



대한민국에서 운용될 전투기의 환경시험 테일러링 기법 연구

박정민¹, 이재원², 명노신³

Environmental Test Tailoring for Fighter Aircraft Intended for Operating in Korean Peninsula

Jung Min Park¹, Jae Won Lee² and Rho Shin Myong³

Specialized Graduate School for Aerospace Engineering, Gyeongsang National University¹

School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University^{2,3}

Research Center for Aircraft Core Technology, Gyeongsang National University^{1,2,3}

ABSTRACT

Operational failures may occur even though there had been no signs of defect during the manufacturing process, which may be caused due to exposure to environmental stress which had not been addressed properly during the design process. It is thus necessary to perform environmental testing to determine the cause of the failures. Environmental testing is also used to determine whether a materiel has enough tolerance to the environmental stress during its operation. In this study, the method and level for each environmental testing are properly tailored and applied to a fight aircraft intended to operate in ROK (Republic of Korea), based on the MIL-STD-810G Change 1. Since each part of a fighter aircraft may be exposed to each different environment, LRUs (Line Replaceable Units) exposed to similar environment should be tested similarly. In addition, the decision whether to apply specific test and the tailoring technique in test level were derived for natural and induced environments, respectively. As a fight aircraft is assumed to operate in ROK, the tailoring of test methods and test level to fit to the environment in Korean peninsula is necessary. Further research is needed in determining a specific procedure and a specific level in a test method, and also in determining the test sequence, when conducting more than one is needed, because it can alter test results and it hence becomes an essential element in test design.

초 록

운용상 고장은 제조 시 아무런 문제가 나타나지 않더라도 발생할 수 있으며, 설계 절차에서 고려하지 못했던 환경적 스트레스가 원인일 수 있다. 따라서 환경시험은 이러한 고장의 원인을 판단하기 위해 필수적으로 수행되어야 한다. 또한 환경시험은 군수품이 운용 시 환경적 스트레스로부터 충분한 저항력을 가지고 있는지 판단하는데 사용된다. 본 연구에서는 MIL-STD-810G Change 1 기반의 환경시험법과 시험수준을 대한민국에서 운용될 전투기 개발에 맞게 테일러링하여 적용한다. 전투기의 각기 다른 파트는 각각 다른 환경에 노출될 수 있으므로 노출되는 환경이 다른 구성품, 또는 LRUs (Line Replaceable Units) 별로 환경시험을 진행해야 한다. 본 연구에서는 비슷한 환경에 노출되는 LRU 수준에서 시험법 적용여부 및 시험수준의 테일러링 기법을 도출하였으며, 자연,

† Received : October 27, 2018 Revised : April 20, 2019 Accepted : April 26, 2019

¹ Graduate Student, ² Graduate Student, ³ Professor

³ Corresponding author, E-mail : myong@gnu.ac.kr, ORCID 0000-0002-1424-6728

유도 환경을 나누어 기술하였다. 대한민국에서 운용하는 전투기를 가정하였으므로 한반도의 환경에 맞는 시험법과 시험 수준에 대한 테일러링이 필수적이다. 한 시험법 내에 있는 여러 가지 절차와 시험 수준에 대한 테일러링에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 여러 가지의 시험법을 수행할 때 시험순서가 결과에 영향을 미칠 수 있어 환경시험 설계에 있어 필수적인 요소가 되므로 시험순서 결정에 대한 연구도 필요하다.

Key Words : Environmental Testing(환경시험), MIL-STD-810G Change 1, Natural Environment (자연환경), Induced Environment(유도환경), Tailoring(테일러링)

I. 서 론

환경시험 테일러링의 가장 큰 목적은 과대 또는 과소 설계 및 시험을 방지하는 것이다. 따라서 군수품을 개발하는 과정에서 수명주기를 모델링하고, 그 수명주기 동안 군수품이 겪을 환경요소 및 수준을 설정하여 성능 저하나 고장이 없도록 설계 및 시험 기준을 설립하여야 한다[1]. 각각의 군수품들은 모두 다른 용도와 운용범위를 가지기 때문에 모든 군수품들에게 일률적인 시험법과 시험수준을 적용하는 것은 적절하지 않다.

미 국방부(DoD), NATO, RTCA, IEC 등 여러 기관에서 환경시험 표준서를 제정하였으나, 가장 널리 사용되고 있는 표준서는 미 국방부에서 제정한 MIL-STD-810G이다[2]. MIL-STD-810은 1962년 18 종류의 환경시험 표준으로 시작하여 현재 2010년 가장 최신 개정판인 MIL-STD-810G Change 1이 2014년에 출판되어 29 종류의 환경시험을 포함하고 있다. 1983년 MIL-STD-810C에서 MIL-STD-810D로 개정되는 과정에서 '테일러링(Tailoring)'이라는 개념이 최초로 적극 권장되기 시작하였다. 또한 MIL-STD-810G Change 1에서 군수품의 사용주기 전반에 걸쳐 테일러링 프로세스를 구현하는 방법에 대해 자세하게 설명하고 있다[3]. MIL-STD-810A, B, C 등 초기의 MIL-STD-810은 각 시험법의 'Cookbook' 형태로 엔지니어들은 매뉴얼 그대로의 시험법을 따라야 했으나, MIL-STD-810D부터는 시험 품목이 수명기간 내에 겪을 수 있는 환경에 따라 시험 방법과 수준을 지정할 수 있게 개정되었다. 예를 들어, MIL-STD-810C의 Temperature Shock 시험법을 참고하면, 시험 온도인 T1(t=1), T2(t=2)가 각각 -57°C 와 71°C 로 정해져 있는 반면, MIL-STD-810F에서는 엔지니어들이 직접 적합한 T1과 T2의 온도를 설정할 수 있도록 개정되었다. 따라서 대한민국 운용 전투기의 예상 운용 범위에서 적절한 온도를 설정하여 환경시험 시 적용할 수 있게 되었다. 하지만 대한민국에서 운용될 전투기에 있어 환경시험 기준을 설립할 때, 전 세계를 운용 대상으로 하는 이러한 기준을 테일러링 과정을 거치지 않고 적용한다면, 대한민국의 환경과 부합하지 않을 수 있을 뿐만 아니라 개발 비용과 운용 및 수리비의 증

가가 발생할 수 있다[4].

본 논문에서는 대한민국 운용 전투기가 운용 기간 동안 겪을 수 있는 환경을 분석하여 테일러링을 수행할 수 있도록 적합한 환경을 적용하는 방법을 연구한다. MIL-STD-810G Change 1의 시험법을 자연환경과 유도환경으로 나누어 각 시험법의 적용 및 미적용 여부를 결정하고 적용할 시험법의 경우 대한민국 운용 전투기에 맞는 시험 수준을 설정하고자 한다.

II. 적용/미적용 항목 선정

본 연구에서 테일러링은 두 가지의 의미로 사용된다. 먼저 29개의 시험법 중 대한민국 운용 전투기에 적용 또는 미적용 여부 자체를 결정하는 것이다. 만일 하나의 시험법이 다른 하나의 시험법을 대체할 수 있다면, 두 가지 중 하나만 선택하여 시험을 수행한다. 다음으로 시험 수준 선택에 관한 테일러링으로 온도, 압력, 산성도 등의 변수를 대한민국 운용 전투기의 예상 운용환경에 맞춰 조정하는 것이다.

자연환경 시험의 경우, 전투기 운용 시의 자연환경과 최대한 비슷한 조건의 시험 데이터를 사용하여 시험 수준, 범위, 속도, 지속시간을 선택하여 시험을 수행한다. 하지만 이러한 시험 데이터가 부재할 경우, 군수품이 겪을 수 있는 자연환경을 예측하여 테일러링을 수행할 수 있다. 대한민국 운용 전투기는 자연환경 시험에 해당하는 11개의 시험을 모두 수행해야 한다고 판단하였다.

유도환경 시험은 주로 인공적으로 만들어지거나 군수품 자체의 물리적 또는 화학적 특성으로 인해 생성되는 환경을 의미한다. 유도환경 시험의 경우 모두 18개의 시험법이 존재하며, 이 중 대한민국 운용 전투기에 적용할 10개, 미적용 항목은 8개를 선정하였다.

