

전기추진 군용항공기 감항인증을 위한 기준 개발에 관한 연구

박상수*, 김세운, 양준모
국방기술품질원

A Study on the Development of Criteria for Certification of the Military Aircraft applied Electric Propulsion System

Sang Soo Park*, Se-Un Kim, Jun-Mo Yang
Defense Agency for Technology and Quality

요약 최근 온실가스 등으로 지구온난화가 가속됨에 따라 국제기구를 중심으로 배출가스 규제가 시행되고 있으며, 해결책으로 전기추진 시스템이 새롭게 떠오르고 있다. 이에 따라, 현재 민·군을 막론하고 항공기의 전기추진 시스템을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 관련하여 '군용항공기 비행안전성 인증에 관한 법률', '항공안전법'에서는 감항인증을 받은 항공기만 운용 가능하다고 명시하고 있다. 이러한 감항인증을 위한 기술기준으로 군의 '군용항공기 표준 감항인증 기준'과 민간의 '항공기기술기준'을 제정하여 활용하고 있다. 하지만 기존의 감항인증기준은 내연기관 추진 시스템에 적합하게 개발되어 전기추진 시스템을 적용한 항공기에 적용하기 어려운 문제가 있다. 따라서, 전기추진 시스템이 적용된 항공기의 감항인증을 위한 기술기준 개발이 필요하다. 본 연구에서는 국내·외 전기추진 항공기 현황과 전기추진 항공기의 감항인증기준 개발 동향을 조사하였으며, 감항인증기준의 세부항목 분석을 통해 기준별 특성을 고찰하였다. 이를 토대로 전기추진 군용항공기를 위한 감항인증기준 개발 방안을 제안하였다.

Abstract Recently, as global warming accelerates, international organizations are implementing exhaust gas regulations for almost all vehicles. To solve this exhaust gas problem, electric propulsion systems are used and are emerging. Accordingly, research on the electric propulsion systems for airplanes is conducted regardless of whether the plane is civil and military. In this regard, the 'Act on Flight Safety Certification for Military Aircraft' and 'Aviation Safety Act' mention that only aircrafts with airworthiness certification can be operated. As a technical standard for such airworthiness certification, the military established the 'Standard Airworthiness Certification Standard for Military Aircraft', and the private operators are using the 'Aircraft Technical Standard'. However, the existing airworthiness certification has been developed for the internal combustion engine propulsion systems, and it is difficult to apply it to the electric propulsion system. Therefore, it is essential to develop technical standards for airworthiness certification of electrically-propelled aircrafts. In this study, the current status of the electric-powered aircrafts at home and abroad and the development trend of airworthiness certification standards were investigated, and the characteristics of each standard were considered through analysis. Using the data of this analysis, a Military Airworthiness Certification Criteria development plan for the electric aircraft was presented.

Keywords : Airworthiness Certification, Military Aircraft, Electric Propulsion System, EASA, FAA

*Corresponding Author : Sang Soo Park(Defense Agency for Technology and Quality)

email: kiki6092@daq.re.kr

Received September 10, 2021

Accepted October 1, 2021

Revised September 30, 2021

Published October 31, 2021

1. 서론

최근 온실가스 등으로 지구온난화가 가속됨에 따라 유럽연합(EU: European Union, 이하 EU), 국제민간항공기구(ICAO: International Civil Aviation Organization, 이하 ICAO) 등의 국제기구를 중심으로 국제 항공을 위한 탄소 상쇄 및 절감 제도(CORSIA: Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, 이하 CORSIA), 하늘 정화 공동 사업(CSJU: Clean Sky Joint Undertaking, 이하 CSJU)과 같은 배출가스 규제 정책을 시행하고 있다[1]. 이러한 정책의 영향으로 새로운 추진시스템의 필요성이 제기되었으며, 이에 대한 해답으로 전기추진 시스템이 새롭게 떠오르고 있다. 전기추진 시스템은 배출가스가 없어 친환경적이라는 장점을 가지고 있으며, 높은 추력 대 중량비를 보이는 등 기존 가스터빈 엔진보다 효율이 높다는 장점이 있다.

‘군용항공기 비행안전성 인증에 관한 법률’, ‘항공안전법’에 의하면 항공기의 운용을 위해서는 감항인증을 받아야 하며, 이를 위한 기술기준으로 군에서는 ‘군용항공기 표준감항인증기준’을 민간에서는 ‘항공기기술기준(KAS: Korea Airworthiness Standards, 이하 KAS)’을 제정하였다. 기존의 감항인증 기준의 경우 내연기관 추진시스템에 적합하게 개발되었으며, 민간 분야에서의 전기추진 항공기의 개발 수요가 증가함에 따라 미국, 유럽 등 항공선진국을 중심으로 전기추진 시스템을 위한 감항인증 기준 연구가 수행되고 있다.

군에서도 배터리와 발전기가 적용된 하이브리드 추진 시스템의 군용항공기 적용 가능성에 관한 연구가 수행되었으며[2], 추후 전기추진 시스템을 적용한 항공기의 개발 수요를 제기할 것으로 예상된다. 이러한 상황에 대비하기 위해 항공기 전기추진 시스템의 감항인증기준에 관한 연구가 필요하다.

