

군장비 신뢰성 업무

金 鐵

國防科學研究所

I. 서 론

영어의 reliability는 정성적 의미로는 신뢰성, 정량적 의미로는 신뢰도로 번역된다. 군용장비의 경우 신뢰도는 다시 작은 의미에서의 신뢰도(reliability), 가용도(availability), 정비도(maintainability) 그리고 경우에 따라서는 내구도(durability)로 구분하며 신뢰성 업무에 관련된 규격서(specification), 표준서(military-standard), 참고서(handbook), 보고서(report) 등에서는 이를 요약하여 RAM 또는 RAM-D로 표현하기도 한다.

군장비 개발에 신뢰성 문제가 본격적으로 제기된 것은 2차대전 이후 미국에서부터 였다고 할 수 있다. 2차대전 중 미국은 극동에 보낸 항공기용 전자기기의 60%가 도 착시에 이미 고장상태에 있었고, 예비품의 50% 이상이 사용불가했으며, 전투기의 전자기기는 20시간 무고장 상태를 유지하였던 예가 없었고, 해군의 전자병기는 70% 이상이 정상 작동되지 않아 전장상황에서 막대한 지장을 초래했던 뼈아픈 경험을 겪었다.^[3] 전후 미 군당국은 “고장을 일으킬만한 병기는 구입하지 않는다”라는 간단하고도 명확한 방침을 도출해 냈지만 실제로 고장을 일으키지 않는 제품을 만들 수는 없기에 대신 군용장비를 개발하고 생산하는 사람들로 하여금 고장을 일으키지 않는 제품에 가깝도록 노력한다는 약속을 하게끔 만들었다. 그리고 1952년 미 국방성은 전자장비 신뢰성 자문회(AGREE: Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment)를 설치하여 장비의 설계, 시험, 생산, 배치 및 운용에 이르는 각 단계에서 수행해야 될 신뢰성 관련업무를 9개로 나누어 연구하기 시작하였는데 그 내용은 (1) 여러가지 형태의 군용전자 장비에 대한 최소허용 신뢰성을 정하는 방법 및 이를 계량화하는 방법, (2) 최소허용 신

뢰성의 달성 가능성 판단을 위하여 적용할 신뢰성 모형의 개발, (3) 최소허용 신뢰성을 기준으로 시제품의 신뢰성을 평가하는 방법, (4) 신뢰성 요구를 만족하기 위한 개발과정, (5) 부품의 신뢰성을 고장으로 나타내는 기준 또는 방법, (6) 시스템 획득시 계약자 상호간에 발생하는 신뢰성의 변경 등 제반규정, (7) 포장 및 수송방법의 분석 및 신뢰성 개선방안, (8) 저장 보관의 효과분석 및 신뢰성 개선방안, (9) 야전운용시 설계된 고신뢰성 수준으로 장비를 유지할 수 있는 방법이었다^[3].

AGREE 연구이후 Rand연구소, Bell 전화연구소, 각군 관련 연구기관, 민간연구소, 학교, 기업체 등에서 신뢰성 업무에 대한 크고 작은 연구를 수행하고 실시함으로써 오늘날과 같은 신뢰성 공학의 길을 열어 놓았다고 할 수 있다. 신뢰성 업무는 신뢰성 및 정비성 목표 설정, 신뢰성 및 정비성의 최적화, 신뢰성 및 정비성 예측, 고장 유형별 시스템에 미치는 영향 및 치명도 분석, 부적합한 설계 내용을 지적하기 위한 설계검토, 시스템 취약부위 보완, 신뢰성 시험계획 수립, 고장데이터 궤환(feedback) 및 분석, 고장 데이터 처리, 필요한 정비계획 수립, 예비부품 소요량 결정, 신뢰성과 정비성을 성취하기 위해 필요한 부품 및 자재의 조달과 공정관리, 신뢰성, 정비성, 능력(capability)으로 표현되는 시스템 효과(system effectiveness) 산출 등 여러가지가 있으나, 크게 보면 설계전 개발하고자 하는 장비의 신뢰성 목표값 설정, 설계과정에서의 신뢰성분석 및 신뢰성 엔지니어링, 그리고 장비제작 후 신뢰성시험 및 평가로 대별할 수 있다.

