

# 무기체계와 신뢰성

한 형 운 · 국방기술품질원 기술기획단, 해군소령

e-mail : udt95@hanmail.net

이 글에서는 무기체계 신뢰성 업무 개념과 그 중에서도 신뢰성 업무의 시작이라고 할 수 있는 RAM 목표값 설정 개념을 집중조명하며, 국방 신뢰성 업무의 민수 적용 방안에 대해 설명하고자 한다.

**전**장에서 아군의 피해를 최소화하고 적군에게 타격을 최대화하기 위해서 고도의 신뢰성이 보장된 무기체계를 획득하고 운용하는 것은 필수적이다. 따라서 무기체계를 개발 및 생산하는 개발업체뿐 아니라 무기체계를 운용하는 운용자의 입장에서 신뢰성에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 또한, 무기체계의 신뢰성은 장비의 수명(고장시간)에 초점을 둔 민간 신뢰성 업무와 달리 임무 신뢰도에 중점을 둔 RAM(Reliability, Availability, Maintainability) 업무를 수행하고 있다.

## 무기체계 신뢰성 업무 개념

무기체계의 신뢰성 업무는 통상 'RAM 업무' 라고 통칭하는데 이는

어떤 무기체계에 대한 신뢰도(reliability), 가용도(availability), 정비도(maintainability)의 약어이며, 이는 어떤 무기체계의 고장

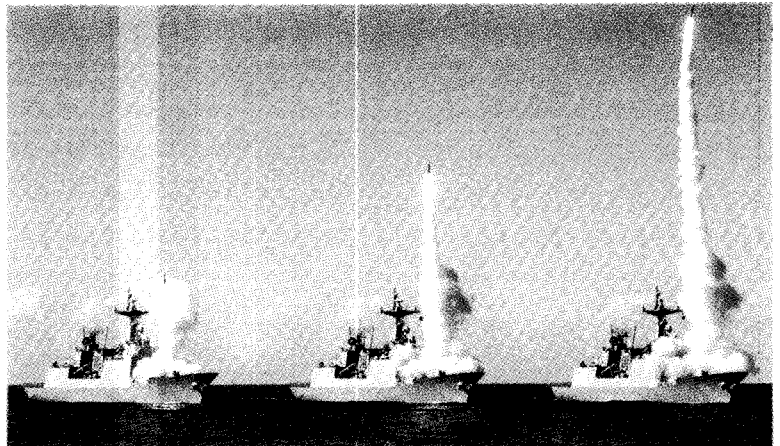


그림 1 함대공 미사일 발사 장면

빈도, 정비업무량 및 전투 준비태세 등을 측정하는 척도로서 활용된다.

예를 들어 미사일 체계의 경우 미사일을 발사하기 위해서 발사장치를 작동시켰을 때, 발사장치가 정상적으로 작동되는가는 신뢰도 문제이다. 또한 정비도는 미사일에 고장이 발생하였을 경우, 규정된 절차와 방법에 따라 정비를 실시할 경우에 지정된 기간 내에 규정된 상태로 복구될 수 있는가에 관한 것으로서 정비의 용이성 즉, 정비업무량과 관계되는 요소이다.

가용도란, 미사일 체계의 고장 시 적절한 수리를 거쳐 임의의 시점에서 가동상태에 있을 확률을 의미한다. 즉, 미사일 체계가 불시에 임무를 부여받았을 때 가용될 수 있는가에 해당하는 것이다.

이 가용도는 신뢰도와 정비도에 의해서 결정될 수 있는, 즉 두 가지 요소(신뢰도, 정비도)의 함수라고 볼 수 있다.

RAM은 무기체계의 개발/운용 과정에서 체계적인 설계 및 운용 지원, 비용 대 효과면에서 최적화를 달성하기 위해 수행하는 업무로서 무기체계개발 시 무기 성능 발휘, 전투준비태세, 장비 정비능력과 RAM의 신뢰도, 가용도, 정비도 요소와 밀접한 관계에 있다. 운용자 측면에서 전투편제를 판단하고, 전투능력을 예측하며, 장비운용 개념을 설정하는 데 필요하며, 개발자 입장에서는 장비에

군에서 무기체계 신뢰성(RAM) 업무는 상시 전투준비태세 유지를 위한 가용성 보장 요소로서 총 수명 주기비용을 절감시키고 양산 품질 보증 및 사용자 불만 감소를 위한 설계단계 업무이다.

