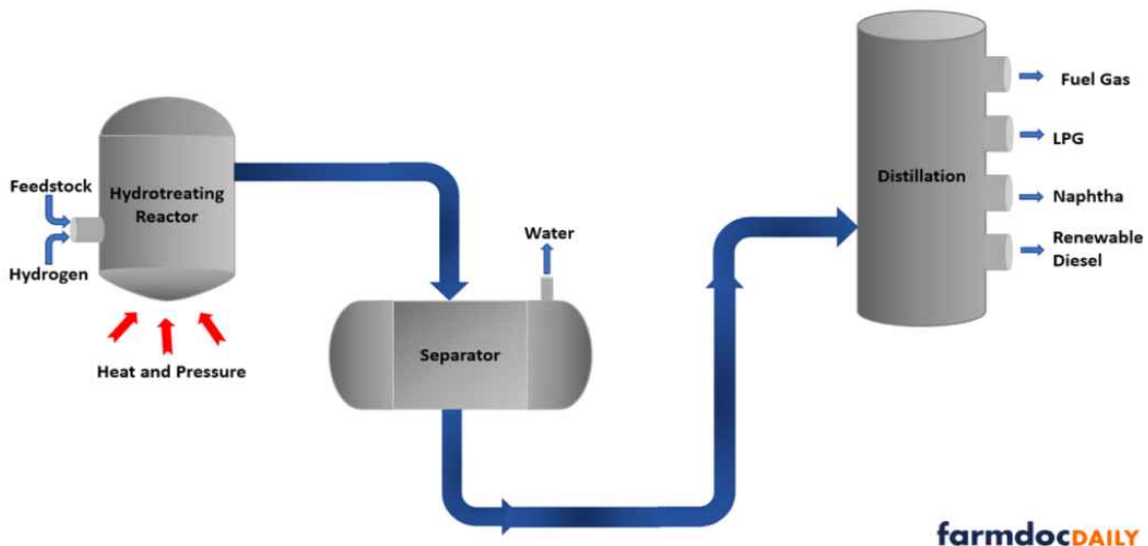
재생디젤은 식물성 기름 또는 동물 지방 등을 고온에서 수소 처리하여 제조하는 '수첨 바이오디젤(HVO, Hydro-treated vegetable oil)'로서 석유기반의 디젤을 대체하여 사용 가능

- 바이오매스 기반의 대표적인 디젤연료 유형에는 '바이오디젤'과 '재생디젤'이 있으며, 이 두 연료는 동일한 원료를 사용하여 생산할 수 있지만 생산공정이 근본적으로 다름
- 즉 바이오디젤은 비교적 간단한 화학반응 생산공정을 사용하는 반면 재생디젤은 석유 정제 기술을 사용한다는 차이 존재
- 역사적으로 바이오디젤이 재생디젤보다 훨씬 많이 생산되어 미국 RFS 준수와 관련하여 중요한 역할을 수행해 왔으나 최근 몇 년간 재생디젤 생산능력이 점차 확대되는 추세
- 현재 바이오연료 생산량 중 재생디젤의 비중은 매우 낮지만 미국, 유럽을 중심으로 보급이 점차 확대되어 2019년 70억 리터에서 2020년 코로나19에도 불구하고 90억 리터로 증가
- 재생디젤 생산을 위한 수소 처리 공정은 원유 정제설비에서 원유를 휘발유, 디젤 및 기타 석유 제품으로 '분해'하는 공정과 유사
- 재생디젤도 FAME 바이오디젤 생산공정과 같이 정제 공정 시작 전 불순물 제거 과정을 거침
- 전처리된 원료와 수소를 수소 처리 반응기에 유입시킬 때 고체 미립자 촉매층 위로 흐르게 하는데 이 단계에서 촉매가 고온 및 고압 하에서 원료와 수소의 반응을 유발하며, 물과 추가 처리를 통해 연료로 사용하기에 적합한 액체 탄화수소 분자 형성
- 수소화 처리 후 반응기 내에 생성된 혼합물은 분리 장치로 이동하여 증기 및 기타 경질 생성물 가스가 증기로 제거되며, 수소화된 액체 탄화수소의 증류탑 분리를 통해 재생디젤이과 연료가스, LPG 및 나프타와 같은 부산물도 생산됨
- 재생디젤 생산을 위해 필요한 원료의 양은 생산공정에서 원하는 부산물 비율에 따라 다르나 일반적으로 FAME 바이오디젤보다 많이 필요한데 이는 재생디젤 생산공정 중 더 많은 양의 원료가 손실되기 때문으로 보통 재생디젤 1갤런과 소량의 나프타 및 프로판 생산에 약 8파운드의 원료 필요
- 재생디젤 생산설비는 원유 정제소 전체 또는 부분을 개조하여 사용하며, 일부는 완전히 새로운 정제 시설로 건설하기도 함



- 시장 상황에 따라 원유정제 공정과 유기 지방 및 오일 정제 공정의 전환 가능
- 재생디젤을 생산하는 데 원유정제 기술을 사용하기 때문에 FAME 바이오디젤 생산에 비해 재생디젤 생산의 자본비용(capital costs)이 상당히 높음
- 수첨 바이오디젤은 여러 생산공정을 통해 생산되는데 핀란드 Neste Oil이 개발한 HVO 공정이 가장 앞서가고 있으며 미국 UOP와 ENI, 브라질 Petrobras 등도 상용공정 개발

재생디젤 생산공정



자료: <https://farmdocdaily.illinois.edu/2023/02/biodiesel-and-renewable-diesel-whats-the-difference.html>(검색일자: 2023.6.26일)

- 재생디젤은 바이오디젤과 달리 원유정제 기술을 통해 완전히 정제되고 분해되어 석유 디젤과 동일한 기술 사양을 충족하는 '드롭인(drop-in)'⁶⁾ 탄화수소 연료로서 석유 디젤을 완전히 대체할 수 있음
- 즉 재생디젤은 폐식용유 등의 원료에서 불순물 제거 후 수소 촉매 반응을 통해 생산된 수첨 바이오디젤로서 석유 디젤과 동일한 탄화수소 화학성분을 갖는 무색, 무취의 고품질 연료
- 재생디젤은 석유디젤과 성분이 유사하여 최신 디젤 엔진에서 연료로 사용할 때 석유디젤과 혼합할 필요가 없음
- 재생디젤의 드롭인 특성은 바이오디젤에 비해 상당한 장점으로 재생디젤이 석유 디젤에 비해 에너지 함량이 다소 낮은(부피 기준으로 4% 적음) 단점 상쇄
- 다만 드롭인 연료의 장점에도 불구하고 재생디젤 5%와 석유디젤 95%(R5) 및 재생디젤 20%와 석유 80%(R20)와 같은 혼합 제품⁷⁾이 존재하며, 소량의 바이오디젤이 유통 목적으로 재생 디젤과 혼합되기도 함

6) 현재의 디젤, 가솔린, 제트연료와 동등한 품질 규격과 기존 인프라를 '있는 그대로(drop-in)' 사용할 수 있는 연료를 의미함

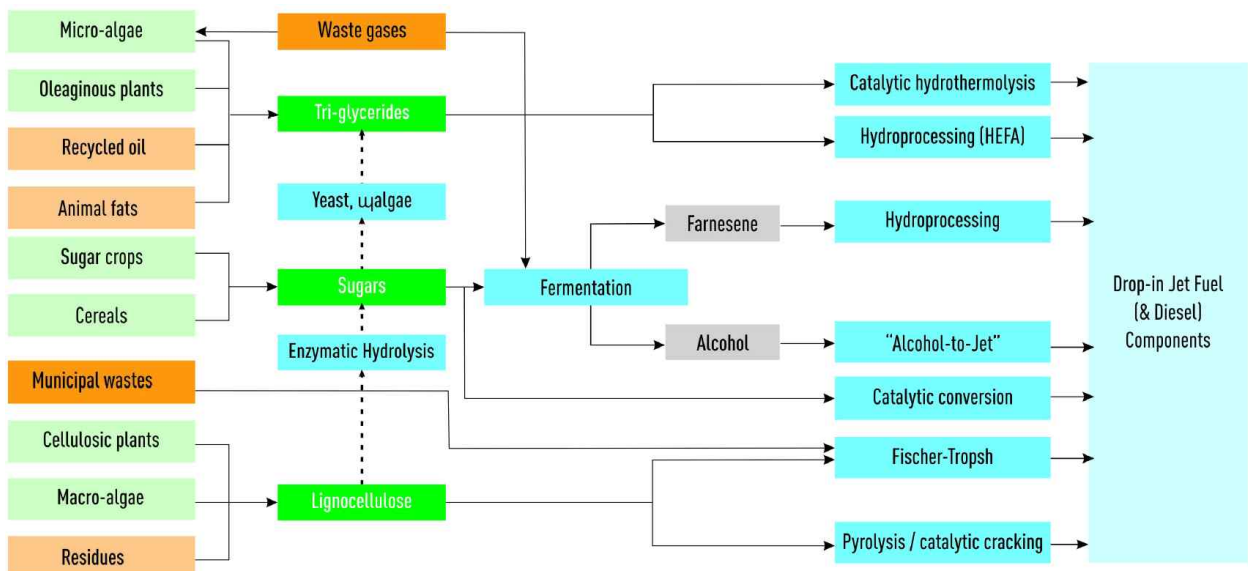
7) 재생디젤이 석유 디젤과 혼합되면 두 연료가 매우 유사하기 때문에 석유 디젤의 화석 탄소와 재생 가능한 디젤의 유기 탄소를 구별하기 위해 탄소 연대 측정 필요

4. 바이오항공유

바이오항공유는 동·식물성 유지, 셀룰로스를 바이오매스 및 조류 등을 원료로 제조하며, 기존 석유기반의 항공유 대체 가능

- 세계 항공 부문은 전체 이산화탄소 배출량의 2%를 차지하는 등 온실가스 저감이 시급한 부문이나 석유계 항공유를 대체하기에 수소나 전기 등의 에너지원은 부적합하여 바이오항공유 도입 확대 불가피
- 현재 상용화된 바이오항공유는 항공기 엔진 성능에 최적화된 등유(kerosene) 기반 항공유를 연료 품질기준에 따라 적정량 혼합하여 사용하며, 미국재료시험협회(ASTM)는 항공유에 바이오항공유를 50% 이상 혼합할 수 있도록 승인 규격 마련
- 바이오항공유는 동·식물성 기름 등의 바이오매스 원료를 발효, 촉매 공정을 통해 전환하여, 석유계 항공유와 매우 유사한 성분으로 제조하며, 바이오항공유 생산기술은 원료 및 공정에 따라 다음과 같이 크게 4가지 유형으로 분류
- ① **OTJ(Oil-to-Jet)**: 동·식물성 유지의 수소 처리를 통해 바이오항공유를 생산하는 기술로서 대표적인 공정은 폐식용유와 같은 유지의 에스테르 전이반응을 통해 생성된 지방산 메틸에스테르(FAME)에 수소첨가반응(hydro-treatment)을 하여 파라핀 성분의 HVO(Hydro-treated Vegetable Oil) 생산

바이오항공유 주요 원료 및 전환공정



자료: IATA 웹사이트(www.iata.org), A global approach to reducing aviation emissions (IATA, 2009), 국토교통부(2019) 재인용



