

Article

글로벌 항공·특송 물류 기업의 저탄소 연료 전환 전략 비교 연구: DHL Express 와 FedEx 사례를 중심으로

Hana Kim ¹, Jae-eun Kim ²¹ Student / Seoul School of Integrated Science and Technologies; angfang22@naver.com² Professor / Seoul School of Integrated Science and Technologies; jekim@ips.or.kr

Abstract: (1) Background/Purpose: The aviation express logistics sector remains the hardest transport mode to decarbonize due to the impracticality of battery-electric propulsion for long-haul freight. Sustainable Aviation Fuel (SAF) has emerged as the most viable near-term abatement lever, yet the strategic approaches of leading carriers diverge sharply and lack systematic academic comparison. This study addresses that gap by comparing the SAF transition strategies of DHL Express and FedEx. (2) Study Design/Methodology: A multiple case study design (Yin, 2018) is applied to two purposively selected global express carriers. Six theory-grounded evaluation criteria were derived from the carbon management typology of Herold and Lee (2017), the logistics decarbonization framework of McKinnon (2018), and the integrated abatement portfolio model of Sgouridis et al. (2011). Data from corporate ESG reports, annual reports, press releases, and industry publications are analyzed through within-case and cross-case pattern matching. (3) Findings: DHL Express pursues a Demand-Pull with Customer Co-Creation strategy centered on long-term offtake agreements and customer cost-sharing via GoGreen Plus, targeting 30% SAF by 2030. FedEx adopts a Technology-First Supply-Push strategy, allocating roughly USD 2 billion to next-generation SAF producers and complementary technologies en route to carbon-neutral operations by 2040. Both firms recognize SAF as the primary decarbonization lever and adopt portfolio approaches aligned with evolving regulatory frameworks. (4) Originality/Value: This study offers a six-dimensional analytical framework reusable in subsequent research and a strategic typology that provides practical guidance for logistics firms designing decarbonization roadmaps and for policymakers calibrating SAF support mechanisms.

Keywords: Sustainable Aviation Fuel (SAF); decarbonization; express logistics; DHL Express; FedEx; carbon management; low-carbon fuel transition; case study

1. 서론

글로벌 항공 산업은 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 2~3%를 차지하며, 국제항공운송협회(IATA)에 따르면 항공 부문의 탄소 배출량은 2019 년 기준 약 9 억 1,500 만 톤에 달한다(Graver, Zhang, & Rutherford, 2018). 특히 항공·특송(express logistics) 산업은 글로벌 공급망을 뒷받침하는 핵심 인프라로서, 전자상거래의 급속한 성장과 함께 항공 화물 운송 수요가 지속적으로 확대되는 추세이다. 글로벌 항공 화물의 수송량은 2020 년 코로나 19 팬데믹의 일시적 감소를 제외하면 연평균 약 4~5%의 성장세를 유지하고 있으며, 전자상거래의 확산에 따른 익일 배송 및 당일 배송 수요의

증가는 해당 성장 동력을 주도하는 역할을 하고 있다. 이러한 수요 증가는 필연적으로 탄소 배출량의 증가를 동반하며, 기후변화 대응과 직접 충돌한다.

항공 부문의 탈탄소화는 여타 운송 수단과 비교하여 기술적으로 가장 복잡하고 해결해야 할 주요 문제 중 하나로 여겨진다. 자동차나 철도 운송의 경우 전기화(electrification)를 통한 탄소 감축이 상당 수준 진행되고 있으나, 항공기는 높은 에너지 밀도(energy density)를 요구하는 특성상 배터리 기반의 전기 추진이 단기적으로 실현되기 어렵다(Schäfer et al., 2019). 현재의 리튬이온 배터리 기술은 에너지 밀도가 항공유의 약 2%에 불과하여, 장거리 항공 운송에 쓰기에는 근본적으로 부족하다. 이러한 기술적 제약 속에서 지속가능항공연료 (Sustainable Aviation Fuel, 이하 SAF)는 기존 항공기 엔진과의 호환성을 유지하면서도 생애주기 기준 탄소 배출량을 최대 80%까지 감축할 수 있는 해결책으로 관심을 받고 있다(Malina, Staples, Suresh, & Barrett, 2015).

그러나 SAF 는 전체 항공 연료의 1% 미만을 차지하며, 기존 연료 대비 2~5 배의 생산 비용, 원료 확보, 설비 투자, 공급 인프라 등 구조적 과제가 산적해 있다(Pavlenko et al., 2019; Martinez-Valencia et al., 2021). 이러한 비용 장벽과 공급 제약 때문에 정부 정책, 산업 협력, 기술 혁신이 동시에 필요하다.

이러한 배경에서 글로벌 항공·특송 물류 기업들은 자체적인 탈탄소 전략의 핵심 축으로 SAF 중심의 전환 전략을 실행하고 있다. DHL Express 는 모회사 Deutsche Post DHL Group(이하 DPDHL)의 'Mission 2050'에 기반하여 GoGreen Plus 프로그램을 통해 SAF 도입을 확대하고 있으며, FedEx 는 2020 년 11 월 탄소중립(carbon-neutral operations) 2040 목표를 발표하며 SAF 투자 및 차세대 기술 개발을 적극 추진한다. 그러나 두 기업의 전략적 접근 방식에는 SAF 조달 구조, 투자 규모, 파트너십 전략, 고객 참여 프로그램 등에서 뚜렷한 차이가 존재하며, 이러한 차이가 실질적인 탄소 감축 성과에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 체계적 분석은 아직 부족하다.

물류 산업의 탄소 경영에 관한 기존 연구들은 주로 육상 운송이나 물류 서비스 제공업체(LSP) 전반의 환경 지속가능성을 다루고 있으며(Herold & Lee, 2017; Evangelista, Santoro, & Thomas, 2018; Colicchia, Marchet, Melacini, & Perotti, 2011), 항공 특송 분야에 특화된 SAF 전환 전략 비교 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 특히 동일 산업 내에서 경쟁 관계에 있는 글로벌 기업 간의 저탄소 연료 전환 전략을 체계적으로 비교·분석한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 이는 SAF 전환이 비교적 최근에 본격적으로 부각된 전략적 이슈이기도 하지만, 기업 간 전략 비교를 위한 분석 프레임워크가 마련되지 않았기 때문이다.

따라서 본 연구는 글로벌 항공·특송 물류 산업에서 SAF 전환이라는 공통 과제에 대해 DHL Express 와 FedEx 가 각각 어떠한 전략적 접근 방식을 취하고 있는지를 비교·분석하고, 이를 통해 항공 물류 기업의 효과적인 저탄소 전환 전략에 관한 시사점을 제시하고자 한다. 본 연구의 목적은 글로벌 항공·특송 물류 산업의 대표 기업인 DHL Express 와 FedEx 의 저탄소 연료 전환 전략을 체계적인 관점에서 비교·평가하여, 각 기업의 전략적 차이점과 공통된 특성을 도출하고, 항공 물류 산업의 탈탄소화에 관한 전략적·정책적 시사점을 제시하는 데 있다. 구체적으로 본 연구는 다음과 같은 세 가지 연구 질문에 대한 해답을 찾고자 한다.

연구 질문 1. DHL Express 와 FedEx 는 SAF 전환과 관련하여 각각 어떠한 전략적 목표와 추진 체계를 어떻게 구축하고 있는가?

연구 질문 2. 두 기업의 SAF 조달 방식, 투자 구조, 파트너십 전략, 그리고 고객 참여 프로그램에는 어떠한 차별성이 나타나는가?

연구 질문 3. 이러한 전략적 차이가 갖는 구조적 의미는 무엇이며, 항공 물류 산업의 탈탄소 전환에 어떠한 전략적·정책적 시사점을 제공하는가?

