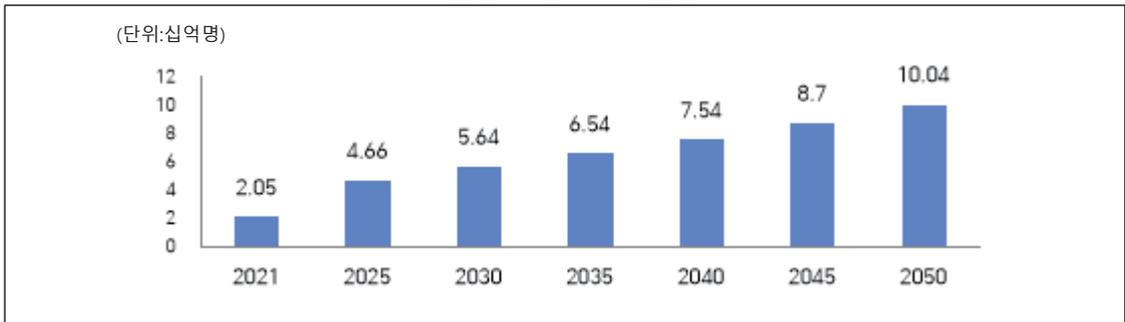


I. 지속가능 항공유 도입 배경

1. 항공산업의 탄소배출 현황

- 항공 부문의 탄소 배출량은 '19년 총 배출량의 약 2.8% 수준이며, 항공 수요의 지속적 증가로 '50년에는 22%로 확대될 것으로 예상
- 항공 부문은 전 세계 GDP의 4.1%¹⁾를 차지하는 주요 산업으로, 비즈니스의 글로벌화 및 인구·경제 성장 등으로 수십 년 동안 항공 운송량이 계속 증가
 - 항공산업은 코로나19로 인해 일시적으로 위축되었다가 엔데믹에 따른 해외여행 증가 등으로 '22년 기준으로 코로나 이전 항공 수요의 약 80% 수준 회복
 - 인구 및 경제 성장과 밀접한 관련이 있는 항공 수요는 높은 경제 성장이 기대되는 아시아·아프리카를 중심으로 빠르게 증가할 것으로 예상되며, '21년 20억 명에서 '25년에는 45억 명을 초과할 전망

<그림 1> 항공기 승객 수 전망



자료 : IATA(2023)

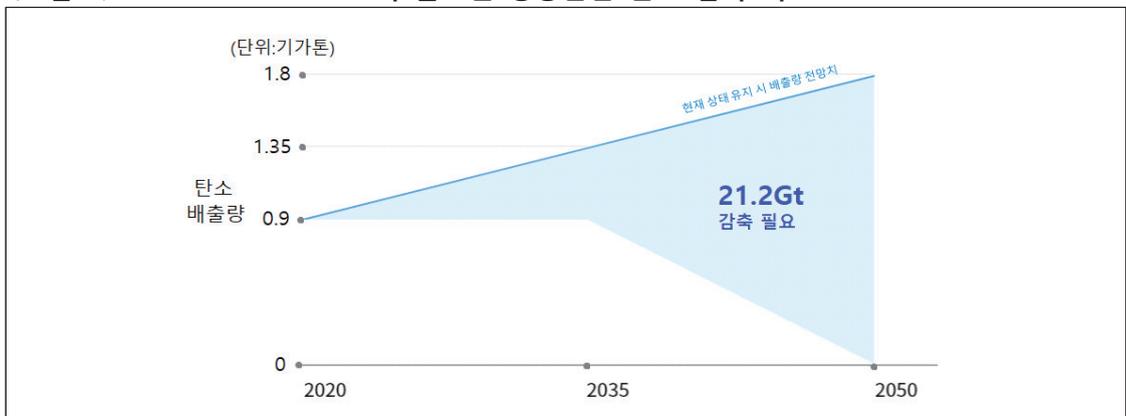
- IATA(국제항공운송협회)에 따르면 '19년 항공산업의 탄소 배출량은 1.02Gt (기가톤)으로 글로벌 탄소 배출량의 약 2.8%, 운송 산업 배출량의 13.4%를 차지하고 있으며, '22년에는 코로나19 여파로 다소 감소하여 784.5Mt를 기록
 - 현재는 항공산업의 탄소 배출량 비중이 미미한 편이나, 탄소 배출량의 빠른 증가세 및 다른 산업 분야의 탈탄소화 가속화 등 감안시 '50년에는 22%로 확대될 전망²⁾

1) ATAG(Air Transport Action Group)에 따르면, 2019년 기준으로 항공산업의 GDP는 3.5조 달러

□ 탄소중립 달성을 위한 항공산업의 탈탄소화 필요성 부각으로 온실가스 감축 등 환경규제가 항공산업으로 확대 적용 중

- 높은 탈탄소화 기술 및 비용으로 항공산업은 탈탄소화 이행이 어렵다는 평가를 받았으나, 탄소 배출량의 빠른 증가세 및 여타 산업의 단계적인 탈탄소화 시행 등으로 항공산업의 탈탄소화 필요성 대두
- 국제민간항공기구(ICAO)는 제41차 회원국 총회('22.10)에서 국제항공 탄소감축 장기목표를 채택하며, '국제항공 탄소상쇄·감축제도(CORSIA : Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)'의 참여 독려
 - CORSIA는 탄소 배출량 기준*을 초과하여 배출한 항공사에 대해 탄소 시장에서 배출권을 구매하여 상쇄하도록 하는 제도로 '21년부터 시행
 - * '22년 수정안 : '21~'23년은 '19년 배출량 수준, '24~'35년은 '19년 배출량의 85% 수준
 - CORSIA는 사전단계('21~'23), 1단계('24~'26), 2단계('27~'35)의 세 가지 단계로 실행되며, 자발적 참여 기간을 거쳐 '27년부터 의무화
 - '24.1월 기준 한국을 포함한 126개국이 자발적 참여 선언
- IATA도 '21년 제77차 총회에서 항공업계의 탄소중립 달성을 위한 결의안을 채택하면서, '20년부터 '50년까지 21.2Gt의 탄소 배출량 감축을 통한 탄소중립을 선언

