

MIL-STD-810F에 의한 고온시험방법

김 형 의 · 강 보 식 · 김 철

한국기계연구원

High Temperature Test Method by the MIL-STD-810F

Hyoung Eui Kim · Bo Sik Kang · Chul Kim

Korea Institute of Machinery & Materials

1. 서 론

MIL-STD-810F(Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests : 환경공학 고려사항과 실험실시험)는 군용장비(부품)를 개발할 때에 여러 가지 환경요소를 고려하여 장비를 설계하고 시험하기 위하여 만들어진 표준서이다. 이 표준서는 Part I 과 Part II 로 편성되어 있으며 Part I 에는 Tailoring 개념 및 Tailoring 과정이 설명되어 있고 Part II 에는 Tailoring 과정을 적용한 24개 환경요소에 대한 시험방법이 설명되어 있다. MIL-STD-810F는 비단 군용장비 뿐만 아니라 민수용 제품(부품) 개발과정에도 적용이 가능한 것으로 설명되어 있는데 부품을 설계하고 시험할 때에 MIL-STD-810F를 이용하려면 MIL-STD-810F의 기본바탕이 되고 있는 Tailoring 개념을 이해하지 않으면 안 된다. 따라서 신뢰성 응용연구 지난 호 ([1])에서는 Tailoring 개념 및 Tailoring 과정에 대해서 설명하였고 이번 호에서는 고온시험방법을 예로 들어 MIL-STD-810F의 환경시험 방법을 설명하고자 한다. 결론적인 것부터 설명한다면 MIL-STD-810C(1975)까지는 cook book의 성격으로 고온시험은 +71℃, 저온시험은 -57℃ 등 시험 stress 수준을 제시하고 있었으나 ([1]), MIL-STD-810D(1983) 개정판부터는 시험에 적용할 stress 수준을 직접적으로 제시하지 않고 Tailoring 과정을 통해서 stress 수준을 설정할 것을 권장하고 있다.

따라서 MIL-STD-810F도 고온시험에 대해서 시험방법 및 시험절차에 대해서는 자세하게 설명하고 있으나 시험에 적용할 온도에 대해서는 그 수준을 제시하지 않고 있어 시험대상 부품에 대한 특성 및 수송, 저장, 사용 온도에 대하여 충분한 검토가 없이는 시험하기가 어렵다.

2. 실험실 시험 공통사항

2.1 MIL-STD-810F의 세부시험항목

- MIL-STD-810F의 고온시험방법은 다시 저장시험과 작동시험으로 구성되어 있는데 24개 환경요소에 대한 세부시험항목을 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> MIL-STD-810F 세부시험항목

항목번호	시험항목	세부시험항목
500.4	저압	①저장시험 ②작동시험 ③급속강압시험 ④폭발감압시험
501.4	고온	①저장시험 ②작동시험
502.4	저온	①저장시험 ②작동시험 ③Manipulation시험
503.4	온도충격	①고정충격시험 ②주기적 충격시험
504	오염	①유체에 의한 오염시험
505.4	태양복사	①주기적 복사시험 ②고정 복사시험
506.4	강우	①Rain and Blowing Rain시험 ②Watertightness시험 ③Drip시험
507.4	습도	①습도시험
508.5	곰팡이	①곰팡이시험
509.4	염수분무	①염수분무시험
510.4	모래먼지	①Blowing Dust시험 ②Blowing Sand시험 ③Settling Dust시험
511.4	폭발대기	①폭발대기(Explosive Atmosphere) 시험
512.4	침수	①침수시험 ②도하시험
513.5	가속	①Structural Test ②Operational Test ③Crash safety Test
514.5	진동	①General Vibration시험 ②Cargo Transportation시험 ③Large Assembly Transportation시험 ④Assembled Aircraft store captive carriage and free flight시험

