Journal of KOSSE. (2021. 6) Vol. 17, No. 1 pp. 97-106
DOI: https://doi.org/10.14248/JKOSSE.2021.17.1.099
www.kosse.or.kr*

ISSN (print) : 1738-480X
ISSN (online) : 2288-3592

XKT-1T 항공기 환경 요구사항 적합화 연구

김진석
세한대학교

A study on the Tailoring of Environmental Requirements for XKT-1T Aircraft

Jin Seog Kim
Sehan University

Abstract : The purpose of the study on the tailoring of environmental requirements for KT-1 Export Version(XKT-1T) aircraft is not only based on meeting the compliance of the environmental reliability, customer satisfaction, but also for the expansion of its export. This paper proposes the environmental requirements tailoring processes and High/Low temperature conditions, test procedures, and the results of test profiles for the aircraft. Amongst many existing environmental requirements, the temperature requirements are considered as the most basic and the most important environmental requirements. The High/Low temperature tests are considered and tailored to the high and low temperature methods of MIL-STD-810.

Key Words : Systems Engineering, High/Low Temperature Test, Tailoring, MIL-STD-810, KT-1 Export Version, XKT-1T, Environmental Test

Received: April 7, 2021 / **Revised**: May 24, 2021 / **Accepted**: June 29, 2021

* 교신저자 : Jin Seog Kim / Sehan University / kimjs@sehan.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non- commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서 론

항공기 수출을 위해서는 수출대상국의 요구 운용 환경에서 항공기 생명주기 동안 사용, 운반, 보관 환경 요구사항에 적합함을 검증해야 한다. 그러나 수출할 때마다 수출대상국에 대한 모든 환경 적합성 검증을 반복 시험하는 데에는 시간적, 비용적 중복이 발생한다. 따라서 항공기 개발 단계부터 수출 예상 국가들을 예측하고, 이에 대한 적절한 환경 기준과 입증 기준을 선정하는 것이 바람직하다. 그리고 항공기 구매자로부터 기능 또는 성능 변경에 대한 요구사항이 있거나, 그 제품 운용 환경이 기존 검증된 환경과 다르다면 제품의 환경 신뢰성 확보를 위해 적합한 환경시험이 필요하다.

본 연구의 목적은 XKT-1T 항공기의 환경 신뢰성 확보 및 향후 수출 확대를 위하는 한편 기존 기본형 KT-1의 개발 및 운용 중 이미 입증된 환경 요구사항의 중복 입증을 배제함으로 개발 비용 및 일정의 절감을 통한 수출 경쟁력 확보이다.

이러한 목적 달성을 위해 본 논문에서는 수출 환경 요구사항 적합화를 통한 환경시험 항목 선정, 입증 대상 분류, 검증 방법, 시험 절차 및 시험 조건을 포함하는 온도 시험 프로파일을 제시하였다.

특히 많은 환경 요구사항 중에 고온 및 저온 입증 시험은 가장 중요하면서 기본이 되는 환경 요구사항이다. 따라서 군용 및 민간용을 통틀어 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 MIL-STD-810[1] 고온 및 저온 시험법을 참고하여 고온 및 저온 복합시험 절차, 노출 시간, 시험 조건 등을 적합화 하였다. MIL-STD-810(Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests : 환경공학 고려사항과 실험실시험)은 군용 장비를 개발할 때 여러 가지 환경요소를 고려하여 장비를 설계하고 시험하기 위하여 만들어진 표준서이다.

본 연구에 사용된 시험체인 XKT-1T 항공기는 1999년도 개발 완료되었고 현재는 한국 공군이 훈련기로 운용 중인 KT-1을 기본으로 다양한 수출 대상국의 요구사항을 고려하여 항전 장비와 무장 운용 능력을 최신화한 수출 목적의 KT-1 파생형 항공기이다. 최대이륙중량은 6,120 lbs이고, 950 shp 터보프롭엔진을 장착, 최대속도 350 kts 성능을 갖고 있으며 여압 등을 포함하는 세부 계통의 최신화와 전자식 계기(full glass cockpit)를 갖춘 최신 항전 시스템과 컴퓨터로 제어되는 정밀 무장 시스템을 갖추고 있다.

2. 환경시험 항목 선정

2.1 수출국 환경 요구사항 정의

INCOSE 핸드북에서 " 이해관계자 니즈 및 요구사항 정의 프로세스의 목적은, 정의된 환경 속에서 사용자와 그 밖의 이해관계자들이 필요로 하는 능력을 제공할 수 있는 시스템에 관한 이해관계자 요구사항을 정의하는 데 있으며, 시스템 요구사항 정의의 목적은 바람직한 능력에 관한 이해관계자 또는 사용자 중심의 견해를 사용자의 운용 니즈를 충족하는 해결방안에 관한 기술적 견해로 변환하는 것."이라고 했다.[2]

XKT-1T 항공기 구매자 환경 관련 요구사항은 표 1과 같이 XKT-1T 수출대상국의 환경조건을 STANAG 2895[3]와 MIL-STD-810 및 RTCA DO-160[4]에서의 기후 조건과 환경시험 조건을 고려하여 환경 관련 요구사항을 정의하고, 관련 규격 및 요구도를 XKT-1T 항공기 구매자와 협의하여 표 2와 같이 결정하였다.