이러한 연구 질문에 대한 답을 도출함으로써, 본 연구는 항공·특송 물류 기업의 저탄소 전환 전략에 관한 학술적 논의를 확대하는 동시에, 실무적으로도 물류 기업의 탄소 경영 전략 수립에 참고할 수 있는 구체적인 분석 결과를 도출하고자 한다. 나아가, SAF 전환 전략의 유형화를 통해 향후 관련 연구에 이론적 기반을 제공하고, SAF 시장의 확대를 위한 정책적 시사점 또한 함께 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 항공·특송 산업의 탄소 배출 구조와 산업 특성

항공 운송은 전 세계 교통 부문 탄소 배출의 약 12%를 차지하며, 이는 전체 인위적 이산화탄소 배출량의 약 2.4%비중을 차지한다(Graver et al., 2018). 국제민간항공기구(ICAO)의 분석에 따르면, 별도의 개입이 없을 경우 항공 부문의 탄소 배출량은 2050년까지 현재 수준 대비 약 300% 이상 증가할 것으로 예상되며, 이는 파리협정의 1.5°C 목표 달성에 심각한 제한 요소로 작용할 가능성이 있다. 항공 부문의 탄소 배출은 단순히 비행 중 연료 연소에서만 발생하는 것이 아니라, 항공유의 생산·정제·운송 과정, 공항 지상 조업, 항공기 정비 등 가치사슬 전반에 걸쳐 발생한다는 점에서 전체과정을 함께 고려해야 한다.

항공·특송 산업은 일반 여객 항공과는 구별되는 고유한 탄소 배출 특성을 가지고 있다. 특송 물류 기업의 경우 자체 항공기 보유 및 운영(fleet operation), 허브 앤 스포크(hub-and-spoke) 네트워크 운영, 야간 비행 중심의 운항 스케줄 등 여객 항공과는 서로 다른 운영 특성을 나타낸다(Baxter, Srisaeng, & Wild, 2020). DHL Express는 약 260대, FedEx는 약 680대 이상의 자체 항공기를 보유하고 있으며, 이러한 대규모 항공기 운영은 필연적으로 대량의 항공 연료 소비와 탄소 배출을 동반한다. 특히 FedEx의 항공기 보유 규모는 세계 최대 수준으로, 연간 약 15억 갤런 이상의 항공 연료를 소비하는 것으로 파악된다.

또한 항공·특송 산업은 배송 속도와 신뢰성이 핵심 경쟁력인 산업 특성상, 연료 효율성만으로는 탄소 감축에 어려움이 있다. 항공기의 기술적 연료 효율은 매년 약 1~2%씩 개선되고 있으나, 이러한 효율 개선은 운송 수요의 증가분을 만회하기에는 부족한 수준이다(Sgouridis, Bonnefoy, & Hansman, 2011). 더욱이, 야간 집중 운항이라는 특송 산업의 운영 특성은 여객 항공 대비 운항 스케줄의 유연성이 낮아 항로 최적화나 운항 속도 조절을 통한 연료 절감의 여지가 비교적 제한적인 수준이다. 화물 항공기는 여객기와 달리 탑승률(load factor) 개념 대신 적재율(weight load factor)이 적용되며, 경량화를 통한 연료 절감에도 근본적인 구조적 한계를 지닌다. 이러한 맥락에서 항공·특송 산업의 근본적인 탈탄소화를 위해서는 연료 자체의 전환, 즉 화석 기반 항공유(Jet-A1)에서 저탄소 대체 연료로의 전환이 피하기 어려운 상황이다. 국제에너지기구(IEA)의 넷제로 시나리오에서도 항공 부문 탄소 감축의 약 50% 이상을 SAF가 담당하게 될 것으로 전망하고 있어, SAF 전환은 항공·특송 산업의 탈탄소 전략에서 선택이 아닌 필수 요소로 자리 잡고 있다.

2.2. SAF의 기술적·경제적 특성

지속가능항공연료(SAF)는 재생 가능한 원료 또는 폐기물로부터 생산되는 항공 연료로서, 기존 화석 기반 항공유와 화학적으로 유사하여 기존 항공기 엔진 및 연료 공급 인프라와 호환 가능한 점이 가장 큰 장점이다. 이를 흔히 ‘drop-in fuel’이라 칭하는데, 기존 인프라의 대규모 변경 없이 기존 연료에 혼합하여 사용할 수 있음을 의미한다. ASTM International의 인증 기준에 따르면, 현재 SAF는 기존 화석 연료와 최대 50%까지 혼합(blending)하여 사용할 수 있도록 승인되어 있으며, 100% SAF 사용을 위한 인증 절차도 함께 추진되고 있다.

SAF의 생산 경로(production pathway)는 크게 다섯 가지 유형으로 구분된다. 첫째, HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) 공정은 폐식용유, 동물성 지방 등을 수소화 처리하여 항공유를 생산하는 방식으로, 현재 상업적으로 가장 성숙한 기술이다(Pearlson, Wollersheim, & Hileman, 2013). HEFA 기반 SAF는 전체 SAF 생산량의 약 85% 이상을 차지하고 있으며, Neste, World Energy 등이 주요 생산업체로 알려져 있다. 둘째, Fischer-Tropsch(FT) 합성 공정은 바이오매스나 도시 고형 폐기물을 가스화 한 후 합성가스(syngas)로부터 연료를 제조한다. 이

공정은 다양한 원료를 활용할 수 있다는 장점이 있으나, 대규모 설비 투자와 기술적 복잡성이 주요 과제로 작용한다. 셋째, ATJ(Alcohol-to-Jet) 공정은 에탄올이나 이소부탄올 등 알코올을 원료로 항공유를 제조한다. 넷째, 전력 기반 연료(Power-to-Liquid, PtL)는 재생에너지로 생산한 수소와 포집된 이산화탄소를 결합하여 합성 연료를 생산하는 방식이다. 다섯째, SIP(Synthesized Iso-Paraffins) 공정은 발효 과정을 통해 당류로부터 탄화수소를 합성하는 공정 기술이다(Staples et al., 2014).

SAF의 온실가스 감축 효과는 생산 경로와 원료에 따라 상이하지만, 생애주기 평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기준으로 기존 화석 연료 대비 약 50~80%의 탄소 배출 저감이 가능한 것으로 평가되고 있다(Malina et al., 2015). 특히 PtL 경로의 경우 재생에너지와 직접공기포집(DAC) 기술을 결합할 경우 이론적으로 탄소중립에 근접한 연료 생산이 가능하다. 그러나 LCA 방법론의 적용 범위와 기준에 따라 감축 효과의 산정값이 달라질 수 있어, SAF의 환경적 편익에 대한 표준화된 평가 체계의 구축이 주요 과제로 떠오르고 있다.

SAF의 경제적 측면에서는 HEFA 기반 SAF의 생산 비용이 기존 항공유 대비 약 2~3배, FT 및 PtL 경로는 3~5배에 달하는 것으로 추정된다(de Jong et al., 2015; Pavlenko et al., 2019). 현재 전 세계 SAF 생산량은 연간 약 3억 리터로 전체 항공 연료 수요의 0.1% 미만이나, 주요 생산업체의 설비 확장으로 2030년까지 10배 이상 증가할 것으로 전망된다.

표 1. SAF 주요 생산 경로별 특성 비교

생산 경로	원료	기술 성숙도	비용(Jet-A 대비)	CO ₂ 감축률
HEFA	폐식용유, 동물성 지방	상업화 단계	2~3 배	50~80%
FT 합성	바이오매스, 도시폐기물	시범 단계	3~4 배	50~95%
ATJ	에탄올, 이소부탄올	초기 상용화	3~5 배	40~70%
PtL	재생에너지+포집 CO ₂	연구·시범 단계	4~6 배	70~100%
SIP	당류(발효)	초기 상용화	3~5 배	50~70%

자료: Staples et al.(2014), de Jong et al.(2015), Pavlenko et al.(2019)을 바탕으로 저자 작성

2.3. 항공 탈탄소 정책 환경 및 SAF 공급망 구조

가장 대표적인 국제 정책은 ICAO의 CORSIA(Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)로, 국제 항공 부문의 탄소 배출을 2019년 수준으로 동결하고 SAF를 탄소 감축 수단으로 인정한다. EU는 ReFuelEU Aviation(Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport)을 통해 2025년 2%에서 2050년 70%까지 SAF 의무 혼합을 단계적으로 확대하며(Kousoulidou et al., 2020), 미국은 IRA(Inflation Reduction Act)를 통해 갤런당 1.25~1.75달러의 SAF 생산 세금 공제를 제공한다. 일본도 2030년까지 항공 연료의 10%를 SAF로 전환하는 목표를 설정하였다.