<그림 2> IATA의 글로벌 항공산업 탄소 감축 목표



자료 : IATA(2023)

2) IATA(2022), Net Zero Resolution

2. 항공산업의 탈탄소 방안

□ 항공산업의 탈탄소화 기술은 4가지 방향으로 개발 중

- 항공산업의 탄소중립 목표 달성을 위한 기술 개발은 크게 ①지속가능 항공유(SAF : Sustainable Aviation Fuel) 사용, ②신기술 개발, ③인프라·운영 개선, ④탄소상쇄·포집 등 네 가지 방향으로 진행 중
- ①지속가능 항공유(SAF)
 - SAF는 친환경 원료를 사용하여 제조되는 기존 제트유(화석연료 항공유)의 대체 연료로 탄소 배출량의 90%까지 절감 가능
 - 제트유와 혼합할 수 있는 SAF는 기존 연료 시스템하에서 사용 가능하다는 장점이 있으며, 항공산업 탈탄소화의 주요 수단으로 부상
 - 단, SAF는 아직 개발 초기 단계로 글로벌 생산량이 전체 항공연료 생산량의 0.2%로 미미하며, 생산비용이 높아 제트유 가격 대비 3배 이상 고가
- ②신기술 개발
 - 저배출 항공 기술을 적용한 항공기를 개발하는 방식으로 항공기 설계 구조 개선 및 전기·수소·하이브리드 등의 추진 기술을 이용하는 것을 포괄
 - 하이브리드-전기 : 화석 연료와 전기 엔진의 장점을 합한 것으로, 탄소 배출량을 40%까지 감축 가능
 - 전기 : 탄소 배출량이 없으나 대형비행기에 적용할 수 없다는 한계
 - 수소 : 탄소 배출량이 없으나 동일한 에너지를 가진 연료에 비해 부피가 약 4배 커서, 연료 시스템의 근본적인 변화 및 그린수소의 대량 생산이 필요
 - 비행기 구조 개선 : 항공기 디자인 개선 등을 통해 에너지 효율 제고 가능
 - 단 기술적 한계, 규제 등으로 기술의 범용화에는 수십 년의 시간이 소요될 전망이며, 현재는 상기 기술을 이용한 최초의 비행, 지상 시험만 이루어진 상황
- ③인프라/운영 개선
 - 항공기 운영 및 인프라 개선의 탄소 저감 효과는 낮으나, 현재 있는 자원을 활용하여 탈탄소화 지원이 가능하며, 항공기 개발 대비 규제의 제약이 적어

신속한 탈탄소화 추진 가능성 등 장점 존재

- 항공기 운영 개선 : 항공기의 중량 감소, 항공기 운영 시스템의 효율성 개선, 항공기의 공기역학적 기술 향상 등
- 인프라 개선 : 항공교통관리(ATM : Air Traffic Management) 시스템 운영의 효율성 제고 및 공항 운영의 전기화, 지상 차량 자동화 등

○ ④ 탄소상쇄·포집

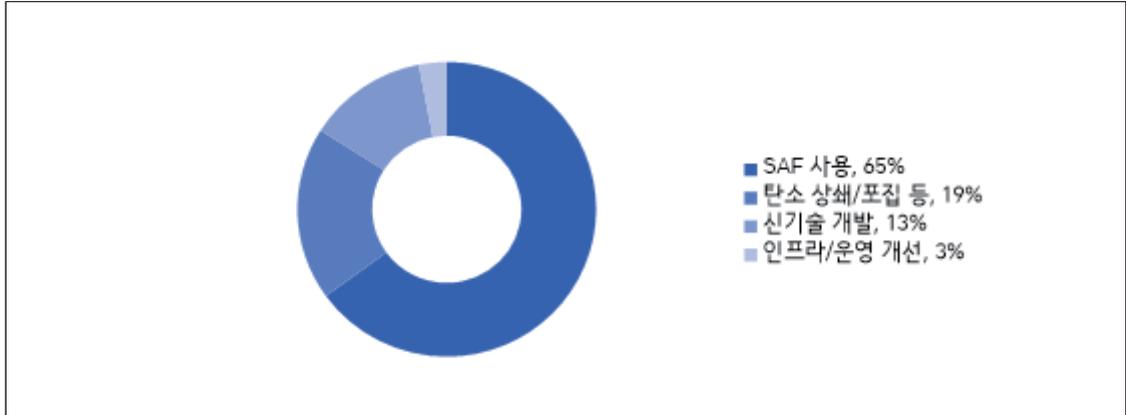
- 탄소 포집 기술은 DAC(Direct Air Capture, 직접 대기 이산화탄소 포집)과 CCUS(Carbon Capture Utilization and Storage, 탄소 포집·저장)로 분류
- (DAC) 공기 중의 이산화탄소를 직접 포집하는 방식으로 유의미한 영향을 행사하기 위해서는 거대 규모로 확대 필요
- (CCUS) 화석 연료를 사용하여 산업공정에서 발생한 이산화탄소의 90%를 포집하는 기술로 포집한 이산화탄소는 지하에 저장되거나 SAF의 생산 등에 재활용 가능

□ 지속가능 항공유(SAF) 사용이 탄소 감축을 위한 핵심 방안으로 검토 중

- 개발에 오랜 시간이 소요되거나 탄소 저감 효과가 적은 다른 대안들에 비해 SAF는 단기적으로 가장 적용 가능성이 높은 대안
- SAF는 기존 연료 시스템을 활용하여 사용할 수 있는 드롭인(Drop-in) 연료로서 별도의 항공기 개조가 불필요하며 장거리 비행도 가능
- 폐식용유, 생활 및 농업 폐기물 등 다양한 원료를 사용하여 SAF를 생산할 수 있으며, 원료·공정에 따라 전 과정(Life cycle)에서 탄소 배출량을 90%까지 감축 가능
- IATA도 SAF의 사용을 가장 주요한 탈탄소화 대안으로 명시
- '50년 항공 부문 탄소중립 달성에 SAF가 65% 기여할 것으로 전망