KT-1 기본형의 환경 관련 요구사항은 고온 및 저온 환경 요구사항을 제외하고, 결빙, 강우, 소음, 부식, 우박, 바람, 난류에 대한 환경 요구사항은 수출 대상국 구매자의 수출형 KT-1(XKT-1) 항공기 요구사항과 유사하였다.

<Table 1> Summary of Climatic Categories<STANAG 2895>

기후 지역	작동 조건				저장 및 운송 조건			해당 지역
	주변공기온도 ℃ (°F)		태양복사 W/m²	상대습도 % RH	유도공기 온도 ℃ (°F)		유도 상대 습도 %RH	
	저온	고온			저온	고온		
Hot Dry (A1)	32(90)	49(120)	0 to 1120	8 to 3	33(91)	71(160)	7 to 1	북아프리카 사막, 중동, 미국 남서부, 호주 중북부, 멕시코 북부
Basic Hot (A2)	30(86)	43(110)	0 to 1120	44 to 14	30(86)	63(145)	44 to 5	미국, 멕시코, 북부 아프리카, 아시아 남서부, 남부 스페인, 남부 아프리카, 호주 대부분
Intermediate (A3)	28(82)	39(102)	0 to 1020	78 to 43	28(82)	58(136)	-	중위권 대부분의 국가
Basic Cold (C1)	-32(-25)	-21(-5)	-	-	-33(-28)	-25(-13)	-	남부 캐나다, 남부 알래스카, 남부 그린란드, 북유럽, 러시아, 중앙아시아
Cold (C2)	-46(-50)	-37(-35)	-	-	-46(-50)	37(-35)	-	캐나다, 알래스카, 그린란드 대부분, 북부 스칸디나비아 반도, 북부 아시아, 몽고
Severe Cold (C3)	-51(-60)		-	-	-51(-60)		-	알래스카, 캐나다, 그린란드 내륙, 시베리아

<Table 2> Environmental Requirements of XKT-1T

요구 항목	XKT-1T 환경요구사항 및 관련 규격	
고온	STANAG 2895 A2	30 ℃(작동) 63 ℃(유도,저장)
저온	STANAG 2895 C1	-32 ℃(작동) -33 ℃(유도,저장)
습도	STANAG 2895 A2	44%RH ~ 14%RH
태양 복사	STANAG 2895 A2	Max.1120 W/m2
제빙 /방빙	MIL-STD-810 RTCA DO-160	light/trace ice
모래 /먼지	MIL-STD-810 RTCA DO-160	모래 : 850 μm 먼지 : 150 μm
염수 분무	MIL-STD-810 RTCA DO-160	5% 소금물, 24시간, 35 ℃
강우	-	127 mm/hr
소음	FAR Part36 MIL-STD-1474	외부소음 : 85 dBA 내부소음 : 115 dBA
부식	-	MIL-HDBK-1568 MIL-STD-889
우박	-	20 mmdia, 15.7 m/sec
바람	-	측풍 25 kts
난류	MIL-F-8785C	Moderate Turbulence
곰팡이	MIL-STD-810 RTCA DO-160	30 ℃

온도 관련 기후 조건은 STANAG 2895의 A2(Hot Dry), C1(Intermediate Cold)을 기본 요구도로 정의하고 구매자와 협의하였다.

고온, 저온, 태양 복사, 습도, 모래/먼지, 염수분무, 곰팡이에 관한 7개 항목은 MIL-STD-810 환경시험 요구항목 및 규격을 정의하고 구매자와 협의하였다.

XKT-1T 항공기 구매자의 특별한 운용 특성을 반영하여 구매자 환경조건을 직접 명시한 강우/강설, 우박, 바람, 결빙의 4가지 항목은 MIL-STD-810 환경 시험법을 참고하되 규격 관련 요구도는 XKT-1T 항공기의 특수한 요구도를 반영하여 검증하는 것으로 정의하고 구매자와 협의하였다.

그 외 외부소음은 FAR Part 36[5]에 의거, 내부소음은 MIL-STD-1474E[6]에 의해 검증되어야 하고 난류는 MIL-F-8785C[7]에 의거 검증하는 것으로 요구도 정의하고 구매자와 협의하였다.