III. 자연환경 항목 적용 근거 (11 개 시험항목)

MIL-STD-810G에는 High Temperature, Low Temperature, Humidity 등을 포함하여 모두 11개의 자연환경 항목

Table 1. Natural environment methods

No.	Apply/ Non-apply	Methods
500.6	Apply	Low Pressure (Altitude)
501.6	Apply	High Temperature
502.6	Apply	Low Temperature
503.6	Apply	Temperature Shock
505.6	Apply	Solar Radiation (Sunshine)
506.6	Apply	Rain
507.5	Apply	Humidity
508.7	Apply	Fungus
509.6	Apply	Salt Fog
510.6	Apply	Sand and Dust
521.4	Apply	Icing/Freezing Rain

이 존재한다. 대한민국 운용 전투기에 장착되는 전자기기를 고려했을 때, 온도나 습도 등의 혹독한 자연 환경에 내구성이 있는 지에 대한 시험의 중요성이 커지고 있다. 자세한 항목은 Table 1과 같으며, 자연 환경 시험 항목의 경우 모든 항목을 대한민국 운용 전투기에 적용해야 한다고 판단하였다.

자연환경 시험법은 온도에 관련된 항목들이 많이 존재한다. 환경시험을 수행하기 위해서는 운용온도를 설정해야하며, 본 연구에서는 대한민국에서의 수송, 저장 및 운용을 바탕으로 한다. 운용온도가 결정된 후에 개발자는 수명주기 동안 겪게 되는 다양한 자연환경으로부터 각 모드별 환경온도를 도출해야한다 [5]. 이 과정은 설계 단계에서 테일러링을 위해 필수적으로 수행해야 하는 요소이다. MIL-HDBK-310에 따른 전 세계의 기후 분포는 Fig. 1에 나타나 있다.

대한민국 한반도는 기본(Basic) 지역에 해당하며 고온의 경우 중간대(Intermediate) 지역으로 구분된다. 저온의 경우는 백두산을 제외하고 온순 저온대(Mild Cold) 지역을 포함하고 있다[6].

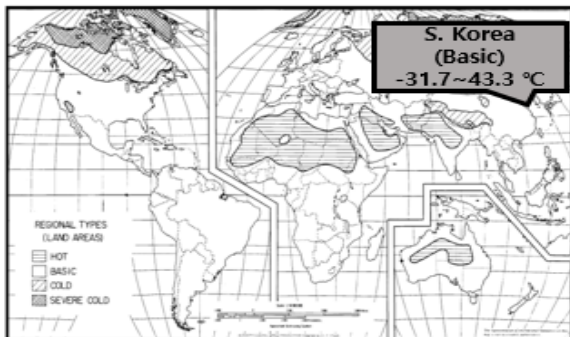


Fig. 1. Location of climatic regional types [6]



Fig. 2. Aloha airlines flight 243 - "Cabrio airlines" [7]

3.1 Low Pressure

높은 고도에서의 저압은 항공기에 큰 위협이 될 수 있다. 시험법 500.6 Low Pressure에 대해 대한민국 운용 전투기의 운용고도를 57,500 ft로 가정하였다. 국내외에 있는 시험소의 Test Chamber는 전기체 수준의 저압 실험을 진행 할 수 없으므로, 구성품별로 시험을 시행해야 한다. 예를 들어, Cockpit의 Canopy의 크기일 경우 일반적인 Walk-in 시험 챔버에서 시험이 가능하다. 또한 보관 상태(비작동 상태)로 시험할 경우, 항공기에 탑재하여 직접적으로 시험하는 방법도 있다.

저압으로 인한 비행 사고의 한 예시로 1988년 4월 28일에 발생한 Aloha Airline B-737이 있다. 24,000 ft에서 운항 중 Cockpit 바로 뒤의 객실에서 급격한 압력저하로 인해 객실 구조물의 상당한 부분을 잃게 된 사고였다(Fig. 2). 따라서 대한민국 운용 전투기의 예상 운용고도로 설정한 58,000 ft를 고려하여 대략적으로 8.5 kPa의 압력을 사용하여 Low Pressure에 대한 시험을 적용해야한다고 판단하였다.

3.2 High Temperature

시험법 501.6에는 고온 환경에서 시험 품목을 보관 및 작동 시 성능을 평가하는 절차 I과 태양열 아래 비작동 상태에서 고온 노출 후 정상적으로 작동하는지 확인하는 절차 II가 있으며, 고온에 노출될 가능성이 높은 대한민국 운용 전투기에 적용이 필수적이라고 판단된다.

MIL-STD-810G의 고온 시험조건으로 기본 고온과 고온 건조가 있으며 각 조건에 대한 Ambient Temperature과 Induced Temperature은 Table 2와 같다.

Table 3은 대한민국 기상청의 자료를 바탕으로 조사한 1991년부터 2018년 사이 주요 공군 비행장이 있는 도시의 온도를 조사하여 최고기온을 나타낸 것이다.

대한민국의 공군 비행장 중 가장 높은 온도를 갖는

Table 2. High temperature diurnal cycle ranges

Type	Ambient Temperature	Induced Temperature
Basic Hot	30 - 43 °C	30 - 63 °C
Hot Dry	42 - 49 °C	33 - 71 °C

Table 3. Highest temperature at Korean air bases

Location	Max. Temperature(°C)
Jinju	38.9
Gangneung	39.3
Seosan	37.3
Daegu	39.4
Gwangju	38.5
Gimhae	36.4
Baekryongdo	33.5

곳은 대구 공항이며 39.4°C의 온도는 Table 2의 High Temperature Diurnal Cycle 중 Basic Hot 구간이다. 또한 이에 유도되는 온도는 Hot Basic의 Induced Temperature의 가장 가혹한 조건인 63°C로 적용해야 할 것으로 판단된다. 하지만 구성품 자체가 열원인 경우, 더 높은 온도로 설정하는 테일러링이 필수적이다. 예를 들어, 전투기 엔진의 경우, 운용 온도가 300°C까지 상승할 수 있기 때문에, 이에 따른 온도 조정이 필요하다.

Figure 3은 1991년부터 2018년까지 위 7개 지역의 연별 가장 높은 온도를 나타낸 그래프이다. 대구에서

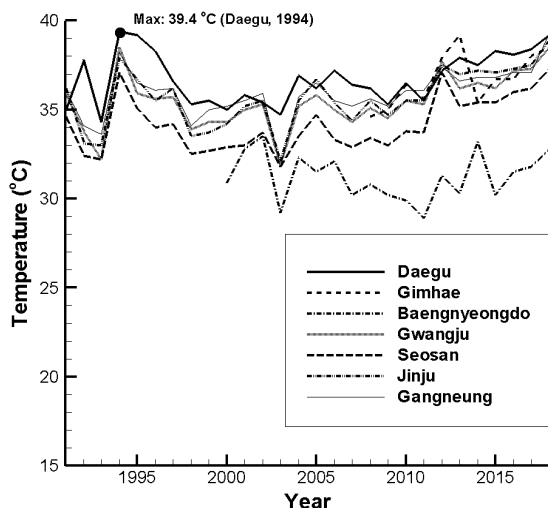


Fig. 3. Maximum Temperature Trend 1991-2018

1994년도에 나타난 39.4°C 이상으로 자연환경 고온 시험을 수행하면 국내를 기준으로 전투기 운용 일수의 100%를 수용할 수 있다. 또한 지구 온난화 현상으로 기온이 올라가고 있으므로, 지속적인 온도 상승에 대한 모니터링이 필수적이다.

3.3 Low Temperature

대한민국 겨울에는 기온이 영하로 떨어지게 되어 군수품에 오일이 새거나 Crack이 발생하게 된다. 시험법 502.6 Low Temperature는 세 가지 절차가 있는데 각각 저온 환경에서 군수품의 저장, 운용, 취급을 시험한다. 저온 시험은 고온 시험과는 다르게 대한민국 운용 전투기의 운용 고도를 고려하여 고도별 외기온도를 고려해야 한다. High Temperature 시험법과 마찬가지로 한반도 7개 지역에 대해 최저 기온을 구하고 저온 시험의 기후 조건과 비교해본 결과는 Basic Cold Design Type(Induced Temperature -33°C ~ -25°C)으로 나타났다. 1991년부터 2018년도의 연별 일최저기온 자료를 참고한 Table 4에 따르면, 대한민국 공군 비행장에 대한 최저기온은 서산에서 -18.7°C를 기록하였지만, 외기온도를 고려하기

Table 4. Lowest temperature at Korean air bases

Location	Min. Temperature(°C)
Jinju	-15.7
Gangneung	-15.6
Seosan	-18.7
Daegu	-12.5
Gwangju	-12.5
Gimhae	-9.9
Baekryongdo	-17.4

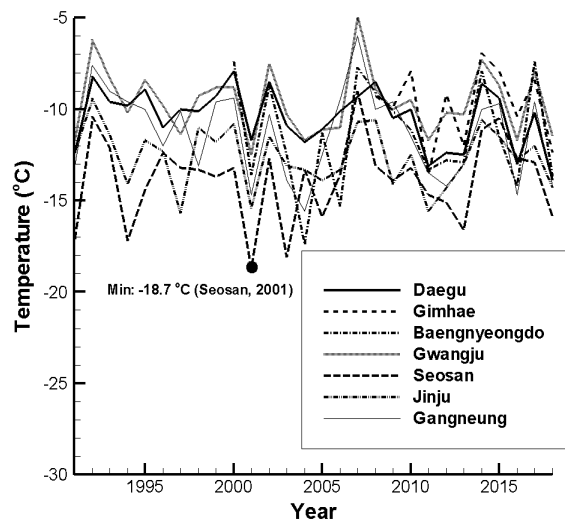


Fig. 4. Minimum Temperature Trend 1991-2018

위해 MIL-HDBK-310 Global Climatic Data For Developing Military Products를 참고하면, 대한민국 운용 전투기의 예상 운용 고도인 55,000 ft에서 60,000 ft에서 -56.5°C로 설정하여 가장 가혹한 조건에서 저온 시험을 시행해야 한다.

