

군장비 신뢰성활동의 최근 동향

김철

한국기계연구원

Recent Trend of Reliability Activities for Military Systems

Kim Chul

Korea Institute of Machinery & Material

Abstract

In 2000, US Army Test and Evaluation Command (ATEC) released the status of reliability requirement levels and achievements for the military equipment which evaluated through the operational tests from 1985 to 1990 and from 1996 to 2000. The rates of military equipments that do not meet reliability requirements are 59% from 1985 to 1990 and 80% from 1996 to 2000. Thus, the US Army has figured out causes, taken steps and put them into practice. This paper is about the recent reliability problems and the latest tendency about US military equipment to acquire reliability level.

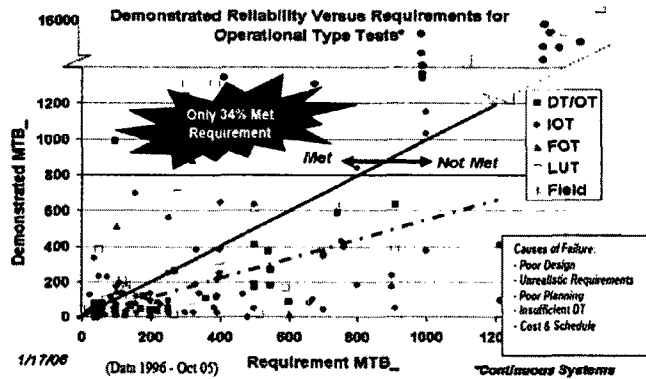
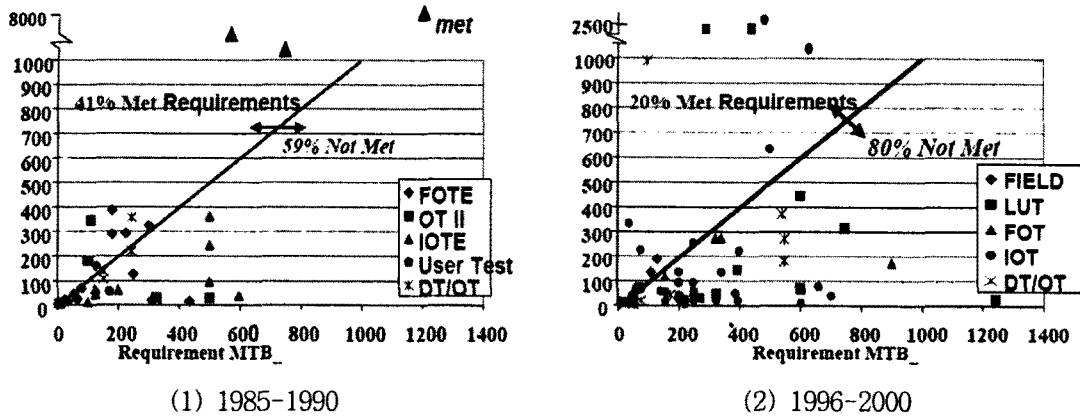
Key words : Mean Time Between Failure (MTBF), Key Performance Parameter, RAM (Reliability Availability Maintainability)

1. 군용장비의 최근 신뢰성 문제점

2001년 미 육군의 ATEC(US Army Test and Evaluation Command 미 육군시험평가사령부)는 육군 군용장비에 대하여 다음과 같은 신뢰성 평가자료를 발표하였다.

그림 1의 (1)은 1985-1990기간, (2)는 1996-2000기간, (3)은 1996-2005기간 중 운용시험에서 나타난 신뢰도 요구수준과 달성정도를 보여준다. 그림을 보면 신뢰성 요구조건을 만족하는 시스템의 비율이 1985-1990년 동안에는 41%, 1996-2000년 동안에는 20%였으며 1996-2005년 동안에는 34%로서 신뢰도 요구조건을 만족하는 비율이 요구수준에 비하여 상당히 낮을 뿐만 아니라 1980년대에 비하여 1990년대, 2000년대에는 감소하였음을 보이고 있다. 또한

그림 1 (3)을 보면 신뢰도 미달장비 중 75%는 신뢰도 요구조건의 1/2 달성에도 미치지 못하고 있는 것을 보이고 있다.