또한, 부식은 구성품 레벨의 염수분무시험과 별도로 전기체 레벨에서 부식 방지 후처리 공정이 요구 조건으로 정의하고 구매자와 협의하였다.

따라서 환경 관련 항공기 구매자 요구사항 정의 항목 총 14개 항목에 대해 항공기 구매자 환경요구사항 및 적용 규격을 표 2와 같이 적합화하였다.

2.2 환경시험 적합화(tailoring)

적합화(tailoring) 관련하여 INCOSE에서는“테일러링의 기저 원칙은 프로세스의 엄격도를 시스템 생명주기 활동을 수행할 때 수반되는 리스크를 수용 가능할 정도로 낮추면서 프로젝트 니즈를 충족시킬 수 있도록 하는 것이다. 테일러링은 필요를 바탕으로 적용의 엄격도를 적절한 수준까지 맞춘다.[2]라고 했으며, 김철 외(2006)은“MIL-STD-810의 환경시험 적합화의 목적은 개발할 장비가 어떤 환경조건에서 운용될 것인가를 설정하고 그 환경에서 장비가 원활하게 운용될 수 있도록 설계자와 시험자가 협의하여 설계 및 시험 기준을 설정한다는 개념이다.[8] 또한 박정민(2019)은“테일러링 프로세스를 적극적으로 권장함을 통해 예상되는 환경에 따라 시험법 적용의 여부와 시험 수준을 정하게 되어 과도 또는 과소시험의 가능성을 줄이게 되었다.”라고 했다.[9]

XKT-1T 항공기는 한국 공군용 기본형KT-1 항공기의 파생형으로 그 개발 동안 대부분의 환경 요구사항이 입증되었고, 20여 년 이상 운용을 통해 각종 국내 환경조건에 대한 신뢰성 이미 확보되었다. 그러나 XKT-1T 항공기는 수출대상국 지역의 환경조건이 현재 운용 중의 국내 환경조건과 다르고, 또한 수출 대상 항공기 구매자의 요구에 따라 주요 구성품이 기본형 KT-1 항공기에서 변경된 부분이 있다는 것을 고려하여야 한다. 따라서 김진석(2020)은 “환경시험 관련 수출형 KT-1 항공기 특성은 1) 기본 항공기(KT-1) 개발 동안 대부분의 환경 요구사항 이미 입증, 2) 기본 항공기가 운용 중 환경 요구사항에 대한 신뢰성 이미 확보, 3) 수출형 KT-1 항공기의 신규 구성품 레벨 환경시험 검증(QT) 완료, 그러나, 4) 수출형 항공기가 기본 항공기와 전기체 레벨에서 다른 형상, 5) 수출대상국 지역의 환경조건이 현재 운용 중의 환경조건과 다름, 6) 수출대상국의 항공법 및 운용 특성 차이 등이 있다.“라고 했다.[10]

수출형 항공기 특성을 고려하고 항공기 수출대상국의 요구에 따라 수출대상국의 운용 환경과 형상 안에서 항공기가 유효한 생명주기 동안 사용, 운반, 보관 요구에 신뢰성 있음을 검증할 변경된 환경 요구사항 정의 및 환경 요구 조건에 대한 적합화(tailoring)가 필요하다.

이러한 적합화의 기본 원칙은 기본형 KT-1 항공기에서 실 운용을 통한 환경 신뢰성이 이미 확보된 환경 요구항목 및 환경요구도의 재입증은 XKT-1T 항공기의 신규 환경 신뢰성 입증 요구사항에서 배제하는 한편, 신규 환경 관련 항공기 구매자 요구항목 및 구성품의 변경으로 인한 환경 요구사항에 대한 재입증이 필요한 부분에 대하여는 환경 요구사항 분석뿐 아니라 수출 확대를 고려한 환경요구도 설정에 대한 적합화이다.

본 연구에서는 수출 대상 항공기 구매자의 요구사항을 근간으로 환경시험 항목과 기준을 도출하여 구매자와 협의를 거쳐 ETEMP(Environmental Test and Evaluation Master Plan, 환경시험 평가 종합 계획서)[11] 에 반영하였다.

요구사항 정의를 통한 적합화(tailoring)된 환경시험 항목 선정을 위해서는 우선하여 기본형 KT-1 항공기에서 이미 입증된 사항을 검토하는 노력이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 이미 기본형 KT-1 항공기에서 입증된 환경시험과 시험 조건에 대한 비교분석을 통해 XKT-1T 항공기에서 필수적으로 입증해야 할 표 2의 환경 요구항목에 대해 검증 대상 분류(전기체, 구성품, 구성품/전기체) 검증 방법(시험, 해석, 문서), 검증 조건 등을 적합화(tailoring)하여 표 3과 같이 제시하였다.