$$\text{가용도 (A)} = \frac{R}{R+M} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$\text{가용도 (A장비)} = \frac{24 \times 3}{24 \times 3 + 6} = 92.3\%$$

$$\text{가용도 (B장비)} = \frac{24 \times 5}{24 \times 5 + 4} = 96.8\%$$

● A, B 장비 가용도 산출 모수

- A 장비 ⇨ 고장 간 평균 시간(MTBF) : 3일, 평균 수리시간(MTTR) : 6시간
- B 장비 ⇨ 고장 간 평균 시간(MTBF) : 5일, 평균 수리시간(MTTR) : 4시간

그림 2 가용도(availability) 산출 식

대한 품질 보증 및 군수지원 요소별 지원계획을 수립하는 데 활용된다. 또한 신무기 체계의 최초 개념 설계에서부터 폐기 시까지 수명주기 비용의 절감과 장비 성능의 향상, 원활한 군수지원계획을 수립하는 데 효과적이다.

무기체계 개발단계별 RAM 업무는 다음과 같다.

- 소요제기/개념형성 단계: OMS/MP 작성, RAM 요소 목표값 설정, 고장정의 결정
- 체계개발 단계: 고장유형 및 영향분석, RAM 요소 예측 및 시험평가
- 생산, 배치 및 운용 단계: 고장자료, 정비자료를 지속적으로 수집하여 RAM D/B에 저장

### OMS/MP 작성

무기체계를 연구 개발하는 과정에서 만약 초기에 설계 요구조건이 명확하지 못할 경우, 개발목표 변경에 따른 설계비용 증가, 운용 및 유지 개념 변경에 따른 비용증가, 개발 장비에 대한 설계 타당성 입증 및 평가 기준의 혼동 등으로 체계적인 개발이 어려울 것이다.

이러한 연유로 미국의 경우 새로운 무기체계 개발 시 미래의 전장 환경 및 전투 시나리오, 과학기술의 발전성 등 정성적인 개념을 정립하고 있다. 즉 군인, 교육, 조직, 장비, 교리 및 지휘관의 요구조건을 설정하고, OMS/MP(Operation Mode Summary-Mission Profile)라는 정량적인 개념을 도출하여 소요제기 단계에서 장비 성능 및 운용 능력에 대한 요구조건을 제시하고 있다.