일반적으로 감항인증기준의 개발은 2가지 방법론으로 접근할 수 있다. 첫째, 항공기 개발능력과 경험이 풍부한 국가에서 개발된 계통별 규격 혹은 기술기준들을 시범 적용하여 검증 후 채택하는 방안이 있다. 둘째, 이미 검증되어 적용되고 있는 기존 및 항공기 유형별 감항인증기준을 그대로 채택하여 적용하는 방안이 있다[3]. 본 연구에서는 앞서 언급한 두 가지 방법론을 고려한 감항인증기준 개발을 위해 Fig. 1의 프로세스를 적용하여 연구를 진행하였다. 먼저 미국, 유럽 등 국가별 항공기 전기추진 시스템 관련 감항인증기준 개발 현황을 조사하였

다. 또한, 세부항목 분석을 통해 기준별 특성을 고찰하였으며, 이를 통해 전기 항공기 시대를 대비한 군 감항인증 발전방안을 제안하고자 한다.

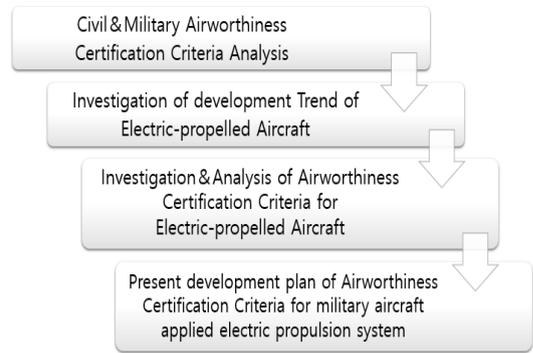


Fig. 1. Process of Development of airworthiness certification criteria for electric-propelled aircraft

2. 본론

2.1 민·군 감항인증 기술기준

2.1.1 군용항공기 표준감항인증기준

‘군용항공기 비행안전성 인증에 관한 법률’ 제 3조에 의하면 군용항공기 사업 시 일반적으로 지켜야 할 기술 기준 등을 고시해야 한다. 이러한 법적 근거로 미 공군 감항인증 지침서인 MIL-HDBK-516C 기반의 ‘표준감항인증기준 Part 1’이 제정되었으며, 무인 항공기의 감항인증을 위해 북대서양조약기구(NATO: North Atlantic Treaty Organization, 이하 NATO), 표준화 협정(STANAG: Standardization Agreement, 이하 STANAG) 중 무인기 감항인증 지침서인 STANAG-4671 및 STANAG-4703 기반으로 ‘표준감항인증기준 Part 2, 3’가 제정되었다[4, 5]. Table 1은 ‘표준감항인증기준 part 1~3’에 대한 적용 범위를 보여준다. ‘표준감항인증 Part 1, 2’의 경우 가스터빈 엔진, 왕복 엔진이 적용된 항공기의 감항인증에 활용되며, 전기추진 시스템이 적용된 항공기의 감항인증에는 적합하지 않다. ‘표준감항인증기준 Part 3’의 경우 표준감항인증기준 Part 1, 2와 다르게 장착 엔진의 요구도를 별도의 부록으로 담고 있으며, 전기 엔진의 감항성 확인을 위한 최소한의 기준을 담고 있다[6].

Table 1. Military Standard Airworthiness Certification Criteria

Airworthiness Standards	MTOW (Maximum Take Off Weight)	Type Aircraft	Reference Document
Part 1	ALL (No Limit)	All Type (Fixed wing, Rotary wing, etc.)	MIL-HDBK-516C(USAF)
Part 2	150 kg < MTOW < 20,000 kg	Fixed wing UAS	STANAG-4671 (NATO)
Part 3	MTOW ≤ 150 kg	Fixed wing UAS	STANAG-4703 (NATO)

2.1.2 민간 항공기 기술기준(KAS)

‘항공안전법’ 제 19조에 의하면 항공기의 감항성 및 환경기준(소음, 배출가스) 등의 내용을 포함한 기술기준을 고시해야 하며, 항공기의 비행 안전을 확보하기 위한 기술상의 기준인 ‘항공기기술기준’을 제정하였다[7]. 대표적인 기술기준을 보면 KAS Part 21은 인증절차를 담고 있으며, KAS Part 23, 25는 고정익 항공기, KAS Part 27, 29는 회전익 항공기 인증기준을 담고 있다. 또한, 엔진 인증기준인 KAS Part 33, 프로펠러 인증기준인 KAS Part 35가 있다.

항공기 엔진 인증을 위한 기술기준인 KAS Part 33은 총 7개의 장으로 구성되어 있으며 왕복 엔진 및 터빈엔진의 설계, 시험에 관한 기술기준이 명시되어 있으나, 전기추진 시스템이 적용된 항공기를 위한 감항인증기준은 없는 상태이다.

2.2 전기추진 항공기 개발 동향

2.2.1 E-Fan(Airbus, 유럽)



Fig. 2. E-Fan

에어버스의 E-FAN은 전기추진 항공기의 기술 실증을 목표로 개발된 항공기이다. 2014년 3월 초도비행에 성공하였으며, 본래 2인석급 훈련기인 E-FAN 2.0의 양산을 목표로 하였으나 2017년 양산형 및 파생형 개발 중단을 선언하였다. 한국 코캠의 250V 리튬이온배터리를 적용했으며, 최대이륙중량은 660 kg, 최대 운용 시간은 1시간으로 알려져 있다. Fig. 2는 E-Fan의 형상을 나타낸다.