2.2.1 환경시험 검증 대상 분류

본 연구에서는 표 2의 환경 관련 항공기 구매자 요구사항 정의를 기본으로 환경시험 검증 대상에 대해 구성품 레벨, 전기체 레벨, 구성품/전기체 중복

(redundant) 검증의 세 가지 분류로 나누었다.

첫째, 구성품 레벨에서만 검증하는 환경시험 항목은 모래/먼지, 염수 분무, 곰팡이 환경 요구사항같이 전기체 시험 시 구성품의 장착 위치에 따라 재현성이 어렵고, 따라서 전기체 시험으로 검증하기가 어려우며, 강우 시험을 통해 모래/먼지 및 염수 분무의 유입 가능성을 간접적으로 파악할 수 있는 항목은 구성품 레벨에서만 검증하는 것으로 적합화 분류하였다.

둘째, 전기체 레벨에서만 검증되는 환경 관련 항목은 제빙/방빙/결빙감지기(deicing / anti-icing / ice detector), 소음, 부식, 우박, 바람, 난류와 같이 항공기 외부 구조 건전성과 관련되거나, 항공기 외형 및 항공기 시스템 작동성에 의해서 영향을 받을 때는 전기체 레벨에서만 검증하는 것으로 적합화 분류하였다.

셋째, 구성품 레벨에서 QT(Qualification Test)를 수행한 후 전기체 레벨에서 검증되는 환경 관련 항목은 고온, 저온, 상대습도, 태양 복사, 강우와 같이 항공기 저장 및 운용에 영향성이 크며, 시험의 위험성을 줄이고 환경 응력 영향성을 파악하기 위해 우선 구성품 레벨에서 환경시험(QT)을 하고, 전기체 레벨에서 시험 절차 및 시험 조건에 대한 적합화(tailoring) 과정을 거쳐 환경시험 항목과 시험 조건을 결정하여 시험하는 것으로 검증하는 것으로 적합화 분류하였다.

2.2.2 환경 요구사항 검증 방법 분류

항공기 구매자 환경 요구사항 중 고온, 저온, 상대습도, 태양 복사, 제빙/방빙, 모래/먼지, 염수 분무, 강우, 소음에 관한 환경 요구사항에 대하여는 시험으로 검증 방법을 설정하였다. 이의 시험 방법 및 절차는 MIL-STD-810의 시험법을 기본으로 하였고, 항전 장비의 시험 방법 및 절차는 RTCA DO-160 시험법에 따라 구성품을 검증하는 것으로 설정하였다.

우박으로 인한 찌그러짐(dent) 영향성과 같은 정량적 판단이 중요한 구조 건전성 관련된 환경 항목은 구조 해석으로 검증 방법을 설정하였으며, 바람에 의한 측풍 및 난류 영향성과 같이 공력 및 비행 안정성 관련된 환경 항목은 검증된 공력 및 비행 안정성 해석으로 설정하였으며, 또한, 측풍 및 난류에 의한 계류(mooring) 하중 및 구조 플러터는 구조 건전성 차원에서 해석뿐 아니라 전기체 비행 시험에서도 검증될 것이다.

부식에 관한 요구사항은 염수 분무를 통한 구성품 레벨의 시험 검증 방법과 달리 항공기 구조물에 관한 요구사항으로 부식방지 적용 설계와 부식 방지용 공정 적용 프로세스와 항공기 운용 중 부식 처리 교범 등의 문서로 검증하는 것으로 구매자와 검증 방법을 협의하였다.

2.2.3 환경시험 조건 적합화

검증 대상이 구성품인 경우는 MIL-STD-810 및 RTCA DO-160에서 요구되는 가장 가혹한 조건을 기본 시험 조건으로 설정하였으며, 전기체 환경시험 조건은 현재 국내 환경보다 좀 더 보수적 시험 환경 검증 조건을 설정하였다.

특히 고온 시험 환경 검증 조건은 향후 수출대상국 확대와 기후 변화를 대비하고 환경시험과 관련된 개발비 중복 투자를 피하고자 항공기 구매자가 요구한 고온 환경요구도를 A2(Hot Dry, 최고 유도 온도 63 ℃) 환경조건보다 더 가혹한 최고온 환경 지역인 카테고리인 A1(Extreme Hot Dry, 최고 유도 온도 71 ℃)으로 고온 환경 기준을 설정하였다.

상대습도 시험 환경 검증 조건은 구성품의 경우 상대습도 검증 조건은 최 극한 조건인 자연적 발생이 어려운 60 ℃, 95%, 48시간 조건으로 구성품 레벨에서 QT를 하는 것으로 설정하였고, 전기체 레벨 상대습도는 복합 환경시험에 적용하기 위한 A1, C1의 상대습도를 적용하였다.

태양 복사 일사량 조건도 A1(1120 W/㎡) 지역의 일사량 조건을 적용하였다.

