

BCS 모델을 이용한 무기체계 RAM 요구조건 수립

Establishing RAM Requirement based on BCS model for Weapon Systems

어 성 필* 김 성 진* 김 대 용*
Seong-Phil Eo Sung-Jin Kim Dae-Yong Kim

Abstract

RAM(Reliability, Availability, Maintainability) characteristics of weapon system is a part of Required Operational Capability, must be reasonable and achievable. In this study, we studied the criteria, important factors to establish RAM requirement and reviewed the current process. Then we propose the new process and method to establish the reasonable and achievable RAM requirement by BCS(Baseline Comparison System) model.

Keywords : RAM Requirement, BCS, OMS/MP(Operational Mode Summary and Mission Profile)

1. 서 론

무기체계 분야에서 RAM 특성은 작전운용성능의 한 부분으로, 유사시 장비의 가용능력과 임무수행 능력을 나타낼 뿐만 아니라 수명주기비용과도 밀접한 관계가 있다. 이에 따라 RAM 예측, 분석, 평가 등의 활동은 무기체계 개발단계 뿐만 아니라 운용유지 단계까지 지속적으로 추진되고 있다. 이러한 RAM 활동의 당위성이 확보되고 원활한 관리가 이루어지려면, 운용측면의 현실성과 기술적 타당성이 고려된 RAM 요구조건이 수립되어야 한다.

RAM 요구조건 수립과 관련하여 국내 대부분의 연구는 준비태세능력과 OMS/MP에 의한 장비 운용조건을 이용해 RAM 요구조건을 도출하는 방식이었으며, 장비의 기술적인 특성을 고려하지 못하였다. 따라서

개발단계 뿐만 아니라 운용과정에서조차 해당 장비의 RAM 요구조건의 달성가능 여부에 대한 의구심이 있었으며, 또한 RAM 요구조건 자체의 타당성에 대한 의구심도 발생되고 있다. 과거의 RAM 요구조건 수립은 가용도를 최선의 목표로 선정하고, 이를 통해 신뢰도, 정비도 요구조건이 수립되는 방식이었다. 즉, 운용자 입장에서 유효한 가용도를 수립하고, 정비도는 야전 경험에 따른 수치를 적용하며 신뢰도는 이 두 가지 파라미터 가용도, 정비도를 통해 산술적으로 구하고 있다.

국내 무기체계에서 이에 대한 활동으로 이한규등^[1]은 전차체계에 대해 다양한 RAM 목표값 설정방안을 제시하였으나, 운용자 입장에서 수립한 OMS/MP와 준비태세능력에 기초한 방안을 제시하였다. 오종진등^[2]은 철매-II 탑재차량의 장비 사용률에 따른 변환계수 적용을 통해 MKBF(Mean Kilometer Between Failures) 목표수립 방안을 제시하였으나, 이 방안 역시 OMS/MP를 그 근거로 하고 있다. 또한 장원준^[3]은 RAM 목표수립과 관련된 다양한 모델을 제시하였지만, 세부적인

† 2009년 9월 14일 접수~2009년 12월 18일 게재승인

* 현대로템(주) 기술연구소

책임저자 : 어성필(speo@hyundai-rottem.co.kr)

목표설정 방법론은 포함하지 않았다.

신뢰도, 가용도, 정비도와 관련된 미 육군 규정^[4]에 따르면 요구조건 수립을 위해서는 OMS/MP, FDSC (Failure Definition Scoring Criteria : 고장정의 평가기준), 가용도, 정비도 파라미터 정의 및 유사체계의 야전운용자료 분석결과 등이 필요한 것으로 되어있다.