II. 신뢰성 목표값 설정

신뢰도는 장비가 주어진 시간동안 정해진 환경조건에

서 규정된 성능을 발휘할 수 있는 확률로서 정의되는데 여기서 확률의 개념이 도입된 것은 장비에서 고장발생이 확률적이기 때문이다. 그러나 실제 사용척도로는 임무 성공확률, 고장율, MTBF(mean time between failures)등이 사용되며 부품은 고장율, 1회 사용장비(예:포탄, 유도탄)는 임무성공확률, 전차, 포, 무전기 등과 같이 정비를 하면서 반복적으로 사용하는 장비는 MTBF, MRBF(mean round between failures), MKBF(mean kilometer between failures) 등을 척도로 사용한다. 정비도는 장비가 고장났을 때 규정된 기술요원이 규정된 자원을 이용하여 주어진 시간내에 장비를 수리하여 그 성능을 원상복귀시킬 수 있는 확률로 정의되며 사용척도로는 MT-TR(mean time to repair), MR(maintenance ratio, 운용 시간당 정비인시)등이 있다. 그리고 가용도는 어떤 임의의 순간에 장비가 작동상태에 있을 확률로서 운용가용도(Ao, operational availability), 성취가용도(Aa, achieved availability), 고유가용도(Ai, inherent availability) 등이 사용된다.

군용장비를 개발할 때 군과 개발자 간에 개발할 장비에 대한 성능목표 수준이 먼저 합의 되는데 가용도는 신뢰도와 정비도로써 계산이 가능하므로 목표 설정시 대개는 신뢰도와 정비도의 수준이 포함된다. 다음 표 1은 전자장비의 신뢰도 수준을 나타내며 표 2는 XXmm 자주포 신뢰도 목표의 예이다.

장비의 특성에 따라서는 주요 하부체계, 고장이 빈번히 예상되는 부품등에 대하여 내구도(durability)를 별도로 규정하는데, 예를 들면 전차의 경우 “동력발생 전달장치(엔진, 트랜스미션 등)는 10,000Km를 주행할 때까지 완전 분해조립(overhaul)해야 할 고장이 발생되어서는 안된다”던가 “트랙의 고무판(track shoe)은 4,000Km 주행동안에 10%이상 교체되지 않도록 한다”던가 하는 등이다. 개발장비에 대한 신뢰도, 정비도의 목표수준을 정할 때에 군의 장비운용개념, 작전지역, 환경조건, 장비가 수행하여야 할 기능, 정비정책, 유사장비의 신뢰도 및 정비도 수준, 향후 개발과정에서 향상시킬 수 있으리라고 판단되는 신뢰도, 정비도의 개략적 수준, 개발기간, 예산등 여러가지 요소들이 검토된다. 신뢰도 목표값을 정할 때 중요한 것의 하나는 고장정의이다. 이것은 차후 설계단계에서 장비의 MTBF를 예측하거나 장비제작후 시험단계에서 MTBF를 평가할 때 어떠한 고장을 신뢰도 고장으로 간주하여 MTBF를 계산할 것인가를 정하여 놓지 않으면 계산된 MTBF가 요구조건을 만족시키고 있는지의 판단이 불가능하기 때문이다. 일반적으로 고장은 치명고장, 중고장,

표 1. 전형적인 전자장비의 신뢰도 수준^[5]

장 비 명	MTBF(시간)
레이다 장비	
Ground Rotating Search Radar	75- 175
Large Fixed Phase Array Radar	3- 6
Tactical Ground Mobile Radar	25- 75
Airborne Fighter Fire Control Radar	50- 200
Airborne Search Radar	300- 500
Airborne Identification Radar	200- 2,000
Airborne Navigation Radar	300- 4,500
통신장비	
Ground Radio	5,000-20,000
Portable Ground Radio	1,000- 3,000
Airborne Radio	500-10,000
Ground Jammer	500- 2,000
컴퓨터 장비	
Ground Computer	1,000- 5,000
Ground Monochrome Display	15,000-25,000
Ground Color Display	2,500- 7,500
Ground Hard Disk Drive	5,000-20,000
Ground Tape Storage Unit	2,500- 5,000
Ground Printer	2,000- 8,000
Ground Modem	20,000-50,000
기타 장비	
Airborne Countermeasures System	50-300
Airborne Power Supply	2,000-20,000
Ground Power Supply	10,000-50,000