강우의 경우는 MIL-STD-810에서 제시된 102 mm/hr 대비 보수적으로 127 mm/hr로 적용하였다.

제빙(deicing)/방빙(anti-icing)의 경우 13 mm 결빙 조건(moderate glaze)에서 프로펠러 제빙 및 AOA/Pitot/TAT 방빙 성능을 검증하는 것으로 하였다.

모래(850 ㎛ 크기)/먼지(150 ㎛ 크기), 염수분무(5%소금물, 24시간, 35 ℃), 곰팡이(30 ℃, 90~100% RH) 환경시험 조건은 구성품 레벨에서 수행되고 MIL-STD-810과 RTCA DO-160에 따라 시험법과 조건을 참고하여 설정하였다.

외부소음 환경시험 및 방법은 FAA Part36의 85 dBA에 따르고, 내부 소음 환경시험 기준은 MIL-STD-1474를 기준으로 115 dBA로 설정 하였다.

부식은 항공기 구매자 요구사항인 MIL-HDBK-1568과 MIL-STD-889에 따른 규격을 적용하였다.

우박은 항공기 구매자 요구도인 20 mm 직경의 15.7m/sec 속도의 충격 에너지를 기준으로 하였다.

측풍 환경 영향성 조건도 항공기 구매자 요구도를 반영하여 25 kts로 설정하였다.

난류 강도는 MIL-F-8785C에 따른 moderate 난류 강도를 환경 입증 조건으로 하였다.

〈Table 3〉 Tailoring Result of Environmental Requirements

환경요구항목	검증 대상 . 방법 / 환경 검증 조건			비 고
	대상	방법	환경 검증 조건	
고온	전기체, 구성품	시험	작동: 49 ℃ (A1), 유도: 71 ℃ (A1)	고온 복합
저온	전기체, 구성품	시험	작동: -32 ℃ (C1), 유도: -33 ℃ (C1)	저온 복합
상대 습도	전기체, 구성품	시험	전기체: 8~3% RH (A1) 구성품: 60 ℃, 95% RH	고온 복합
태양 복사	전기체, 구성품	시험	1120 W/m2(A1)	고온 복합
제빙/방빙	전기체	시험	Glaze Ice, 13 mm Ice	저온 복합
모래/먼지	구성품	시험	모래:850 ㎛, 먼지:150 ㎛	QT
염수분무	구성품	시험	5%소금물, 24시간, 35 ℃	QT
강우	전기체, 구성품	시험	127 mm/hr	야외 시험
소음	전기체	시험	외부소음:FAR Part36 (86 dBA) 내부소음:115 dBA	야외 시험
부식	전기체	시험	MIL-HDBK-1568, MIL-STD-889	QT
우박	전기체	해석	20mm dia, 15.7 m/sec	해석
바람	전기체	해석	측풍 25 kts	해석
난류	전기체	해석	Moderate Turbulence	해석
곰팡이	구성품	시험	30 ℃, 90~100% RH	QT

2.3 실험실 전기체 환경시험 항목 선정

XKT-1T 항공기의 환경 관련 요구사항 항목 중 우박, 바람, 난류 등 해석만으로 입증하는 대상 항목은 환경시험 항목에서 제외하였다.

모래/먼지 시험은 강우 시험으로 대체 입증될 수 있고, 염수분무 시험은 부식으로 대체 입증될 수 있으므로 모래/먼지 및 염수분무에 대한 환경 요구사항은 구성품 레벨의 환경시험 QT 자료로 입증하는 것으로 본 실험실 전기체 환경시험 항목에서 제외했다. 또한 곰팡이 관련 환경요구사항은 전기체 레벨의 공정검사 및 품질시험과 구성품 레벨의 환경시험 QT 자료로 검증하는 것으로 본 실험실 전기체

환경시험 항목에서는 제외했다. 항공기 생산 과정 및 별도 절차에 의해 생산 항공기에서 수행되는 강우와 실험실에서는 시험 이 곤란한 소음과 같이 별도 절차 및 야외 환경이 필요한 환경 요구항목도 본 실험실 전기체 환경시험 항목에서는 제외했다.

전술한 모래/먼지, 염수분무, 곰팡이, 강우, 소음 환경 관련 요구사항을 제외한 노천 환경에서 자연환경의 변화로 인한 항공기 구매자 환경요구도 검증이 어렵고, 시험 재현성이 어려운 고온, 저온, 상대습도, 일광, 제빙/방빙 관련 환경 요구항목을 대형 기후환경 실험실에서 수행할 전기체 환경시험 항목으로 선정하였다.

3. 환경챔버 시험 프로파일

3.1 고/저온 복합 환경시험

요구사항 정의 및 적합화(tailoring) 과정을 통해 환경시험 항목과 시험 기준 및 시험 방법이 결정되었다.