이에 따라 미 국무차관실 자료^[5]에서는 OMS/MP에 식별된 장비운용 시간표에 따른 RAM 분석방법에 대한 수리적인 모델과 예를 언급하고 있으나, 이는 목표수립 과정이 아니라 시험/평가단계의 장비운용결과에 따른 RAM 평가라 할 수 있다. Carroll^[6]은 신뢰도 요구조건을 운용(operational), 계약(contractual)으로 구분할 필요성을 제기하였으며, 이에 대한 명확한 판단을 위해 운용자, 정비요원, 획득담당, 주장비 개발사, 납품사 등 해당 장비와 관련된 이해관계자간의 고장정의에 대한 합리적인 기준수립이 필요함을 언급하였다. 또한 Jokubaitis^[7]은 기존 RAM 요구조건 수립과 평가방법의 문제점을 언급하고, 고장영향에 따른 신뢰도 요구조건의 상세분류가 필요함을 언급하였다. 미 육군 교육사령부(TRADOC) 자료^[8]에서는 소요제기 단계에서 Combat Developer(CBTDEV)가 유사체계의 야전운용자료를 이용하기 위하여 기존 비교체계(BCS)를 개발하여 이를 신뢰도 요구조건 수립에 반영해야 함을 제시하였다. Price^[9]은 ASOAR(Achieving a System Operational Availability Requirement Model) 시뮬레이션 모델을 이용한 운용가용도 목표설정 방법을 다루고 있지만, 운용가용도 설정의 근간이 되는 신뢰도 수립과정은 다루지 않았다. Hackley^[10]은 신뢰도에 대한 해석이 부분하고 항공체계의 고장특성이 우발고장만으로 단정할 수 없기 때문에 MTBF(Mean Time Between Failures)로 표현하였던 신뢰도 요구조건을 무결점(fault free), 무고장(failure free) 시간으로 정의할 것으로 제시하였으며, 또한 운용 가용도와 체계 필수정비 시간(ESRT : Essential System Repair Time)만을 요구조건으로 수립할 것을 제시하였다.

이러한 해외의 RAM 요구조건 수립과 관련된 지침, 규정, 연구자료는 OMS/MP, FDSC, 유사체계의 야전운용자료 분석결과 등 복합적인 요소에 대한 검토 필요성은 제시하고 있으나, 구체적인 방법이 기술된 바는 없으며 목표수립에 필요한 제반사항, 개략적인 절차 및 원칙 등에 대한 내용이 위주였다. 따라서 국내 무기체계 분야에서 위와 같이 요구조건 수립과정에 복합적인 요소를 검토할 수 있고, 자체적인 RAM 요

구조건 수립을 할 수 있는 절차 및 방법 마련이 시급한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 무기체계의 기술적 개발 가능성과 운용환경을 복합적으로 고려한 RAM 요구조건 수립 방법론 개발에 주안점을 두고, RAM 요구조건 수립에 고려해야 할 기준 및 중요사항이 무엇인가를 제시하였으며 현행 절차의 취약점과 이에 대한 개선사항을 검토하였다. 최종적으로 RAM 요구조건 수립의 개선안으로 BCS 모델을 통해 유사체계 RAM 특성을 기술적, 운용적 가중치로 전환함으로써 개발대상 장비의 요구조건으로 수립하는 절차 및 방법을 제시하고자 한다.

2. RAM 요구조건 수립 기준 및 요소

신뢰도 요구조건 수립과 관련하여 Ryan^[11]은 미국방성의 획득 프로그램 프로세스^[12]에서 RAM 관련활동 중 획득 프로그램 관리자는 정량적이면서 개발, 운용 시험을 통해 측정 가능한 RAM 요구조건이 개발되어야 함을 언급하였다. 또한 요구조건 생성 절차를 통해 수용가능하며 제한된 개발기간, 예산 내에서 기술적으로 달성가능한 요구조건이 수립되어야 함을 언급하였다. 이렇듯 달성가능성 측면에서 유사장비의 과거 경험제원없이 개발장비를 어떻게 사용할 것인가의 운용 계획만으로는 RAM 요구조건 수립은 무리가 있을 것이다.

따라서 유사체계를 통한 기술, 운용 측면의 차이점을 비교하고, 이를 통해 유사체계 대비 개발체계의 RAM 특성을 상대적인 수치로 도출하는 것이 가장 현실적이다. 만일 유사체계가 존재하지 않는 신규체계라면, 체계를 구성하는 대표적인 품목을 분류하고 이 품목과 동일하거나 유사한 품목의 야전경험제원을 구하고 이를 합성(synthesize)하여 체계 신뢰도를 수립할 수 있다.

또한 RAM 요구조건 수립의 주요사항과 관련하여 서론에서 언급한 바와 같이 미 육군규정^[4]에서는 RAM 요구조건 수립을 위해 RAM 파라미터 정의, OMS/MP, FDSC 및 유사체계의 야전운용자료에 대한 베이스라인 분석(baseline analysis)이 준비되어야 함을 언급하고 있다.