515.5	소음 (Acoustic)	①Diffuse Field시험 ②Grazing Incidence시험 ③Cavity Resonance시험
516.5	충격	①기능시험 ②포장시험 ③깨짐시험 ④낙하시험 ⑤취급시험 ⑥철도시험 ⑦Catapult Launch/Arrested Landing시험
517	불꽃(Pyro-shock)	①Actual시험 ②Simulated시험 ③Mechanical시험 ④Electrodynamic시험
518	산성대기	①산성대기(Acide Atmosphere)시험
519.5	발사 진동	화포발사와 관련되는 진동시험 4가지
520.2	온도, 습도, 진동, 고도	(복합환경)①Engineering시험 ②Development시험 ③Flight or Operation Support시험 ④Qualification시험
521.2	결빙	(복합환경)①결빙/강우결빙
522	탄도충격	(복합환경)탄도충격(Ballistic Shock) 관련시험 5가지
523.2	진동, 소음, 온도	(복합환경)①진동-소음-온도시험

2.2 실험실 시험방법 공통적용사항

MIL-STD-810F에서는 고온시험 뿐만 아니라 24개 각 환경요소에 대해서 실험실 시험을 실시할 때에 별도 규정이 없는 한 아래 사항을 공통적으로 적용하도록 권장하고 있다.

1. 표준대기조건

- 온도 : 25℃ ± 10℃
- 상대습도 : 20% ~ 80%
- 대기압력 : 장비 배치 장소의 압력

2. 시험조건 허용공차

- 온도 : ±2℃
피 시험체 온도분포 : 1℃/m 또는 최고 2.2℃
5m³보다 큰 제품 : ±3℃
100℃이상 요구되는 시험: ±5℃
- 압력 : ±5% 또는 ±200Pa 중 큰 것
- 상대습도 : ±5%

- 가진 진폭 : sine진동 $\pm 10\%$, 랜덤진동 514.5 진동시험법 참조
- 가진 주파수 : 25Hz 이상 시 $\pm 2\%$, 25Hz 미만에서 $\pm 0.5\text{Hz}$
- 가속도 : 10%
- 시험기간과 자료수집기간 : 8시간 이상 시험은 5분, 8시간미만 시험은 1%
- 공기속도 : 10%

3. 시험시설 : 교정 측정변수는 허용공차의 1/3이내 정확도 유지

4. 작동온도 안정화 : 시간당 2°C 이내 변화로 안정화

5. 시험순서 : 여러 가지 환경요소에 대해서 시험할 때 일반적으로는 부품 손상이 적을 것으로 판단되는 환경요소부터 실시

6. 시험수준 결정

- 평가대상 제품과 동일하거나 유사한 제품의 환경부하 수준을 참조하여 시험수준, 범위, 비율, 시험기간 등을 결정
- 참조할 자료가 없을 때는 환경부하를 직접측정
- MIL-STD-810F에는 환경요소에 대해서 stress수준을 직접 측정할 수 없을 때 참고할 수 있는 자료가 포함되어 있는데 몇 가지 예를 들면 아래와 같다.
 - Basic Hot지역의 고온온도 주기(Table 501.4-I)
 - Hot지역의 고온온도 주기(Table 501.4-II)
 - 고온 일일 온도주기 범위(Table 501.4-III)
 - 저온 온도주기 범위(Table 502.4-II)
 - 고온주기 충격시험 profile(Figure 503.4-2)
 - 주요 오염유체(Table 504-I)
 - 태양복사열 주기시험 profile(Figure 505.4-1)
 - 강우 시험장비(Figure 506.4-1)
 - 습도 주기시험 profile(Figure 507.4-1)
 - 소금용액 filter(Figure 509.4-3)
 - 가속시험 수준(Table 513.5-I)

- 진동환경 분류(Table 514.5- I)
- 미국 고속도로 진동모양(Figure 514.5C-1)
- 소음수준 및 기간(Table 515.5A- I)

7. 모든 시험은 사전시험(Pretest), 본 시험(During test), 사후시험(Post test)으로 구성

8. 사전시험 : 표준 대기조건에서 피 시험제품에 대한 육안검사 및 작동점검

9. 본 시험 : 해당 환경항목의 부하상태에서 육안검사 및 작동점검

10. 사후시험 : 표준 대기조건에서 피 시험제품에 대한 육안검사 및 작동점검

11. 복합시험 : 복합 환경조건에서 운용이 예상될 때는 복합 환경시험을 권장

12. 고장정의

- 환경 stress 적용 중 성능저하가 허용범위를 초과하거나 stress 제거시에 저하된 성능이 원상복귀 되지 않으면 고장
- 안전 관련사항을 만족시키지 못하면 고장

3. 고온시험 방법(501.4)

3.1 주요항목

MIL-STD-810F Part II의 24개 환경요소(<표 1>)에 대한 각 시험방법은 ①적용범위 ②적합화 지침 ③필요한 정보 ④시험과정 ⑤결과분석 ⑥참고문헌 항목과 Annex로 구성되어 있다. 어떤 부품에 대한 고온시험의 경우 Tailoring과정을 통해서

- 몇 도에서 시험 할 것인가?