2.2.2 Velis Electro(Pipistrel, 슬로베니아)

Velis Electro는 슬로베니아의 Pipistrel사에서 개발한 2인석급 훈련기로 2020년 6월, 전기추진 항공기 최초로 유럽 항공 안전 기구(EASA: European Union Aviation Safety Agency, 이하 EASA)에서 형식인증(TC: Type Certification, 이하 TC)을 획득하였다[9]. 자사의 E-811 전기 엔진을 적용하였으며, 최대이륙중량은 600 kg, 최대속도는 181 km/h이다. 제한사항으로 주간 시계 비행규정으로만 운항하게 되어있으며, ‘Night VFR kit’ 장착 시에만 야간 운항이 가능하게 되어있다. Fig. 3은 Velis Electro의 형상을 보여준다.



Fig. 3. Velis Electro

2.2.3 Volocity(Volocopter, 독일)

Volocity는 독일의 Volocopter사가 개발 중인 전기추진 도심 항공 교통(UAM: Urban Air Mobility, 이하 UAM)이다. 분산추진시스템을 적용한 멀티콥터 형식이며, 리튬이온배터리를 적용하였다. 2019년 유럽 항공안전청(EASA: European Union Aviation Safety Agency, 이하 EASA)가 제정한 SC-VTOL-01을 바탕으로 개발 중이며[10], 최대이륙중량 900 kg, 최대 운용 시간은 20분이다. Fig. 4는 Volocity의 형상을 나타낸다.



Fig. 4. Volocity

2.2.4 Butterfly(한화시스템, 한국)

Butterfly는 미국의 Overair사와 한국의 한화시스템이 공동으로 개발 중인 전기추진 UAM이다. 분산추진시스템을 적용한 틸트로터 방식이며, 미국 연방항공청(FAA: Federal Aviation Administration, 이하 FAA)의 FAR Part 23 Amendment 64 기준을 적용하여 개발을 진행하고 있다. 최대속도 322 km/h, 최대 운용 시간 30분이 개발 목표이다. Fig. 5는 Butterfly의 형상을 나타낸다.



Fig. 5. Butterfly

2.2.5 S-A1(현대자동차, 한국)

S-A1은 현대자동차가 드론 택시 시장 진출을 목표로 개발 중인 기체이다. 분산추진 시스템을 적용한 틸트로터 방식이며, 틸트로터 이외에 수직이착륙을 위한 고정로터가 추가로 장착된 형상이다. 탑승정원은 승무원 1명을 포함한 5명이며, 최대이륙중량은 3,125 kg, 최대속도는 320 km/h를 목표로 개발이 진행 중이다. 특이사항으로 배터리 충전시간 요구도를 5분 내외로 적용하고 있다. Fig. 6은 S-A1의 형상을 나타낸다.



Fig. 6. S-A1

2.3 전기추진 항공기 관련 감항인증기준 분석

미국항공우주학회(AIAA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 이하 AIAA)에서 발간한 'Aerospace America, July/August 2020'에 의하면 2020년 3월 기준 최소 15대 이상의 전기추진 수직이착륙기(eVTOL: Electric Vertical Takeoff and Landing, 이하 eVTOL) 컨셉의 항공기가 미국 FAA 형식인증심사를 준비 중이라고 말하고 있다[11]. 또한, 2020년 4월, 미 공군은 eVTOL 획득을 목적으로 'Agility Prime' 프로그램을 발표했으며, 육군, 해군 및 해병대도 본 프로그램에 포함되어 있다. 이는 화물 운송, 의료후송 등 군사적 임무 수행을 위해 eVTOL을 적극적으로 도입하겠다는 미 국방부의 의지를 볼 수 있는 대목이다. 이렇듯 전기추진 항공기의 수요는 증가하고 있으며, 이와 동시에 감항인증 신청 빈도수도 증가할 것으로 예상하고 있다. 이에 따라 관련 감항인증기준에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

미국의 경우 2017년, FAR Part 23을 전면 개정했으며, 2020년에는 Cessna, DHC-2 항공기에 적용된 MagniX 모터를 인증하기 위한 특별조건을 제안하였다. 유럽의 경우 전기추진 시스템의 감항인증을 위해 다양한 특별조건(Special Condition)을 제정하였다. Table 2는 전기추진 항공기에 적용 가능한 감항인증기준 개발 현황을 요약 정리한 결과이다.