FOTE : Follow-on Operational Test and Evaluation OT : Operational Test
 IOTE : Initial Operational Test and Evaluation DT : Development Test
 LUT : Limited User Test

<그림 1> 미 육군무기체계 운용시험결과 신뢰도 요구 : 달성비율

이러한 현상에 대해서 그 원인을 규명하기 위해서 미 국방성예하 AMSAA(US Army Materiel Systems Analysis Activity 미 육군무기시스템분석소), 그리고 미 정부의 GAO(General Accounting Office 회계감사원), NRC(National Research Council 국가연구위원회) 등 여러 기관이 연구를 수행하였는데 그 결론들을 종합해 보면 크게 다음 7가지로 설명할 수 있다.

1. 신뢰도 요구조건 불합리 : 일부 신뢰성 요구조건이 비합리적이고 비현실적으로 너무 높았던 면이 있었다.
2. 신뢰도 우선순위가 낮았음 : 시스템 개발시에 개발에 참여한 정부 및 산업체 기관들은

신뢰성에 대한 업무의 우선순위가 높지 않았다는 것이다. 즉 신뢰성을 핵심성능의 하나로 인식하지 않았으며 신뢰성보다는 시스템의 성능을 내는데 주력하였다는 점이다.

3. 초기에 신뢰성설계 실패 : 신뢰성 있는 장비를 개발하기 위해서는 장비개발 초기에 부품, 시스템 설계 시에 잠재고장요인을 분석하고 색출해서 이를 제거해야한다는 신뢰성의 기본적 사고를 무시함으로써 설계초기에 잠재고장 요인을 색출하고 제거하는데 실패하였다는 것이다.

4. 민간의 높은 신뢰성기술 활용부족 : 무기 개발관련 기관들이 일반산업분야에서 적용하고 있는 신뢰성 관련 기술을 충분히 받아들이지 않았다는 것이다. 한 예로 민간산업분야에서 많이 수행되고 있는 HALT(Highly Accelerated Life Test 초가속수명시험) 수행이 군장비 개발과정에서는 저조하였고 고장물리기법(Physics of Failure) 적용이 미흡하였으며 구조해석, 열, 진동, 피로에 의한 신뢰도 예측 및 분석활동이 부족하였다는 것이다. 또한 FMECA(Failure Mode Effect Criticality Analysis 고장모드 영향 치명도 분석)와 FRACAS(Failure Report Analysis Corrective Action System 고장보고분석교정활동시스템)가 드물게 사용되었으며 형식적이었다고 지적하고 있다.

5. 부품, 서브시스템 시험 부적절 : 신뢰성 시험평가가 비효율적이고 불합리한 점이 많았다고 지적하고 있다. 군용장비에 사용되는 부품들의 품질향상으로 부품 또는 시스템의 수명이 길어짐에 따라서 ALT (Accelerated Life Test 가속수명시험)시험이 필요하나 미실시하였고, 시험시간 불충분, 샘플수량이 너무 적은 경우가 많았으며 그에 따라서 부품level 시험이 미약하였다는 점이다.

6. 상용부품 신뢰성 평가 미흡 : 군용장비에 조립되는 상용부품에 대해서 신뢰성에 대한 평가가 충분히 이루어지지 않았다는 점이다.

7. 신뢰성 향상 유인책 부족 : 계약업체가 장비의 신뢰성을 높이는데 전념할 수 있도록 하는 유인책이 부족하였다고 지적하고 있다.