<그림 3>

항공산업 2050 탄소중립 달성 기여율



자료 : 국제항공운송협회(IATA)

II. 지속가능 항공유(SAF) 개요 및 개발 효과

1. 지속가능 항공유(SAF) 개요

□ SAF의 세 가지 특징은 ①지속가능성, ②석유 대체 원료 사용, ③항공연료 인증 필요

- ①(지속가능성) 경제, 사회, 환경 목적에 일치하는 방식으로 계속적·반복적으로 조달될 필요
 - 공급 원료 생산 시 바이오매스에 흡수된 이산화탄소를 재활용하거나, 대기 중 이산화탄소를 직접 포집하는 등의 방식으로 탄소 배출 저감에 기여
 - 원료가 식량자원과 경쟁하지 않아야 하며, 생산 시 다량의 담수를 사용하거나 삼림을 파괴하지 않는 등 지속가능성 기준을 충족할 필요
- ②(석유 대체 원료 사용) 석유·석탄·천연가스 등 화석 연료 이외 원료로 생산
 - 식용유, 식물성 기름, 생활 폐기물, 폐가스, 농업 잔여물 등 다양한 원료 사용
- ③(항공연료 인증) 기존 항공연료와 마찬가지로 인증을 받아야 상용화 가능
 - 지속가능성 기준이 산발적이면 시장의 성장이 어렵기 때문에 국제 인증과 표준이 중요

- 현재 SAF는 국제표준 설정 기관인 ASTM(미국재료시험협회) 등의 승인을 통해 사용 가능

□ SAF는 ①HEFA, ②ATJ, ③가스화/FT, ④PTL 방식으로 분류

① HEFA(Hydro-processed Esters and Fatty Acids)

- 폐식용유, 우지 등 유류 성분이 있는 동·식물성 지방을 원료로 석유 정제 방법을 사용하여 수소 처리하는 방식이며, 현재 상업적으로 사용되고 있는 유일한 공정
 - 다른 공정들에 비해 생산비용이 낮으며, 기존 정유 기술에 사용되는 인프라를 활용하여 생산할 수 있어서 현재 상황에서 가장 접근하기 유리
 - 다른 방식들에 비해서는 경제적이거나 기존 제트 연료 대비 매우 고가
- 원료 공급이 제한적이고 제조 과정에서 다량의 수소가 필요하다는 한계 존재
 - 현재 상업화가 가능한 원료인 폐식용유의 경우 수거가 어려운 단점이 있고, 생산량이 전체 항공유 수요의 5% 미만으로 제한적
 - 식물성 유지의 기반이 되는 작물은 식품산업과 경쟁 관계에 있고, 동물성 기름의 폐지방 또한 공급이 한정적임
 - 또한 HEFA는 제트유 생산공정에 비해 약 4배의 수소가 더 필요하기 때문에, 수소 생산 방식이 배출량과 생산 가격에 크게 영향을 줄 수 있어 그린수소의 개발 및 가격 저감이 요청
- 타 공정에 비해 높은 접근성으로 HEFA 공정은 단기적으로 우위를 점할 것으로 보이나, 원료 부족으로 결국에는 SAF 생산에서 제한된 비중을 차지할 전망

② ATJ(Alcohol to Jet)

- 지방 기반 원료가 아닌 잔류물 및 폐기물 등을 이용하는 방식으로 HEFA 대비 미숙한 단계지만 상용화에 가까운 기술이라는 평가
- HEFA보다 다양한 공급 원료를 활용할 수 있으며, 농림 부산물, 임업 잔류물(residue) 및 생활 폐기물 등 사용 가능

- 원료를 발효하여 알코올을 생성한 후 탈수·올리고머화·수소처리의 과정을 거쳐 탄화수소로 전환하는 방식
 - 일반적으로 옥수수나 사탕수수를 원료로 사용하나 바이오매스 폐기물도 활용 가능
 - 식량자원과의 경쟁을 피하려면 비식품 기반 원료를 사용해야 하는데, 이 경우 식품 소재 알코올에 비해 복잡한 공정, 높은 생산비용이 단점

③ 가스화/FT(Gasification/Fisch-Tropsch)

- ATJ와 마찬가지로 지방 기반 원료가 아닌 잔류물 및 폐기물을 이용하는 방식으로 아직 상용화되지 않았으나 상용화에 근접한 기술
 - 여러 종류의 공급 원료를 사용할 수 있으나, HEFA보다 개발이 미숙한 상태
- 가스화(Gasification)는 원료를 가열·분해하여 합성가스(일산화탄소와 수소의 혼합물)를 생성한 후, 열화학(FT, Fischer-Tropsch) 공정 등을 통해 만들어진 중간체에 추가 기술을 적용하여 탄화수소로 전환하는 방식
- 가스화는 전처리 과정을 거친 생활 폐기물(MSW : Municipal Solid Waste)을 원료로 활용할 수 있으며, 향후 MSW가 주요 원료로 사용될 것으로 예상
 - HEFA 공정의 주요 원료인 폐식용유(연간 1,650만 톤 발생)에 비해 MSW(연간 20억 톤 발생)는 상대적으로 생산량 풍부한 것으로 판단
- 제조 공정에 정교한 인프라가 필요하여 설비 비용이 전체 공정 비용의 60~90%를 차지하는 등 높은 편이나, 원료 비용은 상대적으로 낮은 편
 - MSW 자체는 가격이 낮지만, 폐기물 내 금속 분리 등 원료 처리 과정에 높은 비용 소요
 - MSW를 활용 시 고온(1,000℃)의 가스화가 필요한데, 이 과정에서 공정 설비 마모 발생 가능성
- 원료의 낮은 에너지 밀도에 따른 높은 운송비용으로 원료 집결의 효율화가 필요하며, 원료 발생지 인근에 소형 생산 설비를 설치하여 생산을 현지화 하거나 폐기물 수거 시스템 개발 등이 요구