- ② **STJ(Sugar-to-Jet)**: 당분계 및 전분계 원료를 발효 및 생화학적 전환을 통해 탄화수소로 직접 전환하는 DSHC(Direct Sugar to Hydrocarbons) 기술과 원료의 가수분해 및 축매를 이용한 탈산소, 업그레이딩을 통해 연료를 생산하는 기술(Aqueous Phase Reforming)이 있음
- ③ **ATJ(Alcohol-to-Jet)**: 목질계 바이오매스의 가스화나 당질계 원료의 가수분해를 통해 생성된 알코올을 탈수, 올리고머화⁸⁾를 통해 바이오항공유를 생산하는 기술
- ④ **GTJ(Gas-to-Jet)**: 목질계 바이오매스 원료를 가스화 반응을 통해 합성가스로 전환한 후 F-T(Fischer-Tropsch) 반응을 통해 바이오항공유를 생산하는 F-T to Jet 기술과 Gas Fermentation 기술이 있음
- 바이오항공유는 국제적인 바이오항공유 품질규격(ASTM D7566)을 인증받은 연료만 드롭인 연료 형태로 사용가능하고, 그 외에는 석유기반의 항공연료와 혼합하여 사용
- 전 세계적으로 가동 중 또는 가동 예정인 바이오연료 생산설비가 증가하는 추세이며, 바이오디젤에 대한 RFS 제도가 있는 북미, 유럽을 중심으로 바이오항공유 생산가능 설비 구축
- 현재 가동 중인 바이오항공유 생산설비 대부분은 바이오디젤 생산시설인 동시에 바이오항공유 생산이 가능한 설비
- 유럽은 기존 정유사들(Neste, Total, ENI 등)을 중심으로 바이오연료 생산설비를 구축하는 반면 미주지역은 바이오연료 전문 생산업체들(AltAir, World Energy, Fulcrum, Gevo, SG Preston 등) 중심
- 2020년 세계 바이오항공유 생산량은 전체 항공유의 0.015%인 4천만 리터 수준
- AltAir Fuels는 2015년 연간 4,000만 갤런 규모의 생산설비를 구축하여 가동 중이며, World Energy는 연간 3,500만 갤런 규모 생산 중
- 전체 운송 중 항공 부분의 이산화탄소 배출량이 13%를 차지하는 등 전 세계적 온실가스 감축 정책에 따라 향후 바이오항공유 생산량의 지속적인 증가세 예상
- 미국 SAF(Sustainable Aviation Fuel, 지속가능한 항공유) Grand Challenge에 의하면 2030년까지 연간 30억 갤런의 SAF, 2050년까지 연간 350억 갤런의 SAF 필요
- 유럽은 EU 집행위원회 ReFuelEU Aviation에 따라 2050년까지 SAF를 항공유에 70% 혼합하기로 잠정 합의

8) β -아밀로이드 단백질 여러 개가 응집되는 과정

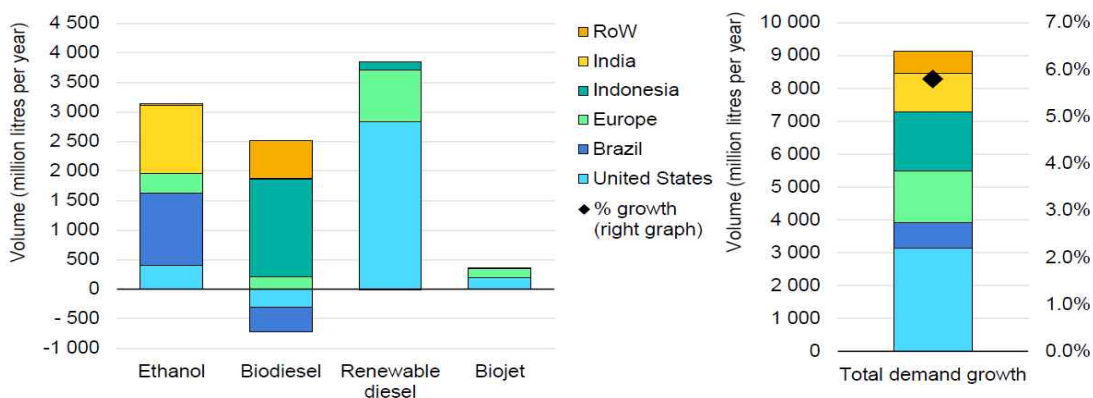
Ⅲ. 세계 바이오연료 시장 동향 및 전망

1. 최근 시장 동향

2022년 세계 바이오연료 수요는 미국, 유럽, 브라질 등을 중심으로 증가하여 전년대비 6%인 91억 리터(9,100 MLPY⁹⁾) 증가한 약 1,600억 리터 수준(IEA, 세계에너지기구)

- 2021년 세계 총 에너지 공급량 중 재생에너지는 약 12%를 차지하며, 재생에너지 중 액체 바이오에너지 비중은 5.4%로 전체 에너지 중 액체 바이오연료 비중은 1% 미만
 - 2021년 세계 총 에너지 공급량 624 EJ(Exajoules)¹⁰⁾ 중 재생에너지는 74 EJ로 약 12% 차지, 재생에너지 중 바이오에너지는 41(고체 36, 액체 4, 기체 1) EJ로, 액체 바이오에너지 비중은 5.4%
- 미국, 유럽 등은 재정적인 인센티브에 힘입어 바이오연료 소비가 전년 대비 큰 폭으로 증가
 - 미국, 유럽 외에도 인도와 브라질, 인도네시아 등의 국가에서도 바이오텔 혼합 의무화 정책 등에 따라 바이오텔 수요가 크게 증가
- 2022년 바이오연료 수요는 연료 가격 상승에 따른 브라질, 핀란드, 스웨덴 등지에서의 수요 둔화에 따라 전년도 전망치 대비 25%, 즉 31억 리터(3,100 MLPY) 하향 조정된 수치
 - 브라질 정부는 높은 바이오텔 가격으로 인해 2021/22년 바이오텔 혼합 요구사항을 줄이기로 결정
 - 핀란드 정부도 높은 연료 가격으로 인해 2022/23년에 대한 재생에너지 보급 의무를 일시적으로 완화
 - 스웨덴은 온실가스 수송용 연료에 대한 2023년 온실가스 저감 목표를 2022년 수준으로 동결(2030년 목표는 유지)

2022년 바이오연료의 종류별 지역별 수요 증가



Note: RoW = Rest of world.

자료: IEA(Renewables 2022)

9) 백만 리터/년(million litres per year)

10) 에너지 단위로서 1EJ(10¹⁸J)은 석유 1억 7,000만 배럴의 에너지량에 해당



2022년 바이오연료 유형별 수요는 재생디젤, 바이오에탄올, 바이오디젤 순으로 증가

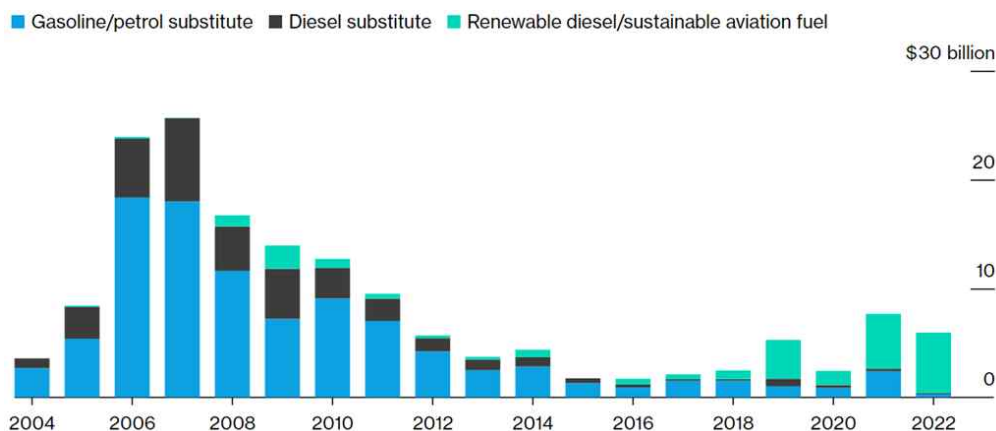
- 2022년 재생디젤 수요가 주요국의 정책적 인센티브에 힘입어 전년대비 40% 높은 38억 리터(3,800 MLPY) 확대되며 바이오연료 유형 중 가장 큰 폭으로 증가
 - 미국은 주정부 차원의 저탄소 연료 표준, 연방정부의 재생연료 표준, 바이오디젤 생산 및 혼합 세액공제 등이 재생디젤 소비를 촉진하여 세계 재생디젤 증가분의 대부분을 차지하였으며, 수요증가에 힘입어 미국내 재생디젤 생산량은 28억 리터(2,800 MLPY) 증가
 - 유럽에서는 독일 및 스페인과 프랑스의 기존 정책이 재생디젤 소비를 높이는 데 기여
- 2022년 바이오에탄올 수요는 전년대비 3% 높은 31억 리터(3,100 MLPY) 증가했으며, 증가분 중 3분의 1 이상을 인도가 차지
 - 2022년 인도 정부는 20% 바이오에탄올 혼합 목표 달성을 위해 바이오에탄올 가격을 지속적으로 보장
 - 한편 브라질은 바이오에탄올 수요가 4% 증가하였으며, 대형 유연연료 차량(FFV, flex-fuel vehicles) 소비자의 경우 바이오에탄올 가격이 낮을 때 휘발유 대신 바이오에탄올 선택 가능
 - * 2022년 3분기까지 바이오에탄올 소비자 가격 평균은 휘발유 대비 약 30% 낮게 형성
- 2022년 바이오디젤 수요는 전년대비 18억 리터(1,800 MLPY) 증가하였으며 인도네시아가 신규 바이오디젤 수요의 대부분을 차지
 - 인도네시아의 2022년 바이오디젤 30% 혼합 목표와 전체 디젤 수요의 4% 증가 등이 바이오디젤 성장 견인

2022년 세계 액체 바이오연료에 대한 투자 규모는 지난 10년 동안 두 번째로 높은 금액인 59억 달러 기록

- 2022년 투자액의 약 93%는 재생디젤과 SAF*부문이 차지

* 재생디젤/SAF 투자는 동일설비에서 생산되는 재생나프타 및 천연가스액체(NGL)를 포함한 모든 연료제품을 합산한 것

세계 바이오연료 투자규모 추이



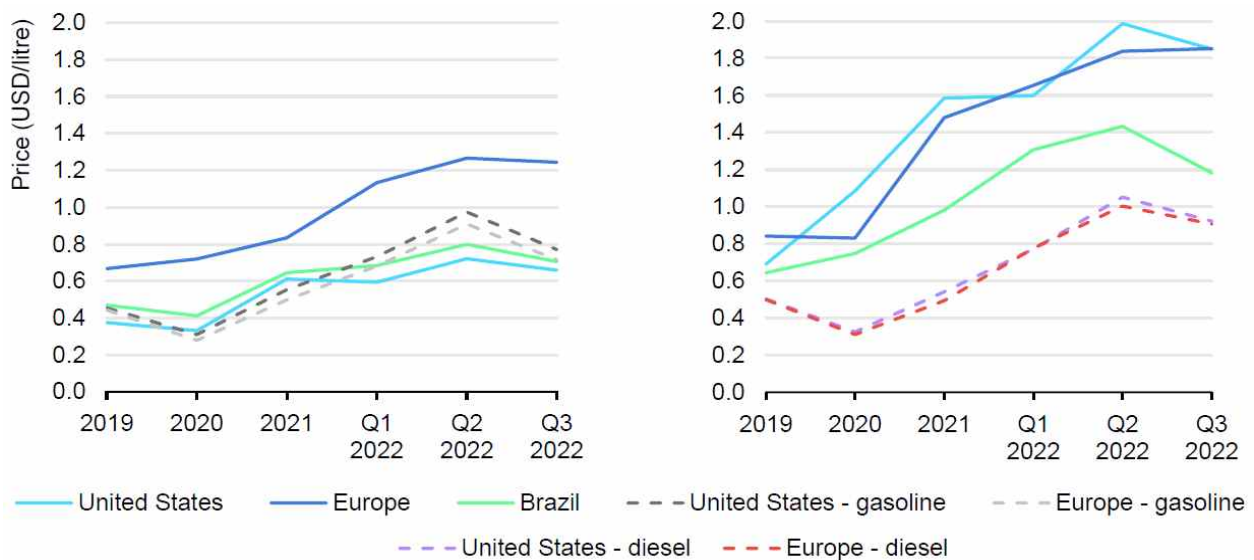
자료: BNEF(2023)

주요국의 강력한 정책이 바이오연료 수요 성장을 견인하고 있지만, 연료가격 상승에 따른 성장 속도 둔화 우려도 존재

- 2022년 상반기 석유기반의 디젤 가격이 두 배 이상 급등했으나 미국, 유럽, 브라질에서 바이오디젤 가격 인상으로 석유디젤보다 점점 더 비싸짐
- 우크라이나의 식물성 기름 수출 차질, 날씨 등으로 인한 공급중단, 높은 에너지 가격과 비료 비용 등으로 인해 2022년 농산물 가격이 사상 최고치를 기록하며 바이오디젤 가격이 동반 상승
- 바이오연료 가격 상승에 대응하여 브라질, 핀란드, 스웨덴 등은 혼합 의무량을 축소하여 2022년 바이오연료 수요 전망치가 하향 조정
- 다만 핀란드는 2023년, 스웨덴은 2024년에 혼합 의무량을 다시 늘릴 계획이며, 브라질은 바이오디젤 혼합 비율*을 언제 다시 높일지 발표하지 않은 상황

* 브라질의 2022년 당초 바이오디젤 혼합율 목표는 14%

바이오에탄올/바이오디젤 가격 추이(2019~2022Q3)



IEA. CC BY 4.0.