Figure 4는 1991년부터 2018년까지 위 7개 지역의 연별 가장 낮은 온도를 나타낸 그래프이다.

2001년 1월에 서산에서 나타난 -18.7°C 이하의 조건에서 자연환경 저온 시험을 수행하면 국내 기준 전투기 운용 일수의 100%를 수용할 수 있다.

3.4 Temperature Shock

503.6 Temperature Shock의 시험 목적은 급변하는 온도 상황에서 시험 품목의 손상이나 성능의 문제 유무를 확인하는 것이다. 대한민국 운용 전투기의 경우 높은 온도의 지표면에서 빠른 속도로 상승하게 되므로 급격한 온도 차에 대한 시험이 필수적이다. 온도 충격으로 인한 영향은 물리적, 화학적, 전기적인 영향이 있다. 대한민국 운용 전투기는 운용 특성상 고도 별 온도 차이를 극복해야하기 때문에 위와 같은 문제를 방지하기 위해서 온도 충격 시험은 필수로 진행되어야 한다.

기후나 온도에 대한 데이터는 MIL-HDBK-310을 참고하여 대한민국 운용 전투기의 최대 운용고도를 고려하여 온도 변화량을 측정할 수 있었으며 최고 온도는 대구에서 관측되었던 39.4°C, 최저온도는 Atmosphere Air Properties 60,000 ft 고도를 기준으로 -56.5°C로 설정할 수 있다. T1과 T2는 각각 최고 온도나 최저온도로 설정할 수 있다. Radome을 예시로 들자면, Radome 자체가 열원이기 때문에 120°C 까지 상승을 하여 T1을 120°C, T2를 -56.5°C로 설정할 수 있다. 본 시험법에는 네 가지의 절차가 존재한다. 본 절차에서 'Cycle'은 저온 → 고온 → 저온, 또는 고온 → 저온 → 고온으로 시험 후 안정화 과정을 거치는 과정을 의미한다.

절차 I-A는 One-way Shock으로 고온에서 저온, 혹은 저온에서 고온으로 가는 한 방향 시험이다. 주위 온도에서 극한의 온도 조건으로 군수품에 1/2 주기의 단방향 온도충격을 가한다. 절차 I-B는 1주기 충격(Single Cycle Shock from Constant Extreme Temperature)으로, 주위온도에서 고온 또는 저온 조건으로 1분 이내에 온도충격을 주는 것이다. 절차 I-C는 3 주기 이상 충격(Multi Cycle Shocks from Constant Extreme Temperature)으로, 주위온도에서 일정한 고온 또는 저온을 각각 최소 세 번씩 시험 후 안정화 시키는 절차이다. 본 절차의 목적은 시험 품목에 대한 급격한 온도 변화의 영향을 알아내는 것이며, 일반적으로 가장 많이 적용하는 온도시험이다[8].

절차 I-D는 절차 I-A에서 I-C와 같지만 고온 또는 저온이 아닌 주변온도로부터 시작하는 열 충격을 시

험하는 절차이다. 대한민국 운용 전투기의 경우 주변 온도에서 저온, 또는 고온으로의 이동과 빠른 상승과 하강 시의 온도 충격을 대비하여 본 시험을 수행해야한다고 판단하였다.

3.5 Solar Radiation

505.6 Solar Radiation은 군수품에 대한 태양열 및 화학산의 영향을 평가하는 시험이다. Table 5는 기상청에서 확보한 지역별 최고 일사량이다.

기상청의 자료에 따르면 시간대 별 최고 일사량을 기록한 지역은 광주(878 W/m²)로, 광주의 최고 일사량을 기록한 날의 시간별 일사량과 MIL-STD-810G Change 1에서 언급하고 있는 Cycling Test와 비교하면 Fig. 5와 같다.

전투기 운용 지역을 대한민국으로 제한했을 때, MIL-STD-810G Change 1에서 언급하고 있는 최대 일사량 1120 W/m²까지 시험할 필요는 없고, 900 W/m² 전후의 값으로 시험을 진행하면 될 것으로 판단된다.

MIL-STD-810G Change 1의 태양열 시험에는 Heating Effect와 Actinic Effect 두 가지의 절차가 있는데, 이 중 actinic effect만이 가속시험이 가능하다. 화학산 영향 절차의 경우는 이따금씩 사용되는 시험 품목은 10 사이클 시험이 명시 되어있고, 지속적으로 외부 환경에 노출되는 시험 품목은 56 사이클의

Table 5. Highest solar radiation at Korean air bases

Location	Max. Solar Radiation(W/m ²)
Jinju	711
Gangneung	803
Seosan	300
Daegu	858
Gwangju	878
Gimhae	856
Baekryongdo	850

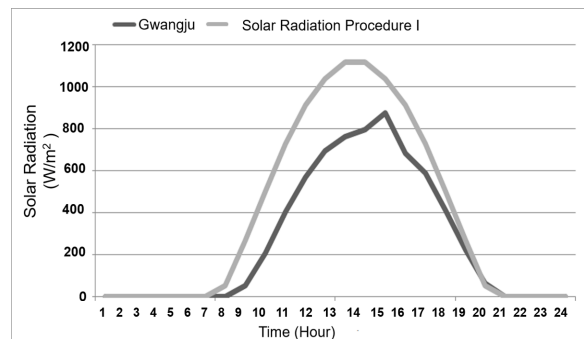


Fig. 5. Cycling test comparison

시험을 권고하고 있는데, 1 사이클의 소요시간이 하루이기 때문에 후자의 경우 통상적으로 가속 시험을 진행한다. 총 시험 사이클의 수는 Test Plan에 따라 시험 품목이 필요로 하는 만큼 테일러링이 가능하다.

3.6 Rain

대한민국은 여름철 장마기간에 최대 강수량이 발생한다. Table 6은 우리나라 주요 공군기지의 강수량을 기상청의 자료를 참고하여 나타냈다.

강풍의 최대 강수량은 MIL-STD-810G Change 1의 1.7 mm/min과 비교하면 거의 비슷한 값을 가진다. 따라서 국내에서만 운용될 전투기를 시험할 경우, MIL-STD-810G의 지침대로 시험을 진행하여도 무방하다고 판단하였다.

3.7 Humidity

대한민국의 여름은 고온 다습한 기후이기 때문에 대부분의 군수품의 습도의 영향을 피할 수 없으므로 507.6 Humidity 시험은 필수적이다. 특히 전투기는 온도와 습도에 민감한 전자 장비를 많이 탑재하고 있어 습기로 인해 절연체가 손상되는 등 습도에 취약하다. 따라서 대한민국 운용 전투기는 습도 환경에 직접적으로 노출되기 때문에 구성품 수준에서 습도 시험을 진행하여야 한다. 또한 대한민국의 고온 다습한 기후이므로 Humidity의 Natural Cycle B2(Cyclic High Humidity)와 비교했을 때, 기온 및 습도가 비슷한 양상을 보이고 있는 것을 알 수 있다. Natural cycle B2는 상대적으로 낮은 온도에서 100% R.H.의 습도까지 포함하고 있다. Cycle B2에서 비위험물품(Non-hazardous Item)의 경우, 자연환경에서 45일(45 사이클), 유도환경에서 90일(90 사이클)동안 시험을 수행해야한다. 위험물품(Hazardous Item)은 군수품의 고장으로 인해 인근 물품이 손상되거나 인명피해가 발생할 수 있는 품목으로, 자연환경에서 90일(90 cycle), 유도환경에서 최장 180일(180 cycle)의 시험기간을 필요로 한다. 더 많은 주기의 시험을 수행한다면 더욱 더 높은 신뢰성을 제공할 수 있지만, Test Plan에 따라 시험 설계자가 적절한 시험기간을 정할 수 있다.