2.3.1 FAR Part 23 Amendment 64(FAA, 미국)

2017년 FAA는 FAR Part 23의 개정 본을 고시하였다. 최대이륙중량 19,000 lb(약 8,618 kg) 이하 고정익 항공기에 적용할 수 있으며, 기존의 규범적 규정과 입증 방법을 성능기반 규제방식으로 개정하면서 375개 항목에서 67개 항목으로 대폭 간소화시켰다. 추진체 관련 감

Table 2. Airworthiness Criteria of Aircraft applied Electric Propulsion System

Type	Document	Conditions of Application	Summary
Aircraft	FAR part 23 Amend. 64 (FAA)	MTOW < 8,618 kg not more than 19 Passenger	Revised from Prescriptive requirements to Performance- based standards
	SC-VTOL(EASA)	MTOW < 3,175 kg not more than 9 Passenger	SC-VTOL is Developed based on CS-23 and several criteria of CS-27. Electric Propulsion System has been considered.
Engine	FAR part 33 Special Condition (MagniX's engine) (FAA)	Magni 250, Magni 500	Special Condition for MagniX's Electric Motor (based on FAR Part 33)
	SC-E18(EASA)	Engine applied CS-23 Level 1 and CS-22, CS-LSA Aircraft	modified several criteria of ASTM Specification in consideration of aircraft characteristics
	SC-E19(EASA)	Electric engine applied all aircraft except CS-25 Aircraft	Airworthiness Criteria for Electric- Hybrid Engine

항인증기준은 Subpart E에 명시되어 있으며, 이전 버전에 명시된 여러 규정을 결합하여 조항 숫자는 줄이되 동등한 안전성을 유지하도록 규정하였다. 또한, FAR Part 23과 Part 33(엔진), 35(프로펠러)의 요구조건과 겹치는 부분을 정리하였다. 결과적으로 엔진 타입별로 감항인증 기준을 제시하던 부분을 성능기반의 감항인증기준으로 개정하면서 전기추진시스템을 적용한 항공기에도 적용할 수 있게 되었다[12].

항공기의 감항인증을 위해서는 적합성 입증방법에 따라 기술기준 충족 여부를 확인해야 하며, 이에 관한 내용은 23.2010절에 제시되어 있다. 23.2010절에 따르면, 적합성 입증방법으로 미국 재료시험 협회(ASTM: American Society for Testing and Materials, 이하 ASTM) 등의 산업규격을 활용할 수 있을 뿐만 아니라 신청자가 직접 입증방법을 제안할 수 있도록 명시되어 있다. 2020년 9월, FAA는 ASTM 규격에 기반한 적합성 입증방법을 담은 문서를 발행했으며, 추진체(동력장치)의 경우 ASTM F3264-19(Standard Specification for Normal Category Aeroplane Certification) Section 8을 활용하고 있다[13]. 하지만 이는 전기추진체와 관련된 내용을 담고 있지 않기 때문에 전기추진시스템을 적용한 경우 23.2010절에 근거하여 사용자가 직접 적합성 입증방법을 제안할 것을 요구하고 있으며, ASTM F3239-19(Standard Specification for Aircraft Electric Propulsion System)을 참고하여 개발할 것을 권장하고 있다[14].

2.3.2 SC-VTOL(EASA, 유럽)

UAM, 드론 등 수직이착륙 항공기 개발 수요가 증가

함에 따라 2019년 7월, 수직이착륙 항공기용 특별 감항인증기준인 SC-VTOL을 제정하였다. 기존 유인 고정익 항공기 감항인증기준인 CS-23 Amendment 5를 기반으로 개발되었으며, 빠른 시일 내에 특별조건이 아닌 완전한 인증규격(CS: Certification Specification, 이하 CS) 형태로 발전시킬 계획이다[15].

SC-VTOL은 UAM, eVTOL 등을 대상으로 하는 감항인증기준이므로 전기추진체 적용 가능성을 고려하여 개발되었다. VTOL.2400 장절에 전기추진시스템에 관한 언급이 있으며, 적합성 입증방법(MOC)으로 2021년 4월 고시된 SC E-19 (Electric/hybrid Propulsion System)를 만족해야 한다고 명시되어 있다. 전기추진체 관련 장절은 다음과 같다.

- Lift/thrust system installation (VTOL.2400/Subpart E) : 추진체 장착 관련 장(Subpart E)에서 사용되는 Energy에 대한 정의로 연료, 전기 등을 명시, 전기추진체를 고려함을 의미

2.3.3 FAR part 33 Special Condition, MagniX's Engine (FAA, 미국)

2020년 11월, FAA는 Magni사의 전기모터 인증을 위한 특별조건을 제안하였다. ASTM 기술기준 및 MagniX 엔진 정보를 활용하여 FAR Part 33에 준하는 감항조건을 만들었다. 총 32개 카테고리로 구성되어 있으며, 기존 Part 33 기준과 상당 부분 연동되어 있다. 현재 확정 고시는 발행되지 않은 상태이다[17].

2.3.4 SC E-18(EASA, 유럽)

SC E-18은 EASA CS-23 Level 1 항공기(MTOW

8,618 kg 이하, 승객 0~1명)에 적용된 전기추진체 인증과 관련한 특별조건이며, ASTM F3338-18(Standard Specification for Design of Electric Propulsion Unit for General Aviation Aircraft) 내 여러 항목 중 항공기 특성에 맞게 수정 적용될 사항들을 명시하였다 [16]. 구체적인 사항은 다음과 같다.