자료: IEA(Renewables 2022)

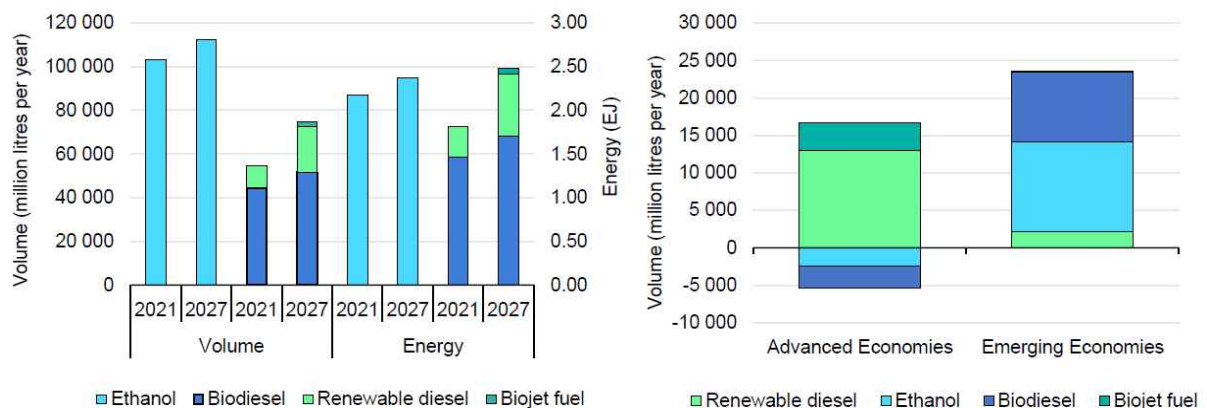
2. 바이오연료 시장의 중기 전망¹¹⁾

(1) 기준 전망(main case)

2022-2027년간 세계 바이오연료 수요는 350억 리터(35,000 MLPY) 또는 20% 증가하여 2027년 1,900억 리터 수준 전망

- 2021년 바이오에탄올 수요(부피기준)는 바이오디젤, 재생디젤, 바이오항공유를 합친 양보다 약 2배가량 많지만 에너지량 기준으로는 나머지 세 바이오연료를 합친 양과 유사
 - 이는 바이오에탄올보다 다른 세 가지 바이오연료의 에너지 함량이 60% 정도 높기 때문
 - 2027년까지 바이오디젤, 재생 디젤, 바이오항공유의 에너지 수요를 합친 양은 바이오에탄올 2.4 EJ보다 0.1EJ 많은 2.5 EJ에 달할 것으로 예상
- 재생디젤 및 바이오항공유의 소비 증가는 선진국 중심으로 이루어질 전망
 - 재생디젤, 바이오항공유의 온실가스 배출량이 적고, 높은 수준으로 혼합되며, 원료가 폐기물과 잔여물로 만들어지는 등의 특성들이 선진국 온실가스 저감 정책에 부합하여 수요 증가
 - 실제로 2021년 재생디젤 및 바이오항공유의 약 70%가 폐기물 및 잔여물로부터 생산됨
- 한편, 바이오에탄올과 바이오디젤의 사용 증가는 대부분 신흥국 중심으로 이루어질 전망
 - 신흥국들은 바이오연료 사용 확대를 통해 석유 수입 의존도를 낮추는 동시에 현지 자원 사용을 극대화하여 지역 경제에 도움이 되는 것을 목표로 하며, 바이오연료 사용은 신흥국의 온실가스 배출량 저감에도 도움이 됨

2022-2027년 세계 바이오연료 수요(좌) 및 지역별 성장 전망(우)



IEA. CC BY 4.0.

주) main case forecast, "Advanced Economies"는 모든 OECD 회원국과 불가리아, 크로아티아, 키프로스, 몰타, 루마니아 포함, "Emerging Economies"는 다른 모든 국가 및 지역 포함

자료: IEA(Renewables 2022)

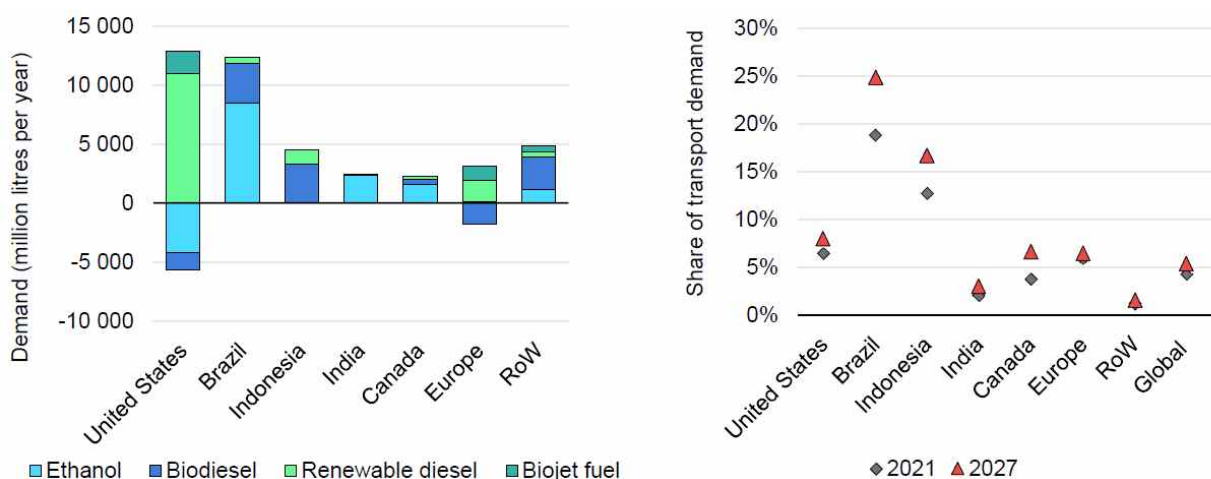
11) IEA(국제에너지기구)는 'Renewables 2022' 보고서에서 기준 전망(main case)과 가속화 전망(accelerated case)에 따른 바이오연료 시장 전망을 제시함. 본 장에서는 IEA의 두 가지 전망에 따른 바이오연료 시장 전망을 살펴보고, 바이오연료 중에서도 급성장이 예상되는 바이오항공유 시장의 전망 내용을 정리함. 각 전망의 전제가 되는 정책과 가정들은 p.31 <부록 1> 내용 참고.



브라질, 인도네시아, 인도, 미국, 캐나다 등 5개국은 바이오연료 시장 확대를 위한 포괄적인 지원 정책을 제공하며, 전 세계 바이오연료 수요의 80% 차지

- 2022-2027년간 전 세계적으로 수송연료 소비 중 바이오연료가 차지하는 비중은 4.3%에서 5.4%로 증가할 전망
- 브라질, 인도네시아, 인도의 바이오연료 수요는 2022~2027년간 193억 리터(19,300 MLPY) 증가하며, 세 국가 모두 동기간 바이오연료 혼합 요건을 높일 계획
 - 특히 브라질의 경우, RenovaBio 프로그램이 휘발유 대비 바이오에탄올 가격을 낮춰 소비자들의 바이오에탄올 사용을 촉진할 것으로 기대
 - 또한 세 국가 모두 전반적인 휘발유 및 경유 수요 증가가 바이오연료 수요 증가를 가속화할 전망
- 미국과 캐나다는 2022~2027년간 95억 리터(9,500 MLPY) 상당의 신규 바이오연료 수요 확대를 지원하기 위해 새로운 정책 도입
 - **(미국)** IRA(Inflation Reduction Act)는 약 94억 달러 규모의 세금 공제 및 신규 생산능력과 바이오연료 인프라에 대한 재정 지원¹²⁾ 포함
 - 세금공제에 재정적 한도가 없으며, 이러한 인센티브로 인해 바이오항공유 및 재생디젤 연료 사용이 촉진될 것으로 기대
 - 다만 바이오에탄올의 경우 2022~2027년간 미국 휘발유 수요가 8% 감소하고, 혼합비율의 정체(static)로 인해 수요가 42억 리터 감소할 것으로 예상
 - 전체적으로 동기간 미국 수송 에너지 중 바이오연료가 차지하는 비중은 6%에서 8%로 증가

국가별 '21-'27년 바이오연료 수요 증가(좌) 및 수송용 연료 중 바이오연료 비중(우)



IEA. CC BY 4.0.

주) main case forecast, RoW(Rest of World): 기타지역, 휘발유 및 경유에 대한 재생디젤, 바이오디젤 및 바이오에탄올 비중은 에너지 함량 기준

자료: IEA(Renewables 2022)

12) 바이오연료 관련 IRA 조항은 p.34 <부록 2> 참고



- (캐나다) 2022년 7월, 청정연료 규정(Clean fuel regulation)을 발표하여 도로 운송용 액체연료 공급업체가 2030년까지 연료의 탄소 집약도를 14g CO₂-eq/MJ까지 점진적으로 줄이도록 함
- 이 규정을 충족하기 위해 더 많은 바이오연료 사용이 필요할 것으로 예상됨에 따라 수송 에너지 수요중 바이오연료가 차지하는 비중은 예측기간 동안 약 4%에서 7%로 증가
- 유럽의 바이오연료 수요는 국가 차원의 기존 정책 강화로 인해 2022~2027년간 14억 리터(1,400 MLPY) 또는 5% 증가
- 예를 들어, 프랑스, 핀란드, 이탈리아, 영국, 스페인의 혼합 요건 및 스페인과 독일의 온실가스 배출량 감축 목표가 대부분의 바이오연료 시장 확장 주도
- 유럽은 국가 차원의 정책이 점점 더 엄격해지고 있음에도 불구하고 전반적인 운송용 연료 수요 감소로 인해 바이오연료 수요 증가가 높지 않은 수준
- 즉 유럽 전역에서 휘발유와 경유 판매가 감소함에 따라 혼합 의무와 온실가스 배출량 감축 요건을 충족하기 위해 필요한 바이오연료의 양도 동반 축소
- 그럼에도 불구하고 수송 에너지 수요에서 바이오 연료가 차지하는 비중은 예측 기간 동안 5.9%에서 6.5%로 증가¹³⁾

바이오디젤, 재생디젤, 바이오항공유의 생산 증가세가 현재와 같이 지속될 경우 2022~2027년 바이오연료 생산을 위한 원료부족에 대한 우려도 제기