그 외의 원인으로 설계 및 제작시에 미완성된 기술이 사용되기도 하였고 요구조건설정, 제품개발, 장비정비를 담당하는 부서간에 협조가 원활하지 않고 제한적 이었다는 지적도 있다. 장비개발 시에 신뢰성이 강조되는 이유는 크게 3가지로 볼 수 있는데 첫째는 장비의 신뢰성이 낮으면 고장이 많이 발생하게 되어 군의 작전임무수행을 원활하게 수행할 수 없고, 둘째 장비사용자의 안전에 위협이 제기될 수 있으며, 셋째는 경제적 문제로서 그러한 장비를 운용하는 과정에서 운용유지비용이 너무 많이 든다는 점이다. 일반적으로 무기체계를 운용하는데 소요되는 비용은 전체 수명주기에 소요되는 비용의 60-70%를 차지하고 있는 것으로 분석되고 있는데 2005년도 자료에 의하면 미국의 경우 정비업무에 매달리고 있는 인원이 군기관 만 659,000명에 달하고 있으며 년 간 군 장비 정비비용은 810억불에 이르는 것으로 알려져 있다.

2. 신뢰성을 달성하기위한 최근동향

미국 군용장비의 많은 량이 신뢰도 요구 수준을 만족시키지 못한다고 분석됨에 따라서 많

은 해결방안 및 처방을 여러 기관에서 내놓고 있다. 세밀하게 낮은 차원에서의 해결방안도 있고 높은 차원에서의 개념적인 해결방안을 내놓은 것도 있다. 이런 처방들을 종합해보면 한마디로 표현해서 신뢰성에 대한 새로운 문화, 패러다임 정립이 필요하다는 것이다. 신뢰성에 대한 새로운 문화의 변경, 새로운 사고, 새로운 인식이 없이는 종전과 같이 군용장비가 신뢰도 요구규격에 미달되는 현상을 해소 시킬 수 없다고 주장하고 있다. 신뢰성을 핵심성능 파라미터(Key Performance Parameter)로 여겨야 한다는 것이다. 신뢰성에 대한 문화적 개념의 변경이 구호가 아닌 실천이 따라야 한다는 점에서의 최근 동향을 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째 : Ultra - Reliability

미국은 현재 FCS(Future Combat System 미래전투체계) 프로그램을 진행중에 있는데 FCS는 2025년까지 전투부대를 재편성하여 미국본토에서 병력이 출동하여 96시간 이내에 세계 어디에나 병력배치가 가능하도록 한다는 것이다. 따라서 전투는 작전속도가 빨라지고(7일간 무고장 목표), 작전지역 거리가 연장되고, 원격조정으로 장비를 운용하는 기술이 많이 발전될 것이라는 점이다. 전투부대의 기동력을 높이기 위하여 전차, 장갑차 무게도 20ton이하로 제작한다는 것이며 지상, 해상, 공중 부대의 네트워크 구성이 필수적인 요소이다. 따라서 신뢰성 향상, 정비도 향상, 군수지원 감소를 위하여 Future Combat System 신뢰도는 현재 신뢰도의 4-12배로 높여야 하며, 신속한 정비를 위해서 여러 무기체계가 동일한 부품을 사용하도록 설계하며, 평균수리시간(MTTR) 30분 이내가 되도록 하고, 장비의 정비도 현지에서 장비사용자에 의해서 80%가 가능하도록 한다는 것이다. 이러한 Ultra - Reliability 개념이 전투능력을 지탱하는 하나의 기둥이 되어야 하며 아래와 같이 신뢰성 설계방법이 개선되어야 한다고 주장하고 있다.

① 예측으로는 안 된다. 아직 신뢰성을 정확하게 예측하는 기법은 개발되지 않았다. S 무전기에 대해서 9개 업체가 예측을 해본 결과는 예측치가 시험결과 보다 30~3900%의 차이가 있다는 점이다.

② 고장물리기법 적용 강화 (구조해석, 열, 진동, 피로분석에 의한 신뢰도 설계) : 장비에 주는 열 영향, 진동영향, 피로영향분석 등 공학적 설계분석 강화 필요

③ 조기에 잠재적 고장 식별 및 제거 필요

④ HALT, HASS 부품단위 시험 강화 필요

⑤ 민수부품 사용시 신뢰성 확인 후 사용

둘째 : 핵심성능파라메타

신뢰성을 핵심성능 파라메타(Key Performance Parameter)로 여겨야 한다는 것이다. 장비를 개발하는 과정 그리고 운용하는 과정에서 장비에 대한 여러 가지 성능 중에 몇 가지를 핵심성능으로 지정하여 이들을 특별히 관리해야 한다는 것으로서 핵심성능 파라메타는 장비에 따라서 설정하는 개수나 항목이 다른데 신뢰성은 반드시 포함하는 것으로 하고 있다.