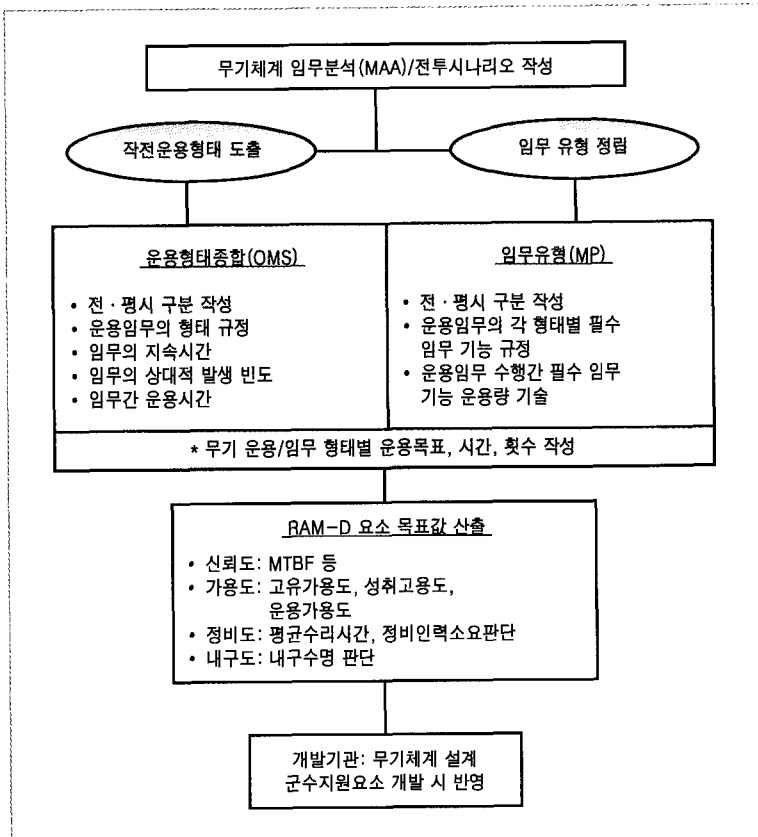


그림 3 OMS/MP 작성을 통한 목표값 산출 절차

운용형태종합(OMS)은 전장에서 어떤 무기나 훈련장비가 수행하게 될 임무에 대한 종합적인 기술로서, 전·평시 운용으로 구분되며 “임무를 수행하게 될 조건”, “임무가 시작되어 완료시까지의 기간과 각각의 임무 발생 횟수”, “무기체계 운용시간” 등이 기술되어야 한다. 또한 평시 OMS는 교육훈련 계획 및 전술 훈련 계획 등을 고려하여 작성하되, 전시에는 작전지속일간의 모든 운용임무 형태별 운용시간/상대적 발생빈도에 의한 총 임무시간이 산출되어야 하며, 평시에는

1년 동안의 운용임무 형태별 임무의 지속시간 및 상대적 발생빈도에 의해 총 임무시간이 산출되어야 한다.

OMS는 무기체계의 전·평시 운용형태를 요약한 문서로 다음과 같은 형태로 표현된다.

- 평시: 유형별 훈련에 대한 횟수, 총시간, 총 가동시간(운용시간(operating time), 경계시간(alert time), 대기시간(standby time), 총 비가동시간(down time) 등으로 표현
- 전시: 임무별 총 운용시간

(TOT) 운용시간(OT), 경계시간(AT), 대기시간(ST)의 형태로 표현.

\* **Operating Time:** 장비가 주어진 임무를 수행하는 시간, 만약 무전기 Sensor 등 하부체계 중 하나라도 작동한다면 운용시간으로 보아야 한다.

\* **Alert Time:** 장비가 작동이 가능한 상태이고, 운용자가 해당 위치에 있으며, 명시된 임무를 수행하기 위해 전념하고 있는 상태를 말한다. 그렇지만 장비가 실제로 임무를 수행하는 것은 아니다.

\* **Standby Time:** 장비가 작동 가능한 상태이기는 하지만, 정비고에 자동차를 주차 하고 운전자가 탑승하지 않는 것처럼 운용이나 운용을 위해 어떠한 준비도 하지 않는 상태를 말한다.

\* **Down Time:** 운용이 불가능한 상태로 계획정비 등 장비가 운용되지 않은 상태로 수송수단(트럭, 항공기)에 의한 수송기간이 포함된다.(갑작스런 고장은 미포함)

MP는 전·평시 임무유형을 요약한 문서로 전·평시 임무유형별 평균 가동거리, 사격발수, 통신 운용시간, 생존시간 등으로 표현된다. 이는 특정 임무가 어떤 형태로 수행되는가를 시간적으로 표현한 것이다. 세부 포함 내용 및 유형은 작전임무별 운용소요시간을 각각의 필수 임무 수행에

따른 주행거리, 발사탄수, 엔진가동/공회전시간, 임무구간별 이동속도/거리, 사격속도 등이다.

### RAM 목표값 설정

단위부대(육군의 사단, 해군의 함대사령부, 공군의 비행전단 등)에 요구되는 전투력을 유지할 수 있는 능력을 전투준비태세 (combat readiness) 유지 확률로서 표현할 수 있는데, 이러한 단위부대의 전투력은 단일 장비의 전투력과 부대의 작동 가능한 장비 대수로 결정할 수 있다.

단위부대의 동시 가동대수(가동률)가 결정되어 있다면, 단위부대의 전투력은 단일 장비의 전투능력에 따라 결정된다. 또한, 단일 장비의 전투능력은 장비를 가동할 수 있는 능력인 운용가능도에 따라 달라지므로 단위부대의 전투능력은 부대의 장비 가동률과 단일 장비의 운용가능도에 따라 결정된다.

OMS/MP를 통해 산출된 무기체계의 임무 형태별 운용목표, 시간 및 횟수 등을 토대로 실제 운용적인 측면의 운용가능도와 장비의 설계적인 측면인 신뢰도, 군수지원체계 측면의 정비도 및 행정/군수지원시간을 산출한다. 운용가능도란, 무기체계(장비)가 실 운용환경에서 정해진 조건하에 사용될 때 언제든지 만족스럽게 운용될 확률로서 비가동시간인 고장정비, 예방정비, 행정 및 보

목표 운용가능도는 운용가능도(operational availability)의 목표치이며 무기체계의 운용소요, 임무 특성, 비용 대 효과분석 등을 근거로 설정되며, 무기체계를 운용하는 사용군 요구에 부응하는 맞춤형 무기체계 개발 및 효과적인 군수 및 보급 지원성을 보장한다.