- 시험시간은 얼마로 할 것인가?
- 어떤 절차로 수행 할 것인가?

등 여러 가지 사항을 결정하여야 하는데 아래사항은 MIL-STD-810F의 고온시험방법에서 설명하고 있는 ①적용범위와 ②적합화 지침에 대한 내용이다.

1. 적용범위(Scope)

- 시험목적 : 고온이 제품의 안전, 완전함, 성능에 미치는 영향을 평가하는데 있다.
- 적용 : 고온시험은 표준대기온도보다 높은 온도에서 사용되는 제품에 적용한다.
- 제한사항 : 아래사항에는 고온시험을 적용하지 않는다.
 - 단기간 고온노출의 영향 평가
 - 오랜기간 동안 고온에서의 경시변화 평가(자연환경에서 시험)
 - 고온에 장기간 노출로 노화에 의한 성능저하 평가
 - 태양복사열 영향 평가(태양열 복사시험이 적합)
 - photochemical 영향 평가(태양열 복사시험이 적합)
 - 공기역학적 열 영향 평가

2. 적합화 지침(Tailoring Guidance)

- 고온시험 선택 : 주어진 제품 또는 부품에 대해서 고온이 미치는 아래와 같은 영향들을 고려하여 고온시험 실시여부를 결정한다.
 - 접착재료의 팽창률 차이
 - 윤활유 점성 감소
 - 치수변경
 - 포장, 가스켓, 씬, 베어링, 축 비틀림
 - 가스켓 변화
 - 밀봉열화
 - 전자회로 팽창
 - 작동수명 단축
 - 밀봉내 고압

- 유기물질 변질, 균열

다른 환경요소 시험과의 시험순서 관계

- 부품에 손상을 적게 주려면 고온시험 먼저 실시
- 부품의 결함을 조기에 발견하려면 진동, 충격 등 동적시험 후 고온 시험실시

세부시험항목의 선택

①저장시험 : 고온에서의 저장이 제품에 어떠한 영향을 미치는지를 평가

- 일정온도시험 : 저장온도에 안정된 후 2시간 유지
- 주기온도시험 : 7 cycle
- 작동온도 또는 표준대기온도에서 작동점검

②작동시험 : 고온상태에서 제품작동이 잘 되는지를 평가

- 일정온도시험 : 작동온도에 안정된 후 2시간 유지
- 주기온도시험 : 3 cycle
- 작동온도에서 작동점검

세부시험항목 선택 시 고려사항

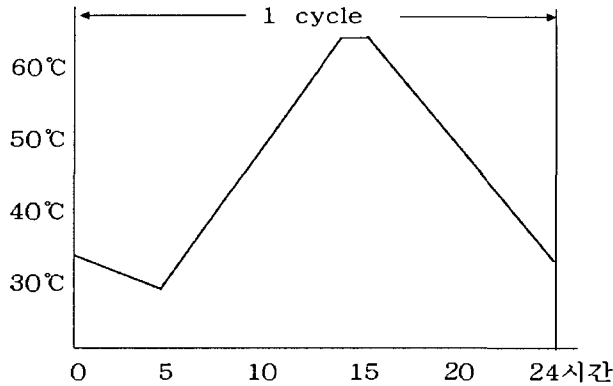
- 부품의 사용목적
- 자연노출환경
- 부품의 사용목적이 달성되는지를 판단하는데 필요한 시험자료
- 세부시험절차의 순서
- 모타, 엔진, 전원, 배기가스 등 부품에 영향을 주는 열원