Table 6. Highest rainfall at Korean air bases

Location	Max. Rainfall(mm/min)
Jinju	0.967
Gangneung	1.675
Seosan	1.333
Daegu	1.150
Gwangju	1.442
Gimhae	0.967
Baekryongdo	0.992

Table 7. Different types of fungi affecting materiel [3]

Fungi	Materials Affected
<i>Aspergillus flavus</i>	Leather, fiber, rubber, electric insulation, was, packaging material
<i>Aspergillus versicolor</i>	Leather, glue, fiber, gasket, cables, PVC, solenoid, switches
<i>Penicillium funiculosum</i>	Fiber, plastic, cotton, macromolecule, gasket, cable, PVC, solenoid, switches
<i>Chaetomium globosum</i>	Cellulose, packaging material, fiber, hydrocarbon, papers
<i>Aspergillus brasiliensis</i>	Fiber, vinyl, coating, glass, insulation, leather

3.8 Fungus

508.7 Fungus 시험법은 곰팡이의 성장이 군수품의 성능 또는 사용에 얼마나 큰 영향을 미칠 수 있는가를 평가한다. 또한 야전 환경에서 효과적으로 보관될 수 있는지 여부와 간단한 청소 절차가 있는지 판단하는 것도 이 시험의 주목적이다. Fungus 시험의 경우 외부 시험소(미생물 관련 시험소)에 의뢰를 하는 경우가 통상적이며, 미생물이 자랄 수 있는 모든 구성품에 적용한다. 또한, 시험을 의뢰할 시 구성품 자체에 대한 시험을 수행하기보다는 구성품 표면 등 균류가 자랄 수 있는 환경의 시편을 채취하여 샘플 시험을 진행한다. Table 7은 MIL-STD-810G에 제시되어있는 균류와 재료를 나타내고 있다. 나열되어있는 재료 외에 Radome 표면에 사용되는 페인트 등에도 곰팡이가 성장할 수 있으며 Fuel Tank에도 연료와 습도로 인해 균류의 번식이 쉽다.

Aspergillus flavus, *Aspergillus versicolor*, *Penicillium funiculosum*, *Chaetomium globosum*, *Aspergillus brasiliensis*의 균류가 MIL-STD-810G에 소개되고 있으며 대한민국 운용 전투기에 사용될 것으로 예상되는 재료들이 다섯 가지 균류로부터 영향을 받을 것으로 판단되어 MIL-STD-810G에 제시되어있는 모든 균류 시험을 시행해야 한다고 판단된다.

균류는 적당한 온도 및 습도에서 계속적으로 번식한다. 전투기 자체뿐만 아니라, 사용자에게 Allergy 등 생리학적인 문제를 유발할 수 있으므로[9] 대한민국 운용 전투기에 필수적으로 적용해야 한다.

Table 8. Highest percent salt concentration of selected tide stations

Location	Max. salt concentration(%)
Incheon	3.55
Mokpo	3.38
Leodo	3.42
Jeju	3.50
Yeosu	3.55
Busan	3.39
Ulleungdo	4.14

3.9 Salt Fog

대한민국 운용 전투기는 대부분 외부에서 보관 및 운용되기 때에 염분에 의한 직접적인 영향에 대한 시험이 필요하다. 염무 시험은 통상적으로 Sample Test를 진행하며 시험 품목의 표면에 일어날 수 있는 부식이나 전기적, 물리적 변형을 판단하기 위해 수행한다. Table 8은 해양수산부 국립해양조사원의 자료를 참고한 최대 염분을 나타낸다.

최대 염분은 동해안 울릉도에서 4.14%를 기록했고 평균은 3.57%이다. 해수의 대표적인 염분도는 약 3.47%이고, 태평양 약 3.46%, 대서양 약 3.49%이다. 509.6 Salt Fog에서는 염용액 농도를 5±1%로 사용할 것을 추천하므로, 본 연구에서는 조사한 결과를 바탕으로 염용액 농도를 4.0~4.5%로 설정해야한다고 판단하였다. 이는 MIL-STD-810G가 권장하는 5±1%의 염분 농도와 비슷한 수준이다. 또한, 시험 지속시간은 48시간의 염분 노출과 48시간의 건조가 통상적이지만, 24시간의 염분 노출과 24시간의 건조를 두 번 반복하는 것이 더욱 가혹하고 정확한 결과를 나타낼 수 있다.

3.10 Sand and Dust

510.6 Sand and Dust는 모래와 먼지에 관련된 시험법으로, 운용 시 모래와 먼지에 취약한 항전장비에 적용한다. 먼지는 개구부를 막고 금, 갈라진 틈, 베어링 및 이음새로 침투할 수 있기 때문에, 먼지의 영향에 대해 저항성과 성능을 평가하고 필터의 효율성을 평가한다. 모래 또한 막힘 효과를 유발하지만, 모래 입자 중 날카로운 입자에 의해 침식(부식)을 유발할 수도 있다. 모래와 먼지는 항공기 외관 외에 민감한 항전장비에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 한반도의 경우 사막이 존재하지는 않지만 공기 중의 미세먼지 또한 장비에 심각한 손상을 줄 수 있기 때문에 본 시험은 필수적이라고 판단하였다. 또한, 모래 및 먼지 시험의 경우 시험 후 시험 품목에 손상이 가는 파괴성 시험이기 때문에 시험에 사용된 시제는

실제 전투기에 장착될 수 없으므로 시험을 수행할 경우 비용적인 면에서도 신중을 가해야 한다.

MIL-STD-810G Change 1에서는 모래 입자가 150 μm에서 850 μm 사이로 시험을 진행하도록 명시하고 있다.

먼지 시험의 경우, 황사의 주성분인 황토의 경우 0.2~20 μm의 크기이며 대한민국에 도달하는 입자의 크기는 1에서 10 μm이다[10]. 따라서 작은 먼지 입자에 대한 시험 또한 개별로 진행해야 하며, 대한민국에서 문제가 되고 있는 황사의 크기인 0.2에서 20 μm 크기에 대한 시험을 수행하여야 한다고 판단된다. 현재, 국내 시험소 중에서는 KTR에서 가장 큰 모래 및 먼지 시험 챔버를 보유하고 있으며, 구성품 수준에서의 시험이 가능하다.

3.11 Icing/Freezing Rain

521.4 Icing/Freezing Rain의 시험 목적은 군수품의 작동 성능에 대한 결빙 영향을 평가하는 것이다. 동결강우 현상은 온난 전선이 형성된 대기에 상태에서 많이 발생하며 과정이 여러 단계로 복잡하게 발생하지만, 해면고도에서는 군수품 표면에 얼음이 코팅되는 현상이다[11]. 본 시험은 단일 질차이지만 운용 환경에 맞게 질차를 변경할 수 있다. 하지만 초기 시험에 사용되는 물의 온도는 시험 품목에 잘 침투할 수 있도록 0°C 이상의 온도를 사용할 것을 권유한다. 분사속도는 25 mm/hr을 권유하며, 얼음 두께는 측정된 데이터가 존재하지 않을 경우 6 mm(일반적인 가벼운 부하), 13 mm(일반적인 중간 부하), 37 mm(높은 지상 하중), 75 mm(혹독한 지상 부하)를 권유하고 있다. 대한민국 운용 전투기의 경우 운용중 항공기 엔진에 결빙 증식 가능성을 고려하여 시험을 수행해야 한다. 40 micron 정도의 작은 얼음도 전투기 엔진에 큰 악영향을 미칠 수 있다. 차가운 기체 표면에는 얼음 결정이 달라붙지 않지만 비교적 따뜻한 엔진 쪽의 표면에는 결정이 부분적으로 용융되어 붙을 수 있다. Fig. 6은 2015년 McKinley Climatic Laboratory에서 F-35에 대한 전기체 수준의 환경시험을 챔버 내에서 실시한 사진으로, -40°C 온도를 시작으로 Freezing Rain과 Ice Clouds를 포함하여 여러



Fig. 6. Full frame icing/freezing rain on F-35 [12]

가지 결빙 상태에서 진행한 시험의 예시이다[10]. 눈이 녹은 후엔 고온 시험이 진행하였는데 엔진 구동 후 27°C에서 49°C까지 온도를 높인 후 40°C, 74% R.H.에서 기내의 응결을 확인하였다. 그 후에는 강우 시험을 시간당 1.1 인치에서 3.3 인치씩 진행하였다. 열대 폭풍우를 재현하기 위해 44 mph의 바람을 생성한 시험이었다.