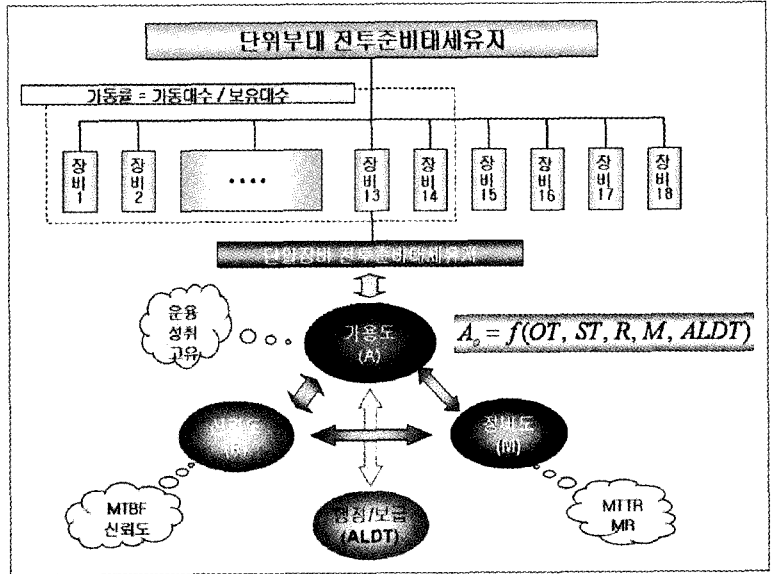


그림 4 전투준비태세, 가동률, 운용가능도의 상관관계

운용가능도 (A <sub>c</sub> ) = $\frac{\text{운용가능시간 (OT + ST)}}{\text{운용가능시간} + \text{운용불가능시간 (TPM + TCM + TALDT)}}$		
구분	목표적도	산출식
신뢰도 (R)	MTBF	$MTBF = \frac{OT \times ALDT}{(1 - A_o)IT - TMT}$
정비도 (M)	MTTR	$MTTR = \frac{\text{총정비시간(TCM)}}{\text{고장횟수(OT/MTBF)}}$

그림 5 목표 운용가능도 산출식

급대기 등과 관련된다.

따라서 목표 운용가능도는 그림 5와 같이 나타낼 수 있으며, 목표 운용가능도 값을 토대로 목표 신뢰도 및 정비도 또한 산출이 가능하다.

### 국방 신뢰성 업무의 민수적용

국방 신뢰성 업무는 체계공학 내의 설계업무와 종합군수지원 (ILS; Integrated Logistics



그림 6 주요 방위산업 수출 품목의 수출 성과 및 진행 현황

다시 말하면 군에서 적용하고 있는 가용성 척도를 응용하여 설계 차원의 신뢰성(RAM) 관리를 고려할 필요가 있다는 의미이다. 예를 들어 택시와 같은 영업용 자동차가 고장났을 때 그 택시기사는 한시라도 빨리 고장원인을 찾고 그 원인을 제거 또는 수정하여 다시 영업을 재개하기를 바랄 것이다. 즉, 자동차의 가용도를 높여야만 더 많은 돈을 벌 수 있으며 예기치 않았던 고장으로 인한

Support) 업무 사이의 공유영역으로 개발 장비의 고장을 최대한 억제하여, 신뢰도가 높은 무기체계를 야전에 배치하고 운용함으로써 불가동 시간을 최소화하며 운용유지비용을 절감하는 데 그 목적이 있다. 이러한 특성은 군용장비를 개발할 때에 주된 관심 요소가 개발기간 및 가용도에 있기 때문이다. 즉, 전투함, 전투기, 전차 등 무기체계는 장기간 운용 및 유지(30년~40년)를 위해 체계적이며 적시적인 정비업무가 필수이다. 또한, 정비업무로 인한 장비 불가동성을 고려하여 장비 가용도( $A = \frac{R}{R+M} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$ )라는 개념을 적용하고 있으며 정비도 향상을 위해 시스템 및 장비의 점검과 정비 용이성을 고려

한 체계 설계를 중시한다.

이와 달리 민수 분야 신뢰성 업무는 신뢰도에 초점을 맞추고 있다. 이는 군용 장비에 비해 운용기간이 상대적으로 짧고 새로운 제품에 대한 개발속도가 빨라 그 사용기간 중 제품의 신뢰성 보장을 요구하고 있기 때문이다. 또한, 사용의 편리성에 중점을 두고 있으므로 고장에 대비한 수리개념보다는 경제성을 고려한 폐기 혹은 재구매가 주된 관심사이다.