표 2. XXmm 자주포 신뢰도 목표 예

<p><신뢰도> 기동:최초 4,000mile을 포장도로로 25%, 비포장도로 50%, 야지 25%로 주행할 때 MMBF(Mean Mile Between Failures)는 589 mile보다 작아서는 안된다.</p> <p>무장:MRBF가 625발 보다 작아서는 안된다.</p> <p><정비도> 기동:4,000mile 운행동안 운전병/승무원 점검을 제외한 계획정비와 비계획 정비를 합해서 200인시(man-hour)를 초과해서는 안된다. 계획정비 주기는 90일, 1,000mile, 100시간 운행중 어느것 보다 작아서는 안된다.</p> <p>무장:MTTR은 각 단계에서 다음을 초과해서는 안된다. 승무원 정비 2.76시간, 부대정비 2.76시간, 직접지원정비 10.81시간, 일반 지원정비 6.00시간, 창정비 6.65시간</p>
--

경고장 또는 시스템고장, 임무고장으로 분류하거나 또는 정비차원에서 사용자 수리가 가능한 고장, 계획정비에 해당하는 고장, 비계획 정비에 해당하는 고장 등으로 분류한다.

Ⅲ. 신뢰성 분석

개발하려는 장비에 대한 설계가 완성되면 그 장비에 대한 신뢰도, 정비도등은 고정된다. 다시말해서 설계가 완성되었다는 것은 형상, 부품선정, 사용재질이 고정됨으로 인해서 장비에 대한 성능, 기능 수준이 정해지고 내포하고 있는 결함사항, 취약점, 고장이 발생할 수 있는 잠재적 성질이 고정됨으로 인해서 신뢰도, 정비도의 수준이 하드웨어적으로 고정된다는 뜻이다. 그러면 이러한 설계조건이 요구되는 신뢰성 목표 수준을 달성할 수 있는지를 어떻게 알아낼 수 있을까? 이 질문에 답변하기 위한 일련의 업무 활동을 신뢰성 분석이라고 하며 여기에는 신뢰도 예측(reliability prediction), 고장형태 및 영향분석(FMEA: failure mode effect analysis), 고장계통 분석(FTA: fault tree analysis), sneak circuit analysis, worst case analysis, stress-strength analysis등 여러 수단이 동원된다. 근본적으로 신뢰성 분석은 설계된 시스템에서 어떤 고장이 얼마나 자주 발생할 것인가를 알아내려는 것이며 분석결과 작전임무 수행에 지장을 주는 고장, 발생빈도가 높은 고장에 대해서는 그 원인을 분석하고 설계상 취약점을 찾아 이를 해소시키기 위한 노력이라고 할 수 있다.

1. FMEA

FMEA는 시스템 설계가 내포하고 있는 모든 발생가능한 고장을 파악하여 이를 문서화하는 일련의 작업이다. FMEA는 각 고장이 작전 임무수행, 사용자의 안전 등 시스템 운용에 미치는 영향을 분석하며, 또한 각 고장의 발생빈도와 임무수행에 미치는 영향을 고려하여 고장의 중요도를 결정한다(이때 FMECA: failure mode, effect and criticality analysis라고 함). FTA는 주어진 고장형태가 하부 시스템 또는 하부 부품의 어떤 고장에 의해서 발생하는가를 상위레벨에서 하위레벨로 내려가면서(up-down) 분석하는 반면에 FMEA는 부품 또는 하부체계의 고장이 상위시스템, 최종시스템에 어떤 영향이 있는가를 하위레벨에서 상위레벨로 올라가면서(bottom-up) 분석한다. FMEA는 통상 신뢰도 예측 이전에 수행되며 설계가 진행됨에 따라서 반복적으로 수정 보완된다. FMEA 양식에는 부품명, 기능, 고장형태, 고장영향, 고장율, 임무수행