Icing/Freezing Rain은 공기가 과냉각된 물방울로 포화될 때 발생한다. 본 시험은 Rime Ice와 Glaze Ice의 두 가지의 얼음에 대해 시행한다. 먼저 Rime Ice는 노출된 물체 위로 닿을 때 과냉각된 물이 급속 동결에 의해 형성된 백색 또는 유백색의 불투명하고 까칠까칠한 얼음으로 Glaze Ice보다 더 가볍고 부드럽다. 농도는 0.2 g/cm³(Soft Rime)과 0.5 g/cm³(Hard Rime)이다. Glaze Ice는 과냉각 수증기의 필름을 동결시킴으로써 노출된 물체에 형성하며, 대체적으로 투명하고 부드럽지만, 에어 포켓을 갖는 얼음이다. Glaze Ice는 Rime Ice보다 농도가 짙고 단단하며 더 투명하다. 농도는 0.6 g/cm³에서 0.9 g/cm³이다. Freezing Rain으로부터 형성된 얼음은 대한민국 운용 전투기의 무게 증가, 에어포일 형상의 변형을 유도하여 항력을 높이고 양력의 증감을 초래하여 최악의 사고를 일으킬 수 있다. 또한 Engine Inlet으로 들어가는 얼음들은 엔진에 과도한 진동을 초래할 수 있다. 운용 시 얼음으로 덮인 일부 군수품은 먼저 제빙 절차를 거치지 않고 즉시 작동 할 것으로 예상 될 수 있으나, 항공기 에일러론(플랩) 같은 경우 De-icing을 할 때까지 작동하지 않을 수도 있다. MIL-STD- 810G는 과냉각된 구름층에서 발생하는 강설환경이나 결빙에 대한 시험법이 아니므로, 항공기 운용에 대한 시험은 비행시험을 통해 따로 검증되어야 한다. 현재 국내에는 한국조선해양기재연구원에서 본 시험을 수행할 수 있는 Walk-in Chamber를 보유하고 있다. 국내에서 동결강우 기상 현상이 보고되고 있으므로 대한민국에서 운용될 전투기는 본 시험을 필수적으로 실시해야 한다고 판단하였다[13].

IV. 유도환경 항목 적용/미적용 근거 (적용 9 항목/미적용 9 항목)

Table 9에는 유도환경에서 적용/미적용할 시험법을 나열하였다.

MIL-STD-810G에서 유도(Induced)의 의미는 자연적이지 않은 모든 환경을 의미한다. 대한민국 운용 전투기에는, 앞서 언급하였던 자연환경 시험법들과는 다르게 유도환경 시험법은 모두 적용하지 않는다. 대한민국 운용 전투기는 모든 자연환경에 노출되는 반면 유도환경은 18가지 항목 중 10가지 항목에만 노출된다. 다음 장에서는 시험 비용 절감과 과대 설계를 방지하기 위해 대한민국 운용 전투기에 필수적으

Table 9. Induced environment methods

No.	Apply/ Non-apply	Methods
504.2	Apply	Contamination by Fluids
511.6	Apply	Explosive Atmosphere
512.6	Apply	Immersion
513.7	Apply	Acceleration
514.7	Apply	Vibration
515.7	Apply	Acoustic Noise
516.7	Apply	Shock
517.2	Non-apply	Pyroshock
518.2	Apply	Acidic Atmosphere
519.7	Apply	Gunfire Shock
520.4	Non-apply	Temperature, Humidity, Vibration, and Altitude
522.2	Non-apply	Ballistic Shock
523.4	Non-apply	Vibro-Acoustic/Temperature
524.1	Non-apply	Freeze-Thaw
525.1	Non-apply	Time Waveform Replication
526.1	Non-apply	Rail Impact
527.1	Apply	Multi-Exciter Testing
528.7	Non-apply	Mechanical Vibrations of Shipboard Materiel

로 수행해야 할 시험법과 미적용해도 무방한 시험법들에 대한 논리를 나열하였다.

4.1 Contamination by Fluids

504.2 Contamination by Fluids 시험법은 유체나 액체에 의해 간헐적으로 또는 장기간 노출되었을 경우 항공기에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 시험이다. 본 시험법 또한 Salt Fog 시험법과 비슷하게 시제를 이용한 Sample Test를 진행하며, 유체와 접촉이 있을 수 있는 모든 구성품 표면에 진행한다. 절차 I은 항공기나 선박, 자동차 등 운송 장비에 대한 시험이며 절차 II는 의류, 탄약 등에 대한 시험 절차이다. 오염 유체로는 연료, 유압유, 윤활유, 세척액, 제빙 및 부동유체, 활주로 제빙기, 살충제, 살균제, 냉각제 유전체 유체, 소화기 등이 있다. 유압유나 윤활유의 경우 모두 일정하게 산성을 띄며 부식을 일으키기 때문에 유체오염 시험이 필수적이다. F-16의 경우 광유 기반 유압유를 사용하고 있으며, 합성 에스테르 윤활

Table 10. Use of snow removal material at main airports in Korea

Airport	Snow removal used	Chemicals
Incheon	De-icing	Urea 500 ton
		Potassium Acetate 400,000 L
Jeju	Anti-freezing	Urea/Low-sodium/Eco-friendly anti-freezing agent 171 ton
Gwangju	Anti-freezing	Urea/Low-sodium anti-freezing agent 120 ton
Sacheon	Anti-freezing	Urea 50 bags
Gimhae	Anti-freezing	Low-sodium anti-freezing agent 38 ton

유를 사용한다. 또한 동절기 엔진에 대한 방빙액에 에틸렌과 프로필렌 글리콜 혼합물을 사용하고 있다. 대한민국 운용 전투기에 유체오염 영향을 가할 수 있는 연료, 제빙/방빙액, 활주로 제빙액을 고려하여 시험을 수행해야 할 것으로 판단하였다. Table 10은 국토교통부의 항공정보회람(Aeronautical Information Circular, AIC)에서 제공하는 대한민국의 공항 일부에 대한 제설자재의 사용 현황을 나타낸다.

MIL-STD-810G Change 1에서는 초산칼륨 기반의 제품을 기본적으로 사용하는 것을 추천한다. 미국의 경우 제설자재를 초산칼륨으로 교체했으며 대한민국에서는 인천공항에서만 사용 중이다. 다른 주요 공항에서는 요소, 저염화물제설제 등을 사용하며 이에 따른 유체오염 시험을 진행해야 할 것으로 판단된다. 현재 국내에는 한국기계연구원 신뢰성평가센터를 포함한 다수의 시험소가 유체 오염 시험 장비를 보유하고 있다.

4.2 Explosive Atmosphere

511.6 Explosive Atmosphere는 항공 연료 등 폭발성 대기에서 작동하거나 포장되어진 항공기 부품에서 일어날 수 있는 폭발 또는 연소반응이 부품 이외로 전파하지 않음을 입증하는 시험이다. 폭발 가능성이 없는 40,000 ft 이상의 고도에서는 산소가 부족하기 때문에 시험을 하지 않는다. 항공기와 관련된 연

료-기체 폭발성 대기 부근에서 사용되도록 고안된 군수품에 적용하므로, 전투기의 Engine, APU, Fuel Tank 등 연료를 사용하는 구성품에 시험을 수행한다. 본 시험법에는 절차 I인 Explosive Atmosphere와 절차 II에 해당하는 Explosion Contamination이 있다. 절차 I은 밀봉의 여부의 관계없이 모든 구성품에 시험하며, 절차 II는 밀봉된 케이스 등의 내부 부품의 오작동으로 인한 폭발에 대한 결과를 시험한다. Engine과 APU의 경우 절차 I을 적용하며, Fuel Tank는 가연성 연료를 포함하고 있기 때문에 절차 II를 적용할 수 있다고 판단된다. Explosive Atmosphere 시험은 압력 및 온도에 따라 폭발 가능성이 달라지기 때문에 항공기의 방폭 성능의 입증에 필수적이다[14].

4.3 Immersion

항전장비는 침수에 매우 취약하다. 특히 비행기록장치(Flight Recorder) 또는 비행데이터기록장치(Flight Data Recorder)는 침수 시험을 필수적으로 진행하여야 한다. MIL-STD-810G는 세 가지의 침수 시험 온도 조건을 제시하고 있다. 첫 번째는 시험 품목의 온도를 물 온도보다 27°C 높게 설정하여 침수 직후 태양열 노출을 시험할 수 있다. 두 번째 조건은 시험 품목의 온도를 물 온도보다 10°C 높게 설정하는 것으로, 일반적인 온도차에서 시험을 수행하는 것이다. 마지막으로 시험 품목의 온도를 물의 온도와 같게 시험하는 것으로 온도차가 없는 상황을 시험하거나 사이즈가 큰 군수품 같이 온도 조건을 설정하기 어려운 경우 수행한다. 때에 따라 수용성 형광물질을 사용하여 물이 새는 경로를 파악하기도 한다.