전기체 환경시험에서는 항공기 구매자 요구사항 항목별 항공기 구매자의 운용 환경을 대표할 수 있는 복합 환경을 모사하여 항공기 구매자가 요구하는 환경요구사항에 적합함을 확인하여야 한다. 또한 과도한 시험 프로파일이나 전기체 시험이 진행될 경우, 불필요한 비용이 발생하거나 과다한 일정이 발생할 수 있어 수출 항공기에 최적화된 프로파일 설정과 전기체 성능 입증 항목을 구성하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 환경시험 프로파일을 고온 복합시험 프로파일(고온, 일광, 상대 습도)과 저온 복합시험 프로파일(저온, 제빙/방빙, 저온시동 시험)로 구분하여 복합 환경 사이클을 구성하였다. 고온 환경 관련된 고온 운용 및 저장 작동, 습도, 일광 관련 환경시험 항목은 고온 복합 환경 관련 시험으로 구성하였고, 저온 환경 관련된 저온 운용 및 저장 작동, 프로펠러 제빙 및 AOA, Pitot 방빙 작동 관련 환경시험은 저온 복합환경시험으로 구성하였다.

<Table 4> Environmental Test Capabilities

Environments Test	Capabilities
Low/High Temp.	-54 ℃ ~ +54 ℃
Humidity	10% RH ~ 100% RH
Rain	13 mm/h ~ 610 mm/h
Snow	75 mm/h
Solar Radiation	55 W/m^2 ~ 1,120 W/m^2
Wind	18 m/s
Jet Engine Running Test	Supplied air flow rate : 228 kg/sec

수출형 항공기에 대한 복합 환경시험은 국방과학연구소 초대형 기후환경 챔버[12]에서 전기체 상태로 수행되었다. 챔버는 폭 32m, 깊이 42m, 높이 15 m의 규모로, 미 군사 규격에 따라 온·습도, 강우, 강설, 태양열 복사 시험 등 다양한 기후환경시험수행이 가능하며, 수출형 항공기 전기체에서 검증해야 할 환경조건을 구현할 능력을 보유하고 있어 해당 시험에 적합함을 확인하였다.

3.2 고/저온 복합 환경시험 조건

시험온도 조건은 요구사항 정의와 적합화 과정을 반영하여 고온/일사 조건과 저온 조건 및 상대습도는 다음과 같이 정리된다.

고온 A1: 작동(32 ℃~ 49 ℃), 저장(33 ℃~ 71 ℃)
저온 C1: 작동(−32 ℃ ~−21 ℃), 저장(−33 ℃~ −25 ℃)
상대습도 A1: 8% ~ 3% RH
일광 A1 : 1120 W/㎡

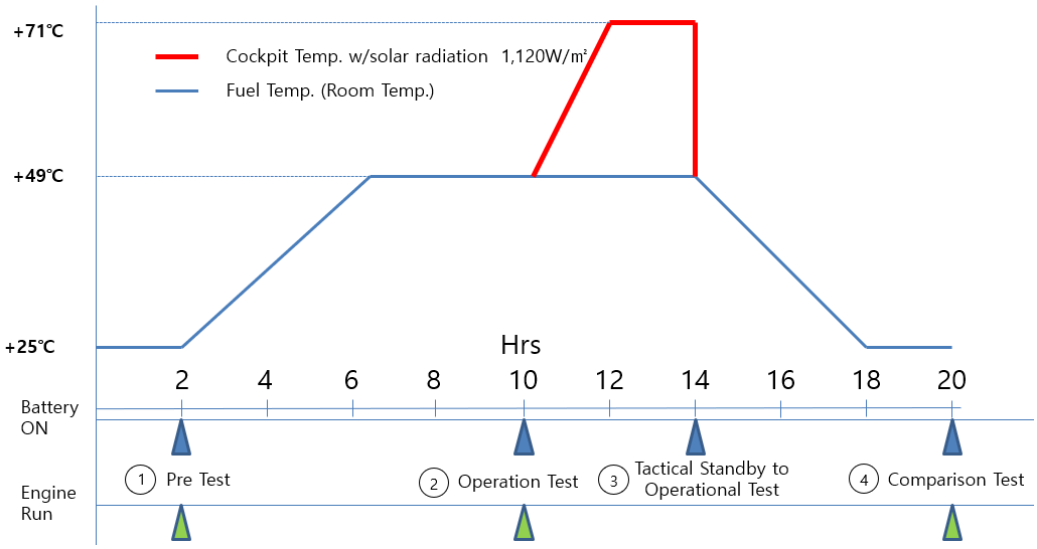
3.3 온도 안정화 (Soaking 및 Stabilization)

또한 온도 충격 (temperature shock)을 피하려고 항공기 온도 soaking 구배는 분당 3℃를 넘지 않도록 하였으며, 시험의 신뢰도를 위해 시험온도 조건은 반드시 시간당 2℃ 범위 내에서 온도 안정화(stabilization) 과정을 거치는 것으로 설정하였

다. 여기서 나타낸 온도는 항공기에서 비교적 비열이 높은 항공기 연료 계통 내부온도를 기준으로 하였다.