에 미치는 영향등급 등을 기록하도록 되어 있으며 고장정후, 고장진단 방법, 고장원인, 고장원인 해소방안, 수리절차, 수리에 소요되는 기술, 특수 소요장비 등과 같은 항목을 추가함으로써 유용성이 확대된다. FMEA는 특히 다음 두가지 면에서 유용한 자료로 활용할 수 있다. 첫째는 시스템 설계 검토 수단으로 사용되는 점이다. 설계자가 그의 최대의 지식과 노력으로 설계를 하였다 하더라도 작전 임무 수행에 크게 영향을 주리라고 판단되는 고장, 발생빈도가 높으리라고 예상되는 고장내용을 색출함으로써 설계를 다른 각도에서 검토할 수 있는 수단이 된다는 점이다. 둘째는 군수지원 분석의 기초자료로 이용되는 점이다. 개발될 시스템은 운용중 종국적으로는 여러 형태의 고장이 발생될 수 있다는 점에서 예방정비 내용 결정, 각 정비단계에서 보관해야할 수리부속품 및 수량 결정, 정비교범에 수록할 고장형태 및 정비절차, 고장진단 절차, 군의 정비요원에게 특별히 교육시켜야 할 새로운 정비기술 및 특수 시험시설등을 판단하는 데에 FMEA가 기초자료로 활용된다는 점이다. 그러나 실제로 FMEA의 수행은 고장정후, 고장형태, 임무수행에 미치는 영향 등 개발하고자 하는 시스템을 잘 알지 않으면 효과적인 분석이 곤란하므로 설계자와 신뢰성 업무 담당자가 공동으로 작성하여야 한다.

2. 예측(prediction)

예측의 기본적 업무는 시스템에서 주어진 고장형태가 얼마나 자주 발생할 것인가를 정량적으로 분석하는 것이다. 예를 들면 전차의 경우 기동불가와 사격불가 같은 것이다. 이러한 예측업무는 개발장비의 신뢰도, 정비도 수준이 요구수준을 만족할 수 있는지의 판단, 설계과정에서 선택 가능한 여러 대안의 비교, 설계검토시 예상되는 문제부위 및 설계 취약점 색출, 군수지원 계획 및 비용검토를 위한 기초자료, 신뢰도 요구수준을 달성하기 위한 하부체계 신뢰도 수준의 할당 등에 활용 목적이 있다. 신뢰도 예측은 기본신뢰도와 운용신뢰도로 구분하여 예측하는데 기본 신뢰도는 시스템을 직렬구조로 생각하여 어느 부품이 고장나도 시스템 차원에서 고장으로 가정하며, 운용신뢰도는 장비가 작전임무를 수행하는데 지장을 주는 고장을 대상으로 그러한 고장이 얼마나 자주 발생하는가를 분석하는 것으로서 시스템의 중복구조, 대기구조 등을 고려한다. 신뢰도를 예측하는 과정은 대개 먼저 시스템의 기능분석도 또는 FTA를 작성한 후에 이를 토대로 신뢰도 블록선도(reliability block diagram)를 작성하고 수학적 모델을 설정한 후 부품에 대한 고장율 자료를 입력하여 신뢰도를 계산한다. 어떤 시스템의 일부 부품 또는