SAF 공급망은 원료 조달(feedstock sourcing), 연료 생산(refining), 물류 및 저장(logistics and storage), 그리고 최종 급유(fuel delivery)의 단계로 구성된다(Martinez-Valencia et al., 2021). 현재 SAF 공급망의 가장 큰 과제는 원료의 확보 가능성(feedstock availability)과 생산 설비의 규모 확대(scale-up)이다. HEFA 공정의 주요 원료인 폐식용유(UCO)는 수요 증가에 따라 가격이 증가하고 있으며, 원료의 지속가능성 인증(sustainability certification)도 중요한 이슈로

부각되고 있다. 항공·특송 물류 기업의 입장에서 SAF 공급망에 대한 접근 전략은 크게 두 가지 유형으로 구분된다. 첫째, 장기 구매 계약(offtake agreement)을 통해 SAF 공급을 안정적으로 확보하는 ‘수요 견인형(demand-pull)’ 전략이다. 이 전략은 생산업체에 수요의 확실성을 보장하여 설비 투자를 유인하는 효과가 있으며, 구매 기업의 입장에서는 생산 기술 리스크 부담을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 둘째, SAF 생산업체에 대한 직접 투자 또는 합작투자(joint venture)를 통해 공급망에 수직적으로 참여하는 ‘공급 주도형(supply-push)’ 전략이다. 이 전략은 장기적으로 공급 비용을 통제하고 기술적 우위를 확보할 수 있으나, 높은 초기 투자와 기술 불확실성이 리스크 요인이다. DHL Express 와 FedEx 는 이러한 접근 전략에서 명확한 차이를 나타내고 있다.

표 2. 글로벌 SAF 관련 주요 정책 비교

지역/정책	핵심 내용	SAF 관련 조항	시행 시기
ICAO CORSIA	국제항공 탄소 상쇄·감축 체계	SAF 사용을 감축수단 인정	2024~ (1 단계)
EU ReFuelEU	SAF 의무 혼합 비율 단계적 확대	2025 년 2% → 2030 년 6% → 2050 년 70%	2025~
미국 IRA	SAF 생산 세금 공제	갤런당 1.25~1.75 달러 공제	2023~2027
EU ETS	항공부문 배출권 거래제	탄소비용 상승 → SAF 경제성 개선	확대 적용 중
일본	2030 년 SAF 10% 전환 목표	SAF 생산·도입 로드맵 수립	2030 년 목표

자료: ICAO, EU, 미국 정부 공식 자료를 바탕으로 저자 작성

2.4. 물류기업의 탄소경영 전략 유형과 선행연구

물류 산업의 탄소 경영(carbon management)에 관한 학술 연구는 2010 년대 이후 빠른 속도로 확대되어 왔다. Herold 와 Lee(2017)는 선도 물류 기업들의 탄소 관리 전략을 분석하여, 기업의 탄소 경영 접근 방식을 ‘준수형(compliance-driven)’, ‘효율 추구형(efficiency-driven)’, ‘전략적 차별화형(strategic differentiation)’ 등으로 유형화하였다. 이들의 연구에 따르면 글로벌 물류 기업들은 점차 단순한 규제 준수를 넘어 탄소 감축을 경쟁 우위의 원천으로 활용하는 전략적 접근으로 전환되고 있다. 이러한 유형화는 물류 기업의 탄소 경영이 단순한 비용 요소가 아닌 전략적 자산으로 변화하고 있음을 보여준다.

Evangelista, Santoro, 그리고 Thomas(2018)는 제 3 자 물류 서비스 제공업체(3PL)의 환경 지속가능성에 관한 2000~2016년 기간의 체계적 문헌 검토를 수행하였으며, 물류 기업의 환경 전략이 운영 효율성 개선(operational eco-efficiency), 고객 가치 제안(green value proposition), 공급망 협력(supply chain collaboration) 등 다층적 차원에서 전개되고 있음을 보여주었다. 이들은 특히 고객과의 협력이 환경 전략 실행의 핵심 요인임을 강조하였는데, 이는 DHL Express 의 GoGreen Plus 프로그램과 같은 고객 참여 기반의 SAF 전략과 맥락을 같이하는 발견이다. Colicchia, Marchet, Melacini, 그리고 Perotti(2011)의 연구 역시 물류 서비스 제공업체의 환경 지속가능성 구축 과정을 실증적으로 분석하여, 환경 전략의

성공이 경영진의 의지, 조직 역량, 고객과의 협력에 크게 의존하는 경향이 있음을 확인하였다.

항공 부문에 특화된 탈탄소 전략 연구로는 Sgouridis, Bonnefoy, 그리고 Hansman(2011)의 연구가 대표적이다. 이들은 탄소 제약 환경에서 항공 운송 산업의 장기적 정책과 전략의 동태적 상호작용 구조를 분석하였으며, 기술 혁신, 운영 효율 개선, 대체 연료 전환, 시장 기반 조치(market-based measures) 등을 포괄하는 통합적 감축 포트폴리오의 필요성을 강조하였다. 이들의 분석에 따르면, 어느 단일 수단도 항공 부문의 탈탄소 목표를 독자적으로 달성하기 어려우며, 특히 대체 연료의 역할이 전체 감축량의 30~50%를 담당해야 한다는 결론에 도달하였다. Dray et al.(2022)는 대체 연료를 통한 항공 부문 탄소 감축 잠재력을 정량적으로 분석하여, SAF를 비롯한 대체 연료 전환이 효율 개선 등과 결합될 경우 2050년까지 항공 부문 탄소 배출의 약 89~94%를 저감할 수 있는 가장 현실적인 대안임을 제시하였다.

McKinnon(2018)은 저서 'Decarbonizing Logistics'에서 물류 산업 전반의 탈탄소화 경로를 종합적으로 분석하며, 특히 항공 화물 부문에서 대체 연료가 결정적인 역할을 한다는 점을 강조하였다. 그는 물류 기업의 탈탄소 전략을 효율 개선(efficiency improvements), 모달 시프트(modal shift), 연료 전환(fuel switching), 공급망 재설계(supply chain restructuring)의 네 가지 유형으로 분류하였으며, 항공 화물의 경우 모달 시프트의 여지가 극히 제한적이어서 연료 전환이 사실상 유일한 근본적인 해결책을 입증하였다. Schäfer, Barrett, Doyme 등(2019)은 완전 전기 항공기의 기술적, 경제적, 환경적 전망을 분석하였는데, 현재의 배터리 기술로는 좌석 수 100 석 미만, 항속거리 1,000km 미만의 단거리 항공기에서만 전기화가 가능하다는 결론에 도달하였다. 이는 장거리 대형 화물 항공기를 주력으로 운용하는 특송 물류 기업의 경우, 전기화보다 SAF가 훨씬 더 실현 가능한 탄소 감축 수단으로 해석될 수 있음을 시사한다.

그러나 기존 연구의 한계점도 명확히 존재한다. 첫째, 물류 기업의 탄소 경영 연구는 주로 육상 운송에 초점을 맞추고 있어 항공 특송 부문에 특화된 분석이 부족하다. 둘째, SAF에 관한 연구는 주로 기술적·경제적 타당성 분석에 집중되어 있으며, 개별 기업 수준에서의 전략적 의사결정과 실행 과정을 심층적으로 다룬 연구는 드물다. 셋째, 동일 산업 내 경쟁 기업 간의 SAF 전환 전략을 체계적으로 비교·분석한 연구는 거의 전무한 실정이다. 넷째, 기존 연구들은 SAF 전환의 기술적·경제적 측면에 편중되어 있어, 고객 참여, 파트너십 전략, 기업 거버넌스 등 전략 경영의 관점에서의 분석이 충분하지 않다.