- 5.7 : 액체냉각을 적용한 전기추진체에도 적용할 것
- 5.15 : 엔진 인증 시 중요부품만 고려할 것, 중요부품이란 5.15.2를 충족시키기 위한 부품을 의미하므로 5.15.1.2, 5.15.3은 고려하지 않음
- 5.15.2 : 중요부품은 엔지니어링 계획, 제조계획, 서비스 관리 계획 등을 통해 강건성을 입증해야 함.
- 5.15.3.4 : 최대 저주기 피로 또는 가동 시간을 지정하는 절차에 의해 설정된 제한사항이 있어야 함.
- 5.15.3.4 : 극한의 조종 상황에서도 정의된 속도를 초과하지 않음을 예측해야 함. (개별 고장으로 인한 위험 효과의 확률이 비행시간당 의도된 항공기 안전 목표의 10% 이하일 시 충족)
- 5.20.3 : 전기추진체 전체 설계의 신뢰성 평가를 위한 내구성 시험 실시할 것. 적합성 입증방법 설정은 CS-E 440 장절 참고 가능.
- 물 분무 시험 장절 추가 : 물 분무 시험 동안 전기추진체의 지속적인 기능 발현을 입증할 것.

2.3.5 SC E-19(EASA, 유럽)

SC E-19는 CS-25급 항공기를 제외한 전 항공기에 적용되는 전기추진체의 인증을 위해 제정된 기술기준이다[18]. 하이브리드, 전기추진 항공기의 개발 수요가 증가함에 따라 전기추진체의 인증기준 필요성이 제기되었고, 2020년 1월에 처음 제안되었다. 그 후 약 1년 3개월의 검토 기간을 거쳐 2021년 4월에 확정 고시되었다. 미국의 경우 기존 엔진 인증기준 및 산업표준을 바탕으로 각각의 전기추진체를 위한 특별조건을 발행하는 기조를 보이지만, 유럽의 경우 전기추진체를 위한 별도의 기술기준을 제정했다는 점에서 미국과 차이를 보인다. SC E-19의 각 카테고리별 주요 내용은 다음과 같다.

2.3.5.1 Subpart A. General

일반사항 파트에서는 본 특별조건의 목적, 대상, 용어 설명, 기타 고려사항 등에 관한 내용이 명시되어 있다. SC E-19는 모든 유/무인기에 적용되는 전기추진체의 인증에 적절하나, CS-22, CS-LSA, CS-23의 Level 1급에 해당하는 항공기에 적용된 전기추진체는 제외한다고 명

시되어 있다. 그 이유는 CS-22는 글라이더, CS-LSA의 경우 최대이륙중량 600 kg 이하의 경항공기가 대상이며, 추진시스템이 상대적으로 간단하기 때문에 본 특별조건을 적용하기에는 상대적으로 과하다는 부분을 고려한 것으로 보인다. 또한, CS-22, LSA의 경우 자체적으로 전기추진체 관련 기준 및 입증방법이 명시되어 있으며, CS-23 Level 1 항공기의 경우 SC E-18이라는 특별조건으로 인증을 대체하고 있으므로 본 특별조건에서는 대상에서 제외된 것으로 사료된다. 추가로 본 감항인증 기준 충족 여부 입증을 위해 사용자가 직접 입증방법을 제안할 수 있으며, 산업표준을 활용할 수 있다는 내용이 언급되어 있다.

2.3.5.2 Subpart B. Design and Construction

설계 및 제작 분야에서는 기존 엔진 감항인증 기준 (CS-E: Certification Specification-Engine, 이하 CS-E)을 기초로 아크 방전, 부식, 절연 파괴 등 전기추진 시스템에서 발생할 수 있는 문제를 확인할 수 있도록 보완하였다. 전기추진 시스템의 경우 고전압의 배터리를 에너지원으로 사용하며, 기존 내연기관 추진체와 시스템적인 차이가 있어 이를 반영하여 기준이 수정되었다. 또한, 업체와 충분한 협의를 거칠 수 있도록 관련 내용을 보완하였다. 수정 및 추가 내용은 다음과 같다.

- Materials : 재료 물성과 관련된 설계값은 전기추진 시스템(EHPS: Electric-Hybrid Propulsion System, 이하 EHPS)의 수명 동안 가정된 설계값 이상 보유, 가정된 조건(시간 경과에 따른 부식, 절연 파괴 등의 문제 포함)에서 설계 특성을 보유한 EHPS 제작 방법, 공정 확보(수정)
- Safety Assessment : EHPS 고장 조건 및 그 영향에 대한 평가는 그 EHPS 시스템을 사용하는 항공기 제조사와 협력하여 이루어져야 한다. 만약 EHPS가 항공기 인증의 일부로 활용될 경우, EHPS 분석 데이터가 안전 평가 시 제공되어야 한다. (수정)
- Static and fatigue Loads : 특정 항공기에 적용함으로써 생기는 하중은 항공기 제조사가 데이터를 제공하며, 이는 EHPS 설치 및 작동 지침서에 내용이 명시되어야 한다. (추가)
- Strength : 기계, 열, 전기적 응력분석을 통해 명시된 작동한계에서 적절한 설계 여유를 보유하는지 확인해야 한다. 최대 응력은 시험, 분석 등으로 결정되어야 하며, 재료 물성 최대치를 초과해서는 안 된다. (수정)

2.3.5.3 Subpart C. Systems and Equipment

시스템 및 장비 분야는 연료, 유압, 냉각, 점화, 제어 시스템에 대한 감항성을 확인하는 장절이다. 본 감항인증기준은 전기추진 시스템 이외에 하이브리드 추진시스템까지 고려하여 개발되었기 때문에, CS-E의 계통 관련 장절을 포괄적으로 포함하고 있는 것을 확인하였다. CS-E 대비 수정 및 추가 내용은 다음과 같다.