하부체계(sub-system)가 중복구조인가 직렬구조인가 등은 고장정의에 관계되는 것으로서 예를 들면 주 pump의 고장으로 인해 보조 pump를 사용할 때 기능의 정도가 일부 떨어진다고 하더라도 이를 고장으로 간주하지 않는다면 주 pump와 보조 pump는 중복구조 형태를 이룬다고 볼 수 있으나 일부 기능저하를 고장으로 간주할 때는 신뢰도 예측 과정에서 보조 pump는 제외시킬 수 있다. 그리고 각 부품의 고장율 입력이 중요한데 고장율은 실제 야전에서 획득된 자료, 시험자료, 유사장비 사용중 얻어진 자료 등을 사용하나, 그러한 자료가 없을 때에는 특히 극소 전자부품, 개별 반도체소자, 진공관, 저항기, 콘덴서, 유도장치, 회전기구, 릴레이, 스위치, 컨택터, 전선 및 PWB (printed wire board), connection 등과 같은 전자부품의 경우 MIL-HDBK-217을 이용한다. 여기에는 부품 부하 분석에 의한 예측방법(parts stress method)과 부품수에 의한 예측방법 (parts count method)이 소개되어 있다. 부품부하 분석방법은 각 부품종류에 따라 특정한 고장율 모델을 사용하는데 예를 들면 반도체 소자의 경우 고장율 모델은 $\lambda_p = \lambda_b \Pi_E \Pi_S \Pi_C \Pi_Q \Pi_R$ 로 되어 있고 λ_b 는 부하조건에서의 부품고장율, λ_b 는 부품의 기본 고장율, Π 는 각종 지수로서 Π_E 는 환경조건, Π_A 는 사용조건, Π_S 는 전압부하, Π_C 는 구조복잡성, Π_Q 는 품질수준, Π_R 는 정격감소를 나타낸다. 그리고 이러한 지수들은 다시 그 적용수준이 세분화되어 있다. 부품수에 의한 예측방법은 단순히 부품종류에 따른 수량과 품질수준을 이용하는데 $\lambda_E = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{Gi} \Pi_{Qi}$ 로 계산하며, 여기서 λ_E 는 장비의 고장율, λ_{Gi} 는 i형태 부품의 고장율, Π_{Qi} 는 i형태 부품의 품질수준, N_i 는 i형태 부품의 수량, n은 부품종류의 수를 나타낸다. 설계초기 아직 장비의 세부설계가 이루어지지 않아 부품부하에 대한 정확한 판단 또는 자료가 없을 때는 대개 부품수에 의한 예측이 이루어지며 설계가 진행됨에 따라 부품에 미치는 세부적인 부하조건이 해석될 때에는 부품부하 분석방법을 이용한다. 그러나 신뢰도 예측결과를 실제 기술시험이나 운용과정에서 신뢰도를 평가한 값과 때로는 많은 차이를 나타내고 있는데 이러한 원인은 시험이나 운용과정에서 발생하는 고장형태를 정확히 예측하기 어려운 점, 예측과정과 시험과정에 적용한 고장정의의 차이, 부품부하 조건의 차이, 수학적 모델의 불완전, 제품 조립조정 상태, 끝손질 상태, 정비 상태, 사용자의 실수 등에 의한 고장예측의 어려움, 입력된 부품 고장율의 부정확 등에 기인된다.

IV. 신뢰성 엔지니어링

목표값 설정, 신뢰성 분석, 시험 및 평가등은 장비의 신뢰성에 관한 어떤 정보를 제공하여줄 뿐 이 업무자체가 실제적으로 장비의 신뢰도를 증가시키지는 않는다. 실질적인 장비의 신뢰도 증가는 설계도면에서 형상, 치수, 재질, 부품선정, 구조변경 등과 같은 실제적인 개선행위가 이루어져야 하며 또한 설계된 도면대로 장비를 제작하여야 한다.

그림 1은 일반적인 장비(특히 전자제품)가 사용시간이 증가함에 따라서 고장율이 변화하는 전형적인 형태로서 일명 욕조곡선(bathtub-curve)이라고 한다.

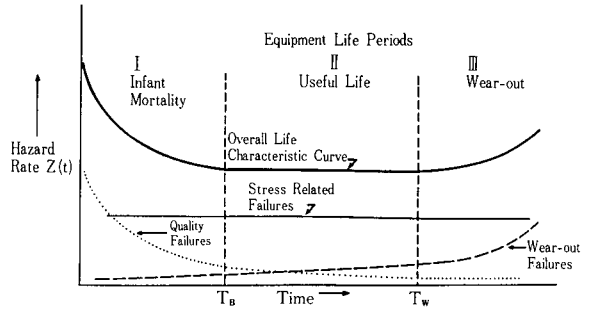


그림 1. 욕조곡선^[2]

욕조곡선은 품질고장(quality failure), 부하고장(stress related failure), 마모고장(wear-out failure)을 나타내는 3개의 고장율 곡선이 합성된 것으로 해석되는데 제품제작시 불량부품 조립, 조립조정 상태의 불완전, 끝손질불량등 품질결함에 의한 고장은 주로 사용 초기에 나타나고, 이러한 품질결함이 해소된 이후는 사용중에 외부, 내부의 환경조건에 의해서 고장율이 대개는 일정하게 되는 어느 시기를 지나게 되며 후반기에 들어서면 부품의 노후화 또는 마모와 같은 설계된 수명의 한계에 이르게 되어 고장율이 다시 증가하게 된다. 그리고 장비형태와 사용방법에 따라서 많은 차이가 있겠지만 전자장비의 경우 일반적으로 외부환경 요인에 의한 고장발생 분포는 아래와 같이 알려져 있다.