이러한 선행연구의 한계는 다음과 같은 구조적 연구공백을 형성하고 있다. 첫째, 항공·특송 물류 산업에 특화된 기업 수준의 SAF 전환 전략 분석이 부재하다. 기존 연구는 항공 산업 전반 또는 물류 산업 일반을 대상으로 하고 있어, 자체 항공기를 보유·운영하는 특송 기업의 고유한 전략적 맥락을 반영하지 못한다. 둘째, 동일 산업 내 경쟁 기업 간의 전략 비교가 부족하다. 셋째, 기술적·경제적 분석에 편중된 기존 연구는 고객 참여, 파트너십 구조, 거버넌스 등 전략 경영 차원의 분석 요소를 통합적으로 다루지 못하고 있다. 넷째, 이러한 다차원적 분석 요소들을 하나의 프레임워크로 통합한 분석 도구가 개발되지 않아, SAF 전환 전략의 체계적 비교가 어려운 상황이다. 이러한 연구공백은 SAF 전환이 단일 변수로 설명될 수 없는 다차원적 전략 의사결정의 결과물이라는 점에서, 통합적 분석 프레임워크의 개발이 요구됨을 시사한다.

이상의 선행연구 고찰을 종합하면, 물류 기업의 SAF 전환 전략을 체계적으로 분석하기 위한 평가 지표를 다음과 같은 내용으로 제시할 수 있다. 첫째, Herold와 Lee(2017)가 물류 기업의 탄소경영 성숙도를 평가하는 핵심 기준으로 제시한 '탄소 감축 목표의 구체성과 과학적 근거'는 본 연구의 첫 번째 지표인 '탄소 감축 목표 및 로드맵'으로 구체화된다. 둘째, Dray et al.(2022) 및 Malina et al.(2015)이 강조한 SAF의 실질적 도입 수준은 'SAF 도입 현황 및 목표' 지표의 근거가 된다. 셋째, Sgouridis et al.(2011)이 제시한 탈탄소 포트폴리오에서 재원 배분의 중요성은 '투자

규모 및 구조' 지표로 반영된다. 넷째, Martinez-Valencia et al.(2021)의 SAF 공급망 분석에서 강조된 공급 안정성 확보 전략은 '공급망 전략 및 파트너십' 지표로 구체화된다. 다섯째, Evangelista et al.(2018)과 Colicchia et al.(2011)이 환경 전략 성공의 핵심 동인으로 제시한 고객 협력은 '고객 참여 프로그램' 지표의 이론적 근거를 마련한다. 여섯째, Schäfer et al.(2019)이 분석한 전기 항공기 등 대안 기술의 보완적 역할은 '보완 기술 및 병행 전략' 지표로 포괄된다. 이러한 6 개 지표는 기존 연구에서 개별적으로 다루어져 온 분석 요소들을 통합적 프레임워크로 구성한 것으로, 항공·특송 물류 기업의 SAF 전환 전략을 다양한 관점에서 비교하는 데 유용하다.

3. 연구 방법

3.1. 사례연구 방법론과 적용 타당성

본 연구는 질적 연구 방법론 중 다중 사례연구(multiple case study) 방법을 채택한다. 사례연구는 '어떻게(how)'와 '왜(why)'의 질문에 답하기에 적합한 연구 방법으로(Yin, 2018), 본 연구가 추구하는 SAF 전환 전략의 메커니즘과 차이의 원인을 규명하는 데 효과적이다. 다중 사례연구 방식은 단일 사례연구에 비해 외적 타당성(external validity)을 높일 수 있으며, 사례 간 비교를 통해 보다 일반화 가능한 시사점 도출이 가능하다는 장점이 있다. 본 연구에서 사례연구 방법론을 적용하는 타당성은 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 SAF 전환 전략이라는 복잡하고 동태적인 현상을 다루며, 이러한 현상은 실제 맥락 속에서 분석이 이루어져야 의미를 가진다. 둘째, 두 기업의 SAF 전략은 단순한 정량적 변수만으로는 포착하기 어려운 다차원적 특성(투자 구조, 파트너십, 고객 프로그램 등)을 가지고 있어, 풍부한 기술적 자료를 바탕으로 한 사례연구 방법이 적합하다. 셋째, SAF 전환은 비교적 최근에 본격화된 현상으로, 이론적 명제가 충분히 정립되지 않은 상황이며, 사례연구를 통한 탐색적 분석이 후속 연구의 이론 구축에 기여할 수 있다.

사례 선정 근거는 다음과 같다. 첫째, DHL Express(매출 약 220 억 유로, 항공기 약 260 대)와 FedEx(매출 약 490 억 달러, 항공기 약 680 대)는 글로벌 특송 시장 1·2 위 기업으로 산업 대표성을 충족한다. 둘째, 양사 모두 SAF 전환에 대한 구체적인 전략과 실행 계획을 공개하여 심층 분석이 가능하다. 셋째, 유럽과 북미라는 상이한 규제 환경에서 활동하여 비교 분석의 의의가 크다. 넷째, 수요 견인형과 공급 주도형이라는 대조적 전략은 이론적 복제(theoretical replication) 논리에 부합한다.

3.2. 분석 프레임 및 평가 지표 설정

본 연구는 제 2 장에서 검토한 선행연구를 기반으로 도출한 분석 프레임워크를 적용하여 두 기업의 SAF 전환 전략을 체계적으로 비교한다. 본 연구의 분석 프레임워크는 6 개의 핵심 평가 기준으로 이루어져 있다.

첫째, Herold와 Lee(2017)의 탄소경영 성숙도 분석을 바탕으로, 탄소 감축 목표 및 로드맵(Carbon Reduction Targets and Roadmap)을 설정하였다. 이는 기업의 장기 탄소 감축 목표(시한, 범위, 절대량 또는 집약도 기준), SBTi (Science Based Targets initiative) 등 외부 검증 여부, 중간 이정표(milestone)의 구체적인 수준을 평가한다.

둘째, Dray et al.(2022)의 대체연료 감축 잠재력 분석에 근거하여, SAF 도입 현황 및 목표(SAF Adoption Status and Targets)를 설정하였다. SAF 사용량, 혼합 비율, 전체 항공 연료 대비 SAF 비중, 그리고 향후 SAF 전환 목표를 검토한다.

셋째, Sgouridis et al.(2011)의 탈탄소 포트폴리오 재원 배분 논의를 반영하여, 투자 규모 및 구조(Investment Scale and Structure)를 설정하였다. SAF 관련 총 투자액, 투자 구성(구매 계약, 직접 투자, 인프라 투자 등), 그리고 자금 조달 구조를 분석한다.

넷째, Martinez-Valencia et al.(2021)의 SAF 공급망 분석에 근거하여, 공급망 전략 및 파트너십(Supply Chain Strategy and Partnerships)을 설정하였다. SAF

공급업체와의 계약 구조, 지역적 다변화 정도, 항공기 제작사 및 기술 기업과의 파트너십을 검토한다.

다섯째, Evangelista et al.(2018)이 강조한 고객 협력의 중요성에 기초하여, 고객 참여 프로그램(Customer Engagement Programs)을 설정하였다. 고객 대상 SAF 관련 프로그램의 설계, 비용 분담 메커니즘, 인증서 발급 체계 등을 평가한다.

여섯째, Schäfer et al.(2019)의 보완 기술 분석을 반영하여, 보완 기술 및 병행 전략(Complementary Technologies and Parallel Strategies)을 설정하였다. 전기 항공기, 수소 연료, 운영 효율화, 탄소 포집 등 SAF 외의 탈탄소 수단에 대한 투자와 활용 현황을 분석한다.

이러한 6 개 지표는 SAF 전환 전략의 다양한 측면을 포괄적으로 분석이 가능하도록 설계되었으며, 각 지표별로 구체적인 하위 분석 항목을 설정하여 비교분석의 체계성과 일관성을 강화하였다. 분석의 비교 논리(logic of comparison)는 Yin(2018)이 제시한 ‘패턴 매칭(pattern matching)’ 전략을 기반으로 한다. 즉, 선행연구에서 도출한 이론적 예측(theoretical proposition)과 각 사례에서 관찰된 실제 전략 패턴을 대조함으로써, 이론과 실무 간의 정합성을 평가하고 새로운 이론적 관점을 도출한다.