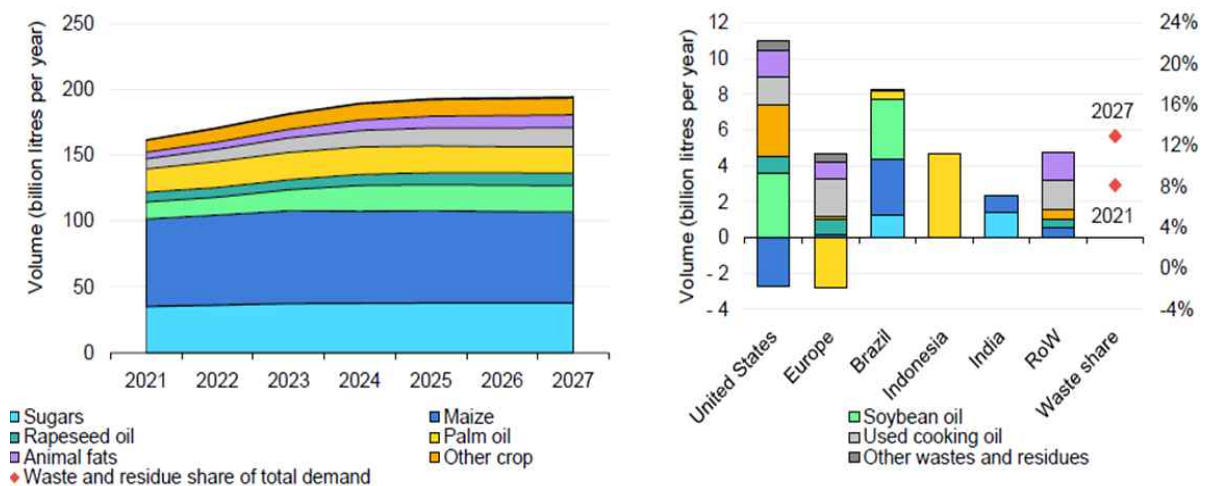
- 바이오연료 생산을 위한 식물성 기름, 폐기물 및 잔여기름과 지방에 대한 수요는 예측기간 동안 56% 증가한 7,900만 톤에 달할 것으로 예상되며, 특히 폐기물과 잔여물로 만든 연료*는 미국과 유럽의 온실가스 및 공급 원료 정책 목표를 충족하기 때문에 수요가 높음
- * 바이오연료 생산 원료 중 폐기물 및 잔여물 비중: 2021년 9% → 2027년 13%
- 폐기물 및 잔여물 수요가 공급 한계치에 근접하는 상황에 있으나, 정부 프로그램 개발 및 업계 혁신 등을 통해 원료 부족 상황을 막을 것으로 기대
- 폐기물 및 잔여물 대비 바이오에탄올 원료인 당분과 전분은 상대적으로 공급부담이 덜한 편
- 예측 기간 동안 바이오에탄올 원료에 대한 수요가 증가하겠지만 사탕수수와 옥수수 생산 역시 확대되고 있어 바이오연료의 원료 중 사탕수수, 옥수수의 비중은 비슷한 수준이 유지될 전망
- 2022~2027년간 미국, 유럽, 브라질, 인도네시아 4개 지역이 바이오디젤, 재생디젤, 바이오항공유 수요 증가 대부분을 차지, 동 지역의 바이오연료 수요가 44%, 즉 210억 리터가 증가할 것으로 예상
- 미국은 재생연료 표준, 주 정부 차원의 저탄소 연료 표준, IRA의 세금 공제 혜택 등이 재생디젤 및 바이오항공유 수요를 촉진하고 있으며, 대부분 다양한 원료(대두유, 유채유, 옥수수유, 폐식용유, 동물성 지방 등)를 혼합 사용하며 미국내 생산으로 충족 가능

13) Fit for 55 프로그램 또는 유럽 위원회의 REPowerEU 제안은 불포함



- 유럽에서도 재생디젤과 바이오항공유 소비가 가장 많이 증가하는 가운데, EU는 팜유 사용을 단계적으로 중단하고 폐기물, 잔여물, 유채유를 통한 생산을 확대할 전망
- 브라질과 인도네시아의 바이오디젤 혼합 의무는 향후 더 엄격해질 전망이며, 인도네시아 바이오연료 업체는 주로 팜유를, 브라질 바이오연료 업체는 대두유에 의존하여 바이오디젤 생산

바이오연료의 원료별 생산 추이 및 전망(좌)과 지역별 증감분(우)



IEA. CC BY 4.0.

주) "Other crop(기타 작물)"에는 옥수수 기름, 밀, 쌀, 카사바, 카멜리나 및 플랜테이션 우드 포함. "Other wastes and residue(기타 폐기물 및 잔류물)"에는 도시 고형 폐기물, 목재 폐기물 등 포함.

자료: IEA(Renewables 2022)



(2) 가속화 전망(accelerated case)

바이오연료 시장 활성화를 위한 정책이 더욱 강화될 경우 2027년 바이오연료 수요가 기준 전망(main case) 1,900억 리터 대비 25% 증가한 2,400억 리터(240,000 MLPY) 전망

- 바이오연료 시장의 가속화 전망은 중국, 유럽, 인도, 미국 등지에서 수요 촉진을 위해 보다 엄격한 정책을 시행하고 미국과 인도에서 바이오에탄올 혼합비율을 더 높인다는 전제 하에 가능
 - 이 경우 미국, 중국, 유럽, 인도가 바이오연료 소비 증가의 80% 차지
- 또한 재생디젤, 바이오항공유 등의 생산 확대를 위해 동 지역 모두 폐기물 및 잔여물 등의 원료 공급 확대 필요
- **(미국)** 가속화 전망에서의 바이오연료 수요는 기준 전망치 대비 3배 이상이 될 것으로 예상
 - 재생연료 표준의 혼합 요건 증가와 캘리포니아주의 저탄소연료 표준 강화로 바이오연료 소비가 촉진되고 수요 확대를 위한 광범위한 지원을 전제로 함
 - 연중 15%의 바이오에탄올 혼합이 허용되고 연료 디스펜서가 IRA 보조금을 활용하여 더 높은 바이오연료 혼합을 더 많이 사용할 수 있다고 가정
 - 식물성, 폐기물 및 잔류유에 대한 접근성이 높아지면 바이오디젤 생산을 줄이지 않고도 재생 디젤 및 바이오항공유 생산 확대 가능
- **(중국)** 중국의 넷제로 목표 달성에 도움이 되는 새로운 바이오연료 혼합 요건이 추가될 경우 바이오연료 시장의 급속한 확대 기대
 - 다만 국가발전개혁위원회는 '차세대 바이오연료 사용을 적극 장려'하겠다고 약속했으나 아직 목표치에 대한 발표가 없는 상황
 - 상당한 수준의 중국 휘발유 및 경유 수요의 규모를 고려할 때 2027년 평범한 목표치에서도 바이오연료 소비량 증가분이 매우 클 것으로 예상
 - 중국이 차세대 바이오연료에 집중하고 있어 바이오연료 생산증가 대부분의 원료는 폐기물 및 잔여물 또는 식량 및 사료 작물과 경쟁하지 않는 에너지 작물을 기반으로 할 가능성이 높음
- **(유럽)** 가속화 전망에서 바이오연료 수요는 기준 전망보다 약 6배 높은 수준 전망
 - 가속화 전망에서는 EU가 온실가스 감축목표를 상향한 'Fit for 55 패키지'¹⁴⁾에 포함된 모든 국가에 걸쳐 수송부문 온실가스 배출량을 13% 감축한다는 목표 반영
 - EU 회원국들은 이 목표 달성을 위해 운송용 연료 부문의 정책을 수정할 것으로 가정, 이러한 조치들로 인해 기존 운송 부문의 재생에너지 목표를 두 배 초과하여 2030년까지 재생에너지의 비중을 28%로 높일 것으로 전망
 - 이 경우 바이오연료 생산업체들은 2030년까지 총 연료 소비량 중 2.2%의 차세대 바이오연료

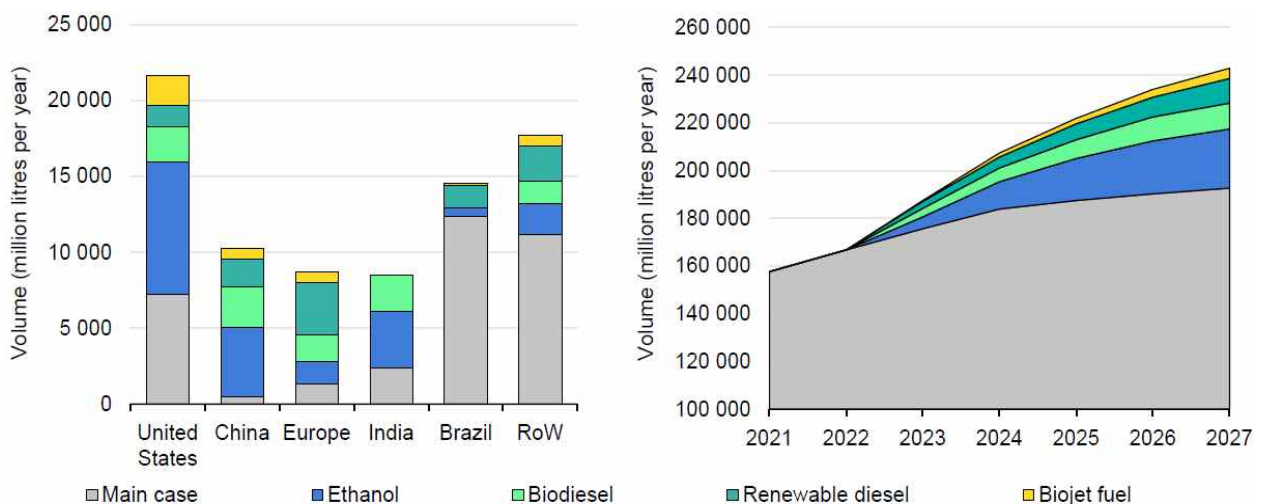
14) EU가 2030년까지 온실가스 순배출량을 1990년의 55% 수준까지 줄이고 2050년 기후 중립을 달성할 수 있도록 하는 것을 목표로 하는 입법패키지



를 사용한다는 EU 목표도 달성 가능하며, 차세대 바이오연료 생산을 위해 (폐식용유와 동물성 지방을 제외한) 폐기물 및 잔류물 등 현재 거의 사용되지 않는 원료가 필요

- **(인도)** 가속화 전망에서는 바이오연료 혼합비율을 높이고, 인센티브 프로그램을 통해 바이오연료 소비를 촉진하는 등 기존 전망 대비 바이오연료 수요가 3.5배 이상 높음
 - 바이오디젤의 혼합 목표를 3.5%로 가정하고 2030년까지 5%에 도달한다는 목표이며, 이를 위해서는 폐식용유를 수거하여 원료로 사용해야 함
 - 인도가 연료 호환이 가능한 차량을 확대하고 현재 호환되지 않는 차량을 개조한다고 가정할 경우 바이오에탄올 혼합비율이 20%에 달하게 됨
 - 인도 정부는 생산연계 인센티브(Production-Linked Incentive) 제도와 같은 프로그램을 통해 휘발유와 바이오에탄올을 모두 사용할 수 있는 유연연료 차량(FFV) 지원
- **(브라질)** 가속화 전망에서 바이오연료 수요는 기존 전망보다 약 30% 가량 높아질 전망
 - 가속화 전망에서는 항공 부문에서 1% 온실가스 배출감소 목표와 국가 차원의 바이오디젤 목표가 소폭 증가
 - 현재 계획된 시설의 수를 기준으로 재생디젤은 디젤과 혼합되는 추가 바이오연료의 대부분을 공급하게 될 것
 - 브라질의 RenovaBio 프로그램에 의해 휘발유보다 바이오에탄올이 더 저렴하게 된다고 가정하면 바이오에탄올 수요는 약간 증가

기존 전망(main case) 대비 가속화 전망(accelerated case)의
2021-2027년 국가별 수요 증가(좌)와 총 수요 추이 및 전망(우)



IEA. CC BY 4.0.

