

항공용 수소연료전지 :

기술 현황과 전망 미래 항공의 핵심 동력

세계적으로 메가시티의 증가에 따른 교통체증과 환경오염 등의 문제를 해결하기 위해 도심항공교통(Urban Air Mobility, 이하 UAM)의 개념이 등장하였다[FAA UAM Concept of Operations v1.0]. UAM은 친환경 전기식 수직이착륙기(Electric Vertical Take-Off and Landing, 이하 eVTOL)와 버티포트 등을 이용하여 도심에서 사람이나 화물 운송을 목적으로 타 교통수단과 연계되어 운용되는 신개념 항공교통 체계이다. 한편, 보다 광범위한 지역 및 지역 간 항공 운송 시스템으로 확장한 개념이 미래항공교통(Advanced Air Mobility, 이하 AAM)이며 UAM과 AAM의 상용화를 위해 전 세계적으로 활발한 연구와 개발이 이루어지고 있다.

글. 경상국립대학교 명노신 교수

전기추진 시스템 기반으로 열어가는 항공의 미래

기후 위기의 심화로 지구온난화, 폭염, 해수면 상승 등 전 세계적 피해가 가속화되고 있으며, 탄소중립은 선택이 아닌 생존의 문제가 되었다. 2015년 195개국이 체결한 '파리기후변화협정'과 이어진 '2050년 탄소중립 선언'은 2050년까지 탄소 배출량을 '0'으로 줄이겠다는 전 지구적 목표를 제시했다. 항공 산업은 전 세계 탄소 배출량의 약 2~3%를 차지하며 그 증가세가 이어지고 있다. 특히, 단거리 항공편은 승객 1인당 이동 거리 기준으로 가장 높은 탄소 배출량을 기록하고 있다.

이러한 흐름 속에서 2021년 프랑스는 기차로 2시간 30분 이내에 도달이 가능한 항공편 운항을 금지하는 정책을 시행하는 등 탄소배출 저감의 강력한 의지를 보여주고 있다. 현재 전기추진 기반의 통근기와 도심항공교통(UAM) 항공기를 개발하는 것은 사회적, 정책적, 환경적, 기술적 문제 해결을 위한 선택이 아닌 생존의 문제이자 항공 산업의 미래를 좌우할 핵심 과제가 되었다.

특히, 1,000km 이내 항공 이동에서 승객의 약 57%가 전기추진 항공기로 대체될 예정이며, 그 중 무탄소 배출과 높은 에너지 효율 강점을 동시에 갖는 수소연료전지 기반 항공기는 차세대 항공 교통수단의 핵심으로 주목받고 있다. 대한민국의 미래 항공 전략 측면에서 친환경 저탄소 항공기의 개발은 "기울어진 운동장"이 아닌 "평평한 운동장"에서 항공 선진국과 경쟁할 수 있고 이를 발판으로 민수 소형 항공기 시장을 선점할 수 있는 유일한 기회로 여겨지고 있다.

국내의 연구개발 동향

영국-미국 합작 스타트업 ZeroAvia는 20인승 상업용 수소연료전지 기반 항공기 프로토타입을 시험 중이며, 2026년까지 영국에서 상업 운항에 필요한 인증을 획득하는 것을 목표로 하고 있다. 독일의 H2FLY는 2022년 9월, 액체수소를 연료로 한 항공기의 3시간 시험비행에 성공하여 기술력을 입증했다. 독특하게 설계된 항공기로 동체 두 개가 연결된 구조를 채택해 효율성과 안정성을 높였다. 수소연료전지 기반 UAM 기술의 선두 그룹으로는 미국의 Joby Aviation이 있으며, 수소연료전지 추진시스템 기반 전기식 수직이착륙