표 3. 환경조건에 따른 고장발생 분포^[2]

환경조건	온도	진동	습기	모래및먼지	염분	고도	충격
고장발생비율(%)	40	27	19	6	4	2	2

따라서 장비 사용 초기에 발생하는 품질고장을 줄이기 위하여 제품 제작과정에서 불량부품의 제거(screening),

온도, 진동, 습기등 부품 환경시험이 강화되며 부품의 마모와 부하조건을 이겨낼 수 있도록 군사규격에 일치되는 부품선정, 부하조건을 견딜 수 있는 정격감소(derating), 중복구조(redundancy) 등과 같은 것이 설계과정에서 고려된다. 그러나 이와 같은 업무는 개발하고자 하는 장비의 기본기능과 성능 요구수준에 따라서 설계자가 기본적으로 수행해야 될 업무로써, 어떤 의미에서는 설계 엔지니어링 기술을 전부 포함하며 전문적인 것은 신뢰성 업무 분야를 초월한다고 볼 수 있다.

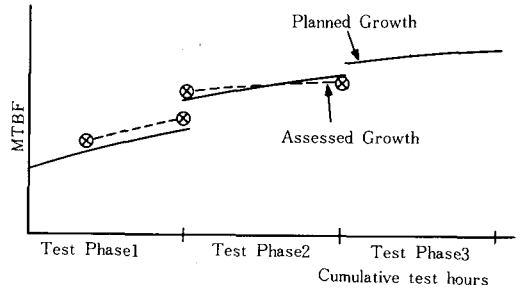


그림 2. 신뢰도 성장 계획 및 평가[MIL-HDBK-189]

V. 신뢰성 시험 및 평가

개발장비에 대한 신뢰도 시험은 크게 두가지로 개발과정에서 수행하는 성장시험(growth test 또는 TAAF: test analysis and fix라고 함)과 개발후 생산단계에서 시행하는 입증시험(qualification test 또는 demonstration test라고 함)으로 나눌 수 있다.

성장시험의 목적은 시험중 발생된 고장에 대해서 그 원인을 찾고 고장원인을 해결함으로써 신뢰도가 얼마나 증가되고 있는가를 관측하는 시험이다. 따라서 성장시험은 시스템에서 취약점이 어디에 있는가를 가급적 조기에 발견하기 위한 것이 목적이므로 고장이 예견될 수 있는 적당한 부하 및 환경조건에서 실시한다. 이 시험은 기존장비의 경험자료 또는 이론적인 모델에 의해서 계획 또는 예상 성장곡선을 설정하고 실제로 시험에서 평가된 성장곡선을 비교함으로써 시스템의 신뢰도 달성 가능성을 평가한다. 성장시험 자체는 시스템의 신뢰도를 증가시키는 것이 아니며 신뢰도 향상은 오로지 발생된 고장의 원인을 제거시켜야만 이루어질 수 있다. 따라서 시험을 많이 하면 할수록 고장발생 원인을 더욱 제거시킬 수 있다는 점, 발생된 고장에 대해서는 교정조치가 효과적으로 이루어져야 된다는 점에서 시험기간, 시험조건, 교정시기, 교정방법 등이 중요하다. 그러나 실제로는 즉각적으로 설계를 변경하고 변경한 설계에 의해 부품 또는 하부체계를 재제작하여 시험하는 것이 불가능한 경우가 많으므로 1차 시제품, 2차 시제품등 개발진행에 따라 신뢰성 성장이 어떤 step 또는 jump 현상으로 나타나게 된다. 전차와 같은 궤도형 차량은 1회 주행을 포장도로, 비포장도로 각 560Km, 평지, 구릉지 각 640Km로 하여 4회 반복 총 9,600Km를 주행하며, 기타 전자장비의 경우 최소한 MTBF의 5배 이상 시험한다.

초도생산 또는 양산과정에서의 신뢰도 시험은 제작된

장비가 군 규격에 일치되는 가를 보이기 위하여 입증시험을 실시하는데 이때는 표본수(sample size), 생산자 위험(α), 소비자위험(β), 최소허용 신뢰도(MAV MTBF: operational minimum acceptable value of MTBF) 또는 판별비(discrimination ratio)등을 설정하고 MIL-STD-781에서 제시하고 있는 고정시간 시험계획(fixed length test plan) 또는 확률비축차 시험계획(PRST: probability ratio sequential test plan)에 의해서 시험을 실시한다.

그리고 입증시험에서는 통상 사용중에 장비가 조우되리라고 생각되는 환경조건을 모델화하여 적용하는데 그림 3은 어떤 군용 무전기기의 신뢰도 입증시험을 위하여 적용하는 환경조건 모델의 한 예이다.