자료: IEA(Renewables 2022)

(3) 바이오항공유

① 기준 전망(main case)

2027년 세계 바이오항공유 수요는 2021년의 37배인 39억 리터(3,900 MLPY) 수준으로 확대, 전체 항공기 연료 수요 중 바이오항공유가 1~2%를 차지할 전망

- 미국 및 EU의 최근 정책들이 세계 바이오항공유 시장의 성장 주도
 - 미국은 IRA의 세액공제 및 '지속가능한 항공유 그랜드 챌린지 로드맵(Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge Roadmap)*'의 세금공제 혜택 등을 통해 바이오항공유 소비 촉진
 - * 미국의 '지속가능한 항공유 그랜드 챌린지 로드맵'의 목표는 정부 조치를 조정하고, 농업, 폐기물 및 잔여물 등의 원료 수집을 지원하며, 생산혁신 촉진과 공급망을 강화함으로써 SAF 보급에 대한 장벽을 제거하는 것
 - 유럽에서는 2025년부터 SAF 2% 혼합 사용을 의무화하고, 2050년까지 순차적으로 혼합비율을 70%까지 확대하는 목표의 친환경 항공유 사용법안(ReFuelEU Aviation Initiative)¹⁵⁾이 발효될 것으로 예상
- 유럽과 미국의 바이오항공유 생산능력 증설 계획은 수요 증가의 대부분을 충족할 것으로 보이며, 수요 증가에 따른 추가 공급은 주로 싱가포르에서 이루어질 전망
- 바이오항공유 원료는 주로 폐기물 및 잔여물 유지(52%)와 식물성 오일(43%) 등¹⁶⁾이 사용되며, 바이오항공유 생산은 원료 가용성에 의해 좌우될 것
 - 유럽은 SAF 생산에 적합한 원료(팜유)를 제한할 가능성이 높은 반면 미국은 대두유와 같은 식물성 기름이 SAF 생산을 지원할 전망

미국의 바이오항공유 수요는 2022~2027년간 20억 리터(2,000 MLPY)로 확대되어 미국내 항공유 중 바이오항공유 혼합 수준이 2%에 도달할 전망

- 미국 IRA에서는 2023~2031년간 SAF 소비 확대를 위해 33억 달러를 지원하는 계획 포함
 - SAF에는 바이오항공유, 수소 및 이산화탄소로 만든 非化石 合成연료와 같은 다양한 非化石연료가 포함되며 SAF 지원기금 중 30억 달러는 SAF 전용 세금공제(dedicated SAF tax credit) 지원
 - SAF 전용 세금공제는 연료의 온실가스 배출 강도에 따라 2023년과 2024년에 미국에서 생산 및 판매되는 연료의 갤런당 최대 1.75달러 제공
 - 2025년부터 2027년까지 SAF는 최대 온실가스 배출 강도 미만인 경우 갤런당 최대 1.75달러 (다른 연료에 비해 75% 프리미엄)의 청정연료 세금 공제를 받을 수 있음
 - 한편 3억 달러의 자금은 혼합 및 저장 시설과 같은 신규 프로젝트와 인프라 자금에 대한 지원 가능

15) 친환경 항공연료 사용과 관련 유럽에서 발의한 Fit for 55 패키지 법안의 일부로 유럽연합 집행위원회(EC)와 EU 회원국들은 2021년 7월 14일, 항공유 면세 정책 폐지, 지속 가능한 연료 사용 비중 확대 등 탄소 배출량 감축을 위한 법안을 발의하고 검토를 거쳐 2023년 4월 최종 합의에 도달, 최종 회원국들의 공식 승인을 남겨두고 있음

16) 나머지 5%는 에탄올, 목질 잔류물 및 폐기물 등의 원료를 통해 공급



유럽에서는 2027년까지 바이오항공유 수요가 13억 리터(1,300 MLPY)로 증가할 것으로 전망

- 프랑스와 노르웨이의 기존 SAF 혼합 목표, 영국의 2025년 목표, 스웨덴의 온실가스 배출 집약도 감소 목표 등을 충족하기 위해 바이오항공유 수요 확대 불가피
- 다만 유럽 바이오항공유 시장의 성장 대부분은 2025년까지 2%의 SAF, 2030년까지 5% SAF 사용이라는 유럽연합의 ReFuelEU 목표 이행에 달려 있음
- 바이오항공유는 핀란드, 프랑스, 스페인 등지에서 이미 생산되고 있으며, 향후 네덜란드와 이탈리아에서도 생산이 예정되어 있음

일본, 중국 등의 지역에서도 바이오항공유 사용 확대를 위한 목표를 수립하였으며, 항공사들은 향후 20년간 약 350억 리터(35,000 MLPY)의 SAF를 사용하는 계약 체결

- 일본은 2030년까지 자국 항공사가 사용하는 항공 연료의 10%를 SAF로 채우는 것을 목표로 하며, 중국민간항공국(Civil Aviation Administration)은 2025년 SAF를 65백만 리터(65 MLPY) 사용하고 온실가스 배출 강도를 낮추는 것을 목표로 함
- 국제민간항공기구(ICAO, The International Civil Aviation Organisation)도 2027년부터 국제항공을 위한 탄소감축상쇄제도(CORSIA, Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) 의무참여와 2022년 10월에는 2050년까지 순배출 제로 목표 채택
 - 전세계 기준 배출량(2021~2023년: 2019년 배출량, 2024년 이후: 2019년 배출량의 85%) 대비 온실가스를 초과 배출한 국제항공사는 배출권 구매 등 비용 발생
 - CORSIA 이니셔티브 및 ICAO 공약 등 항공사의 약속은 직접적인 바이오연료 시장의 성장 동인으로 작용하지는 않지만, 이러한 조치들은 더 광범위한 SAF 개발을 가능케 함
 - 즉, 항공부문에서 발생하는 온실가스 배출을 감축하기 위해 SAF 사용이 효과적인 옵션이 될 수 있으며, 항공사의 SAF 구매 약속은 판매를 보장함으로써 신규 바이오연료 설비에 대한 투자 확대에 이어질 수 있음

SAF 생산의 빠른 확대가 예상되나 높은 생산비용, 제한된 정책 지원, 낮은 원료 가용성 등이 성장을 둔화시킬 가능성 존재

- 바이오항공유 생산비용이 화석연료 기반의 연료에 비해 두 배 이상 높기 때문에 세금 인센티브나 혼합 의무사용이 있는 일부 국가에 한정되어 시장이 확장됨
- 2027년까지 생산되는 SAF 대부분의 원료가 폐기물 및 잔여 오일과 지방 및 식물성 오일에 의존할 전망
- 모든 바이오연료 제조를 위한 원료 수요가 2022~2027년간 50% 증가하게 되어, 그 결과 원료 비용이 높게 유지될 가능성이 높음

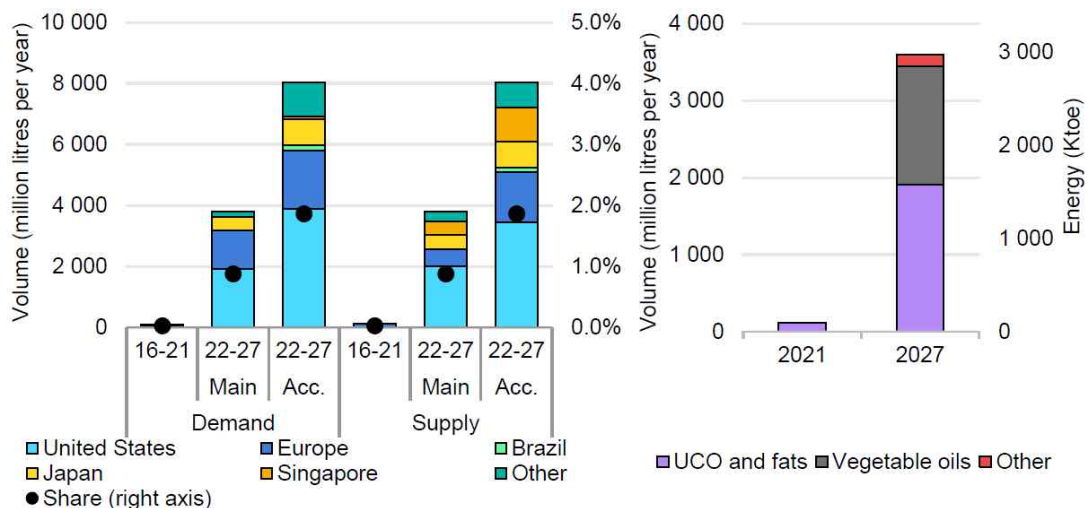


② 가속화 전망(accelerated case)

바이오연료 관련 각국의 정책 강화로 시장 확대가 가속화될 경우 2027년 바이오항공유 수요는 81억 리터(8,100 MLPY)¹⁷⁾로 급증할 전망

- 미국은 기존 정책이 재생디젤보다 바이오항공유 시장확대에 더 집중되어 있어 바이오연료 시장 확대가 가속화될 경우 바이오항공유 부문이 가장 큰 성장 잠재력을 가질 전망
- 실제로 이 경우 2027년까지 바이오항공유는 미국 국내 항공용 연료 사용량의 4%를 차지할 것으로 예상
- 한편 중국국가발전개혁위원회(NDRC, National Development and Reform Commission)는 "바이오항공유의 실증과 적용을 촉진할 것"이라고 밝혔지만 2025년 목표치인 6,500만 리터 이상의 목표나 관련 정책은 발표하지 않아 향후 전망은 불확실
- 브라질과 인도네시아의 새로운 정책과 유럽의 더 엄격한 정책도 계획된 바이오항공유의 생산능력 확대를 지원하기에 충분하여 생산량 가속화에 도움이 될 것으로 예상
- 2027년까지 바이오항공유 생산능력은 170억 리터(17,000 MLPY)로 확대될 계획이나, 현재 건설 중인 모든 설비 및 원료 가용성에 따라 변동될 가능성 존재

세계 바이오항공유 수급(좌) 및 원료 수요(우) 전망



IEA. CC BY 4.0.

주) Main = main case, Acc. = accelerated case, UCO = used cooking oil(폐식용유)

자료: IEA(Renewables 2022)

17) 전 세계 항공연료 수요의 2% 수준

IV. 국내 바이오연료 산업 현황

1. 시장

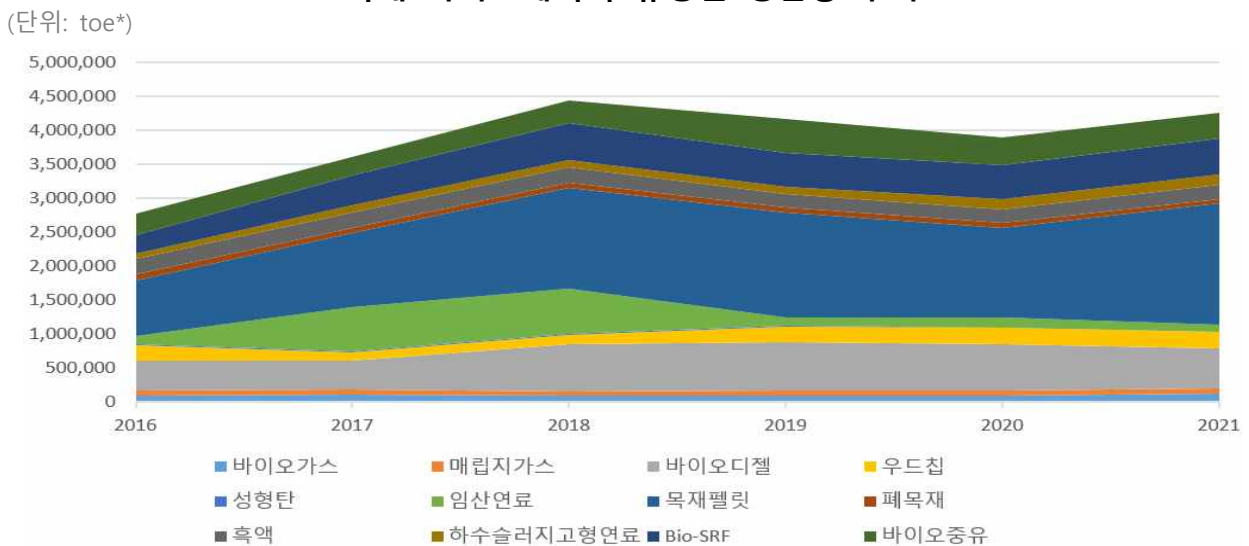
국내 신재생에너지 중 바이오에너지(31%)는 태양광(38%)에 이어 높은 비중¹⁸⁾을 차지하는 에너지원이며, 바이오에너지 중 액체 바이오연료(바이오디젤, 바이오중유)는 23% 비중 차지