여기서 베이스라인 분석이란 기준 비교체계(BCS)를 구축하고 이를 개발장비와 비교하여 기술적 발전사항, 운용환경 특성변화 등을 식별하여 RAM 요구조건에

반영하는 것이라 판단된다. 이와 관련하여 Jones^[13]는 군수지원분석(LSA : Logistic Support Analysis)의 임무 및 지원체계 정의(Mission and Support System Definition) 단계에서 수행하는 비교분석(Comparative Analysis) 과정 중 신기술 또는 다른 상황에 기인하여 비교분석에 대상이 되는 유사체계가 존재하지 않을 경우, 부체계 또는 주요장치들을 조합하여 신규체계의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있도록 합성모델(Composite Model)을 BCS로 구현할 것을 언급하고 있다. 또한 RAC^[14]에서는 운용가용도의 사전 연구 및 분석과정(Pre-Project R&D studies)에서 BCS를 선정하거나 수립하는 과정이 필수적인 것으로 제시하고 있으며, Alexander등^[15]은 신규개발체계와 유사한 기능을 지닌 선행모델이 있을 경우, 신규(新舊) 체계간의 유사성과 차이점이 무엇인지 명확히 이해하는 것이 중요하며, 또한 요구조건에서의 차이점이 어떤 이유로 얼마나 차이가 있을지를 판단하는 것이 중요하다고 언급하였다.

이를 고려할 때 신규 무기체계 또는 기존 체계의 개량에 대한 신뢰도 요구조건 수립 시, 신규 기술조건 및 적용장치를 고려한 BCS 모델을 수립하고, BCS를 구성하는 부체계 또는 단위장치별 신뢰도에 야전운용제원을 반영한다면 합리적인 신뢰도 요구조건을 도출할 수 있을 것이다. 물론, BCS의 단위 구성품이 무기체계분야에서 운용한 적이 없는 민수제품이거나 심지어 국내외를 통틀어 최초로 개발되는 품목이라면, 단위 구성품을 세분화한 후 야전운용제원을 반영하거나 Parts Count 등의 일반적인 신뢰도 예측기법을 통해 수립할 수 있을 것이다.

3. 현행 RAM 요구조건 수립절차 및 방법

현재까지 국내 무기체계 개발과정에 적용된 RAM 요구조건 수립절차는 여러 보고서^[16], 지침서^[17], 논문^[1]등에서 여러 가지 형태로 제시되어 있으나, 이 모두를 요약하면 Fig. 1과 같이 표현할 수 있다.

지금까지의 RAM 요구조건 선정과정은 요구된 전투준비태세 능력에 따라 운용가용도를 산정하고 OMS/MP의 운용시간표를 이용하여 정비소요시간을 도출한 후, 이 두 가지를 통해 가장 마지막으로 신뢰도 요구조건을 수립하는 과정으로 이뤄져 있다.

Fig. 1의 절차에 따르면 RAM 요구조건은 OMS/MP에 지대한 영향을 받게 되므로, 사용자가 장비를 어떻

게 사용하느냐가 RAM 요구조건을 핵심 결정요소로서 작용한다. 여기에서 운용가용도는 해당 장비를 운용하여 요구된 임무달성을 위해 반드시 필요하고 작전개념에 부합되어야 하는 반면, 장비의 기술적 특성에 대한 고려없이 OMS/MP의 운용시간표를 통해 MTTR (Mean Time To Repair), MR(Maintenance Ratio) 등의 정비소요를 결정하고 그 결과를 통해 신뢰도 요구조건을 결정하는 것은 요구조건 수립기준의 달성가능성 측면에서 현실적으로 달성가능하기 힘든 결과를 초래할 수 있다는 것을 간과하면 안 될 것이다. 예를 들어 위와 같은 절차를 통해 결정된 신뢰도 요구조건이 기술적으로 달성하기 어려운 것이라면, 신뢰도 요구조건에 부합되는 장비를 개발하기 위해 터무니없는 중복구조가 요구될 수 있을 것이며 이는 장비의 양산비용 및 운용유지비용의 과다 소요가 발생할 수 있을 것이다.

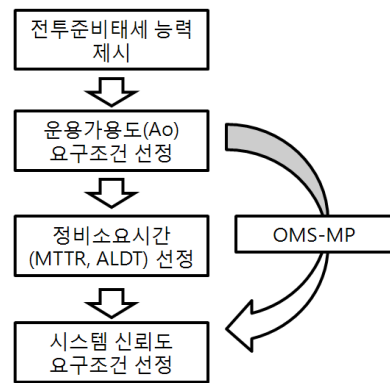


Fig. 1. The current process of establishing RAM requirement

또한 행정 및 군수지연시간(ALDT : Administrative and Logistic Delay Time)은 군 보급구조나 개념에 따라 가변적인 것이기 때문에 장비의 기술특성에 대한 고려없이 어느 정도 판단이 가능하겠지만, MTTR, MR은 고장난 장비를 얼마나 효과적으로 복구할 수 있는지를 나타내는 정비성과 관련된 사항으로서 이것은 분명히 장비설계와 관계된 기술적인 특성이다. 이렇게 기술적 고려없이 수립된 정비소요는 신뢰도 요구조건에도 직접적인 영향을 미치게 되므로 그 파급효과는 지대할 것이다.