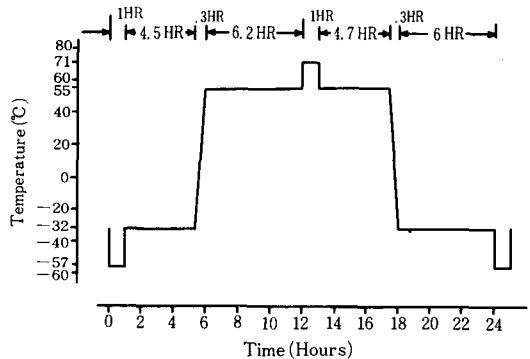


그림 3. 신뢰성 온도시험 모델^[4]

VI. 주요 적용 표준서

군용장비에 대하여 신뢰성업무를 효율적으로 수행하고 또 통제하기 위하여 미국방성은 방대하고 복잡한 표준서

표 4. MIL-STD-781의 고정시간 시험계획

Test Plan	Nominal Decision Risks		Discrimination Ratio θ_0/θ_1	Test Duration (Multiples of θ_1)	Test Duration (Multiples of θ_0)	Accept-Reject Failures	
	α	β				Reject (Equal or More)	Accept (Equal or Less)
IXD	10%	10%	1.5	45.0	30.0	37	36
XD	10%	20%	1.5	29.9	19.93	26	25
XID	20%	20%	1.5	21.5	14.33	18	17
XIID	10%	10%	2.0	18.8	9.4	14	13
XIHD	10%	20%	2.0	12.4	6.2	10	9
XIVD	20%	20%	2.0	7.8	3.9	6	5
XVD	10%	10%	3.0	9.3	3.1	6	5
XVID	10%	20%	3.0	5.4	1.8	4	3
XVIID	20%	20%	3.0	4.3	1.43	3	2
XIXD*	30%	30%	1.5	8.0	5.33	7	6
XXD*	30%	30%	2.0	3.7	1.85	3	2
XXID*	30%	30%	3.0	1.1	.37	1	0

θ_0 :Upper Test MTBF, θ_1 :Lower Test MTBF

들을 적용하고 있는데 최고지침은 국방문서 DOD DIRECTIVE 5000.40(reliability and maintainability)이며 이를 바탕으로 MIL-STD-721(terms and definitions), MIL-STD-785(reliability program), MIL-STD-470(maintainability program)이 장비 개발자나 생산자가 수행해야 될 신뢰성업무의 지침으로 사용되고 있다. 특히 MIL-STD-785는 신뢰도에 관련된 업무를 표준화한 것으로 업무 내용은 표 5와 같으며 이들 업무를 수행하는데 적용되는 표준서는 표 6과 같다.

그리고 특히 전자부품을 선정하고 부품에 대한 환경시험을 수행하는데 적용하는 주요 표준서는 표 7과 같다.

Ⅶ. 맺음말

군장비 개발과정에서 수행되는 신뢰성 업무의 궁극적 목적은 개발하고자 하는 장비가 차후 군에 의해서 사용될 때에 장비가 고장없이 오랫동안 계기능을 발휘할 수 있도록 하는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위한 업무는 비단 본 논문에서 소개하고 있는 신뢰성 업무만은 아니다. 최초 무기 소요제기 때부터 설계, 시제품 제작, 시제품 시험 및 평가, 기술자료 완성, 초도품 생산, 양산품 생산, 배치 및 운용단계에 이르기까지 수없이 많은 기술적 업무와 관리적인 업무가 수행된다. 신뢰성 업무는 이러한 과정에

표 5. MIL-STD-785의 업무내용

업무(Task)번호	업 무 내 용
101	업무 100분야:Program Surveillance and Control Reliability Program Plan Monitor/Control of Subcontractors and Suppliers Program Reviews Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System(FRACAS) Failure Review Board(FRB)
102	
103	
104	
105	
201	업무 200분야:Design and Evaluation Reliability Modeling Reliability Allocation Reliability Prediction Failure Modes, Effects and Criticality Analysis(FMECA) Sneak Circuit Analysis(SCA) Electronic Parts/Circuits Tolerance Analysis Parts Program Reliability Critical Items Effect of Functional Testing, Storage, Packaging, Transportation, and Maintenance
202	
203	
204	
205	
206	
207	
208	
209	
301	업무 300분야:Development and Production Test Environmental Stress Screening(ESS) Reliability Development/Growth Test(RDGT) Reliability Qualification Test(RQT) Production Reliability Acceptance Test (PRAT)
302	
303	
304	