구체적으로, 본 연구는 Yin(2018)의 패턴 매칭 기법에 따라 선행연구를 기반으로 SAF 전환 전략에 대한 이론적 기대 패턴을 사전에 도출하고, 이를 실제 사례에서 관찰된 전략과 비교·분석하였다. 수요 견인형(demand-pull) 전략은 장기 구매 계약과 고객 참여 프로그램을 중심으로 공급 안정성을 확보하는 방식으로 나타날 것으로 예상되며, 반면 공급 주도형(supply-push) 전략은 생산기술에 대한 직접 투자와 공급망 통제를 통해 장기적 비용 우위를 확보하는 형태로 나타날 것으로 기대된다. 이러한 이론적 기대 패턴을 기준으로, DHL Express 와 FedEx 의 실제 전략을 비교하여 각 기업의 전략 유형을 식별하였다.

3.3. 자료 수집 및 분석 방법

자료 수집은 2020~2025 년 기간의 공개 2 차 자료를 중심으로 수행하였다. DPDHL 과 FedEx 의 ESG 보고서·연차보고서(2021~2024), 투자자 발표 자료, 보도자료, 그리고 IATA·ICAO·IEA 산업 보고서를 분석 대상으로 하였다.

분석은 주제 분석(thematic analysis)에 기반한 5 단계 절차를 적용하였다. SAF 활동 타임라인 구축, 6 개 지표별 코딩 및 매트릭스 작성, 사례 내 분석(within-case), 사례 간 분석(cross-case)을 통한 전략 유형화, 그리고 선행연구 프레임워크와의 대조 순으로 진행하였다.

연구의 신뢰성 확보를 위해 복수 자료원의 삼각검증(triangulation)을 실시하였으며, 구성 타당성(construct validity), 내적 타당성(패턴 매칭), 외적 타당성(이론적 복제)을 확보하였다.

4. 기업 사례 분석

4.1. DHL Express 의 저탄소 연료 전환 전략

4.1.1. 탄소 감축 목표 및 로드맵

DHL Express 의 모회사인 DPDHL 은 2017 년 ‘Mission 2050’을 발표하며, 2050 년까지 물류 관련 온실가스 배출을 제로(zero)로 달성하겠다는 미래 지향적인 장기 비전을 수립하였다. 이 목표는 이후 과학기반감축목표이니셔티브(SBTi)의 검증을 받았으며, 구체적인 중간 목표로 2030 년까지 2021 년 대비 탄소 집약도(carbon intensity)를 42% 감축하고 Scope 1(직접 배출) 및 Scope 2(간접 배출)를 절대량 기준으로 감축하겠다는 실행 계획을 마련하였다. DPDHL 은 탈탄소 로드맵의 가장 중요한 수단으로 SAF 전환 계획을 구체화하고 있으며, 2030 년까지 항공 연료의 최소 30%를 SAF 로 전환한다는 목표를 수립하였다. 이는 현재 업계에서 가장 공격적인 SAF 도입 목표 중 하나로 평가되며, EU 의 ReFuelEU Aviation 규정이 요구하는 2030 년 6% 의무 혼합 비율을 훨씬 뛰어넘는 수치이다.

4.1.2. SAF 도입 현황 및 투자 구조

DPDHL 은 SAF 도입을 가속화하기 위해 대규모 장기 구매 계약을 운용한다. DPDHL 의 2022 Annual Report 에 따르면, DPDHL 은 세계 최대 SAF 생산업체인 Neste 와 연간 약 3,300만 리터 규모의 SAF 구매 계약을 체결하였으며, bp 및 Shell Aviation 과도 장기 공급 계약을 체결했다. 또한 2021년에는 SAF 분야에 약 70 억 유로(약 80 억 달러) 규모의 투자 계획을 밝혔으며, 이 중 상당 부분이 SAF 구매 및 관련 인프라 구축 계획에 포함되어 있다. DHL Express 의 투자 구조는 주로 ‘수요 견인형(demand-pull)’ 접근 방식을 취하고 있다. 즉, SAF 생산업체에 대한 직접적인 지분 투자보다는 장기 구매 계약을 통해 수요를 보장함으로써 SAF 생산업체의 설비 투자를 유인하는 전략을 시행한다. 이러한 접근은 자본 리스크를 최소화하면서도 공급 안정성을 확보할 수 있다는 장점이 있으나, 공급 가격 변동에 대한 노출 위험이 상대적으로 크다는 뚜렷한 한계점이 드러난다.

4.1.3. 공급망 전략 및 파트너십

DHL Express 는 SAF 공급업체와의 다자간 파트너십을 통해 공급망 다변화하고 있다. Neste, bp, Shell Aviation, World Energy 등 복수의 SAF 공급업체와 계약을 체결하여 단일 공급업체 의존에 따른 공급 리스크를 다각화하고 있다. 특히 DHL 은 유럽(Neste 의 싱가포르·로테르담 정유소 기반)과 북미(World Energy 의 캘리포니아 정유소 기반) 양 지역에서 SAF 를 확보하는 지역 분산형 조달 전략을 실행하고 있다. 또한 DPDHL 은 항공기 제작사(Airbus, Boeing)와의 협력을 통해 향후 100% SAF 사용이 가능한 항공기의 개발과 인증을 뒷받침하고 있으며, 전기 항공기 스타트업(Eviation)과의 파트너십을 통해 단거리 화물 운송의 전기화 도입 방안을 검토하고 있다.

4.1.4. 고객 참여 프로그램(GoGreen Plus)

DHL Express 의 가장 차별화된 전략은 GoGreen Plus 프로그램이다. 이 프로그램을 통해 고객은 추가 비용을 지불하여 자신의 화물 운송에 SAF 를 할당 받을 수 있으며, 이에 대한 탄소 감축 인증서 발급을 완료한다. GoGreen Plus 는 ‘Book & Claim’ 방식을 채택하여, SAF 의 물리적 혼합과 관계없이 SAF 구매에 대한 환경적 편익(environmental attribute)을 특정 고객에게 할당하는 구조이다. 이 프로그램은 SAF 의 추가 비용을 고객과 분담함으로써 기업의 재무적 부담을 경감함과 동시에, 고객의 Scope 3 (기타 간접 배출) 감축 수요에 대응하는 이중적 효과를 가지고 있다. 특히 GoGreen Plus 는 ‘insetting’ 개념을 적용하여, 일반적인 탄소 상쇄(offsetting)가 기업 외부의 감축 프로젝트에 투자하는 형태인 것과 대조적으로, 자사 가치사슬 내에서 직접적으로 탄소를 감축하는 메커니즘을 취한다. 고객이 GoGreen Plus 를 통해 SAF 사용을 선택하면, 해당 감축분은 고객의 Scope 3 배출 저감으로 직접 인정받을 수 있다. 이는 ESG 경영이 확산되면서 공급망 전반의 탄소 감축을 요구받고 있는 기업 고객들에게 상당히 차별화된 가치 제안으로 작용한다.

DHL Express 의 SAF 전환 전략은 DPDHL 그룹의 전사적 지속가능경영 거버넌스와 긴밀하게 연동되어 있다. 그룹 차원의 ESG 보고서에는 SAF 관련 KPI 가 명시되고 경영진 평가와 연계되어 있어, SAF 전환이 전사적 전략 우선순위로 자리매김하고 있음을 보여준다. 또한 DPDHL 은 기업 자체의 자본 투입과 GoGreen Plus 를 통한 고객 추가 수입을 결합하는 다층적 재원 조달 체계를 구축하여, SAF 도입의 재무적 부담을 완화하면서 규모의 경제 실현에 기여하고 있다.

4.1.5. 보완 기술 및 병행 전략

DHL Express 는 SAF 전환 외에도 다각적인 탈탄소 수단을 병행하여 전개한다. 전기 화물 항공기 분야에서 Eviation 의 ‘Alice’ 전기 항공기 12 대를 선주문하여 단거리 피더(feeder) 노선에서의 전기화 가능성을 타진하고 있다. 또한 지상 조업

장비의 전기화, 시설 에너지 효율 개선, 재생에너지 조달 확대 등을 통해 Scope 1·2 배출 감축도 병행하고 있다. 운항 효율화 측면에서는 항로 최적화, 연속강하접근(CDA) 방식 도입, 항공기 세척을 통한 공기저항 감소 등의 조치를 강구하고 있다.