④ PTL(Power-to-Liquid)

- PTL은 재생 가능 에너지를 통해 얻은 그린수소와 이산화탄소 등을 원료로 하여 액체 탄화수소 연료(e-fuel)를 생산하는 공정으로 기초 기술 개발의 선행이 필요한 장기 과제
 - PTL은 크게 두 가지 방식으로 분류되며, FT(Fisch-Tropsch) 공정을 사용하는 합성가스 생산 방식과 알코올 생산 방식이 존재
 - 석탄, 가스 등의 화석연료 연소 시 발생하는 산업 폐가스를 활용하거나 대기 중 탄소를 직접 포집하여 활용 가능
- PTL 기술은 다른 공정 대비 고비용으로 PTL 연료의 가격은 현재 화석 연료 가격의 8배
 - 높은 제조 비용은 대기 중 직접 탄소 포집(DAC, Direct Air Capture), 전기 분해 및 이산화탄소 결합 파괴 등에 필요한 에너지 가격에서 기인
 - PTL 공정은 대부분 상용화 이전 실험 단계로 규모 확대를 위해서는 높은 수준의 기술개발 투자가 필요한 상황
 - PTL 공정이 상용화되기 위해서는 공기 중 직접 포집(DAC) 비용의 감소가 선행되어야 하며, 향후 DAC 기술 진보로 비용이 점진적으로 하락할 전망

〈표 1〉 SAF 주요 제조 공정 비교

구분	HEFA	ATJ	가스화/FT	PTL
개발현황	· 안전하고 검증됨 · 확대 가능한 기술	· 중장기적으로 가능 · 기술 경제적으로 불확실		· 실험단계 · 저렴한 대용량 전기 사용의 선행 필요
기술 성숙도	성숙 단계	상업용 파일럿 단계		개발 단계
원료	· 폐기물 및 부산물 지질 · 식물성 기름 공급망 확보로 수송 용이 · 총 항공유 수요의 5~10% 공급 가능	· 농림부산물, 생활폐기물, 셀룰로오스 에너지 작물 · 공급 원료가 저렴하나 원료 수집 불리		· 이산화탄소와 청정 전기 · 직접 공기 포집으로 이용에 유리
화석연료 대비 탄소 저감(%)	73~84	85~94		99

자료 : World Economic Forum(2020), 에너지경제연구원(2021)

□ HEFA 방식이 현재 가장 많이 상용화

- 현재 ASTM의 승인을 받은 SAF 생산 기술은 11종으로 이외에도 다양한 기술이 승인 예정되어 있거나 연구개발 단계 진행 중

- 단기적으로는 개발 성숙도가 높은 HEFA 공정이 상용 중이나, 기존 제트유를 완전 대체하기 위한 원료 자원이 부족하여 향후에는 PTL 공정을 사용한 SAF가 각광받을 전망
 - PTL은 가장 발전된 SAF 공정으로 탄소 저감 효과가 100%에 가깝고 원료 공급에 제약이 없다는 장점이 있으며, 장기적으로 기술 개발에 따른 제조 비용 절감 시 상용화될 것으로 전망

2. 지속가능 항공유 도입 현황 및 전망

□ '11년 사용 승인을 시작으로 도입된 SAF는 '21년부터 비약적으로 발전

- 여객기에서 SAF 사용이 처음으로 승인된 '11년 이후 현재까지 SAF를 활용한 비행 건수는 약 71만회³⁾에 이룸
 - '16년 노르웨이 오슬로 공항이 공동 급유 시스템을 통해 SAF를 도입한 이후 ATAG의 조사 결과 현재 69개의 공항이 정기적으로 SAF를 공급받는 중
- SAF 장기구매 계약은 '13년 처음 성사된 후 연간 1~6건으로 유지되었다가 '21년 23건, '22년 43건, '23년 25건으로 증가⁴⁾
 - 계약에 따른 연간 공급 물량도 '13년 0.57억 리터에서 '21년 92억 리터, '22년 217억 리터, '23년 114억 리터로 증가
- 전 세계 SAF 생산량도 '21년 1억 리터, '22년 3억 리터, '23년 6억 리터로 빠르게 증가
- SAF 관련 정책 도입, 기술 개발, 설비투자도 활발히 진행중
 - 많은 국가가 적극적으로 SAF 관련 정책을 채택하고 있으며, ICAO의 데이터에 따르면 39개의 국가에서 34개의 정책을 도입하거나 도입 검토 중
 - ASTM의 인증을 받은 제조 공정은 11가지이며, 5개의 추가적인 제조 기술에 관한 인증 절차가 진행 중
 - 현재 SAF 제조 설비는 전 세계 44개국에 290개(진행 중인 건 포함)이며, 197개의 기업이 SAF를 제조 중⁵⁾

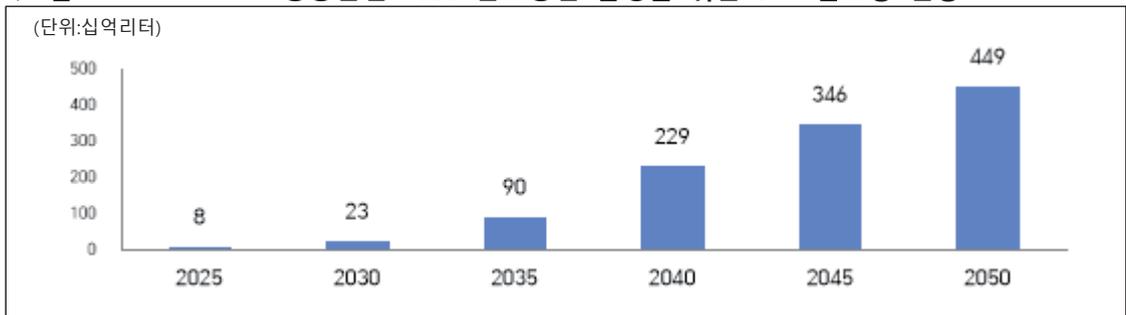
3) ATAG 홈페이지, aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/sustainable-aviation-fuel/