따라서 합리적이며 현실적인 RAM 요구조건 수립을 위해서는 신뢰도, 정비도가 운용가용도와 OMS/MP에만 의존된 파라미터라는 인식 탈피가 반드시 필요하

다. 즉, 운용가용도, OMS/MP 만을 고려하여 신뢰도, 정비도 요구조건을 수립할 것이 아니라, 개발장비의 기술적, 운용적 특성을 복합적으로 고려하여 수립해야 한다. 또한 기술적, 운용적 및 경제적으로 만족할만한 수준이 아니라면, 체계공학 차원에서 이를 보완할 수 있는 대안검토가 함께 진행되어 합리적인 RAM 요구 조건 도출이 이뤄져야 할 것이다.

4. 개선방안

앞서 2장과 3장에서 검토한 내용에 따라 절차적, 방법적 개선안에 대한 핵심 사항은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 유사장비 경험제원을 통한 독립적 신뢰도, 정비도 요구조건 수립
- BCS 수립을 통한 기술, 운용특성 비교분석 및 신뢰도, 정비도 요구조건에 반영
- BCS 비교분석 결과를 통한 운용가용도 만족여부 확인 및 보완

위의 요약내용을 토대로 RAM 요구조건 수립에 대한 개선된 절차를 도식화하면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

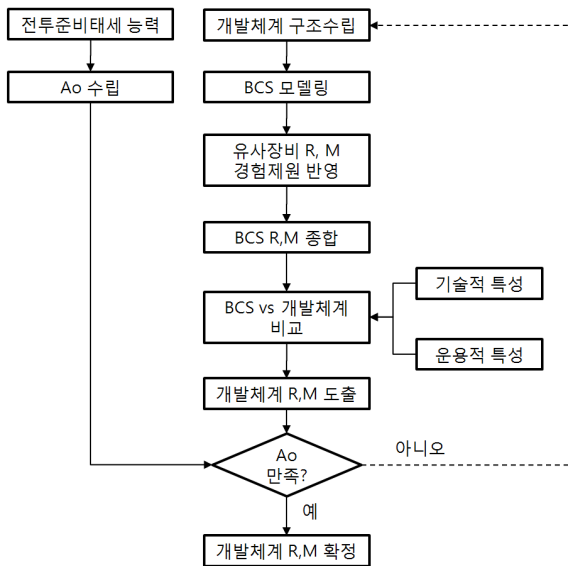


Fig. 2. Suggestion of improved process

Fig. 2에 제시된 절차의 단위업무별 수행내용은 다음과 같다.

가. 운용가용도 수립

개선된 RAM 요구조건 수립절차의 첫단계는 기존의 방법과 마찬가지로 전투준비태세 능력을 통한 운용가용도 수립이다. RAM Rationale Report^[8]에서는 단위부대의 전투준비태세율을 Table 1과 같이 분류하고 있다.

Table 1. Unit Readiness

전투준비태세범주(C-i)	단위부대 전투준비율 (Unit Readiness)
C-1: 전투준비(무결함)	0.90~1.0
C-2: 전투준비(경결함)	0.70~0.89
C-3: 전투준비(중결함)	0.60~0.69
C-4: 비 전투준비	0.0~0.59

또한 전투준비율 달성을 위한 최소요구 대수, 부대 편성 및 단위 체계의 운용가용도를 이항분포 계산식에 대입함으로써 해당 전투준비태세 범주에 속할 확률을 다음과 같이 제시하고 있다.

$$C_i = \sum_{x=r_1}^{r_2} \binom{n}{x} A_o^x (1-A_o)^{n-x} \quad (1)$$

여기서, C_i : 전투준비율이 C-i 범주에 속할 확률

n : 단위부대를 구성하는 체계의 수

r_2 : C-i 범주의 전투준비율을 달성하기 위한 최대 운용체계 수

r_1 : C-i 범주의 전투준비율을 달성하기 위한 최소 운용체계 수

A_o : 체계 1대 기준의 운용가용도

x : 단위부대에서 운용하는 체계의 수

위와 같은 준비태세 범주를 참고하여 목표로 하는 전투준비태세 비율을 산정하고, 이를 통해 체계 한대 기준의 운용가용도를 수립할 수 있다.