시험수준 결정 : 다음 사항을 고려하여 시험온도 수준 결정

- 기후조건 : 제품이 사용되는 지역의 기후, 태양열복사에 노출여부, 대기 또는 태양 열의 열전도
- 노출조건 : 제품의 야외노출 또는 방호노출 상태
- 노출기간 : 일정온도 노출 또는 주기적 온도 노출 판단
- 특수조건 : 인공적 열원(모타, 엔진, 전원공급, 고밀도 전자포장 등) 고려

• 1 주기 24시간의 profile

- 가장 극심한 지역의 년 중 가장 극심한 월에서 1%에 해당하는 극심한 온도(63℃)는 대략 7시간이므로 ([3]) 저장주기시험 시 최소 7 주기(총 168시간) 시험(매 주기에 최고온도는 대략 1시간 정도임)



<그림 1>MIL-STD-810F 의 Table 501.4- 1. Basic Hot 지역의 유도고온주기를 참조하여 나타낸 1주기

3.2 예제

위와 같이 Tailoring과정, 적합화 지침, 표준서에 제시되어 있는 참고자료 등을 통해서 고온 시험온도를 정한다 하더라도 고려할 점은 또 있다. 고온작동시험을 수행한다고 할 때 일정 온도시험방법과 주기온도시험방법 중 어떤 방법으로 시험 할 것인가를 결정하는 하나의 예제를 들어본다. 예를 들어 어떤 시스템에 대해서 수송, 저장, 운용되는 온도를 조사해본 결과 전체 시간의 1/2은 120℃, 1/2은 60℃에서 사용되고 있다고 하자. 그러면 이 시스템에 조립되어 사용되는 부품에 대해서 기본적으로 다음과 같은 방법을 생각할 수 있다.

방법1 : 부품의 성능이 120℃에서 견디면 60℃에서도 견딜 수 있을 것 이므로 120℃에서 일정 온도 작동시험을 수행한다.

방법2 : 운용시간의 1/2은 120℃, 1/2은 60℃에서 사용되므로 120℃와 60℃를 여러 차례 반복하는 주기온도 작동시험을 수행한다.

그러면 어떤 방법으로 시험하는 것이 옳은 방법일까? 앞에서 설명한 고온시험방법에서 고려해야할 사항들, Tailoring의 기본개념([1])들을 고려하면 다음과 같은 시험방법을 생각할 수 있다.

첫째 : 시험대상 부품이 엔진, 모터 등과 같이 일정한 온도 상태에서 운용되는 부품이라면 방법1을 택한다.

둘째 : 시험대상 부품이 고무링, packing류, bimetal 등과 같이 반복적인 온도변화에 따라서 성능, 수명 등이 영향을 받는 부품이라면 방법2를 택한다.

셋째 : 시험대상 부품이 현재 개발 초기단계에 있는 부품으로서 고온에 대한 취약점을 신속히 알아내어 이를 해소하는데 시험의 목적이 있다면 방법1을 택한다.

넷째 : 시험대상 부품이 현재 개발 마지막 단계에 있는 부품으로서 부품이 관련되는 모든 규격 조건을 만족하는지 확인하는 것이 시험의 목적이라면 방법2를 택한다.

위 예제에서 볼 수 있듯이 부품이 실제로 어떻게 수송, 저장되고 운용되는지를 파악한다 하더라도 시험방법을 수립할 때에는 시험의 목적, 개발 진행시점, 부품의 특성 및 환경요소에 의한 영향 등에 따라서 시험조건을 달리 설정해야 할 것 이므로 MIL-STD-810F에서는 고온 시험 조건뿐 만 아니라 모든 시험 항목에 대해서 구체적으로 시험조건은 제시하지 않고 있다.

결론적으로 MIL-STD-810F에 의해서 환경시험을 실시하려면 세부시험절차, 시험조건, 시험시간 등은 전부 시험수행자가 Tailoring 과정을 통해서 결정하지 않으면 안 된다. MIL-STD-810F에서는 위와 같은 것들을 결정하기 위한 Tailoring 과정에서의 고려사항, 참고자료, 권장사항 등이 포함되어 있다.

참고문헌

- [1] 김철, 강보식, 김형의(2006), MIL-STD-810F의 Tailoring 개념, 신뢰성응용연구 6권, 1호, 1-11
- [2] MIL-STD-810F(2000), Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests
- [3] Herbert W. Egbert(2005), The History and Rationale of MIL-STD-810