4) ICAO 홈페이지, SAF Offtake Agreements

□ IATA는 '50년 항공산업 탄소중립 달성에서 SAF가 65% 기여할 것으로 전망

- IATA에 따르면 탄소중립 달성을 위해서는 '25년까지 80억 리터, '50년까지 4,490억 리터의 SAF 생산이 필요
- '23년 현재 SAF 생산량은 6억 리터로 전체 항공유 사용량의 0.2% 차지
- SAF의 생산량은 빠르게 증가하고 있으나 아직 '25년 요구량의 8%에 못 미치는 수준으로 SAF 생산에 대한 정책 지원이 전 세계로 확대되는 '30년대에 비약적인 성장을 보일 것으로 전망

<그림 4> 항공산업 2050 탄소중립 달성을 위한 SAF 필요량 전망

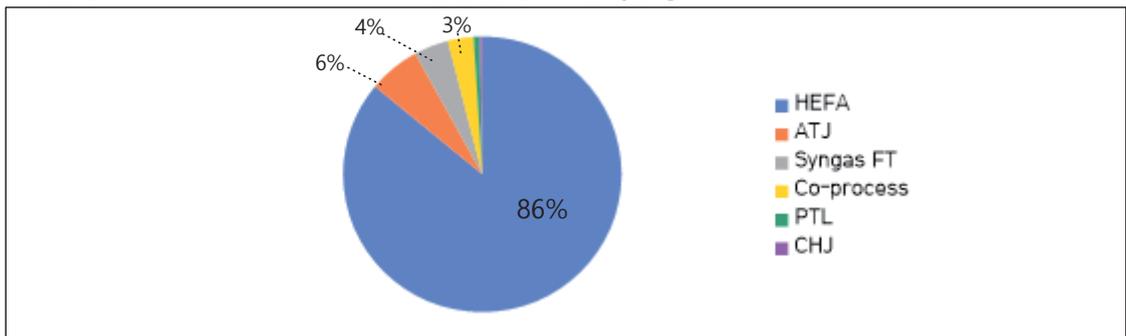


자료 : IATA(2023)

□ SAF 생산 설비는 현재 HEFA 공정에 집중되어 공정과 원료의 다변화 필요

- IATA에 따르면, 현재 SAF 생산 설비의 86%가 HEFA 공정에 집중
- HEFA 공정은 제한된 원료에 의존하는 방식이기 때문에 일정 수준 이상의 생산량 증가가 어려워 공정 다변화 및 기술 개발이 필요

<그림 5> 공정별 SAF 설비용량



자료 : IATA Media Briefing on SAF (2023)

5) ICAO 홈페이지, SAF Offtake Agreements

<참고 1>

SAF 도입 현황

2008	버진 애틀랜틱 항공이 바이오 제트유 항공기 첫 시험 비행
2011~2015	22개 항공사가 식용유 등에서 얻은 공급 원료로 만든 바이오 제트유를 최대 50% 혼합한 민간 여객기 2,500건 이상 비행
2016. 1	노르웨이 오슬로 공항이 공동 급유 시스템을 통해 정기적으로 SAF를 공급받기 시작 핀란드 대체연료 생산업체인 네스테(Neste), 네덜란드 공급업체인 스카이 NRG(SkyNRG), 영국 특수항공 자회사 에어BP(Air BP)가 참여
2016. 3	미국 유나이티드 항공이 사상 처음으로 정기 운항에 SAF를 도입 알트에어 퓨얼즈(AltAir Fuels)가 공급한 SAF로 LA 공항에서 이륙하는 단일 항공편에 SAF 도입
2017. 6	멕시코 칸쿤에서 개최된 73차 연례총회에서 IATA 회원사들이 만장일치로 SAF 도입을 위한 결의안 채택 IATA는 결의안에서 건설적 정부 정책을 촉구하고 생태 균형을 보존하고 천연자원 고갈을 하지 않는 연료만 사용할 것을 선언
2019.11	민간 항공기의 SAF 연료 기반 비행 건수가 25만 건을 넘고, SAF 연료로 운항한 경험이 있는 항공사가 45개 초과
2020. 6	ASTM의 인증을 받은 SAF 생산 공정이 2개 증가하여 7개
2021.10	미국 보스턴에서 개최된 77차 연례총회에서 IATA 회원사들이 2050년까지 항공산업 넷제로 달성을 위한 결의안 채택 산업화 이전 대비 1.5°C 이상 기온 상승을 제한하도록 노력을 추구한다는 파리협정에 따른 것으로, SAF가 항공산업 탄소 감축의 65%를 기여할 것으로 전망
2022.10	ICAO 41차 총회에서 2050 탄소중립을 달성하는 장기 목표 도입
2022	SAF 생산량이 2021년 1억 리터에서 3억 리터로 3배 증가
2023. 6	IATA에서 2050 탄소중립 달성을 위한 전략 로드맵 시리즈를 공개
2023.10	EU에서 Fit for 55 달성을 위해 ReFuelEU 정책을 도입 항공유 공급자는 2025년까지 최소 2%, 2050년까지 70%의 SAF를 기존 제트유에 혼합해야 함
2023	SAF 생산량 6억 리터로, '22년의 두 배 달성하였고, 전체 항공유 사용량의 0.2% 차지