- 「석유사업법」에서 4종류*의 친환경 바이오연료(석유대체연료)를 규정하고 있으며, 현재 국내 액체 바이오연료 산업은 주로 바이오디젤(수송용)과 바이오중유(발전용)로 구성

* 바이오디젤, 바이오중유, 바이오가스, 바이오에탄올

- 2021년 기준 바이오에너지의 유형별 생산 비중은 목재펠릿¹⁹⁾ 42%, 바이오디젤 14%, Bio-SRF (Biomass-Solid Refuse Fuel) 12%, 바이오중유 9%, 우드칩²⁰⁾ 6.1% 등의 순으로 나타남(한국에너지공단)

국내 바이오에너지 유형별 생산량 추이



* 석유환산톤(ton of oil equivalent): 석유 1톤을 연소할 때 발생하는 에너지

자료: 한국에너지공단(2022), 「2021년 신재생에너지 보급통계(2022년 공표) 연도별 현황」

한국 바이오연료 시장은 최근 성장세에 있으나, 세계 시장 중 약 1% 수준의 낮은 비중* 차지

* 2020년 국내/세계 바이오연료 생산량(석유관리원, IRENA): 1.5백만 toe/136.8백만 toe

- 한국 바이오연료 생산 부문은 세계 16위, 소비 부문에서는 20위 차지(2023 BP 통계)
- 정부는 수송부문의 온실가스 감축 및 바이오에너지 산업 육성을 위해 RFS를 운영하고 있으며, 우선적으로 바이오디젤에 한하여 시행 중²¹⁾

18) 2021년 기준, 신재생에너지 총 생산량 12,511 천toe(에너지관리공단)

19) 나무를 톱밥과 같은 작은 입자로 분쇄, 건조, 압축해서 알갱이 모양으로 만든 제품

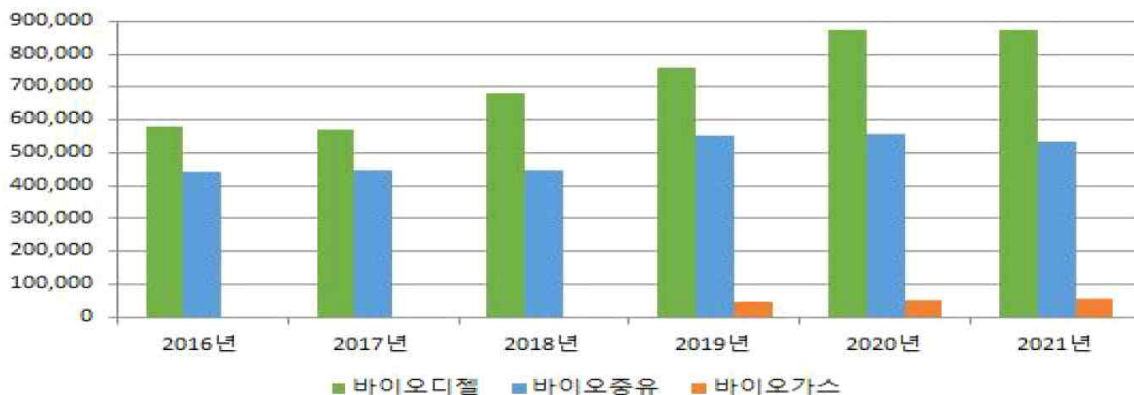
20) 나무 가지, 벌목 잔여물, 그루터기 뿌리 및 목재 폐기물 등의 큰 목재 조각을 절단하거나 잘게 쪼갤 때 생성되는 작은 크기의 목재 조각



- RFS 대상을 원료 국산화, 가격 경쟁력, 차량 안전성 등을 고려하여 바이오에탄올, 바이오가스 등으로 확대한다는 방침이며, 아직 바이오항공유/선박유는 미포함
- 바이오디젤은 2006년부터 상용화, 현재 자동차용 경유에 3.5% 바이오디젤을 혼합 보급²²⁾
- 국내 원료(24.3%)는 폐식용유, 동물성 유지 등이며, 해외수입원료(75.7%)는 팜유 및 부산물 등으로 대부분 인도네시아와 말레이시아에서 수입
- 2021년 국내 바이오디젤 생산량은 87.4만 toe으로 이 중 23%(20.5만 toe)는 해외 수출
- 20여 개의 국내 중소·중견기업들이 바이오디젤·중유·가스 등의 바이오연료를 생산 중이며, 2021년 바이오연료 생산기업의 매출액은 정유사 대비 약 7% 수준
- 최근 국내 주요 정유·석유화학 기업들도 친환경 바이오연료 부문에 대한 대규모 투자를 추진 중에 있어 향후 국내 바이오연료 시장의 확대 예상

한국 바이오연료 생산량 추이

(단위: toe)



주) 바이오가스는 추산량

자료: 석유관리원, 바이오에너지협회, 산업통상자원부 재인용

2. 기술

한국은 2011년 그린에너지 전략로드맵의 일환으로 바이오연료 로드맵을 수립하고, 생산 기술 연구개발을 진행 중이나 미국, 유럽 등 선진기술 대비 기술수준이 낮음

- **(바이오디젤)** 국내 폐자원과 미세조류 등의 비식용 원료를 활용한 바이오디젤 전환 연구개발에 주력
- 과거에는 국내 바이오디젤 원료로 대두유를 주로 사용했었으나 최근에는 대두유를 거의 사용

21) 2012년부터 「석유 및 석유대체연료 사업법, 이하 석유사업법」상 경유의 품질기준 고시에 의하여 바이오디젤 2~5%까지 경유에 혼합하도록 의무화

22) 2015년 7월 30일까지 바이오디젤 2%를 경유에 혼합 보급하였으나, 7월 31일부터 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제23조의 2」에 따라 RFS 제도가 도입되며 2.5%까지 의무혼합(의무자는 국내 5개 정유사와 석유수출입업자)하도록 함. 바이오디젤의 혼합의무비율은 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령 별표 6」에서 제시하고 있으며, 현재 바이오디젤에만 한정하여 2018년부터 3.0%였으나, 2021년 7월부터 3.5% 보급 중이며, 3년마다 0.5%씩 상향하여 2030년 이후 5%를 보급할 예정임.



- 하지 않고 국산 폐식용유(28%) 및 수입산 비식용 팜 부산물(72%)이 점차 증가하는 추세

 - 바이오디젤 원료의 국산화율은 약 31% 수준(2006~2021년 평균)으로 현재 수집 가능한 폐식용유를 거의 전량 회수(연평균 약 20만 톤)하여 사용하고 있는바 추가원료(폐플라스틱, 폐목재, 정유·석화공정에서 배출되는 이산화탄소 등) 발굴 및 개발이 없이는 향후 원료 공급 확대가 어려운 상황
 - 2009년 이후 10년간 490억 원의 예산을 투입하여, 해양미세조류를 이용한 바이오디젤 생산 기술을 개발하는 등 미세조류로부터 바이오디젤을 대량생산하는 기술의 상용화 추진 중
- **(재생디젤)** 국내에서 전환기술 R&D를 완료하여 상용화 前 단계에 도달

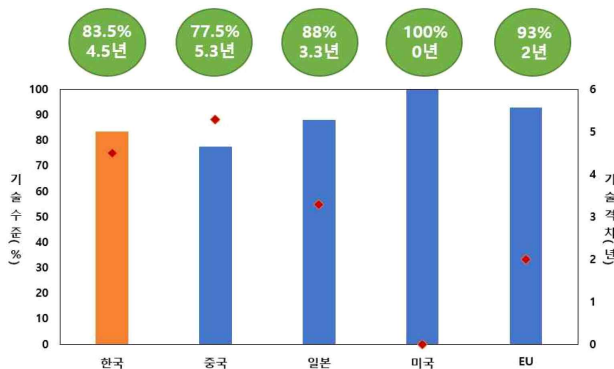
 - SK이노베이션이 독자적으로 재생디젤 촉매 및 공정을 개발하여 일산 20 배럴 규모의 실증 공장 시운전에 성공
- **(바이오에탄올)** 2010~2012년 KIST와 창해에탄올이 생산설비 구축 및 휘발유 혼합 사용 기술에 대한 실증연구를 진행했으나, 수송용 바이오에탄올 국내 시장은 미형성

 - 곡물(옥수수·사탕수수)을 기반으로 한 휘발유 대체연료로 미국·일본 등에서 상용화되었으나, 식량 경합성, 높은 해외수입 의존 등의 이슈로 국내는 현재까지 미상용화
- **(바이오항공유)** 2010년부터 다양한 연구기관에서 비식용 유지 및 목질계, 미세조류 등 다양한 원료를 활용한 전환공정을 통해 바이오항공유를 생산하는 기술개발 진행 중

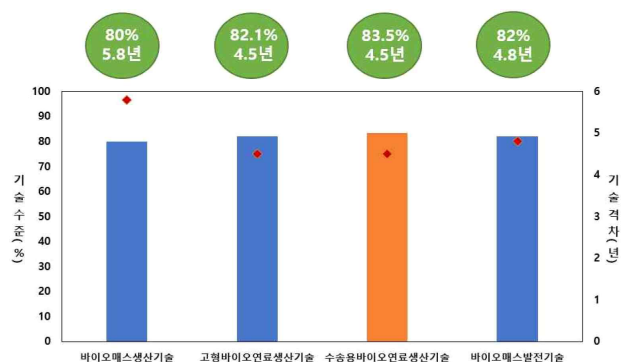
 - 현재 바이오항공유 생산 기술개발 연구 초기단계로, 추후 바이오항공유 상용화 단계에서 국내 공급망 확보를 위한 인프라 구축에 관한 연구는 전무한 실정
- **(기술 수준)** 한국의 수송용 바이오연료 생산기술 수준은 최고기술 보유국인 미국의 83.5% 수준으로 4.5년의 기술격차 존재

 - 미국 대비 국가별 기술수준·격차는 EU(93.0%, 2.0년), 일본(88.0%, 3.3년), 한국(83.5%, 4.5년, 중국(77.5%, 5.3년)의 순으로 나타남(2020년, 녹색기술센터)
 - 한국은 정유 공정 중 배출되는 탄소를 활용하는 기술(CCU) 등 원천기술 개발(2022~2026년), 폐플라스틱 열분해유 원료 활용 실증특례 등 진행(2021~2023년)

국가별 바이오연료 생산기술 수준



기술별 미국 대비 한국의 기술수준



자료: 녹색기술센터(2020), 산업통상자원부 재인용



3. 정책

정부는 기존 바이오연료 보급을 확대하고, 신규 바이오연료 도입을 추진하는 내용 등을 포함하는 친환경 바이오연료 확대방안 발표(2022.10월)