- Fuel System : EHPS가 터빈 혹은 왕복 엔진을 포함하고 있다면, 연료시스템은 -g 조건을 포함한 모든 비행 및 대기 조건에서 안정적으로 작동해야 하며, 연료의 오염(액체, 고체)이 최대로 포함되었을 때 만족스럽게 작동해야 한다. (수정)
- Lubrication System : 윤활 시스템은 -g 조건을 포함한 모든 비행 및 대기 조건에서 안정적으로 작동해야 하며, 오염물에 내성이 없는 윤활 시스템의 모든 부품은 EHPS 손상을 방지하고 오염에 대한 적절한 보호조치를 해야 한다. (수정)
- Ignition System : EHPS에서 점화시스템을 사용할 경우, 시스템 적합성은 해당 EHPS 시스템(연속 또는 비영구 점화시스템) 특성에 대한 기능으로 설정되어야 하며, 모든 비행 및 대기 조건에서 안정적으로 작동해야 한다. (수정)
- EHPS Control System : EHPS 제어 시스템은 비정상 작동 특성 및 작동한계가 초과하지 않도록 설계되어야 하며, 의도된 기능을 수행할 수 있도록 적절한 민감도를 가지게 설계되어야 한다. 또한, 소프트웨어 및 전기적 하드웨어의 보증을 위해 반드시 당국이 수용 가능한 검증방법론을 사용해야 한다 등 (수정)
- Electrical Power Generation, Distribution and Wirings : EHPS의 전력 공급계통은 적용될 항공기의 형식인증 기준에 적합해야 한다. 또한, 의도된 작동 조건에서 작동에 필요한 동력을 공급하도록 설계되어야 하며, 부하 분리 시 전력 공급계통에 악영향을 미치지 않아야 한다. (추가)
- Propulsion Battery : 추력 공급을 위한 배터리 및 지원 시스템은 적용될 항공기의 형식인증 기준에 적합해야 한다. 또한, EHPS가 전기 엔진이 역모드 작동 및 비행 혹은 지상에서 에너지 회수가 가능하도록 하는 경우, 추진 배터리는 에너지를 흡수하도록 설계해야 하며, 그렇지 않은 경우에 에너지를 소멸시켜 항공기에 위협이 발생하지 않도록 해야 한다. (추가)

2.3.5.4 Subpart D. Substantiation

실증 분야는 각종 요구도를 검증하기 위한 방법에 대해 명시되어 있다. 내구성, 진동, 과토크, 온도 한계, 각종 작동 조건(전력 응답, 추진기 작동 등)에서의 요구도 검증은 시험 및 해석을 활용한 입증을 요구하고 있으며, 본 장절에서는 입증 테스트 항목과 테스트 수행 목적에 대해 언급이 되어있다. CS-E와 비교해보면, 내구성처럼 필수적인 테스트를 제외한 대부분 항목이 SC E-19와 차이를 보인다. 이는 CS-E는 왕복 엔진 및 터보엔진을 대상으로 개발된 감항인증기준이며, SC E-19는 전기/하이브리드 추진체 대상 감항인증기준이기 때문에 작동방식에 차이가 있어 생기는 결과로 사료된다. CS-E 대비 수정 채택 및 신규 추가된 주요 항목은 다음과 같다.

- Durability Demonstration : EHPS 각 부품이 정비 기간 혹은 교체 간격 사이에 고장확률을 최소화할 수 있는 설계가 이뤄졌는지 보여주는 내구성 테스트를 실시해야 함. (수정)
- Teardown Inspection : 내구성 시험이 끝난 후 EHPS 기능을 유지하며 정상 작동하는지 테스트를 수행해야 한다. 테스트 전 기능, 설정 변경이 발생했는지 사전에 확인해야 한다. 또한, 해체 검사 시 부품에 문제가 발견되어 교체 소요가 발생할 경우 기관이 필요하다고 판단한 추가 테스트를 수행해야 한다. (추가)
- System, Equipment and Component Tests : 내구성 시험 혹은 검증된 해석으로 입증될 수 없는 시스템 및 구성요소의 경우 그 시스템의 요구도를 포함한 모든 환경 및 작동 조건에서 의도된 기능을 수행함을 입증하기 위한 추가 테스트를 수행해야 한다. (추가)

2.4 전기추진 군용항공기 감항인증기준 개발 방안

제2장부터 4장까지 민·군 감항인증기준 현황, 전기추진 항공기 개발 동향, 전기추진 항공기 대상 감항인증기준을 분석하였다. 2.2절에서 설명했듯이 민간과 다르게 군용항공기의 경우 일반적으로 엔진, 프로펠러의 형식인증을 요구하고 있지 않으나, '표준감항인증기준 Part 2' 분야 E의 기준 903에서는 엔진의 형식인증 혹은 이에 준하는 인증을 요구하고 있다. 현재 관련 법령에 따라 고시된 군용항공기 감항인증기준은 전기추진 시스템이 고려되지 않고 있으며, 전기추진 시스템이 적용된 군용항공기를 위한 감항인증기준의 개발이 필요할 것으로 사료된다. 미국은 기존의 규범적 기준에서 성능기반 기

준으로 개편하는 움직임을 보이고 있으며, 그 과정에서 민간 규격을 적극적으로 수용할 수 있도록 관련 규정을 개정하고 있다. 유럽의 경우 전기추진 시스템의 감항인증을 위한 별도의 기준을 개발하였으며, 세부항목 분석 결과, 아크 방전, 부식, 절연 파괴 등 전기추진 시스템에서 발생할 수 있는 여러 가지 안전문제를 고려한 것을 확인하였다. 본 절에서는 현 실태와 해외 사례 분석 결과를 바탕으로 국내 전기추진 군용항공기 감항인증기준 개발 방안을 제시하려고 한다.