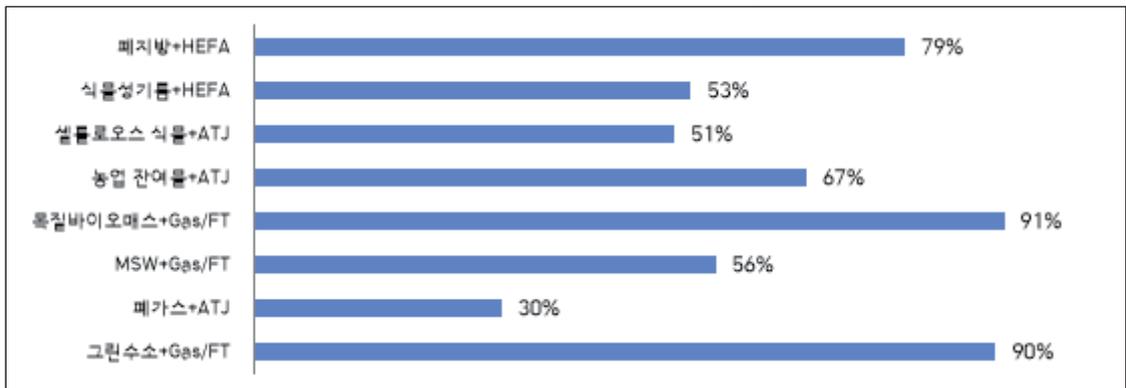
자료 : IATA(2024), 딜로이트 인사이트(2023)

3. 지속가능 항공유 개발 효과

□ (탈탄소화) 화석연료 대비 전 과정에서 탄소배출 70~90% 저감 가능

- 항공기 엔진에서 연소되는 과정에서 이산화탄소가 배출되는 것은 화석연료와 기본적으로 다르지 않지만, SAF 제조에 사용되는 원료를 생산 시 대기 중의 이산화탄소가 제거되므로 탄소 저감의 고리(loop) 형성
 - SAF는 화석연료에 비해 에너지 밀도가 높아 연비가 좋으며, 미세먼지 발생량이 적어 대기질 개선에 효과적
- 원료를 SAF로 가공하고 완성된 SAF를 공항까지 운송하는 과정에도 에너지가 필요하기 때문에 SAF 사용만으로는 배출량 100% 저감 불가
 - SAF 생산시설을 재생에너지로 가동하고, 운송 시에 파이프라인이나 대체에너지 차량을 사용하면 탄소 배출 감축 요인(ERF :emissions reduction factor)이 상당히 개선
 - 생산과정에서 탄소 포집·저장(CCS : Carbon Capture and Storage) 기술 적용시 ERF 100% 이상 달성 가능
- 현재 가장 성능이 뛰어난 SAF는 ERF가 90%, 평균 ERF 70% 내외로 향후 SAF 기술 및 CCS 기술 발전을 통해 ERF 개선 가능
 - IATA는 SAF가 전 과정에 거친 탄소 저감 효과로 인하여 항공산업 탈탄소화에 65% 정도 기여할 것으로 전망

<그림 6> 공정·원료 조합에 따른 탄소 저감율



자료 : ATAG(2021)

□ (신산업) SAF는 환경 개선과 함께 새로운 산업 발전을 촉진

- SAF 도입을 위해 에너지 시스템의 완전한 교체가 필요하므로 SAF 활성화는 대규모 설비투자과 일자리 창출에 기여할 것으로 기대
 - 현재 기후 목표 달성에 충분한 SAF를 생산하기 위해서는 약 5,000~7,000개의 시설이 필요할 것으로 추정
 - '22년 0.24Mt 수준인 SAF 공급 원료(renewable fuel) 생산 설비 용량은 '30년 55Mt, '50년 450Mt 규모로 늘어날 전망으로 투자는 약 1조 달러에서 1.45조 달러가 필요할 것으로 예상
 - '2050 탄소중립 달성'을 위해 최소 1.45조 달러(연평균 480억 달러, ATAG)에서 최대 5조 달러(연평균 1,800억 달러, IATA) 규모의 투자가 요청됨
 - 한편, SAF 확대 추진을 통해 전 세계적으로 1,400만 개의 일자리 창출 기대
 - 직접 고용 140만 명, 간접 고용(시설 건설, 원료 수집 등) 1,260만 명

〈표 2〉 탄소중립 달성을 위해 필요한 설비, 인프라 투자, 예상 일자리 창출 (Aggressive SAF 도입⁶⁾ 가정 시)

구분	전체	아프리카	아태	유럽	남미	중동	북미
설비 (개)	7,026	464	2,661	1,525	843	279	1,254
인프라 투자 (US\$십억)	1,450	101	554	306	183	55	252
일자리 창출 (백만)	14.1	1.2	5.9	2.5	2.0	0.4	2.1

자료 : ATAG(2021)

- 화석연료의 경우 생산의 90% 이상이 22개 국가에 집중되어 있지만, SAF 산업은 원료의 전 세계 분산으로 에너지 보안 및 독립성 향상 가능

6) ATAG의 가정된 4개의 SAF 도입 시나리오 중 하나로, 기존 연료 90%를 SAF로 대체하기 위하여 445Mt의 SAF 생산이 필요하다는 가정 포함

Ⅲ. 지속가능 항공유 관련 국내외 정책

1. 해외 정책 동향

□ (EU) SAF 혼합을 의무화하는 규제 중심의 ReFuelEU Aviation 정책 발표

- '21년 7월 유럽연합 집행위원회는 '30년까지 탄소 배출량을 55%로 감축하는 방안을 담은 입법안 패키지 'Fit for 55'를 발표하고, SAF 생산 및 활용을 지원하기 위한 목적으로 ReFuelEU Aviation 법안을 제안
 - ReFuelEU는 항공연료 공급업체들이 의무적으로 지켜야 할 SAF와 화석연료 혼합비율 규정을 포함하고 있어 EU 내 공항에 항공연료를 공급하는 모든 업체는 이를 준수해야 하고 모든 항공기는 이륙 전 혼합비율을 측정해야 함
- 유럽연합은 '23년 4월 ReFuelEU Aviation 법안에 대해 최종 합의하였으며, SAF 의무 혼합비율 '25년 2%에서 '50년 70%로 단계적으로 상향 예정

〈표 3〉 EU SAF 의무 혼합비율 (%)