그러나 자동차, 선박과 같은 경우는 단위 부품의 신뢰성만을 강조하는 협의적인 신뢰성 정책만으로 체계 전체의 신뢰성 보장에 한계가 있다. 그러므로 단위부품의 신뢰성 정책과 더불어 체계 차원의 신뢰성 관리가 중요하다.

불가동 시간은 돈을 벌 수 없는 시간이기 때문이다. 따라서 택시기사는 그러한 불가동 시간을 최소화할 수 있는 가용성이 우수한 자동차를 선호할 것임은 자명하다. 이러한 소비자의 요구조건을 분석하여 자동차 설계 시 Build in Test 장비 등 실시간 모니터링 장비를 장착한다거나, 부품의 모듈화를 통한 정비 용이성 등을 고려한다면 보다 빠르게 고장부위를 식별할 수 있고 필요 부속품을 보다 빨리 확보하여 정비함으로써 가용 상태로 복귀할 수 있을 것이다.

산업자원부에서는 2001년부터 '부품·소재전문기업육성특별법'을 근거로 부품·소재의 신뢰성 문제(고장을 감소, 수명연장)를

해소하여 수요자가 안심하고 사용할 수 있는 산업 부품 및 소재의 개발에 집중하여 왔다. 이러한 사업추진의 결과로 신뢰성 인증 제도를 포함한 수 많은 제도와 실적들이 하나 둘 나타나고 있다.

하지만 부품, 소재만의 신뢰성 확보만으로 자동차와 선박과 같은 복합체계의 신뢰성이 확보될 수는 없다. 더군다나 최근 산자부내에서도 체계차원의 신뢰성 업무 관리의 필요성이 제기되고 있는 바 군에서 적용하고 있는 신뢰도, 정비도, 가용도 개념을 적용하여 소비자의 요구사항 분석을 토대로 설계 반영요소를 식별

하고, 설계단계에서는 분석결과가 설계에 녹아들 수 있도록 관리하며 적절한 시제를 제작하여 체계 신뢰성 시험을 실시하는 등 진정으로 소비자가 원하는 제품을 출시할 수 있도록 해야 할 것이다.

우리나라 군에 신뢰성 기법이 적용된 지 30여 년이 지났다. '자주국방'의 기치 아래 국내에서 개발한 무기 수출이 조만간 '꿈의 10억 달러 수출탑'을 달성할 것으로 예상된다. 터키 국방부가 한국산 기본훈련기(KT-1)와 차기 전차를 도입하기로 공식 발표했다기 때문이다. 수출 규모는 5,000억 원 이상으로 2001년

K-9 자주포(10억 달러)에 이어 방산 수출 역사상 두 번째다. 그러나 아직 시작에 불과하다. 대당 수백억 원을 호가하는 초음속 훈련기와 척당 수천억 원짜리 잠수함 등 우리 손으로 만든 첨단 무기들의 수출 전선에 "청신호"가 켜졌기 때문이다. 1970년대 소총과 탄약 생산으로 걸음마를 댄 방산업계가 축적된 기술력을 바탕으로 만든 '명품 무기'들이 세계시장에서 '러브콜'을 받고 있다. 이러한 결과는 국내 무기체계에 대한 신뢰성이 인정받고 있다는 의미로 해석할 수 있겠다.

## 기계용어해설

### 도가니강(Crucible Steel)

도가니에서는 단지 용융만 하고 정련을 하지 않기 때문에 처음부터 좋은 원료로 배합하여 장입하는 것으로, 도가니로 용제한 강.

### 크로스형 가스터빈(Cross-compound Gas Turbine)

고압 압축기를 저압 터빈에서, 저압 압축기를 고압 터빈에서 구동시켜 가스 터빈의 성능을 높이는 형식의 일종.

### 유효장력(Effective Tension)

벨트나 로프 등의 전동에서 당기는 축의 장력으로부터 느슨한 축의 장력을 뺀 힘이 원동차에서 종동차로 전해지는 것.

### 삼출냉각(Effusion Cooling)

다공질로 날개를 만들고 냉각공기를 그 내부로부터 배어나올 수 있도록 붙여 내어 냉각시키는 방법으로, 가스 터빈의 날개 냉각법의 일종.