표 6. MIL-STD-785 업무수행을 위한 관련 표준서^[6]

문서번호	제 목
업무 100분야 MIL-HDBK-189 MIL-STD-2155 MIL-STD-790D MIL-STD-965	Reliability Growth Management Failure Reporting Analysis and Corrective Action System Reliability Assurance Program for Electronic Parts Specification Parts Control
업무 200분야 MIL-STD-756 MIL-HDBK-217 MIL-HDBK-251 MIL-STD-1629 MIL-HDBK-338 MIL-STD-1686 MIL-HDBK-263	Reliability Modeling & Prediction Reliability Prediction of Electronic Equipment Reliability Design-Thermal Applications Failure Mode, Effect, and Criticality Analysis Electronic Reliability Design HandBook Electronic Discharge Control Electronic Discharge Control
업무 300분야 MIL-STD-781 MIL-HDBK-781 MIL-STD-1635 MIL-STD-2164 MIL-HDBK-344	Reliability Testing Reliability Test Methods Reliability Growth Testing Environmental Stress Screening Environmental Stress Screening


표 7. 전자부품 선정 및 환경시험 주요규격서^[5]

문서번호	제 목
MIL-M-38510 MIL-STD-883	General Specification for Microcircuits Test Methods and Procedures for Microelectronics
MIL-S-19500 MIL-STD-202	General Specification for Semiconductors Test Methods for Electronic and Electrical Parts
MIL-STD-965	Parts Control Program

서 장비의 고장발생에 관련된 여러가지 정보를 설계자, 제작자, 사용자에게 제공함으로써 장비의 신뢰성을 높이기 위한 적절한 조치를 취할 수 있도록 하는데 기여한다. 2차대전 이후 오늘에 이르기까지 신뢰성 공학분야에 수 없이 많은 기법과 기술적 문제가 개발되고 적용되므로써

군용장비의 신뢰성이 크게 향상되었다. 그러나 군용장비의 특성, 작전지역의 가혹한 환경조건으로 인해서 지금도 신뢰성에 관련된 문제는 끊임없이 야기되고 있다. 지난 걸프(Gulf)전에서 Apache 헬기는 엔진을 매일 세척해야 했고, Abrams 전차의 가스터빈 엔진 에어필터는 이들에 한번씩 교체하여야 했으며, F-15 전투기는 열에 의해 표면이 팽창하여 날개측 연료탱크에서 누유가 일어났으며, 여러 무전기들은 장시간 사용으로 선이 녹거나 타버리는 고장이 발생되었다고 한다^[1]. 앞으로 첨단기술의 발전과 함께 군용장비가 더욱 더 정교하고 복잡하여짐에 따라 고장발생에 대처하기 위한 신뢰성 업무의 중요성은 더욱 더 높아갈 것이 틀림없다. 그리고 이러한 신뢰성 업무에 관련된 기법, 기술, 관리 업무가 일반 상용제품 개발에도 점차 적용이 확산되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

- [1] “국방과 기술” 제145호, 한국방위산업진흥회, 1991. 3.
- [2] L. B. Fuqua, *Reliability Engineering for Electronic Design*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1987.
- [3] “Reliability Engineering and Management I”, Lecture Notes for the 18th Annual Reliability Engineering and Management Institute, The University of Arizona College of Engineering, 1980.
- [4] “Production Reliability Acceptance Test Procedure”, ITT Aerospace/Optical Division, Fort Wayne, INDIANA, 1985.
- [5] “RADC Reliability Engineer’s Toolkit”, Systems Reliability and Engineering Division, Rome Air Development Center, U.S. Air Force Systems Command(AFSC), 1988.
- [6] “Reliability Society Newsletter”, IEEE, 1988. 1. 

筆 者 紹 介

金 鐵 1941年 12月 21日生
 1963年 2月 서울대학교 문리과대학 물리학과
 1981年 9月 고려대학교 대학원 통계학과
 1985年 8月 State University of New York at Stony Brook(박사)
 1973年~현재 국방과학연구소