- **(바이오디젤)** 경유차를 대상으로 2030년 의무혼합비율 당초 목표인 5%를 재생디젤 도입 확대를 통해 8%로 상향 추진
 - 재생디젤 TF 구성(2022년하반기, 석유관리원), 실증분석 후 품질·성능평가 기준 및 연도별 RFS의 무혼합비율 상향계획 수립(2024~2025년)
- **(바이오에탄올)** 민간 주도의 시범사업(2024년~, 공공기관 차량, 시범주유소 대상) 추진을 통해 안전성, 친환경성 및 경제적 타당성 검토
- **(바이오항공유)** 생산-수요(정유-항공) 업계가 참여하는 실증사업*(2023~2024년)을 통해 2026년 국내 도입 추진
 - 국내 생산시기(현재 정유사 투자계획 중)에 맞춰 품질기준 마련 및 RFS 신규 적용대상 포함 추진
 - 바이오항공유에 대한 RFS 적용 및 인프라 구축, 인센티브 마련 등 보급 방안 마련·추진을 위한 민관 협의체* 운영(2022.11월~)

* 산업부, 국토부, 석유협회, 항공협회, 정유사 및 항공사 등 참여

친환경 바이오연료 보급 확대 방안의 주요 후속조치 일정(2022.10월)

구 분		단 기				중 장 기	
		2022	2023	2024	2025	2026~	2030
친환경 바이오 연료 보급 확대	바이오디젤	차세대 바이오디젤 도입 TF운영		RFS 상향계획 마련 (5.0%→8.0%)		차세대 바이오디젤 상용화	
	바이오중유	실증사업 기획	사용확대 실증사업 및 품질기준 마련		바이오중유 사용처 확대		
	바이오선박유	성능평가시스템 구축사업		품질기준 마련	바이오선박유 상용화		
	바이오항공유	민·관 협의체 운영	민·관 실증사업		품질기준 마련	바이오항공유 상용화	
	바이오에탄올	시범사업기획	시범보급사업				
법령· 제도 정비	법령 개정	연구용역	『석유사업법』 및 관계법령 개정·적용				
	규제완화 및 인센티브 제공	연구용역	바이오연료 제조업자 등록요건 완화				
			바이오가스 공급기준 완화				
기술 경쟁 력 확보	에타	에타 기획	신청	에타 수행			
	기획력 제고	전문PD 지정					
추진 체계	협의회	바이오연료 확대 추진 협의회 구성·운영					
	전담기관	연구용역	법령개정	바이오연료센터 신설			

자료: 산업통상자원부, 국가기술표준원 재인용



한편 바이오연료 관련 규제의 완화 및 제도 정비 등을 통해 투자를 촉진한다는 방침

- **(신규 바이오연료 법제화 및 제도정비)** 바이오연료 대상을 바이오항공유·선박유 등으로 확대, 실질적인 탄소감축 효과를 반영하여 효과가 클수록 우대하는 방식으로 개편하는 등 감축관리 체계화, 해외기준에 기반한 국내 품질기준 수립 등
- **(바이오연료 제조업자 대상 규제 완화)** 석유정제업자도 친환경 원료를 사용할 수 있는 법적 근거 마련, 바이오연료 제조업자 사업요건 완화 등을 통해 대규모 생산설비 투자 촉진 및 시장 활성화
- **(세제 지원 등 인센티브 제공)** 바이오연료 업체의 신규 R&D 및 생산시설 투자시 세액공제 확대 검토, 국내 항공사의 바이오항공유 사용에 따른 탄소감축 노력도에 따른 인센티브 제공 검토 등

기술개발 투자 확대 등을 통한 기술 경쟁력 강화 및 원료의 안정적 공급망 확보 지원

- **(통합형 바이오연료 기술개발 추진)** 기존 국내 바이오연료 기술개발 규모가 해외대비 소규모이고, 다부처로 분산되어 효율적 운영에 한계가 있어 2024년 이후 7년간 약 4,000억 원 규모의 친환경 바이오연료 통합형 기술개발(예타) 추진
- **(안정적 원료공급망 확보 지원)** 국내에서 확보 가능한 신규 원료(폐플라스틱, 폐유, 폐목재 등)의 수거 이용을 원활화하는 한편 미세조류 등 기후 여건 상 국내 생산이 불리한 차세대 원료 부문의 해외진출 적극 지원



V. 결론 및 시사점

세계 바이오연료 시장은 미국, 브라질 등이 성장 주도, 향후에도 이 국가들을 중심으로 수송부문의 온실가스 감축수단으로 적극 활용되며 높은 성장세가 지속될 전망

- 수송부문 온실가스 배출 중 약 4분의 3을 차지하는 도로부문은 전기차 판매가 급증하는 등 전동화(electrification)가 빠르게 진행 중이나 대형 트럭, 항공, 해운 등과 같이 전동화가 어려운 부문은 다른 감축 수단 필요
- 즉 내연기관 운송수단들의 연비 개선과 함께 기존 석유기반의 연료를 대체할 수 있는 전기 외의 수단이 필요하며 바이오연료가 중요한 대안 중 하나
- 미국, 유럽, 브라질 등을 중심으로 정부의 규제와 지원 정책하에 바이오연료 산업의 성장 본격화
 - 주요국들은 2050 넷제로 목표 설정과 함께 도로 및 항공 연료의 탈탄소화를 위한 바이오연료 사용 촉진과 관련하여 점점 더 높은 목표를 제시하고 정책적 인센티브를 제공하는 등 바이오연료 산업의 성장 주도
- 기업 차원에서도 자체적인 탈탄소 목표를 설정하여 바이오연료 공급 확대에 기여
 - 바이오연료 전문 생산업체 뿐 아니라 기존의 많은 정유사들도 최근 바이오연료 생산을 위해 자산을 전환하기로 결정하고, 다양한 기술과 원료를 활용하는 신규 프로젝트들을 개발 중
- 다만 높은 생산비용으로 인한 열악한 경제성, 낮은 원료공급 접근성 등은 향후 지속적으로 해결해야 할 과제
 - 높은 성장세에도 불구하고 세계 수송용 연료 중 바이오연료가 차지하는 비중은 아직까지 매우 낮은 수준
 - 바이오연료 시장 확대를 위해서는 기술혁신을 통한 경제성 개선과 대규모 상용화 및 투자 확대 필요

한국 수송용 바이오연료 시장은 현재 바이오디젤에 국한되어 있고, 그 규모 또한 협소한바, 향후 시장 확대를 위한 정책적 지원을 한층 강화할 필요

- 한국은 그동안 바이오연료에 대한 규제(품질검사, 등록의무, 위반 시 과징금 부과 등)에 비해 국내보급 활성화나 산업 육성을 위한 법·제도적 근거와 정책적 지원이 상대적으로 부족했던 상황
 - 바이오연료 산업은 아직 경제성 등이 낮아 시장에서 자연스럽게 형성된 산업이 아니라 규제 및 지원 등을 통한 정책이 주도하는 산업으로서 산업 성장을 위해 정부의 적극적인 정책이 필수적인 요건
- 우리 정부는 지난해 10월 친환경 바이오연료 확대 방안을 통해 바이오연료 산업 육성을 위한 정책 강화 방향을 발표하는 등 향후 국내 바이오연료 시장의 성장 기대



- 무엇보다 미국, 유럽, 일본 등 선진기술에 비해 열위에 있는 국내 기술의 경쟁력 확보에 주력할 필요
 - 전통적인 석유 정제설비를 통한 연료 생산과 운영능력, 자금력 등에 강점이 있는 대기업과 바이오연료 생산기술에 특화된 중소기업의 기술적 제휴와 상생 도모
 - 산학연 공동연구를 추진하여 연구 시너지를 높이고, 기술개발과 실증사업 실시 등을 통해 선진국과의 기술격차 극복을 위해 중장기적으로 지속적인 노력 필요
 - 기술개발 대상은 기존 바이오연료 생산기술 뿐 아니라 미래 시장 선점을 위해 재생 바이오티젤, 합성연료(e-fuel) 등 차세대 바이오연료 기술개발 포함
- 기술력 개발과 함께 바이오연료 상용화를 위한 시범 프로젝트 활성화, 제반 인프라 구축 등 전반적인 바이오연료 산업 생태계 조성기반 마련을 위한 투자 확대
- 또한 전세계적으로 바이오연료 시장 확대에 있어 원료 조달이 중요한 제약요인으로 작용할 가능성이 제기되고 있는바, 원료확보 경쟁 심화에 대비할 필요
 - 특히 한국 바이오연료 산업의 원료 국산화율이 현재 약 30%대 수준으로 매우 낮은 상황으로 국내외 원료 공급망 구축의 필요성이 더욱 높음
 - 해외시장 진출을 위한 현지 폐식용유/폐유 처리업체 등 원료 생산업체에 대한 직접투자나 M&A 기회도 적극 모색
- 2050 탄소중립 및 2030 국가 온실가스 감축목표 40%라는 도전적인 목표 달성뿐 아니라 신성장동력 확보 차원에서도 바이오연료 산업 활성화가 필요한 시점
 - 특히 한국 정유산업은 원유정제능력이 세계 6위를 차지하는 등 한국의 대표적인 주력산업이자 수출산업으로서의 역할을 수행해 왔으나 전체 산업의 탄소배출 중 약 6%를 차지할 뿐 아니라 전 세계적인 탄소저감 움직임으로 미래 성장동력 약화
 - 미래 지속가능한 성장을 위한 혁신기술 확보 및 신사업 모델 발굴 등 글로벌 기준에 부합하는 사업전략의 변화가 절실한 상황이며, 그 일환으로서 바이오연료 산업 참여를 적극 검토·추진할 필요



<부록 1> IEA의 바이오연료 시장 전망의 전제가 되는 정책과 가정

국가/ 지역	정책, 가정 및 혼합비율 수준	
	기준 전망(main case)	가속화 전망(accelerated case)
미국	<ul style="list-style-type: none"> 재생연료 표준 또는 기타 기존 정책에 대한 중대한 변경 사항 없음. IRA 조항 포함. 혼합 바이오에탄올은 거의 10% 수준에 머무르며, 수출은 예측기간 동안 2021년 수준을 유지 재생디젤은 차세대 개발 프로젝트 계획에 따라 용량이 확장되고, 재생디젤의 혼합비율은 2027년 8.5% 도달 바이오항공유 공급은 국내선의 혼합비율이 2%에 도달하나, 바이오디젤 혼합비율은 2.7%로 감소. 바이오항공유는 2027년 재생디젤 생산량의 약 15%를 차지할 것으로 예상. 	<ul style="list-style-type: none"> 재생연료 표준은 바이오에탄올의 혼합비율 12.5% 달성 및 바이오 디젤 4% 확대를 통해 국내 바이오연료 수요 확대 재생디젤 혼합비율은 9.5%로 증가하여 차세대 연료 개발 단계의 프로젝트 외에도 추가 생산 용량 필요 바이오항공유 혼합비율은 4%로 확대되어 지속 가능한 항공연료 챌린지 목표 달성의 4분의 1을 약간 초과하여 도달 국내 및 순수출 수요를 모두 충족하기 위해 기존 바이오에탄올 생산능력을 활용하여 바이오에탄올 생산량 확대
브라질	<ul style="list-style-type: none"> 바이오에탄올 의무 혼합비율을 유지하며, 2027년까지 총 혼합비율이 57%에 달할 수 있도록 수산화에탄올(hydrous ethanol) 구매 확대 바이오디젤은 2022년까지 B10을 유지하다 2024년 이후에는 B15로 상향 조정되고 프로젝트 추가 계획에 따라 2027년까지 소량(0.8%)의 재생디젤 혼합이 이루어질 예정 본 전망은 대두유 가격이 2021/22년 고점 대비 하락한다고 가정 	<ul style="list-style-type: none"> 기준 전망에서와 같이 B15 혼합 목표를 달성하는 동시에 2027년 3% 혼합비율을 위한 추가 성장을 달성하기 위해 재생디젤과의 혼합 허용 바이오에탄올 혼합비율은 2027년 59%로 조금 더 빠르게 확대됨. 바이오에탄올 혼합량의 일부는 25%(프리미엄 휘발유) 및 27%(일반 휘발유)의 혼합 요건에 따라 계속 유지 바이오에탄올 수요의 나머지는 수산화에탄올(100% 에탄올)이 차지 국내 소비를 충족시킬 수 있는 바이오에탄올, 바이오디젤, 재생디젤 및 바이오항공유를 충분히 생산하며 수출 수요를 충족하기 위해 바이오에탄올 생산량이 더욱 증가할 것
인도	<ul style="list-style-type: none"> 2027년까지 전국 평균 12%의 바이오에탄올 혼합비율을 달성하고, 모든 연료용 바이오에탄올을 국내에서 생산할 계획 E20은 2023년부터 사용 가능 운송차량의 비호환성이 바이오에탄올 수요 확대를 제한한다고 가정 바이오디젤 혼합비율은 0.4% 수준 	<ul style="list-style-type: none"> 2025년 20% 바이오에탄올 혼합비율 의무달성, 2027년 3.5%의 바이오디젤 혼합 비율에 도달하는 5% 바이오디젤 달성 목표 이는 인도가 운송차량 호환성 문제를 해결하고 폐식용유 수거를 확고히 한다고 가정 국내 생산을 지속적으로 지원하고 수요의 최대 20%까지 연료 바이오에탄올 수입 허용