셋째 : 신뢰성 Guide Book 발간

시스템 개발 단계에 따른 신뢰성 업무를 재정립하고 있다. 미 국방부는 1962년도에 제정되고 1982년도에 개정된 국방문서 DoD 3235.1-H 시스템의 신뢰도, 정비도, 가용도 시험평가 Primer를 대신한 'DoD Guide for Achieving Reliability, Availability, and Maintainability (2005. 8. 3)'를 내놓았다. 거기에는 RAM(Reliability Availability Maintainability)이 무엇이고, 왜 중요하고, 최근의 RAM문제점, RAM목표를 달성하기 위한 활동과 평가방법이 설명되어 있다. Guide book에는 아래와 같은 4개단계의 신뢰성 업무 단계를 정립하고 있다.

단계-1 : 사용자 요구와 제한사항 이해

이 단계는 시스템 개발 착수 전단계로서 사용자의 요구사항과 제한사항을 충분히 이해하는 것이 중요하다. 운용업무 요구사항과 임무가 수행되는 환경을 기반으로 하여 필요한 RAM 수준을 정의하여야 한다. 다시 말하면 전체적인 능력 안에서 전시와 평시를 고려해서 운용환경요소와 수준을 기반으로 사용자의 RAM요구사항을 결정해야 한다. 그리고 RAM의 필요한 수준을 현존 시스템의 RAM성능, 임무수행능력과 비교하는 것을 권장하고 있다. 그렇게 하기 위해서는 사용자의 요구사항과 제한 사항을 정확하게 이해할 필요가 있다. 신뢰성 고장의 60%는 사용자의 요구사항과 관련되는데 요구조건이 불분명하거나 불명확한 경우가 있고 필요한 기능에 대해서 요구조건이 제시되지 않은 경우도 있었다. 사용자의 요구를 이해한다는 것은 제품의 안전성, 사용상의 특기한 점, 군수지원 관련사항, 인간요소, 고장 진단 능력, 보증관련 고장문제, 정비소요를 포함한 운용유지 비용문제, 교육 등 이해해야 할 사항이 많이 있다.

단계-2 : RAM에 대한 설계 및 재설계

이 단계는 시스템 개발 단계로서 시스템에서 발생할 수 있는 잠재적 고장원인을 식별하고 이를 제거하기 위해서 설계를 변경하는 것이 중요하다. RAM에 대한 설계와 제작에 대해서 종합적인 프로그램을 개발한다. 부품, 하부체계, 제작과정, 성능요구조건 등으로 구성되는 개념적인 시스템 모델을 개발하고 성능과 RAM값을 추정하기 위해서 적합한 모델을 이용한다. 모든 치명적인 고장모드, 열화를 식별하고 설계에 이들을 강조한다. 고장시간의 분포를 특성화하기 위해서는 부품단위 시험자료를 이용한다. 잠재적인 고장요인을 식별하고 이를 제거하고 신뢰성 문제를 조기에 해결한다. HALT, HASS 부품단위 시험 강화가 필요하며 설계 시 초기에 HALT사용을 권장한다. 설계초기에 HALT사용 비용이 15,000\$ 이라면 배치 후에 그 문제를 해결하는 데는 소요비용이 27,000,000\$로서 1,800배나 더 든다는 것이다. 예측보다는 열 영향, 진동 영향, 피로 영향분석 등 공학적 설계분석 강화가 필요하며 모든 시험과정에서 고장자료를 수집하여 분석 조치해야 한다.