4.4 Acceleration

513.7 Acceleration 시험은 가속, 감속, 급속한 궤도 변경에 의해 유도되는 부하를 견딜 수 있는지와 이러한 유도환경에 노출 시 성능의 악화 없이 기능을 적절하게 수행할 수 있는지에 대한 시험으로 대한민국 운용 전투기의 모든 구성품이 운용 시 가속도에 노출되므로 필수적으로 적용해야 한다. 가속도로 인해 발생할 수 있는 영향은 전투기 부품의 작동을 방해하는 구조적 변형, 작동을 불가능하게 하는 영구적인 변형, 밀봉 손상 등이 있다. 본 시험에는 절차 I Structural Test, 절차 II, Operational Test, 절차 III Crash Hazard Acceleration Test가 있다. 절차 I은 구조적 시험으로, 가속도에 의해 유도된 부하를 전투기의 부품이 구조적으로 견딜 수 있는지를 확인하기 위하여 사용된다. 절차 II는 작동 시험으로, 군수품이 사용 중 가속도에 의해 유도된 부하에 인가 중·후에 열화 되지 않고 작동하는지를 확인하기 위하여 사용된다. 절차 III은 군수품이 파손될 가능성이 높은 가속도에 의해 장착이 느슨해져 분해되거나 파손되지 않는 것을 증명하기 위하여 사용된다.

4.5 Vibration

514.7 Vibration 시험법은 군수품이 수명기간 동안 진동에 노출되었을 시 적절히 운용될 수 있는지에 대한 시험법이다. 진동은 구조적 피로도 및 부품의 마모를 초래할 수 있다.

MIL-STD-810G Change 1에는 수송과 운용 중 필요한 시험 프로파일을 서술하고 있다. 수송에는 트럭이나 트레일러로 포장 또는 비포장도로를 사용하여 운반 시 생기는 진동, 이륙 중 발생할 수 있는 진동, 회전익기로 수송 시 나타날 수 있는 상대적으로 높은 진폭의 진동, 선박으로 이동 시 나타날 수 있는 진동이 있다. 운용 중에 나타날 수 있는 진동은 전투기에 탑재된 물체의 진동과 엔진 소음이나 외부 항공기 구조물에 대한 난류로부터의 진동, 회전익 항공기의 프로펠러 진동, 계류 비행 시 나타나는 소음진동, 내부 무장창으로 인한 미사일 진동 및 터빈 엔진의 진동이 있다. 이 중, 대한민국 운용 전투기에 적용할 수 있는 수송 진동은 트럭이나 트레일러로 육로 운송 시 생겨나는 진동과 선박으로 수송 시 생겨나는 진동을 고려해야 한다. 육로 수송은 전투기의 부품을 운반 시 진동을 시험하며 선박의 경우 해외 수출 또는 국내 시험소의 부재로 해외에서 시험을 수행해야 할 시 선박을 이용할 가능성이 높기 때문에 구성품 단계에서 시험을 해야 한다고 판단하였다. 운용 중에는 전투기에 탑재된 물체의 진동 및 내부 무장창 탑재로 인한 미사일 진동을 고려해야 한다고 판단하였다. 진동 시험은 탑재 장비 수준에서의 적절성을 판단하기 위해서 센서를 부착하여 비행 중 데이터를 획득하기도 하며, 시험소에서 구성품 단위 또는 부체계 단위에 대한 진동시험을 진행하는 방법이 있다.

4.6 Acoustic Noise

515.7 Acoustic Noise는 규정된 청각 환경 속에서 군수품이 기능 혹은 구조적인 무결성을 지속할 수 있는지에 대해 판단하는 시험법이다. 소음 환경은 전투기의 엔진, 전투기 외부, 미사일 등으로부터 나타날 수 있다. Acoustic Noise는 Cockpit, Engine, APU, Landing Gear, Internal Weapon Bay 등 소음으로 인한 장비의 손상이 예측될 수 있는 구성품에 적용할 수 있다. MIL-STD-810G Change 1의 현실적인 가이드라인은 130 dB 이상의 소음이 발생하면 본 시험법을 수행해야 한다고 제시되어 있으며, 일반적으로 엔진은 이착륙 시 140 dB 이상의 소음을 발생시키므로 대한민국 운용 전투기의 내구성을 검증하기 위하여 반드시 수행해야 한다고 판단하였다.

4.7 Shock

516.7 Shock은 군수품의 수송 및 운용 환경에서 물리적인 충격을 견딜 수 있는지에 대한 신뢰도를 제공하므로 대한민국 운용 전투기에 구성품 수준에

서 필수적으로 적용해야 할 항목으로 분류하였다. 충격으로 인한 손상에는 부품 간 마찰의 증가 또는 감소로 인한 손상, 절연 저항의 손실, 깨지기 쉬운 재료(세라믹, 에폭시 등)의 파손 등이 있다. 충격 시험에는 총 여덟 가지의 절차가 있다. 절차 I은 작동 충격으로, 운용 중 작전 현장에서 접할 수 있는 대표적인 충격으로부터 손상되지 않음을 시험한다. 절차 II는 수송 시 연속적인 충격 환경에서 부품들의 무결성을 시험한다. 절차 III은 마운트 된 부품에 대한 충격 시험이며 절차 IV는 수송 시 낙차 시험으로 야전 용도로 만들어진 군수품의 낙차 시험이다. 절차 V는 사고 위험 충돌 시험으로 공중 또는 지상 수송매체에 부착된 부품이 부착으로부터 떨어지거나 그러한 수송매체를 운용하는 인명에 대한 피해를 대비하는 시험이다. 절차 VI는 벤치 정비 또는 포장이 적용될 수 있는 군수품을 위한 것으로 전반적인 충격에 상관없이 돌출부 등 손쉽게 손상될 수 있는 군수품에 대한 시험이다. 절차 VII는 대형 수화물 컨테이너의 수평 충격에 대한 저항을 시험하며, 절차 VIII는 항공기 사출기 발진 및 사출 제어를 전제로 하는 고정익 항공기에 부착되는 군수품에 대한 시험이다.

4.8 Pyroshock

517.2 Pyroshock은 Space Simulation이며 유인 우주선에는 사용하지 않는 발화장치(폭발성 또는 추진체 활성화)와 관련된 시험법이다. 본 시험법은 대개 인공위성의 발사 및 초기 배치 작업 기간 동안의 무결성 등 우주 발사 관련 비행체를 시험 시 필수적인 시험법이므로 대한민국 운용 전투기와는 무관하여 미적용해도 무방하다고 판단하였다.

4.9 Acidic Atmosphere

518.2 Acidic Atmosphere 시험은 부식성 대기에 대한 군수품의 저항력과 보호 코팅의 성능을 평가하는 시험이다. 본 시험법은 빗물에 인한 산성대기에 노출될 수 있는 전투기의 외부 표면에 Sample Test를 적용한다. 따라서 산성 대기로 오염된 산업지역이 밀집한 곳에서 운용되거나 연료 연소 부품의 배기구 근처에는 반드시 적용해야 하는 시험법이다. 적용 설정 근거로는 대한민국의 산성비를 예로 들 수 있다. 황산화물(SOx)이나 질소산화물(NOx)과 같은 대기 오염물질과 깊은 관련이 있으며 산성비는 이러한 산화물이 산화된 후 빗물에 녹아 형성된다. MIL-STD-810G에 따르면 3.0 mg/L의 황산이온과 2.2 mg/L 질산이온을 증류수에 혼합하면 대략적으로 pH 4.17의 산성도를 띄게 되며, 이러한 산성도는 미국 동부와 공장지대로 밀집된 곳에서 나타나는 최악의 산성비 조건이라고 명시되어 있다.

Figure 7은 대한민국 빗물의 산성도(pH)와 주요 이온인 황산이온과 질산이온의 지리분포를 표현한다.