2.4.1 표준감항인증기준과 연계 개발

전기추진 시스템의 경우 현재까지는 기술적인 한계로 인해 전투기보다는 훈련기, 무인 항공기 등에 주로 적용될 것으로 사료된다. 현재 최대이륙중량 150 kg 이하 급 소형 무인기를 위한 감항인증기준인 '표준감항인증기준 Part 3'을 제외한 나머지 감항인증기준은 전기추진 시스템을 고려하지 않고 있으며, 최대이륙중량 150 kg 초과 무인 항공기 및 유인 훈련기 등에 전기추진 시스템이 적용된다면 SC-VTOL 및 SC E-19를 적절히 수정(Tailoring)하여 감항인증기준에 적용함으로써 해결할 수 있을 것으로 사료된다. SC-VTOL의 경우 2.3.2절에서 언급했듯이 전기추진 시스템을 고려한 감항인증기준이며, 기존 CS-23을 기반으로 만들어졌기 때문에 훈련기 급 전기추진 항공기 혹은 최대이륙중량 150 kg 초과 무인 항공기의 감항인증기준으로 준용할 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 SC-VTOL은 항공기 체계관점에서 개발된 기준이기 때문에 핵심 구성품인 엔진 자체의 안전성을 확인하기에는 부족할 것으로 판단된다. 따라서 이 부분은 전기추진체 감항인증기준인 SC E-19를 준용함으로써 해결이 가능할 것으로 사료된다. 추후 전기추진 항공기의 개발 수요가 증가하여 별도의 기준 재정 수요가 발생한다면 표준감항인증기준에 SC-VTOL 및 SC E-19의 내용을 포함하여 국내 감항인증기준으로 새롭게 고시하거나, 업무규정(방위사업청 훈령 619호) 제 6조에 명시되어 있는 기타감항인증기준으로 인정하여 적절한 Tailoring이 가능하도록 업무규정을 개정할 것을 제안한다.

2.4.2 전기추진체 관련 민간 규격 활용 방안

현재 군용항공기의 감항인증을 위한 기술기준은 과거에 제정이 되었기 때문에 규범적 규정과 입증방법을 제시하고 있다. 하지만 규범적 기준은 급변하는 기술의 변화에 유연하게 대처하는 것이 어려운 단점이 있다. 전기추진 시스템이 대표적인 사례이며, 이를 해결하기 위해

민간에서는 기존의 규범적 기준을 성능 위주의 기준으로 개편함과 동시에 ASTM 등의 규격을 인정하는 추세이다. 군에서도 민간의 추세를 반영하여 공신력 있는 기관에서 발행한 규격을 인정할 수 있도록 제도를 개선하여 변화하는 기술에 빠르게 대처할 필요가 있다. 현재 전기추진체 관련 감항인증 기준은 ASTM F2840-14(Design and Manufacture of Electric Propulsion Units for Light Sport Aircraft), ASTM F3338-18(Standard Specification for Design of Electric Propulsion Unit for General Aviation Aircraft) 등이 있으며, 이를 바탕으로 전기추진 항공기의 형식인증을 부여한 사례가 존재한다. 군에서도 민간 규격을 인정함과 동시에 업체와 협의하여 감항인증 방안을 도출한다면 개발 효율이 증대되고 동시에 비행 안전성이 확보된 항공기의 개발이 가능할 것이라고 사료된다. 따라서 민간 규격 활용의 근거 마련을 위해 '군용항공기 비행 안전성 인증에 관한 업무규정 제 6조 감항인증기준' 조항의 '기타감항인증기준' 항목에 국제적으로 인정받는 민간 규격(ASM, SAE 등)을 적절히 활용할 수 있다는 내용을 추가함으로써 민간 규격을 적절히 활용할 수 있도록 업무규정을 개정하는 것을 제안한다.

3. 결론

항공기 전기추진 시스템은 저소음, 고효율이라는 장점이 있다. 현재 전기추진 항공기는 민간 주도로 개발이 진행되고 있으나, 군용항공기 또한, 훈련기 혹은 무인 항공기에 전기추진 시스템을 적용하기 위한 연구가 진행 중이다. 모든 군용항공기는 관련 법령에 의거하여 반드시 감항인증을 획득해야 하나, 국내의 경우 전기추진 항공기의 감항인증을 위한 별도의 기준이 없는 상태이다. 따라서 전기추진 군용항공기의 감항인증을 위한 기준 개발이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 국내·외 전기추진 항공기 개발 동향을 조사하고 해외에서 연구 중인 전기추진 시스템 관련 감항인증기준을 상세하게 분석하였다. 이를 통해 전기추진 군용항공기의 감항인증기준 개발 방안을 도출하였다. 감항인증기준 분석 결과, 미국의 경우 성능기반의 감항인증기준으로 사용자가 직접 입증방법을 제안할 것을 요구하고 있으며, ASTM 등 산업규격을 인정하는 방향으로 제도를 개선하고 있다. 유럽의 경우 SC-VTOL 및 SC E-19와 같이 전기추진 항공기를 위한 별도의 감항인증기준을 고시한 것을 확인하였다.