나. 체계구조 정의

운용가용도 수립이 완료된 후 개발무기체계의 구조를 장비의 요구된 특성을 근거로 한 개략적인 체계구

조의 수립이 필요하다. 개략적인 체계구조는 사용자의 정성적인 요구사항을 장치단위로 식별한 것이므로 개발과정에서 상세화되고 구체화될 것이다. 따라서 본 단계의 체계구조는 가급적 부체계(subsystem) 수준에서 실시하되, 해당 기술자료가 확보되거나 구체화가 필요한 경우 LRU(Line Replaceable Unit) 수준으로 전개할 수도 있다.

다. BCS 모델링 및 유사장치 조사

이렇게 구성된 개발체계의 구조에 단위 구성품별 유사장치를 조사한다. 유사장치가 존재하지 않는다면 해당 유사장치를 식별할 수 있는 최소한의 수준으로 해당 구성품을 하위장치로 분해하여 조합한다. 유사장치는 동종의 무기체계의 것을 선정하는 것이 바람직하지만, 동종 무기체계에 해당장치가 존재하지 않는 것이라면 타 분야의 무기체계 또는 심지어 상용제품으로 구성해도 될 것이다. 또한 BCS 구성품의 유사장치는 기술적으로 유사성이 있어야 될 뿐만 아니라, 신뢰도, 정비도 경험제원을 보유한 장치를 적용하는 것이 전제조건이다.

라. 경험제원 반영

이렇게 구성된 BCS 단위 구성품에는 유사장치의 신뢰도, 정비도 경험제원을 반영하되, 해당 경험제원과 관계된 출처, 장비의 운용특성 및 기술특성이 분명히 수록되어야 한다. 이러한 경험제원 정보의 명확성은 다음 단계인 BCS와 개발체계의 특성비교를 투명하게 진행하기 위해 반드시 필요한 사항이다.

마. BCS와 개발체계 특성비교

유사장치로 구성된 BCS는 개발체계의 기능, 성능에 따라 유사하게 조합된 가상의 장치일 뿐, 이것이 개발체계의 RAM 특성을 대변하는 것은 아니다. 따라서 BCS 기준으로 개발체계의 특성차이에 대해 단위 구성품별로 비교하고 그 값을 가중치로 정량화하여 BCS의 신뢰도, 정비도에 반영함으로써 개발체계의 신뢰도, 정비도 특성을 도출한다.

바. 특성비교 요소

특성비교 요소는 크게 기술적, 운용적 2가지 요소로 분류할 수 있으며 각 요소는 신뢰도, 정비도 관점에서 영향을 많이 미치는 세부 요소로 다시 분류된다. 각 요소는 다음과 같이 종합적으로 정리할 수 있다.

1) 신뢰도

MIL-HDBK-338B^[18]에서는 신뢰도 할당과정 중 신뢰도에 영향을 미치는 요소로서 다음을 언급하고 있다.

- 복잡도(Intricacy) : 장치를 구성하고 있는 부품 수의 추정
- 기술수준(State of the art) : 장치개발에 소요되는 기술이 이미 타 장치 등에 적용되었는지, 아니면 거의 적용된 바가 없는 기술인지를 판단
- 작동시간(Performance time) : 체계 전체운용 시간 대비하여 해당 장치 사용시간의 증감을 판단
- 환경조건(Environment) : 운용환경조건이 상대적으로 얼마나 가혹한지, 완화되었는지를 판단

2) 정비도

Harold^[19]는 정비도에 영향을 주는 요소로서 다음 사항을 언급하였다.

- 접근성(Accessibility) : 안전하면서 효과적으로 정비 업무를 수행할 수 있는 충분한 공간이 확보될 것인가를 판단
- 모듈화(Modularity) : 장치가 물리적, 기능적 독립적인 단위품목으로 분리되어 교환시간을 감소될 수 있는가를 판단
- 표준화(Standardization) : 표준화된 수리부속품, 공구, 시험장비 등이 적용될 것인가를 판단