구분	2025	2030	2035	2040	2045	2050
SAF	2	6	20	34	42	70
합성연료(e-fuel)	-	1.2~2.0	5	10	15	35

자료 : European Parliament (2023.10)

- SAF 규정을 위반하는 경우 의무량에 비례*하여 벌금 부과되며, 유럽연합은 벌금 수익을 기반으로 SAF 인프라 펀드(Sustainable Aviation Fund)를 조성하여 관련 연구 투자를 지원할 계획
 - 의무량 1톤당 제트유 가격의 2배 상당의 벌금 부과

□ (미국) 인센티브 중심의 다양한 정책을 발표해왔으며, '21.9월에는 SAF 생산량 확대 목표 제시

- '05년 도입된 바이오 연료 혼합(RFS : Renewable Fuel Standard) 프로그램은 육상 운송의 재생가능 연료에 중점을 둔 정책으로, 연간 재생가능 연료 최저 비율 기준을 규제
 - SAF 산업의 경우 일종의 크레딧 제도인 RIN(Renewable Identification Number)을 통해 RFS 프로그램에 참여할 수 있으나 규정 준수 의무는 없음

- '21년 5월 SAF 사용에 대한 인센티브를 확대하기 위해 지속 가능한 하늘을 위한 법(SSA : Sustainable Skies Act)을 도입
 - 전 과정 50% 이상의 온실가스 저감 효과가 있는 SAF를 공급하는 업체에 갤런당 최소 1.5달러에서 최대 2달러의 크레딧 지급
 - 미국 내 SAF 생산시설 확충을 위해 5년간 10억 달러의 보조금 지원

- 미 정부는 '21년 9월 SAF 생산 목표를 '23년 1천만 갤런에서 '30년 30억 갤런으로 확대하고, '22년 9월 'SAF Grand Challenge Roadmap' 발표
 - 미국 내에서 생산 및 판매된 SAF에 대해 갤런당 1.25~1.75달러의 세제 혜택을 통해 SAF 공급업체의 설비 투자를 지원

- 한편 주 정부 차원에서도 운송 부문 온실가스 저감을 위해 캘리포니아 저탄소 연료 표준(CA-LCFS : California Low Carbon Fuel Standard) 운영 중
 - CA-LCFS는 재생가능 연료에 의한 온실가스 저감분에 탄소 크레딧을 지급하고 있으며, '19년 개정을 통해 SAF를 크레딧 지급 가능 재생 연료로 인정
 - SAF의 온실가스 저감효과는 제트유 사용 시 발생하는 온실가스 배출량과 비교하는 모델링을 통해 측정
 - 지급된 탄소 크레딧은 CA-LCFS의 적용을 받는 제3자에게 판매될 수 있어 SAF 생산에 인센티브로 작용

2. 국내 정책 동향

□ 석유 및 석유대체연료 사업법(석유사업법) 개정으로 SAF 도입의 초석 마련

- '24.1월 석유사업법 개정이 국회 본회의 통과하여 SAF 생산의 법적 근거 확보
 - 개정 전까지 SAF가 석유대체연료에 포함되어 있지 않아 정유사들이 국내에서 SAF를 생산할 수 있는 법적 기반 부재
 - 또한, 법 개정 지연으로 인해 국내 정유사의 적극적인 투자가 어려웠던 상황
- 법·제도적 불확실성 해소로 기존 실증사업 수준에 불과했던 SAF 생산이 대형 정유사를 중심으로 확대될 것으로 전망

〈참고 2〉 국내 정유업계 SAF 관련 사업 현황

SK이노베이션	<ul style="list-style-type: none"> · 자회사 SK트레이딩인터내셔널을 통해 SAF 원료업체 '대경오앤티' 지분 100% 확보 · 日 에너지기업 에네오스와 SAF 기술 개발 MOU 체결
GS칼텍스	<ul style="list-style-type: none"> · 포스코인터내셔널과 인도네시아에 팜유 정제사업을 위한 법인 설립 및 정제시설 건설 * '25년 2분기 상업 가동 목표, 연간 50만 톤의 정제유 생산 예정
HD현대오일뱅크	<ul style="list-style-type: none"> · 대산 공장에서 SAF 연 50만 톤 생산 목표
에쓰오일	<ul style="list-style-type: none"> · 삼성물산과 바이오연료 사업 공동 개발 추진

□ 항공 분야 탄소 감축을 제도적으로 지원하기 위한 정부 로드맵 필요

- 석유사업법 개정으로 SAF 생산 기반이 조성되었으나, 본격적인 생산과 도입을 위한 구체적인 정책이 필요한 시점
 - 미국, 유럽에 비해 제도 수립이 뒤떨어진 상황이며, 정책적인 지원 부족으로 항공업계 등 이해관계가 있는 기업들의 기술 개발 및 투자도 소극적인 실정
- 국토교통부에서 '23.3월 '항공분야 탄소감축 로드맵' 구축을 위한 연구용역에 착수하여, 향후 구체적인 로드맵 수립될 예정

- SAF는 선점이 중요한 신산업인 만큼, 투자 및 기술 개발이 활발히 진행될 수 있도록 정부의 신속한 제도 마련이 요구

<참고 3> 석유 및 석유대체연료 사업법 개정 주요내용

법 목적 개정	· “탄소중립화 기여” 및 “관련 사업의 건전한 발전 지원”을 추가하여 친환경 연료 활성화를 위한 정책목표 구체화
친환경 원료 투입 허용	· 산업부 장관이 지정한 “친환경정제원료”를 정제공정에 투입할 수 있도록 관련 규정 신설 * (예) 페플라스틱 열분해유, 폐윤활유, 바이오매스 등
“석유대체연료” 정의 변경	친환경 연료를 명시적으로 구분 * 화석원료 기반 ①석유대체연료와 ②바이오연료, ③재생합성연료 등 친환경 연료를 구분
지원사업 근거 마련	· 친환경 연료의 개발·이용·보급 확대, 원료 확보 지원 등 국내 업계의 경쟁력 강화를 위한 규정 신설 · 친환경 연료 관련 지원사업을 효율적으로 수행하기 위한 전담기관(석유대체연료센터) 설치·운영 명시
관리·감독 강화	· 품질 확보와 안전사고 방지를 위해 ‘석유 이외의 원료’ 사용시 보고의무 규정 및 행위의 금지 규정 신설 * 친환경정제원료 투입시 산업부장관에게 사용계획 및 내역을 보고