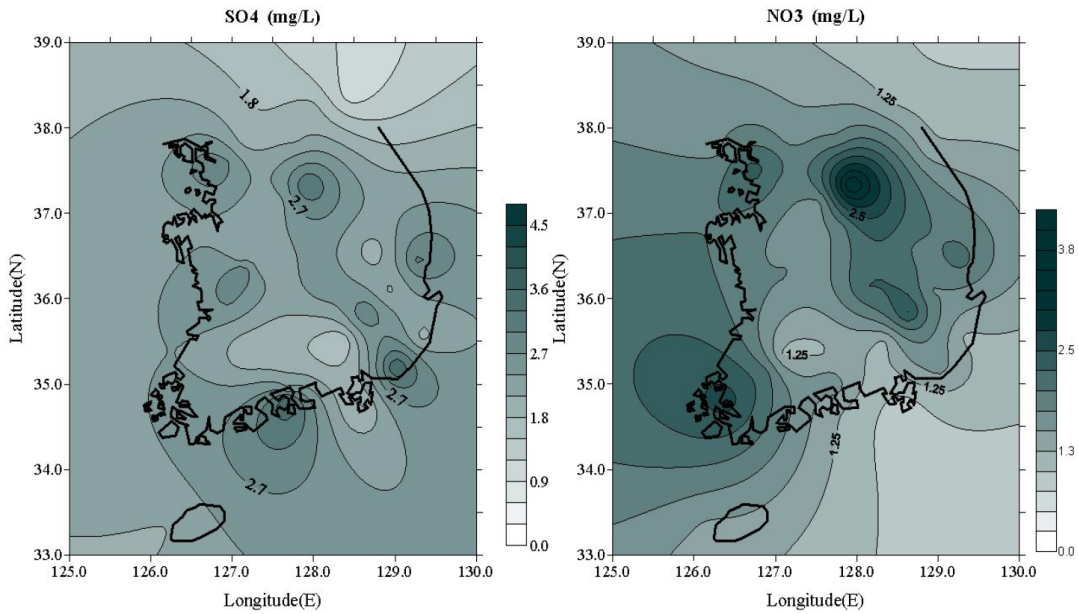


Fig. 7. Spatial distributions of major ion concentration in precipitation [15]

황산이온은 최대 3.3-3.6 mg/L(13.2-14.4 mg/4L)이고, 질산이온은 최대 3.2-3.8 mg/L(12.8-15.2 mg/4L)에서 분포한다[15].

MIL-STD-810G에서 제시한 가장 가혹한 산성 대기 조건을 기준으로 황산이온의 농도는 거의 비슷한 양상을 보이고 있지만 질산이온은 상대적으로 질산이온의 경우 기준보다 더 높게 관찰되었다. 황산이온은 해안지역과 중부내륙지역에서 높은 농도 분포를 보이고 있고, 질산이온은 중부내륙지역과 서해안 쪽에서 비교적 높게 나타났으며 남해안지역에서는 황산이온 질산이온 모두 낮은 농도분포를 보였다.

또한 본 시험법은 Salt Fog 시험법으로 대체할 수 없는 시험법이므로 대한민국 운용 전투기에 필수적으로 적용해야 한다고 판단하였다.

4.10 Gunfire Shock

519.7 Gunfire Shock의 시험 목적은 전투 상황에서 총기 발포 시, 군수품이 일시적 또는 반복적인 충격을 받은 후 군수품의 구조적, 기능적 무결성을 시험하는 것이다. 따라서 발포충격이 전달되는 범위 안에 위치하고 있는 LRU에 본 시험법을 적용해야 한다고 판단하였다.

4.11 Temperature, Humidity, Vibration, and Altitude

520.4 Temperature, Humidity, Vibration, and Altitude는 F-15를 기반으로 개발되었으며 테일러링을 거친다면 다른 전투기에도 응용이 가능하다. 본 시험의 목적은 온도, 습도, 진동과 고도가 복합적으로 비행 중 군수품에 미치는 영향을 분석하기 위해 수행한다. Fig.

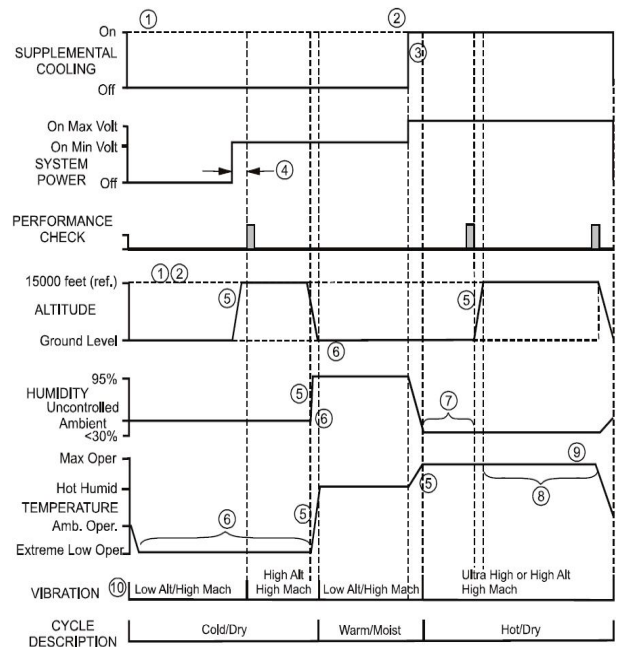


Fig. 8. Testing profile combining all the environmental factors into one test cycle [3]

8은 이러한 환경 요인들을 하나의 시험 주기로 결합한 시험 프로파일 중 Qualification Test Cycle의 예시이다. 본 프로파일의 숫자들은 다음을 의미한다[3].

- ① Taitlor temperature and flow of supplemental cooling to provide worst case heat dissipation
- ② Carefully tailor the platform/product specific factors
- ③ Minimum of 20°C per minute

- ④ Equipment warm-up time
- ⑤ Perform transition at maximum facility capability
- ⑥ Ideally, bleed hot / humid air into chamber so minimum soak follows achievement of all temperature, altitude, and humidity conditions
- ⑦ System thermal stability or 2 hours, whichever is greater
- ⑧ System thermal stability or 4 hours, whichever is greater
- ⑨ Carefully tailor high altitude operating temperatures
- ⑩ Vibration may be performed separately with temperature

본 시험법에서 가장 주요시되는 점은 적절한 테일러링을 수행하여 과잉 또는 과소 시험을 방지해야 한다는 것이다. 대한민국 운용 전투기에 사용될 수 있는 여러 재료의 재료들은 열팽창, 열 수축 등 다양한 온도에서 매우 다른 특성을 나타낼 수 있으며 특히 저온에서는 부스러지고 고온에서는 느슨해지는 특성이 나타날 수 있다.

이러한 복합적인 환경의 시험은 수행할 수 있는 챔버의 부재로 국내 환경 시험소에서 진행하기 어려워 국외 시험소로 반출해야하는 어려움이 있다. 따라서 이러한 복합시험을 수행하기보다는 온도, 습도, 진동, 고도 시험을 가장 가혹한 수준에서 시험하여 복합시험을 대체하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4.12 Ballistic Shock

522.2 Ballistic Shock은 두 개 이상의 물체간의 운동량 교환 또는 액체, 기체, 고체 간의 운동량 교환과 관련된 피탄 충격 시험이다. 피탄 충격은 일반적으로 기갑 전투차량에 대한 탄두 또는 병기 타격으로부터 초래되는 높은 레벨의 충격이다. 실제 충격 레벨은 차량의 종류, 사용되는 특수 무기, 타격 위치, 근접성 등에 따라 다르며, 또한 차량의 충격이 측정된 위치에 따라 다양하다. Ballistic Shock 시험법은 장갑 전투차량의 충격을 시험하는 시험법이므로 전투기에는 적용하지 않는다.

4.13 Vibro-Acoustic/Temperature

523.4 Vibro-Acoustic/Temperature 시험법의 목적은 비행 중, 항공기 외부에 장착되어 있는 군수품에 대한 진동, 소음 및 온도의 시너지 효과가 미치는 영향을 알아보기 위해 시행한다. 대한민국 운용 전투기에 미 적용 하는 근거는 진동-음향/온도 시험은 각각의 시험법에 대한 적합성 평가가 아니므로, 개별 시험에 대해서는 Altitude, High Temperature, Low Temperature, Temperature Shock, Humidity, Acceleration, Vibration, Acoustic Noise, Shock 시험을 따로 수행하는 것이 바

람직하다. 또한, 본 시험법은 계류 수송 비행(Captive Carry Flight) 시의 환경을 시험하는 것이기 때문에 대한민국 운용 전투기와는 무관하다고 판단하였다. 추후 외부 연료 탱크 등 계류 수송 비행이 불가피할 경우, 추가적인 시험을 수행할 수 있다.