단계-3 : 신뢰성 있고 정비성 있는 제품 생산

시스템 생산 중에는 시스템에 설계되어 있는 신뢰성의 수준이 저하되지 않고 그대로 유지될 수 있도록 제조 품질을 유지하는 것이 중요하다. 이 단계는 2개의 주요 부분 즉 LRIP(Low-rate initial production)과 대량생산 및 배치 부분으로 나눌 수 있는데 LRIP노력은 제작개발과정을 완성하고 IOT&E(Initial Operational Test and Evaluation 초기운용시험

평가)용 제품을 생산한다. IOT&E는 시스템이 RAM을 포함해서 사용자 요구사항을 얼마나 만족하는지에 대한 정보를 제공한다. 단계-3에서 시험과 품질보증은 RAM활동의 기본이며 이전단계에서 제기한 RAM프로그램 계획, DCACAS(Data Collection, Analysis and Corrective Action System), RAM case, TEMP과정이 계속된다.

단계-4 : 필드신뢰성 수집 및 청취

시스템 운용 중에는 시스템이 RAM수준을 그대로 유지할 수 있도록 시스템을 지원하거나 설계를 개선하기 위하여 지속적인 신뢰도 수준을 청취하는 것이 중요하다. RAM의 필요한 수준이 시스템의 수명기간동안 지속되는 것을 확인해야한다. 신뢰도와 정비도는 지원요소와 수명주기 동안 지원요소의 비용을 결정한다. 지원요소는 일반적으로 모든 단계의 정비를 포함한다. 운용정비인력, 시스템지원, 공급사항지원, 지원장비 및 도구, 기술자료, 훈련 및 훈련 지원, 컴퓨터 자원지원, 시설, 포장, 취급, 저장, 수송. 성능측정이 야전경험의 전체적인 지표를 제공한다. 임무성공비율, 운용가용도, 운용유지비용 초기단계부터 DCACAS를 통한 자료 수집 및 분석 시스템이 해결해야할 신뢰도 정비도 문제를 식별하고 우선순위를 정하는데 도움을 준다.

넷째 : 신뢰성설계 및 시험평가 동향

신뢰성설계와 관련하여 다음과 같은 사항이 강조되고 있다.

1. 고장요인을 초기에 탐지 및 제거
2. 고장물리기법에 의한 구조강도, 피로, 열, 진동, 습기영향분석
3. HALT 적용강화
4. S/W 신뢰성강화
5. 상세설계검토(Critical Design Review)가 끝나면 운용유지비용의 95%가 결정된다는 점 고려

시험평가와 관련하여 아래와 같은 사항이 강조되고 있다.

1. 모든 시험을 신뢰성시험으로 간주해서 모든 고장자료를 수집
2. 개발초기 성능시험에서도 신뢰성 자료를 수집
3. 신뢰성시험 시 정비성에 대해서도 동시에 점검
4. 가급적 DT+OT 통합시험 수행
5. System of System 시험 수행
6. 3군 연합시험 수행
7. Modeling and Simulation 수행
8. S/W 신뢰성시험 강화
9. MIL-STD-810G (환경시험) : 2008. 5 개정판 발간 예정

시험평가와 관련하여 미 국방부의 운용시험평가국장은 IETA Journal에 발표한 기고문을 통해서 다음과 같은 사항을 강조하고 있다.

1. 긴급장비에 대한 신속한 시험평가 : 전장터에 나가있는 병사들에게 24시간 또는 48시간 이내에 장비능력 및 제한사항 정보를 제공하기 위하여 신속한 시험평가 수행
2. 더욱 신뢰성 있는 무기체계가 될 수 있는 시험평가정책
 - 1996~2006년 육군장비 66% 불만족
2007년 해군장비 50% 불만족
2007년 공군장비 43% 불만족 및 25% OT중단
 - OT전에 취약점 색출 및 제거, HALT, ALT강조
 - 운용유지비용에 신뢰성이 가장 크게 영향을 미침
 - 운용가용도를 Key Performance Parameter로 간주하여 관리

다섯째 : 최근 신뢰성 연구분야

인터넷에 나타나 있는 것으로서 최근 군장비 관련 신뢰성 연구분야를 종합해 보면 대략 다음과 같은 분야에 치중하고 있는 것 같다.