3.4 고온 복합 환경시험 프로파일

고온 복합 작동 시험 프로파일은 수출형 항공기의 STANAG 2895/MIL-STD-810에서 제시한 극한 고온 환경 지역(A1, Extreme Hot Dry) 최고 운용 온도 49℃(연료 온도 기준), 상대습도 8~3% RH 시험 조건과 별도의 지상 작동 절차에 따라 작동 전 점검, 엔진 Run-up, 작동 후 점검을 수행하여 항공기 정상 작동 상태를 판단하며, 항공기를 극한 고온 저장/유도 환경 조건인 일광 1120 W/㎡, 71℃(조종실 내부온도 기준)에 항공기를 노출 시킨 후, 별도의 시험 절차서 절차[11]에 따라, 고온 환경 응력(environmental stress)에 대한 항공기 상태 점검을 하고, 다시 항공기를 표준 비교 시험온도인 25 ℃에서 동일 절차서 절차에 따라, 항공기 엔진 run-up과 작동 후 점검 과정을 통해 수행하여 항공기의 정상 상태를 입증하는 고온 복합 환경시험 프로파일 결과를 그림 1에 제시하였다.



[Figure 1] High Temperature Test Profile

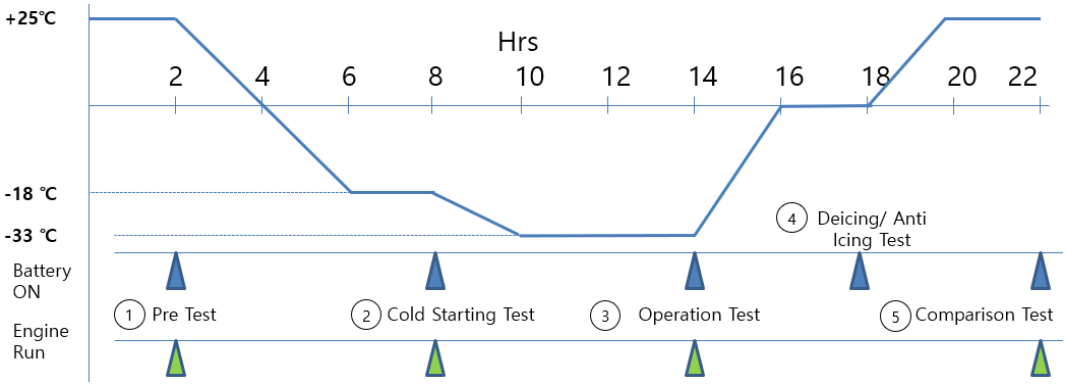
① 작동 시험 (Operation Test): 표준 사전 온도(25 ℃), 작동전, 엔진 run-up, 작동후 점검
② 작동 시험 (Operation Test) : A1 온도(49 ℃),작동전, 엔진 run-up, 작동후 점검
③ 저장 시험 (Storage Test) 및 작동 대기 시험 (Tactical-Standby to Operational) : A1 온도(49℃), A1 일광(1120 W/㎡, 71 ℃) 조건에서 상태 점검
④ 작동 비교 시험 (Storage & Operation Test) : 표준 비교 온도(25 ℃), 작동전, 엔진 run-up, 작동후 점검

3.5 저온 복합 환경시험 프로파일

저온 복합 작동 시험 프로파일은 수출형 항공기의 STANAG 2895/MIL-STD-810에서 제시한 중간 저온 환경 지역(C1, Intermediate Cold) 최저 운용 온도 -32 ℃(연료 온도 기준) 시험 조건과 별도의 시험 절차서 절차[11]에 따라 작동 전 점검, 엔진 Run-up, 작동 후 점검을 수행하여 항공기 정상 작동 여부를 판단하며, 항공기를 C1 저온 저장

환경인, −33 ℃(연료 온도 기준)에 항공기를 노출시킨 후, 별도의 시험 절차서 절차에 따라, 저온 환경 응력에 대한 항공기 상태 점검을 하고, 항공기 노출 온도를 0 ℃(실험실 외부 온도)로 올려, 물 분사와 결빙을 유도한 후, AOA, Pitot 방빙(anti−icing) 및 프로펠러 제빙(deicing) 시험 후 다시 항공기가 25 ℃의 정상 범위에서 동일 절차에 따라, 항공기 엔진 Run−Up과 작동 후 점검 과정을 통해 수행하여 다시 항공기를 표준 비교 시험 온도인 25 ℃에서 동일 절차서 절차에 따라, 항공기 엔진 run−up과 작동 후 점검 과정을 통해 수행하여 항공기의 정상 상태를 입증하는 저온 복합 환경시험 프로파일 결과를 그림 2에 제시하였다.