DHL Express 가 수요 견인형 전략을 채택한 배경에는 다음과 같은 구조적 요인이 작용하고 있다. 첫째, 유럽 시장의 규제 선도성이다. ReFuelEU Aviation 등 SAF 의무 혼합 규정이 법제화된 유럽 시장에서 사업을 영위하는 DHL Express 는 규제 환경에 선제적으로 대응하면서 고객과의 비용 분담 구조를 구축할 유인이 크다. 둘째, B2B 고객 기반의 특성이다. DHL Express 의 주요 고객은 자체적으로 Scope 3 감축 압박을 받는 글로벌 기업들로서, GoGreen Plus 와 같은 고객 참여 프로그램에 대한 수용도가 높다. 셋째, 그룹 차원의 지속가능경영 거버넌스가 SAF 전환을 전사적 우선과제로 격상시켜, 장기 구매 계약에 대한 조직적 의사결정을 촉진하였다.

4.2. FedEx 의 저탄소 연료 전환 전략

4.2.1. 탄소 감축 목표 및 로드맵

FedEx 의 2021 Annual Report 에 따르면, FedEx Corporation 은 2020 년 11 월 ‘2040 년까지 전 세계 사업장에서 탄소중립(carbon-neutral operations) 달성’이라는 장기 비전을 발표하였다. 이는 경쟁사 대비 상대적으로 공격적인 시한 설정으로, 특히 UPS(2050 년 목표)보다 10 년 앞선 목표이다. FedEx 는 이 목표 달성을 위해 약 20 억 달러 규모의 초기 투자 계획을 공표하였으며, 차량 전기화, SAF 도입, 탄소 포집 기술 등에 재원을 투입할 방침임을 시사했다. FedEx 는 2030 년까지의 중간 목표로 탄소 배출 집약도를 2019 년 대비 50% 감축하겠다는 계획을 마련하였다. 다만, FedEx 의 SBTi 인증 여부 및 Scope 3 배출 포함 범위에 대해서는 DPDHL 대비 상대적으로 정보가 제한적이며, 이는 두 기업의 탄소 목표 비교에서 면밀한 검토가 요구되는 대목이다.

4.2.2. SAF 도입 현황 및 투자 구조

FedEx 의 2023 ESG Report 에 따르면, FedEx 는 SAF 도입에 있어 ‘공급 주도형(supply-push)’ 전략을 택했다. FedEx는 2021년 이후 여러 SAF 생산업체 및 기술 개발 기업에 대한 직접 투자를 단행하였으며, 대표적으로 World Energy, Alder Fuels 등과 전략적 파트너십을 체결하였다. 특히 FedEx 는 Alder Fuels 에 대한 투자를 통해 바이오매스 기반 녹색원유(green crude) 생산 기술 개발에 직접 참여하고 있으며, 이는 차세대 SAF 생산 기술에 대한 선제적 입지를 선점하고 있음을 시사한다. FedEx 의 ‘탄소중립 2040’ 발표에 따르면, 약 20 억 달러 규모의 초기 투자 중 상당 부분이 차세대 SAF 생산 기술 및 SAF 구매에 배분될 예정이다. 이러한 투자 구조는 단기적으로는 자본 리스크가 높지만, 장기적으로는 SAF 공급망에 대한 수직적 통제력과 비용 우위의 확보가 가능하다는 이점이 있다.

4.2.3. 공급망 전략 및 파트너십

FedEx 의 SAF 공급망 전략은 ‘기술 다변화(technology diversification)’에 초점을 두고 전개한다. World Energy 를 통해 HEFA 기반 SAF 의 안정적 공급을 확보하는 한편, Alder Fuels 를 통해 셀룰로스 기반 SAF 의 차세대 기술 확보, 그리고 미국 에너지부(DOE) 산하 국립연구소들과의 협력을 통해 PtL 기반 SAF 의 기술 개발에도 동참하고 있다. 이러한 다변화 전략은 특정 SAF 생산 경로의 기술적·경제적 리스크에 대한 헤지(hedge) 역할을 수행한다. 또한 FedEx 는 항공기 제작사(Boeing) 및 엔진 제작사(GE Aviation, Pratt & Whitney)와의 파트너십을 통해 100% SAF 사용 항공기의 개발 및 인증에도 적극적으로 참여하고 있다. 지역적으로는 멤피스(Memphis World Hub)와 LA 게이트웨이를 중심으로 SAF 사용을 집중하는 ‘허브 집중형’ 전략을 취한다.

4.2.4. 고객 참여 프로그램

FedEx 는 ‘Sustainability Insights’라는 고객 대시보드를 통해 화물 운송에 따른 탄소 배출량 정보를 제공하고 있으나, DHL Express 의 GoGreen Plus 와 같은 SAF 직접 연계형 고객 프로그램은 현재로서는 아직 도입하지 않았다. FedEx 는 향후 차세대 고객 프로그램에 SAF 옵션을 통합할 계획임을 밝히고 있으나, 현시점에서는 데이터 투명성 제공에 초점을 맞추면서 SAF 연계 프로그램의 도입을 점진적으로 추진하는 기조를 띠고 있다. 이는 FedEx 의 SAF 전환 전략에서 상대적으로 약한 고리(weak link)로 평가될 수 있는 부분이며, 향후 SAF 시장이 확대됨에 따라 이 부분의 보강이 필요할 것으로 관측된다.

FedEx 는 탈탄소 투자를 차량 전기화, 대체 연료 전환, 시설 에너지 효율화의 세 가지 영역으로 구분하여 추진하고 있다. 특히 FedEx 가 투자한 Alder Fuels 는 셀룰로스 기반 바이오매스를 활용하여 녹색 원유(green crude)를 생산한 후 기존 정유 인프라에서 항공유로 정제하는 기술을 개발하고 있으며, 이 기술의 상업화 시 현재 HEFA 기반 SAF 대비 원료 확보 유연성이 크게 향상될 것으로 전망된다.

4.2.5. 보완 기술 및 병행 전략

FedEx 는 SAF 외에도 다양한 탈탄소 기술에 대한 투자를 진행하고 있다. 첫째, 지상 운송 부문의 전기화로, 2040 년까지 전 세계 픽업·배송 차량(P&D vehicles)을 100% 전기차로 전환하겠다는 계획을 발표하였으며, GM 의 BrightDrop 등과의 파트너십을 통해 전기 화물 차량 도입을 가속화하고 있다. 둘째, 자율 항공기 분야의 투자로, 2021 년 Elroy Air 의 ‘Chaparral’ 자율 비행 화물 드론에 대해 투자했으며, 단거리 피더 노선의 자율화 및 전기화를 추진하고 있다. 셋째, 자연 기반 탄소 포집(natural carbon capture) 분야로, 예일대학교와 협력하여 자연 기반 탄소 포집 기술 연구센터(Yale Center for Natural Carbon Capture)에 1 억 달러 규모의 투자를 밝혔다. 이는 SAF 등 직접적인 배출 감축 외에 잔여 배출에 대한 자연 기반 상쇄 메커니즘 구축을 통한 전략적 행보이다.

FedEx 가 기술 투자 선행형 전략을 채택한 배경에는 다음과 같은 요인이 작용하고 있다. 첫째, 미국 시장의 정책적 인센티브이다. IRA 의 SAF 생산 세금 공제(갤런당 1.25~1.75 달러)가 기술 투자의 경제적 타당성을 뒷받침하여, 직접 투자 전략의 위험-수익 구조를 개선하였다. 둘째, FedEx 의 대규모 항공기 보유(680 대 이상)에 따른 연간 연료 소비 규모가 자체 공급망 통제에 전략적 가치를 높인다. 셋째, 북미 지역의 풍부한 바이오매스 자원은 셀룰로스 기반 차세대 SAF 생산 기술에 대한 투자의 원료 확보 가능성을 높여, 기술 다변화 전략을 뒷받침한다.