1. UAV (MTBF 9~32h) , UGV (MTBF 6~12)신뢰성
2. Network, 통신망, Integrated Computer System 신뢰성
3. Modeling & Simulation, Software 신뢰성
4. 고장물리 (AMSAA-전자부품, 기계류 부품)
5. 신뢰성 설계방법
6. Power (연료전지), Lead free (Pb), Sensor 신뢰성
7. ALT, HALT(MIL-STD-331 고온 71℃, 저온-54℃, 각28일)
8. Accelerated Corrosion Testing
9. DLA Reliability Projects
10. Storage 신뢰성

인터넷을 통해서 위와 같은 주제에 대한 각종 신뢰성 관련 심포지움, 세미나자료를 볼 수 있다.

여섯째 : 정비 및 logistics 개념 전환

Performance Based Logistic(성능기반군수지원) 개념이 2001년부터 대두되어 지금 한창 연구가 진행되고 있으며 성과도 보고되고 있다. Performance Based Logistic의 기본철학은 부품을 사는 것이 아니라 성능을 사는 것이다. 정비 유지비용을 줄이기 위해서 창정비를 아예 민간업체가 수행하도록 전환하고 있으며 점차적으로 야전에서 운용되는 장비의 정비까지도 민간업체가 계약으로 정비에 참여하도록 하고 있다.

3. 결 론

1. 미래 무기의 발전 방향은 무인화, S/W의 적극적인 활용, 무고장, 무정비, 원거리정비, 자체정비, s/w 신뢰도, 로봇 신뢰도 등 무인화와 관련되는 신뢰성 기법이 크게 대두될 것으로

- 예상된다. 따라서 신뢰성은 군용장비의 필수성능요소로서 앞으로 점점 더 중요해 질 것이다.
2. 지금까지는 신뢰성을 보는 mind가 시간 축에서 고장현상을 생각하는 2차원적 사고에서 앞으로는 고장 당 소요비용, 시간당 소요비용을 추가적으로 생각하는 3차원적 사고로 전환 될 것이다.
 3. 따라서 군에 더 좋은 장비를 더 싼값으로 더 빠르게 개발해서 지원하기 위한 가장 기본적인 바탕은 신뢰성이라는 점이 점점 더 크게 인식되고 있어 신뢰성을 Key Performance Parameter로 관리하여야 한다는 추세라고 결론지을 수 있다.

참고문헌

- [1] Bill Moore and Tom Edwards, Future Combat System RMS Requirements' Development, RMS Partnership Newsletter, Volume 7 Number 3, 2003.7
- [2] Can HALT and HAST Replace some US MIL-STD-331 Climatic Tests for Electronic Fuzes?, US Army Aviation and Missile Command, 2003.4
- [3] Charles E. McQueary, Test and Evaluation in a Time of War : Making Defense Systems Reliable, IETA Journal, Sep/Oct 2007
- [4] David Pauling, Sustained Materiel Readiness, DoD Maintenance Symposium, 2006.10
- [5] Developmental Testing Overview, 2005.1
- [6] DLA Reliability/Technical Programs, 2005. 10. 25
- [7] DOD Guide for Achieving Reliability, Availability, and Maintainability, 2005.8.3
- [8] Driving Reliability Improvement through Culture Change, US Army Armament Research, Development & Engineering Center, 2005.10.25
- [9] Five Key Ways to Improve Reliability, The Journal of the Reliability Analysis Center, Second Quarter-2003
- [10] Fuel Cells An Emerging High-Technology Industry, 2006.4.22
- [11] Future Combat System, Boeing, 2007.3
- [12] Future Combat System & DARPA Supporting Technologies
- [13] Implementing Ultra-Reliability, 46th Annual Fuze Conference, US Army TACOM, 2002.5.1
- [14] Operational Testing Overview, 2005.1
- [15] Paul Alfieri, Don Mckeon, Suitability... at what cost?, DAU, 2007.3
- [16] Reliability(with Lead Free), iMAPS/MTEC, 2007.2.14
- [17] Reliability as a Key Performance Parameter(KPP), US Army Memorandum, 2004.3.27
- [18] Restriction of Hazardous Substance Panel, Defense Microelectronics Activity,
- [19] T&E Organizations, 2005.1
- [20] UAV Reliability Study, OSD, 2003.2