본 연구에서는 항공기 구매자의 요구에 따라 저온 작동 시험 전 축전지(battery)에 의한 자가 시동(self start) 한계 온도인 -18℃(연료 온도 기준)에서 엔진 run−up을 통한 냉 시동성(cold start) 입증 시험을 하는 절차를 추가하였다.



[Figure 2] Low Temperature Test Profile

① 작동 시험 (Operation Test): 표준 온도(25 ℃), 작동전, 엔진 run−up, 작동후 점검
② 작동 시험 (Operation Test) : battery 자가 시동 온도(−18 ℃)에서 작동전, 엔진 run−up, 작동후 점검
③ 작동 시험 (Operation Test): C1 온도(−33 ℃),작동전, 엔진 run−up, 작동후 점검
④ 조작 시험(manipulation) 및 제빙/방빙 시험 (Inspection): 0℃ 온도에서 결빙 감지기, 작동 시험, AOA/Pitot 방빙 시험, Propeller 제빙 시험
⑤ 작동 비교 시험 (Storage & Operation Test) : 표준 온도(25 ℃), 작동전, 엔진 run−up, 작동후 점검

4. 결 론

본 논문은 국내 최초로 개발되고 수출된 XKT−1T 항공기의 환경 요구사항을 수출형 항공기의 특성을 고려하여 환경 요구사항 정의 및 적합화(tailoring) 과정으로 환경 요구사항에 대한 체계적인 검증 대상 분류 및 검증 방법(means of compliance) 분류와 전기체 환경시험을 위한 실험실시험 조건 및 시험 절차를 포함하는 시험 프로파일 결과를 제시하였다.

본 연구의 결과를 통해 다음과 같은 성과가 있었다.

첫째, 검증 대상의 적합화 분류로 환경 요구 대상 항목을 전기체와 구성품으로 구분하고 구성품에 대하여는 공급자의 품질시험(QT) 문서를 확인하는 방법으로 전기체 시험의 위험 및 비용을 저감 시켰다.

둘째, 환경 요구사항 중 가장 중요하고 보편적인 고온 및 저온 환경시험의 경우는 시험온도 조건 및 노출 시간 등 향후 수출대상국 확대를 고려하고, 이

미 입증된 부분을 생략함으로써 신뢰성 있으며 효율적인 고온 및 저온 환경 복합시험 프로파일을 작성하였다.

셋째, 이 결과 수출형 항공기 계약 요구사항에 대한 체계적 입증 계획이 수립되었으며, 시험 입증 방법의 최소화로 개발 일정 및 비용의 절감 되었고, 항공기 구매자 참여하에 이루어진 실험실 내의 고온, 저온, 태양열 복사, 냉 시동 시험 등 고온 및 저온 복합시험은 항공기 구매자의 제품에 대한 신뢰성 확인 및 수출 확대에 이바지하였다.

References

1. DoD, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, MIL-STD-810H, 2019
2. INCOSE, System Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Process and Activities, 2015
3. NATO, STANAG 2895 MMS (Edition 1) - Extreme Climatic Conditions and Derived Conditions For Use in Defining Design/Test Criteria For NATO Forces Materiel, 1987
4. RTCA, Environmental Conditions and Test Procedures for Airbone Equipment, DO-160G, 2010
5. FAA, Noise Standards: Aircraft Type and Airworthiness Certification, CFR 14 Part 36, 1992
6. DoD, Design Criteria Standard Noise Limits, MIL-STD-1474E, 2015
7. DoD, Military Specification: Flying Qualities of Piloted Airplanes, MIL-F- 8785C, 1980
8. Chul Kim, Bo Sik Kang, Hyoung Eui Kim, Tailoring Concept of MIL-STD-810F, Journal of the Applied Reliability, Vol. 6, N0. 1, p1-11, 2006
9. Jung Min Park, Jae Won Lee and Rho Shin Myong, Environmental Test Tailoring for Fighter Aircraft Intended for Operating in Korean Peninsular, Journal of The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 47, No. 5, p344-357, 2019
10. Jin Seog Kim, A Study on the Tailoring of High/Low Temperature Test, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, Vol. 16 No. 2, p78-86, 2020
11. Korea Aerospace Industry, "KT-1T Environmental Test & Evaluation Master Plan, Appendix 1. KT-1T Environmental Test Procedures / Appendix 2. KT-1T Environmental Test & Evaluation Check List", K9-03-SEC-234, 2009
12. Aerospace Systems T&E Center, Test & Evaluation,"https://www.add.re.kr"