자료 : 산업통상자원부 보도자료(2024.1.9)

IV. 시사점

□ 세계적인 탄소중립 관련 규제 강화 추세로 국내 항공업계도 SAF 도입 필수적

- 항공업계의 SAF 도입 속도가 빨라지고 있는 가운데 우리나라도 SAF 도입 및 개발을 위한 대책 마련 필요
- 항공산업은 국가 간 연관성이 큰 글로벌 산업으로 타국의 규제 정책이 국내 기업에 직접적으로 영향
 - 프랑스는 '22년부터 항공유에 SAF 1% 혼합 의무화 비율을 강제하고 있으며, 아시아나항공의 경우 파리 노선에 SAF 미급유하여 환경 부담금 납부 중
 - EU도 '25년부터 SAF 혼합 의무화 비율 2%를 적용할 예정이며, 이 비율을 단계적으로 상향할 계획
 - 전 세계적으로 SAF 관련 규제 정책 강화될 전망
- 탈탄소화 관련 각국의 대응 및 규제 감안시 SAF 도입 및 개발은 선택이 아닌 필수 과제
 - SAF 공급 가능 공항을 포함한 인프라 체계 구축, 항공사의 비용 부담 문제 해소, 바이오 연료 설비를 비롯한 생산시설 확충 등 국가 차원의 다각적인 노력 필요

□ 정부 차원의 로드맵 설정 및 SAF 관련 정책 도입 필요

- SAF 도입을 의무화하거나 도입을 지원하는 국가가 확대되고 있으나, 우리나라는 아직 관련 제도 확립 미흡
 - '24.1월 석유사업법 개정으로 SAF 생산 근거는 마련되었으나, 본격적인 도입 지원책 등은 여전히 부족
- 향후 성장 가능성이 높은 글로벌 SAF 시장을 선점하기 위해 국가 차원의 강력한 지원 체계 마련이 필요
 - 특히 SAF 시장 초기 단계에 발생하는 화석연료·SAF 간의 생산비용 격차를 줄이고 생산규모를 확대하기 위해 인센티브 지원책이 유리

- 국제적인 표준에 맞는 SAF 관련 기준 확립이 필수적

□ SAF 산업 관련 기술 개발, 인프라 구축 등을 위한 충분한 자금 지원 필요

- SAF 산업은 신산업으로 현재 성장 초기 단계이며 기술 개발, 생산·공급 관련 인프라 구축을 위해 대규모의 투자가 요청됨
 - 글로벌 정유사 및 항공사 주도로 공급량 확대를 위한 대규모 투자가 진행되고 있으며, 항공산업 탄소중립 달성 목표 시점인 '50년까지 투자는 더 빠른 속도로 진전될 전망
- SAF 산업 생태계의 고도화를 위해 신규 진입업체의 투자자금 조달이 원활하도록 자본시장의 적극적인 자금 지원 필요
 - JP Morgan Chase를 비롯한 몇몇 금융기관이 항공사·정유사와 SAF 펀드를 조성하여 신규 SAF 기업을 대상으로 직접투자 시행 중⁷⁾
 - 영국의 경우, 국가 차원에서 펀드를 조성하여 직접 지원⁸⁾
- 한국도 외국 사례를 참조하여 펀드 조성 마련이 필요하고, 이를 위해 정책적 지원도 필요

7) JPMC : '23.2월 유나이티드 항공 등과 함께 2억 달러 규모의 SAF 스타트업 지원 투자 펀드(SFF : Sustainable Flight Fund) 조성

MUFJ : 미쓰비시 상사·한국 사모펀드 파빌리온 등과 공동으로 10억 달러 규모의 탈탄소 펀드(Marunouchi Climate Tech Growth Fund)를 조성하여 SAF 유망기술 보유 스타트업 등 20개 사에 출자 계획

8) 영국 교통부 : 영국의 SAF 산업 발전을 목적으로 1.65억 파운드 규모의 펀드(Advanced Fuels Fund)를 조성하여 스타트업의 SAF 프로젝트 지원

참고문헌

[국문자료]

- 국가녹색기술연구소(2023), “항공 분야 탄소중립 추진 현황”
딜로이트 인사이트(2023), “넷제로의 마지막 전선 항공산업”
삼성증권(2023), “항공 부문의 탈탄소 여정”
우리금융경영연구소(2024), “지속가능항공유(SAF) 확대가 항공업에 미치는 영향과
금융회사의 비즈니스 기회요인 점검”
에너지경제연구원(2021), “탄소중립을 위한 新석유대체연료의 개발·보급 현황과
정책 시사점 : 지속가능한 항공연료(SAF)를 중심으로”
한국바이오연료포럼(2023), “고농도 유지 함유 효모를 활용한 바이오 항공유
생산기술”
_____ (2023), “바이오항공유의 국내·외 동향”
KDB미래전략연구소(2022), “항공업계 환경규제와 SAF 시장 확대 전망”

[영문자료]

- IATA(2021), “Fact Sheet: EU and US policy approaches to advance SAF
production”
_____ (2023), “Net Zero carbon 2050 resolution Fact sheet”
_____ (2023), “Net zero 2050 : new aircraft”
_____ (2023), “Net zero 2050 : offsetting and carbon capture”
_____ (2023), “Net zero 2050 : operational and infrastructure improvements”
_____ (2023), “Net zero 2050 : sustainable aviation fuels”
ATAG(2021), “fueling net zero”
_____ (2021), “Waypoint 2050”
Shell(2021), “Decarbonising Aviation : Cleared for Take-off”