국가/ 지역	정책, 가정 및 혼합비율 수준	
	기준 전망(main case)	가속화 전망(accelerated case)
중국	<ul style="list-style-type: none"> 바이오에탄올과 바이오디젤 정책에 대한 중대한 변화는 없음 바이오에탄올 혼합은 2% 가까이, 바이오디젤은 0.5%의 비율 유지 바이오에탄올 수입량은 2020/21년 수준을 유지하고, 바이오디젤 수출은 2020년 수준에 근접하며, 재생디젤 수출은 차세대 연료 개발 프로젝트 추가 계획에 따라 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 2026년까지 바이오에탄올 4%, 바이오디젤 및 재생디젤(HVO) 3%, SAF 1%의 혼합비율 목표를 국내 항공사에 적용하는 등 바이오경제 계획에 따른 정책 시행 중국은 미국 및 기타 국가로부터 수요의 최대 10%까지 바이오에탄올 수입을 허용하며, 바이오디젤은 수출이 지속되나 재생 디젤과 바이오항공유는 제로수준으로 하락(두 연료의 생산량은 국내 수요를 위해 사용)
인도네시아	<ul style="list-style-type: none"> 2027년까지 수송용은 35%, 비수송용은 30%까지 바이오디젤 혼합비율을 확대할 예정임. 주요 혼합연료는 바이오디젤(32%)이며, 재생디젤(3%)이 그 뒤를 차지함. 바이오디젤 사용은 호환성 문제로 인해 30% 수준을 유지하고 있으며, 재생디젤은 계획된 프로젝트로 제한. 바이오에탄올과 바이오항공유 생산과 사용을 금지 수출은 2020년 수준과 비슷한 수준으로 유지 	<ul style="list-style-type: none"> 운송 및 비운송 연료 소비에 대해 B40 의무를 충족하며, 40% 혼합비율은 바이오디젤 32%와 재생 디젤 8%로 세분화. 이를 위해서는 재생디젤의 추가 생산능력 필요. 2025년까지 2%, 2027년까지 3%의 SAF 혼합비율 목표를 시행 2027년까지 거의 모든 생산량이 내수에 이용되면서 수출 감소
유럽	<ul style="list-style-type: none"> EU 회원국은 재생 에너지 지침 II를 이행하거나 더 엄격한 경우 국내 목표를 달성하며, 비 EU 국가는 국내 목표 달성 2025년까지 ReFuelEU의 2% 목표를 충족시키기 위해 바이오항공유 사용 확대 ReFuel 제안에 따라 사료 및 식량작물 기반의 연료는 대상에서 제외하고, 연료는 재생에너지 지침 II 부속서 IX, 파트 A 또는 파트 B의 요건을 충족해야 함 독일은 온실가스 배출량 감축 목표가 2027년까지 6%에서 14.5%로 상향 조정. 재생디젤 비율이 3%까지 확장되는 반면에, 바이오디젤과 바이오에탄올의 혼합비율은 일정하게 유지 프랑스는 8.6%의 바이오에탄올과 바이오디젤 혼합비율 목표 달성. 2027년까지 바이오에탄올 혼합비율은 12.7%로 증가, 바이오디젤 혼합비율은 균등하게 유지, 재생디젤 혼합비율은 3%로 확대하고, 바이오항공유는 2.3% 도달 목표. 	<ul style="list-style-type: none"> 유럽연합은 2030년 6% 바이오항공유 사용 목표 달성을 위해 더욱 빠르게 추진 독일은 항공분야에서 바이오항공유 대신 비생물성 재생 연료에 집중 또한 유럽위원회는 Fit for 55 패키지에서 제시된 대로 운송 부문의 온실가스 배출 강도를 13%로 줄이기 위해 재생 에너지 지침 II의 변경안을 시행하고 회원국은 이 기준을 이행 유럽연합은 일부 수입을 제한하여 바이오연료에 대한 지속가능한 필수요건을 유지 및 강화 영국은 2025년까지 1%의 SAF 목표 설정



국가/ 지역	정책, 가정 및 혼합비율 수준	
	기준 전망(main case)	가속화 전망(accelerated case)
	<ul style="list-style-type: none"> 스페인: 바이오에탄올과 바이오디젤 혼합비율은 균등하게 유지되나 재생디젤 혼합비율은 3%로, 바이오항공유는 2.7%로 확대 핀란드, 네덜란드, 영국 모두 10%에 가까운 바이오에탄올 혼합비율 달성 목표. 스웨덴의 경우 바이오항공유 혼합비율 3% 목표. 이탈리아는 재생디젤 혼합비율이 5%로 확대. 영국은 2025년부터 의무적으로 시작하여 2030년까지 SAF 혼합비율 10% 목표. 노르웨이는 0.5% SAF 목표 	
기타 국가	<ul style="list-style-type: none"> 캐나다는 2023년 청정연료 표준 이행 말레이시아의 B20 의무가 2023년까지 연기 태국은 E20 목표 달성을 위해 2027년까지 15%의 혼합에 도달하고, 바이오디젤 사용은 정부 지원 계획에 따라 10%로 확장 싱가포르는 다른 국가의 부족분을 충족시키기 위해 재생디젤과 바이오제트 연료 생산 확장 아르헨티나의 바이오디젤 혼합비율은 10%, 바이오에탄올 12%로 증가 콜롬비아는 2022년까지 바이오에탄올 혼합비율을 10%로 되돌리고, 바이오디젤 혼합비율은 예측기간 동안 12%로 증가 일본은 2030년까지 SAF 사용 비율 10% 달성 목표 	<ul style="list-style-type: none"> 캐나다는 SAF 지원에 있어 미국을 따라가고 있으며, 미국 SAF 혼합비율은 4%에 도달 말레이시아는 산업부문에서 바이오디젤 혼합비율을 20%까지 확장 콜롬비아는 13%의 바이오디젤 혼합비율 추구 태국은 2026년까지 20%의 바이오에탄올 혼합비율을 달성, 10%의 바이오에탄올 수입 허용

자료: IEA(Renewable 2022)



<부록 2> IRA 조항 중 바이오 연료 관련 내용

세액공제/보조금	기간	내용	적격연료	온실가스 필수요건
바이오디젤 및 재생디젤 세액 공제 연장	2022 - 2024	<ul style="list-style-type: none"> 리터당 0.26달러 (갤런당 1달러) 	바이오디젤과 재생디젤	수명주기에 기초하여 평균 디젤온실가스 배출 강도보다 최소 50% 이상 감축
신규 SAF 세액공제	2023 - 2024	<ul style="list-style-type: none"> 최소 리터당 0.33달러 (갤런당 1.25달러) 온실가스 강도가 낮은 경우 리터당 최대 0.46달러(갤런당 1.75달러) 	SAFs	
신규 청정연료 생산 공제	2025 - 2027	<ul style="list-style-type: none"> 적격 시설의 연료 배출 계수 X 리터당 0.26달러(갤런당 1달러) 	모든 연료	
SAF 관련 신규 청정연료 생산공제	2025 - 2027	<ul style="list-style-type: none"> 적격 시설의 연료 배출 계수 X 리터당 0.46달러(갤런당 1.75달러) 	SAFs	
2세대 바이오연료 인센티브 연장	2022 - 2025	<ul style="list-style-type: none"> 리터당 0.27달러 (갤런당 1.01달러) 	2세대 바이오 연료	
대체연료 인프라 세액공제 연장	2022 - 2032	<ul style="list-style-type: none"> 연료 펌프에 대해 최대 10만 달 러 한도 30% 공제 	최소 85%의 바 이오에탄올 혼 합과 20%의 바 이오디젤 혼합	X
새로운 바이오연료 인프라 및 농산물 시장 확대 보조금	2022 - 2031	<ul style="list-style-type: none"> 더 높은 혼합비율을 추구하는 인프라 프로젝트에 경쟁 보조금 으로 총 5억 달러 제공 	바 이 오 에 탄 올 혼합물과 바이 오디젤 혼합물 은 각 10%, 5% 이상	X
신규 대체연료 및 저탄소 항공 기술 프로그램	2022 - 2026	<ul style="list-style-type: none"> SAF 생산, 혼합 또는 저장하거 나 저탄소 항공 기술을 개발하 는 프로젝트에 대한 경쟁 보조 금으로 297백만 달러 지원 	SAFs	온실가스 배출량 감소로 이어져야 함
탄소 격리에 대한 세액공제 연장 및 수정	2022 - 2033	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 격리 방식 및 사용량에 따라 톤당 60-180달러 	노동력이 필요 한 모든 바이오 연료 시설(다만 타공제와 중복 적용 불가)	X
차세대 에너지 프로젝트 세액공제 연장	2023 - 2031	<ul style="list-style-type: none"> 해당 연도 적격투자 금액의 30%로 사용 가능한 총 세액공 제액은 100억 달러 	모든 바이오연 료 시설(다만 타 공제와 중복 적 용 불가)	X

자료: IEA(Renewable 2022)



< 참고 문헌 >

1. 국토교통부/국토교통과학기술진흥원, "바이오항공유 산업지원 및 활용 기획연구 최종보고서", (재)한국기후변화연구원, 2019.4월
2. 김재곤, "온실감축 수단으로서 바이오연료의 현황과 전망", 한국석유관리원 석유기술연구소, 2018
3. 박지현·강유진, "바이오연료 기술동향", KISTEP 생명기초사업센터
4. 산업통상자원부, "탄소중립 시대 에너지 신산업 육성을 위한 친환경 바이오연료 확대 방안", 2022.10월
5. 산업통상자원부/한국에너지공단, 신·재생에너지센터, "2021년 신·재생에너지 보급통계", 2022
6. Anastacia Davies, "The Outlook for Biofuels", BNEF, 2023.5월
7. BP, "Statistical Review of World Energy 2023", 2023.6월
8. Brown, T.R. "Biomass-Based Diesel: A Market and Performance Analysis." Fuels Institute, March 2020.
9. IEA, "Energy Technology Perspectives 2020", 2020
10. IEA, "Net zero by 2050", 2021
11. IEA, "Renewables 2022", 2023.1월
12. IEA, "World Energy Outlook 2022", 2022.10월
13. KBR(Korea Biofuels Forum, (사)한국바이오연료포럼), 2023년 정기 심포지엄 발표자료 "바이오경제 2.0과 저탄소 연료 전환 대응 바이오연료의 역할", 2023.5월
14. Maria Gerverni et al., Biodiesel and Renewable Diesel: What's the Difference?, Department of Agricultural and Consumer Economics University of Illinois, 2023
15. Xu, Hui, L. Ou, Y. Li, T. Hawkins, and M. Wang. "Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Biodiesel and Renewable Diesel Production in the United States." Environmental Science and Technology, 2022(56):7512-7521., 2022
16. www.bnef.com 등