그림 1 수소연료전지를 활용한 소형 및 UAM 항공기 개발 현황

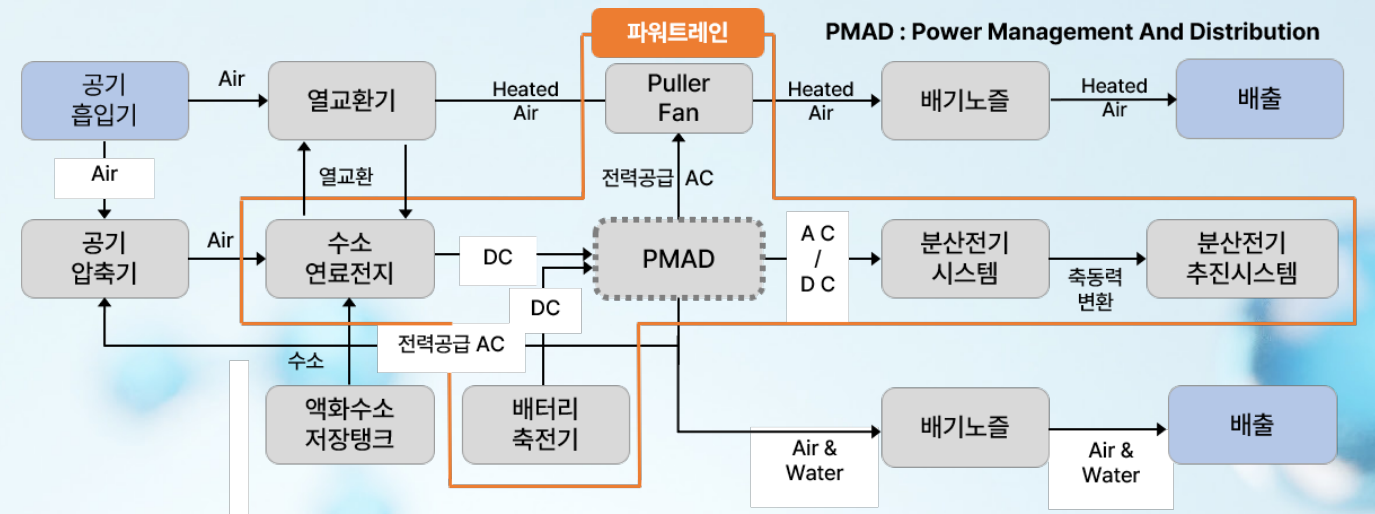


그림 2 수소연료전지 기반의 항공기 추진 시스템

기(eVTOL)의 개발과 상용화에서 앞서가고 있다. 특히, Joby Aviation은 독일의 H2FLY가 개발한 수소연료전지 시스템을 탑재한 시범 항공기를 활용하여 약 841.69km(523마일) 비행을 성공적으로 완료하였다.

국내에서는 경상국립대가 주관하고 UNIST, (주)한국항공우주산업, 한화에어로스페이스(주), 한국전기연구원 등이 참여하는 과학기술정보통신부의 지역혁신 메가프로젝트를 통해 19인승 수소연료전지 기반 커뮤터기 핵심기술 개발이 진행되고 있다. 경남·울산의 항공·수소산업 역량을 결집해 액화수소 저장탱크, 하이브리드 동력 시스템 등 친환경 항공기 핵심기술 개발과 글로벌 시장 선점을 목표로 하고 있다. 현대자동차그룹의 슈퍼닐은 eVTOL 기체 개발과 함께 수소연료전지를 활용한 UAM 솔루션 연구를 진행 중이며, 한화에어로스페이스(주)는 연료전지 경량화를 통한 성능 향상과 관련 핵심 기술 확보에 집중하고 있다.

수소연료전지의 장점과 기술적 주요 요소

수소연료전지는 높은 에너지 밀도와 무탄소 배출의 강점으로 항공 산업의 탄소중립 실현을 위한 핵심 기술로 주목받고 있다. 현재 배터리의 에너지 밀도는 250Wh/kg 수준으로 20년 후에 500Wh/kg 수준에 도달할 것으로 예상되지만, 여전히 항공기의 중·장거리 항속거리 요구를 충족하기에는 한계가 있다. 반면, 비행 중 연료를 소모하는 수소연료전지는 2,200Wh/kg의 높은 에너지 밀도를 제공해 탄소 배출 없는 항공의 실현을 가능하게 하는 대안으로 평가받고 있다.

나아가 수소연료전지 하이브리드 시스템은 연료전지가 상시 출력을 담당하고, 이륙과 같은 고출력 상황에서는 배터리가 보조 역할을 담당하여 효율성과 안전성을 동시에 향상시킬 수 있다. 또한, 액화수소는 고압기체수소 대비 부피가 작아 저장 효율이 뛰어나고 폭발 위험이 낮아 항공 연료로 적합하다.

항공기에 수소연료전지를 적용하기 위해서는 수소연료탱크와 파워트레인 분야의 여러 기술적 과제를 먼저 해결해야 한다. 수소저장탱크의 저장 효율을 개선하기 위해 중량과 부피 요구조건을 충족하는 복합재 기반의 탱크 설계가 필요하다. 또한 액화수소저장탱크의 극저온 조건과 단열 문제를 해결해야 한다. 파워트레인 기술 측면에서는 수소연료전지의 효율과 출력 밀도를 높이는 동시에 전기모터의 경량화와 고출력 설계가 요구된다. 수소연료전지는 개조 또는 신규 개발 항공기에 모

두 적용될 수 있지만, 전자는 새로운 추진 시스템의 실현 가능성을 보여주는 목적, 후자는 지난 50여 년간 축적된 항공 신기술과 접목해 고성능을 달성하는 목적에 적합하다고 할 수 있다.

산업 및 제도 부문 과제와 전망

수소연료전지 항공기의 상용화를 위해 표준화와 인증 체계 구축이 필수적이다. 현재 일부 국제표준은 마련되어 있지만, 수소연료전지와 분산 전기추진 시스템에 대한 구체적인 인증 기준은 초기 단계에 머물러 있다. ASTM F3239-22a는 항공기용 전기추진 시스템 설계 및 설치 요구사항을 지정하며, IEC 62282 -2-100은 연료전지 모듈의 안전 관련 기준을 제시하고 있다. CGA H-3-2019와 ISO 21011:2008 등은 극저온 수소 저장탱크의 설계 및 안전 요구사항을 규정하지만, 항공기에 특화된 경량화와 극한 환경 대응 기술을 포함하고 있지 않다. 이에 따라 국내에서는 국제표준과의 정합성을 고려해 PMAD와 분산 전기추진 시스템 관련 인증 체계를 마련해야 하며, 국가 연구기관 및 산업체와의 연계를 통해 항공용 수소연료전지 기술의 상용화를 촉진하고 글로벌 시장에서의 경쟁력을 확보할 필요가 있다.

국내에서는 수소연료전지 기반 소형항공기 및 추진시스템에 관한 과학기술정보통신부의 메가프로젝트와 국토교통부의 인증체계 개발 사업의 수소연료전지 동력시스템의 지상시험, 소형 개조 항공기와 축소 커뮤터기의 실증을 통해 성능과 안전성을 검증할 계획이다. 이를 통해 수소연료전지 항공기의 인증체계를 구축하고 글로벌 표준화를 주도할 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.



그림 3 수소연료전지 하이브리드 동력-추진 시스템 실증