현재 국내에 고시된 표준감항인증기준은 전기추진 항공기의 감항인증에는 적합하지 않으며, 전기추진 항공기의 감항인증을 위해 유럽의 전기추진 항공기 관련 감항인증기준인 SC-VTOL 및 SC E-19를 표준감항인증기준에 반영하거나 업무 규정(방위사업청 훈령 619호) 제 6조에 명시되어 있는 기타감항인증기준으로 인정하여 적절한 Tailoring이 가능하도록 업무규정을 개정하는 방안과 변화하는 기술에 빠르게 반응하기 위해 민간 규격을 수용할 수 있는 제도적 기반을 마련하는 방안을 제안한다. 이러한 방안은 전기추진 군용항공기의 감항인증을 위한 감항인증기준을 적절히 보완함으로써, 추후 개발될 전기추진 시스템의 적용된 UAM, 군용 무인기 및 훈련기의 비행 안전성 향상에 이바지할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] M. J. Kim, "Global Commercial Aircraft Electrification Trends," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, vol. 17, no. 2, pp. 20-35, Dec. 2019.

[2] T. S. Park, J. H. Song and S. J. Kwon, "The Characteristics and Prospects of Hybrid Propulsion Systems for Unmanned Aerial Vehicle" *2017 KSPE Spring Conference, KSPE*, pp. 554-559, May 2017.

[3] G. N. Gil, M. Y. Yoo and J. S. Park, "A study on the Development of Airworthiness Standards for VTOL UAS", *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 14, No.1, pp. 44-53, Feb. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.20910/JASE.2021.15.3.20>

[4] STANAG-4671, "UNMANNED AERIAL VEHICLES SYSTEMS AIRWORTHINESS REQUIREMENTS". Brussels, Belgium, Sep. 2009

[5] STANAG-4703, "LIGHT UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AIRWORTHINESS REQUIEMENTS". Brussels, Belgium, Sep. 2014

[6] Military Aircraft Standard Airworthiness Certification Criteria (Part 1), Defense Acquisition Program Administration, Korea, Apr. 2021

[7] Aviation Safety Act, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, Jun. 2021

[8] Federal Aviation Regulations, Federal Aviation Administration. Washington D.C., U.S.A., Dec. 2018

[9] EASA, "TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET For Type Virus SW 121," European Union Aviation Safety Agency, No. EASA.A.573, June 2020.

[10] SC-VTOL-01, "Special Condition for small-category VTOL aircraft". European Union Aviation Safety Agency, Cologne, Germany, Jul. 2019

[11] E. I. Rivera, Patience will be key to urban air mobility,

Technical Report, Aerospace America, U.S.A., pp.42-43.

[12] E. S. Lee, S. G. Lee and K. Y. Lee, "Study on New Airworthiness Requirements of Powerplant System for the Small Airplane," *Journal of Korean Society of Propulsion Engineers*, vol. 22, no. 3, pp. 128-133, June 2018.
DOI: <https://doi.org/10.6108/KSPE.2018.22.3.128>

[13] ASTM F3264-19, "Standard Specification for Normal Category Aeroplanes Certification", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1520/F3264-19>

[14] FAA, "Accepted Means of Compliance : Airworthiness Standards : Normal Category Airplanes", FAA of Department of Transportation, FAA-2020-0798, Sep. 2020, pp.59400-59404.

[15] D. J. Lim, K. J. Yee "A Study on the Certification System for eVTOL", *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol.15, No.3, pp.20-29, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.20910/JASE.2021.15.3.20>

[16] SC E-18, "Electric Propulsion Units for CS-23 Normal, Utility, Aerobatic and Commuter Aeroplanes up to Level 1". European Union Aviation Safety Agency, Cologne, Germany, Jun. 2020.

[17] FAA, " Special Conditions : MagniX USA, inc., magni250 and magni500 Model Engines (Proposed Rules)", FAA of Department of Transportation, FAA-2020-0894, Nov. 2020, pp.73644-73655

[18] SC E-19, "Electric / Hybrid Propulsion System". European Union Aviation Safety Agency, Cologne, Germany, Jul. 2021.

박 상 수(Sang Soo Park)

[정회원]



- 2018년 2월 : 충남대학교 항공우주공학과 (공학사)
- 2020년 2월 : 충남대학교 항공우주공학과 (공학석사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품절원 연구원

<관심분야>

항공우주, 품질보증, 감항인증

김 세 운(Se-Un Kim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 충남대학교 항공우주공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 충남대학교 항공우주공학과 (공학석사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

항공우주공학, 공기역학, 공력소음, 공력수치해석

양 준 모(Jun-Mo Yang)

[정회원]



- 2015년 2월 : 한국항공대학교 정보통신 및 전자공학부 (공학사)
- 2017년 8월 : 한국항공대학교 일반대학원 항공우주 및 기계공학과 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방기술, 감항인증