4.3. 전략 비교 및 유형화 분석

두 기업의 SAF 전환 전략을 6 개 핵심 평가 지표에 따라 체계적으로 비교한 결과를 표 3 에 정리하였다. 이 비교는 두 기업의 전략적 접근 방식이 보이는 명확한 차별성과 일부 공통적인 특징이 병존하고 있다.

표 3. DHL Express 와 FedEx 의 SAF 전환 전략 비교

평가 지표	DHL Express	FedEx
탄소 감축 목표	2050 넷제로, SBTi 인증, 2030 SAF 30%	2040 탄소중립, 투자금액 기준 목표
SAF 도입 현황	Neste, bp, Shell Aviation 등 대규모 장기 구매계약	World Energy, Alder Fuels 등 투자 + 구매계약

투자 구조	수요 견인형(Demand-Pull), 약 70 억 유로	공급 주도형(Supply-Push), 약 20 억 달러
공급망 전략	지역 분산형 다자간 조달	허브 집중형 + 차세대 기술 다변화
고객 프로그램	GoGreen Plus (SAF 직접 연계, Book & Claim)	Sustainability Insights (데이터 투명성 중심)
보완 기술	Eviation Alice 전기항공기, 운항 효율화	Elroy Air 드론, BrightDrop 전기차, 탄소 포집
전략 유형	수요 견인형·고객 공동가치 창출	기술 투자 선행형·공급 주도

자료: 각 기업 ESG 보고서, 연차보고서 및 보도자료를 바탕으로 저자 작성

이러한 비교 결과를 바탕으로, 두 기업의 SAF 전환 전략을 다음과 같이 일정한 유형으로 정립할 수 있다. DHL Express의 전략은 ‘수요 견인형·고객 공동가치 창출(Demand-Pull with Customer Co-Creation)’ 전략으로 분류할 수 있다. 이 전략은 대규모 장기 구매 계약을 통해 SAF 수요의 확실성을 보장하고, GoGreen Plus 프로그램을 통해 고객과 SAF 비용을 분담하며, 이를 통해 SAF 시장의 확대와 자사의 탈탄소 목표 달성을 병행하여 추진하고 있다. 이 전략의 강점은 자본 리스크가 상대적으로 낮고, 고객 기반의 확대를 통해 SAF 시장 자체를 성장시키는 선순환 구조를 형성한다는 점이다. 약점은 SAF 공급 가격 변동에 대한 노출이 크고, 공급업체와의 관계에서 협상 주도권 확보에 제약이 따를 수 있다는 점이다.

반면 FedEx의 전략은 ‘기술 투자 선행형·공급 주도(Technology-First Supply-Push)’ 전략으로 유형화할 수 있다. 이 전략은 차세대 SAF 생산 기술에 대한 직접 투자를 통해 장기적 공급 비용 저감과 기술 우위를 추구하며, 다양한 생산 경로에 분산 투자하여 기술 리스크 관리 체계를 가동하고 있다. 이 전략의 강점은 SAF 가격 하락의 선순환을 촉진하고 공급망에 대한 전략적 통제력을 확보할 수 있다는 점이며, 약점은 기술 투자의 불확실성과 높은 초기 자본 투입이 수반된다는 점이다.

전략적 차이에도 불구하고, 두 기업은 몇 가지 중요한 공통된 지향점을 가지고 있다. 첫째, 양사 모두 SAF를 항공 탈탄소화의 핵심 수단으로 인식하고 있으며, 상당한 규모의 자원을 투입하고 있다. 둘째, SAF 단독이 아닌 전기 항공기, 운영 효율화, 탄소 포집 등을 포함하는 포트폴리오 접근(portfolio approach)을 채택하고 있다. 셋째, 자발적 전환과 규제 대응을 병행하며, 정책 환경의 변화에 선제적으로 대응하려는 전략적 스탠스를 견지하고 있다. 이러한 비교 분석은 항공·특송 물류 기업의 SAF 전환 전략이 단일한 최적 모델(one-size-fits-all)로 수립하기 어려우며, 기업의 조직 구조, 재무 역량, 시장 위치, 그리고 규제 환경에 따라 차별화된 전략적 선택이 실행되고 있음을 보여준다.

5. 논의

본 연구자가 이 비교에서 가장 흥미롭게 본 지점은 두 기업의 ‘수요 견인형’과 ‘공급 주도형’이라는 분기는 이론적·실무적으로 모두 다각도로 해석될 수 있는 유의미한 지표를 제공한다는 점이다. 이론적으로, 본 연구에서 도출한 전략 유형화는 Herold와 Lee(2017)의 물류 기업 탄소 경영 유형화를 SAF라는 특정 도메인에 확장 적용한 것으로, 이들이 제시한 ‘전략적 차별화형(strategic differentiation)’의 하위 유형이 탈탄소 기술의 성숙도가 낮은 단계에서는 더욱 다양한 형태로 발전할 수 있음을 보여준다. 또한 DHL Express의 사례는 Evangelista et al.(2018)이 강조한 ‘고객 협력’이라는 환경 전략 성공 동인이 일회성 마케팅 프로그램이 아닌, GoGreen Plus와 같은 반복적 수익 메커니즘으로 구현될 수 있음을 방증한다. FedEx의 사례는 일반적으로 제조업체에 적용되어 온 ‘기술 투자’ 전략이 IRA와

같은 정책적 인센티브가 가격 격차를 완화하는 환경 하에서는 물류 서비스 제공자에게도 유효한 전략적 옵션이 될 수 있는 충분한 가치를 지닌다.

실무적으로, 두 사례에서 도출되는 직접적인 시사점은 다음과 같다. 수요 견인형 전략은 EU 와 같이 의무 혼합 비율이 정립된 규제 시장에서, 그리고 ESG 보고에 대한 압박을 받는 B2B 고객 기반을 보유한 기업에 최적화되어 있다. SAF 전환 비용을 고객과 분담할 수 있고, 장기 구매 계약을 통해 생산업체에 수요 확실성을 제공함으로써 자사의 기술 개발 리스크를 회피할 수 있다. 반면, 공급 주도형 전략은 IRA 의 SAF 생산 세금 공제와 같은 생산 측 인센티브가 작동하는 시장에서, 그리고 초기 단계의 기술 리스크를 흡수할 수 있는 재무 역량을 보유한 기업에 부합하는 전략이다. 차세대 생산 경로가 본격적으로 상용화될 경우 비용 우위를 선점할 수 있으나, 기술 개발 지연이나 실패 시 자본 손실의 위험이 내재되어 있다.

고객 참여 프로그램은 특별한 주목을 요한다. DHL Express 의 GoGreen Plus 메커니즘은 SAF 연계 고객 프로그램이 단순 마케팅을 넘어, Scope 3 보고 압박을 받는 B2B 고객 대상의 시장 창출 도구로 기능할 수 있음을 시사한다. FedEx 사례는 데이터 투명성만으로는 이러한 가치를 포착하기 어렵다는 점을 보여주며, FedEx 의 SAF 전환 경쟁력은 향후 Sustainability Insights 플랫폼에 SAF 할당 메커니즘을 어떻게 통합하는가에 달려 있다. 이는 일반적인 산업 수준의 논의가 아닌, 두 사례의 직접적 비교에서 도출되는 핵심적 시사점이다.

본 연구의 분석은 SAF 전환 전략이 비즈니스 모델 혁신과 깊이 연결되어 있음을 보여준다. DHL Express 의 GoGreen Plus 는 SAF 비용 분담을 매개로 한 고객 가치 제안을 창출하여 기업과 고객 모두에게 상호 가치를 제공하는 구조를 형성한다. FedEx 의 기술 투자 선행형 전략은 장기적 비용 우위와 기술 우위를 동시에 추구하는 접근으로, SAF 시장의 성숙에 따라 전략적 가치가 더욱 부각될 것으로 전망된다.