4.14 Freeze-Thaw

524.1 Freeze-Thaw는 주변 온도와 동결점이 순환함에 따라 군수품 안팎에 존재하는 액체와 고체의 상변화가 미치는 영향과 차가운 곳에서 따뜻한 환경으로 혹은 따뜻한 곳에서 차가운 환경으로 이동할 때 유도되는 습기의 영향을 시험한다.

본 시험은 저온 시험으로 대체할 수 있기 때문에 미적용으로 분류하였다. Freeze-Thaw는 +5°C에서 -10°C의 일일주기 온도 범위를 사용한다. 저온 시험 중 가장 덜 가혹한 조건을 사용하더라도 -21°C에서 -32°C, 유도 환경 온도(저장 및 수송)는 -25°C에서 -33°C로 Freeze-Thaw보다 더욱 가혹한 조건에서 시험된다. 저온 시험의 절차에 따르면 주변온도에서 시작하여 3°C/min 이하의 온도 변화율로 가장 낮은 보관/운용 온도로 내리기 때문에 주변온도를 15°C로 가정해도 Freeze/Thaw 시험보다 더 넓은 온도 범위이기 때문에 저온 시험으로 대체하는 것이 가능하다고 판단된다.

4.15 Time Waveform Replication

525.1 Time Waveform Replication은 군수품이 군사작전 중 노출될 수 있는 측정 또는 추적을 견딜 수 있는 신뢰도를 제공하며 시험 시간 추적의 형태, 수준, 기간 또는 반복 적용과 관련하여 재료의 취약 수준을 실험적으로 추정한다.

본 시험은 시간 파형 복제에 사용되는 알고리즘을 사용하므로 충격 시험에서 사용된 알고리즘과 유사함으로 충격시험으로 대체할 수 있기 때문에 미적용으로 분류하였다. Time Waveform Replication은 사실상 비선형적인 시간 추적을 명백하게 다루지 않으며 현장에서 측정되는 모든 파형이 모두 쉽게 복제되는 것은 아니므로 시간 파형 복제 시험 대신 진동 또는 충격 시험을 사용해도 될 것으로 판단된다.

4.16 Rail Impact

526.1 Rail Impact의 목적은 군수품이 운반될 수 있는 철도 차량 충격 상황을 재현하는 것이다. 대한민국 운용 전투기의 수송은 트럭이나 트레일러를 사용한 육로 수송, 선박 및 공중 급유를 통한 직접 수송을 이용할 것이라고 예상되기 때문에 대한민국 운용 전투기와 무관하다고 판단하여 수행하지 않아도 된다고 판단하였다. 향후 철도로 인한 수송이 불가피할 경우, 수송될 군수품에 대한 선별적인 시험을 수행할 수 있다.

4.17 Multi-Exciter

527.1 Multi-Exciter의 시험 목적은 군수품이 동적 환경을 견뎌낼 수 있는지에 대한 신뢰도를 얻기 위한 시험이다. 단일 가진 시험으로는 실제군수품의 수명기간 동안 겪을 환경을 재현할 수 없으며, 실제로 여러 축에서 동시에 일어나는 자극에 대한 시험이 필요하다. 또한 크기가 크고 무거운 군수품의 경우 충분한 진동 또는 충격 에너지를 공급하기 위해 Multi-Exciter 시험을 수행하기도 한다. 시험 환경은 실제 측정된 결과로부터 유도해도 되고, 분석적으로 만들어 낸 사양을 바탕으로 유도할 수 있다. 본 시험법은 다중 축으로 시험 품목에 자극을 주는 일반적인 형태의 시험법으로, 현장에서 사용되는 군수품의 경계 조건을 실험실 내에서 완벽히 재현하기는 힘든 점을 유의하여야 한다.

4.18 Mechanical Vibration of Shipboard Materiel

528.7 Mechanical Vibration of Shipboard Materiel 시험법은 선박에 설치된 해군 선상 장비의 환경과 내부 진동에 관한 시험이며, 명시된 시험 절차는 해군 선박에 기계적인 진동이 가해지는 선박용 장비에 적용하며 대한민국 운용 전투기와는 무관하다.

V. 결 론

본 논문에서는 MIL-STD-810G Change 1의 자연환경 시험법과 유도환경 시험법에 대한 대한민국에서 운용될 전투기의 적용 여부와 각각 시험법에 따른 시험 수준 테일러링에 관한 연구를 진행하였다. MIL-STD-810D부터 테일러링 프로세스를 적극적으로 권장함을 통해 예상되는 환경에 따라 시험법 적용의 여부와 시험 수준을 정하게 되어 과도 또는 과소시험의 가능성을 줄이게 되었다. MIL-STD-810G Change 1에서 다루고 있는 자연환경 시험법은 대한민국에서 운용될 전투기에 모두 적용해야 한다고 판단하였고, 유도환경 시험법에서는 대한민국에서 운용될 전투기가 놓일 상황을 예상하여 적용 또는 미적용으로 구분하였다. 수립된 환경기준을 바탕으로 이용 가능한 챔버 여부를 확인하여 시험을 진행하나, 만일 국내에 챔버가 부재 시, 해외 시험소에 의뢰하는 방법도 고려해야 한다. MIL-STD-810G의 각각의 시험법에는 하나 이상의 절차가 존재 하므로 향후 연구에서는 한반도에서 운용될 전투기에 대한 절차에 대한 테일러링이 필수적이다.

후 기

본 연구는 2018년 과학기술정보통신부의 재원으로

한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다. (NRF-2017R1A5A1015311)

References

- 1) Baek, S. H., Kim J. K., and Kang, T. Y., "Study on the application method of the tailoring based on MIL-STD-810G," *Proceeding of The Korean Society of Mechanical Engineers Conference*, 2017, pp.24~24.
- 2) Kim Y. R., Hong, Y. W., and Kim, D. G., "MIL-STD-810 tailoring for Korean peninsula and periphery climate," *Journal of The Applied Reliability*, Vol. 18, No. 2, 2018, pp.95~103.
- 3) Department of Defense, *MIL-STD-810G w/Change 1, "Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests,"* 2014.
- 4) Moon, J. Y., Kim, D. G., Sung, I. C., and Hong, Y. W., "A study on the temperature guidelines for weapon system test and evaluation in the Korean peninsula," *Journal of The Korean Data and Information Science Society*, Volume 27, Issue 6, 2016, pp.1593~1600.
- 5) Kim, I. S., and Kang, C. W., "A temperature analysis study of Korea and its neighbor regions for temperature specification," *Journal of The Korea Institute of Military Science and Technology*, Volume 18, Issue 1, 2015, pp.55~65.
- 6) Department of Defense, *MIL-HDBK-310, "Global Climatic Data For Developing Military Products,"* 1997.
- 7) Aviation Accidents and Incidents, <http://aviationaccidents1.blogspot.com>.
- 8) Jung, D. S., Kim, C. J., and Han, Y. J., "Study on the temperature shock test MIL-STD-810 with amendments compare," *Proceeding of The Korean Society of Mechanical Engineers conference*, 2016, pp.2219~2221.
- 9) Lee, J. H., and Choi, B. O., "Research on fungus test through a comparison of the MIL-STD-810G w/change1 amendments," *Proceeding of The Korean Society of Mechanical Engineers conference*, 2016, pp.1379~1380.
- 10) Park, J. U., Lim, Y. H., Kyung, S. Y., An, C. H., Lee, S. P., Jeong, S. H., and Ju, Y. S., "Effects of ambient particulate matter (pm10) on peak expiratory flow and respiratory symptoms in subjects with bronchial asthma during yellow sand period," *Tuberculosis and Respiratory Disease*, Vol. 55, No. 6, 2003, pp.570~578.
- 11) Choi, Y. H., and Yang, W. S., "The

conceptual design of the water spray system for icing/ freezing rain tests," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Spring Conference Spring Conference*, April, 2016, pp.845~848.

12) F-35 During Freezing Rain Tests, <https://www.f35.com>.

13) Park, C. K., and Byun, H. R., "Three cases with the multiple occurrences of freezing rain in one day in Korea," *Atmosphere*, Vol. 25, No. 1, 2015, pp.31~49.

14) Lee, J. H., and Kim, D. S., "Explosive atmosphere test on the MIL-STD-810G w/Change 1 and experimental study for the verification of flame-proof," *Proceeding of The Korean Society of Mechanical Engineers Conference*, 2016, pp.1483~1487.

15) Han, J. S., Hong, Y. D., Ahn, J. Y., Chung, I. R., Shin, A. Y., Lim, B. K., Noh, S. A., Son, J. S., and Park, J. H., "Acid deposition monitoring and impact assessment (V)," *Internal Report*, National Institute of Environmental Research, 2008.