정책적 시사점으로, DHL Express 가 EU 의무 혼합 비율의 5 배를 상회하는 30% 목표를 설정한 것은 의무 혼합 규정이 시장의 하한을 보장하여 선도 기업의 자발적 상향을 촉진할 수 있음을 보여준다. FedEx 의 IRA 세금 공제 활용은 생산 측 인센티브가 차세대 SAF 경로에 민간 자본을 유입시킬 수 있음을 시사한다. 두 사례를 종합하면 가장 효과적인 SAF 정책 조합은 의무 혼합 규정, 생산 측 인센티브, 그리고 고객 대상 투명성 요건의 결합이라 할 수 있다.

6. 결론

본 연구는 글로벌 항공·특송 물류 산업의 대표 기업인 DHL Express 와 FedEx 의 SAF 전환 전략을 다중 사례연구 방법론을 통해 비교·분석하였다. 6 개의 핵심 평가 지표를 통한 분석 결과, 다음과 같은 주요 결론을 도출하였다. 첫째, 두 기업은 SAF 를 항공 탈탄소화의 핵심 수단으로 인식한다는 공통의 인식에도 불구하고, ‘수요 견인형·고객 공동가치 창출’과 ‘기술 투자 선행형·공급 주도’라는 질적으로 구별되는 두 가지 전략 유형을 채택하고 있으며, 이는 각 기업의 정책 환경, 고객 기반, 그리고 리스크 선호의 차이에서 기인한다. 둘째, 고객 참여 프로그램은 두 기업의 전략을 가장 명확히 구분 짓는 차원이다. DHL Express 의 GoGreen Plus 는 SAF 를 고객 자금조달형 서비스로 운영화하는 반면, FedEx 의 데이터 중심 접근은 아직 SAF 할당과 직접적인 상관관계를 갖지 않는다. 셋째, 가장 효과적인 SAF 정책 조합은 의무 수요 규정, 생산 측 투자 인센티브, 그리고 고객 대상 투명성 요건의 결합이며, 두 사례는 각 구성 요소에 대한 실증적 근거를 제공한다.

이 연구가 학계에 기여하는 바는 크게 두 가지다. 먼저 항공·특송 물류 산업에 특화된 SAF 전환 전략의 비교 사례연구로서, 기존 연구가 다루지 못한 기업 간 전략 비교의 공백을 보완한다. 더불어 본 연구가 제시한 6 개 차원 분석 프레임워크는 여객 항공, 해운 등 탈탄소화 난도가 높은 운송 부문의 대체 연료 전략 연구에 재 활용 가능한 방법론적 기여를 제공한다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 분석 대상이 두 기업으로 한정되어 있어 일반화에 한계가 있다. 둘째, 공개된 2 차 자료에 의존하여 기업 내부 의사결정 과정에 대한 분석이 제한적이다. 셋째, SAF 시장과 정책이 급변하고 있어 특정 시점의 상황을 반영한다는 시간적 제약이 존재한다. 향후 연구 과제로는 분석 대상의 확대(UPS, Amazon Air 등), 경영진 심층 인터뷰를 통한 내부 의사결정 과정 탐구, SAF 전환 전략의 재무적 영향에 대한 정량적 분석을 제안한다.

References

1. Baxter, G., Srisaeng, P., & Wild, G. (2020). The decarbonization of air freight transport: Constructing a research agenda. *Sustainability*, 12(2), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su12020533>
2. Colicchia, C., Marchet, G., Melacini, M., & Perotti, S. (2011). Building environmental sustainability: Empirical evidence from logistics service providers. *Journal of Cleaner Production*, 22(1), 59-72. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.014>
3. de Jong, S., Hoefnagels, R., Faaij, A., Slade, R., Mawhood, R., & Junginger, M. (2015). The feasibility of short-term production strategies for renewable jet fuels: A comprehensive techno-economic comparison. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 9(6), 778-800. <https://doi.org/10.1002/bbb.1613>
4. Dray, L., Schäfer, A. W., Grobler, C., Falter, C., Allroggen, F., Stettler, M. E. J., & Barrett, S. R. H. (2022). Cost and emissions pathways towards net-zero climate impacts in aviation. *Nature Climate Change*, 12(10), 956-962. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01485-4>
5. Evangelista, P., Santoro, L., & Thomas, A. (2018). Environmental sustainability in third-party logistics service providers: A systematic literature review from 2000-2016. *Sustainability*, 10(5), 1-34. <https://doi.org/10.3390/su10051627>
6. Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2018). CO2 emissions from commercial aviation, 2018. International Council on Clean Transportation Working Paper. <https://theicct.org/publications/co2-emissions-commercial-aviation-2018>
7. Herold, D. M., & Lee, K. H. (2017). Carbon management in the logistics and transportation sector: An overview and new research directions. *Carbon Management*, 8(1), 79-97. <https://doi.org/10.1080/17583004.2017.1283923>
8. Kousoulidou, M., Lonza, L., & Fontaras, G. (2020). Sustainable aviation fuels in Europe: Past, present, and future. *Energies*, 13(21), 1-25. <https://doi.org/10.3390/en13215708>
9. Malina, R., Staples, M. D., Suresh, P., & Barrett, S. R. H. (2015). Lifecycle greenhouse gas emissions from alternative jet fuels. PARTNER Project 28 Report. Massachusetts Institute of Technology.
10. Martinez-Valencia, L., Nørstebø, V. S., & Babatunde, K. A. (2021). Sustainable aviation fuel supply chain: Critical review and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124771. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124771>
11. McKinnon, A. (2018). Decarbonizing logistics: Distributing goods in a low carbon world. Kogan Page.
12. Pavlenko, N., Searle, S., & Christensen, A. (2019). The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union. International Council on Clean Transportation Working Paper.
13. Pearlson, M., Wollersheim, C., & Hileman, J. (2013). A techno-economic review of hydroprocessed renewable esters and fatty acids for jet fuel production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(1), 89-96. <https://doi.org/10.1002/bbb.1378>
14. Schäfer, A. W., Barrett, S. R. H., Doyme, K., Dray, L. M., Gnadt, A. R., Self, R., O'Sullivan, A., Synodinos, A. P., & Torija, A. J. (2019). Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy*, 4(2), 160-166. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0294-x>
15. Sgouridis, S., Bonnefoy, P. A., & Hansman, R. J. (2011). Air transportation in a carbon constrained world: Long-term dynamics of policies and strategies for mitigating the carbon footprint of commercial aviation. *Transportation Research Part A*, 45(10), 1077-1091. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.03.019>
16. Staples, M. D., Malina, R., Olcay, H., Pearlson, M. N., Hileman, J. I., Boies, A., & Barrett, S. R. H. (2014). Lifecycle greenhouse gas footprint and minimum selling price of renewable diesel and jet fuel from fermentation and advanced fermentation production technologies. *Energy & Environmental Science*, 7(5), 1545-1554. <https://doi.org/10.1039/c3ee43655a>
17. Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications.

본 연구에서 활용한 주요 자료원은 다음과 같다.

1. Deutsche Post DHL Group. (2023). 2022 annual report. Bonn: Deutsche Post DHL Group. <https://group.dhl.com/content/dam/deutschepostdhl/en/media-center/investors/documents/annual-reports/DPDHL-2022-Annual-Report.pdf>

2. FedEx Corporation. (2021). FedEx Corporation annual report 2021 (fiscal year ended May 31, 2021). Memphis, TN: FedEx Corporation. <https://investors.fedex.com>
3. FedEx Corporation. (2023). FedEx ESG report 2023 (fiscal year 2022). Memphis, TN: FedEx Corporation. <https://www.fedex.com/en-us/sustainability.html>
4. DHL Express. (n.d.). GoGreen Plus: Reducing transport-related emissions with Sustainable Aviation Fuel [Program information]. DHL Express. <https://www.dhl.com>
5. Neste Corporation. (n.d.). Neste MY Sustainable Aviation Fuel [Product information]. Espoo: Neste Corporation. <https://www.neste.com>
6. World Energy. (n.d.). Sustainable Aviation Fuel [Company information]. Boston, MA: World Energy LLC. <https://www.worldenergy.net>
7. Alder Fuels. (n.d.). Alder Greencrude technology and the FedEx strategic collaboration [Company information]. Washington, DC: Alder Fuels LLC. <https://www.alderfuels.com>