위의 각 특성 항목별 비교결과를 통해 개발체계의 신뢰도, 정비도의 예상수준을 판단하기 위해서는, 위에서 언급된 신뢰도 4개 요소, 정비도 3개 요소 등 각 특성항목에 대한 비교 가중치를 BCS 단위품목별 신뢰도, 정비도에 적용함으로써 구할 수 있을 것이다. 이러한 가중치 적용의 범위에 대해서 RAC^[20]에서는 설계개선에 의한 신뢰도 향상 수준은 10~20%가 적절하다고 언급하고 있는바에 착안하여, 각 가중치의 상하한 값은 최대 20%를 넘지 않는 것으로 하였다. 따라서 특성비교 항목별 가중치가 모두 상한에 해당할 경우 BCS 대비 개발체계의 신뢰도, 정비도는 약 2배 수준의 향상된 결과가 나타나며, 반대로 모두 하한에 해당할 경우 약 40% 수준으로 저하된 결과로 나타나게 된다. 이러한 비교항목별 가중치를 정리하고 이를 BCS 단위품목의 신뢰도, 정비도에 반영하기 위해 Table 2의 표준 비교양식을 수립하였다.

Table 2. Comparison the object system developed with BCS in aspect of several affection factors

비교대상(BCS)			개발체계										
품목 구분	MTBF	MTTR	신뢰도						정비도				
			복 잡 도 (1)	기술 수준 (2)	작동 시간 (3)	환경 조건 (4)	가중계	적용결과	접 근 성 (1)	모 듈 화 (2)	표 준 화 (3)	가중계	적용결과
품목 1	TF ₁	TR ₁	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	$\prod_{i=1}^4 R_{1i}$	TF ₁ · $\prod_{i=1}^4 R_{1i}$	M ₁₁	M ₁₂	M ₁₃	$\prod_{i=1}^3 M_{1i}$	TR ₁ · $\prod_{i=1}^3 M_{1i}$
품목 2	TF ₂	TR ₂	R ₂₁	R ₂₂	R ₂₃	R ₂₄	$\prod_{i=1}^4 R_{2i}$	TF ₂ · $\prod_{i=1}^4 R_{2i}$	M ₂₁	M ₂₂	M ₂₃	$\prod_{i=1}^3 M_{2i}$	TR ₂ · $\prod_{i=1}^3 M_{2i}$
⋮			⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	
품목 n	TF _n	TR _n	R _{n1}	R _{n2}	R _{n3}	R _{n4}	$\prod_{i=1}^4 R_{ni}$	TF _n · $\prod_{i=1}^4 R_{ni}$	M _{n1}	M _{n2}	M _{n3}	$\prod_{i=1}^3 M_{ni}$	TR _n · $\prod_{i=1}^3 M_{ni}$

Table 2에서 개발체계의 신뢰도, 정비도를 산출하기 위한 각 요소들의 정의는 다음과 같다.

- R_{ni} : n번째 품목에 대한 i번째 신뢰도 비교요소 가중치 (0.8 ≤ R_{ni} ≤ 1.2)
- M_{ni} : n번째 품목에 대한 i번째 정비도 비교요소 가중치 (0.8 ≤ M_{ni} ≤ 1.2)
- TF_n : n번째 품목에 대한 MTBF
- TR_n : n번째 품목에 대한 MTTR

사. 개발체계 신뢰도, 정비도 도출

BCS의 단위구성별로 개발체계와 해당 특성항목별 비교를 하므로, Table 2와 같이 각 특성항목별 가중치를 종합한 가중계를 구하고 이를 BCS의 신뢰도, 정비도에 반영하면 개발체계의 신뢰도, 정비도로 도출할 수 있다. 또한 Table 2에서 특성비교 항목별 가중치의 값이 높을수록 MTBF, MTTR이 증가하는 것이므로, 신뢰도는 향상되고 정비도는 저하되는 특성을 나타내고 있다. Table 2의 품목별 가중치 적용결과를 고려할 때, 체계 수준의 신뢰도와 정비도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$MTBF_s = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{TF_i \cdot \prod_{j=1}^4 R_{ij}} \right)} \right] \quad (2)$$

$$MTTR_s = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{TF_i \cdot \prod_{j=1}^4 R_{ij}} \cdot \frac{1}{TR_i \cdot \prod_{j=1}^3 M_{ij}} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{TF_i \cdot \prod_{j=1}^4 R_{ij}} \right)} \quad (3)$$

여기서, MTBFs : 개발체계의 체계수준 MTBF
MTTRs : 개발체계의 체계수준 MTTR

아. 운용가용도 만족여부 판단

일반적인 운용가용도 계산식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.^[5]

$$A_o = \frac{OT+ST}{OT+ST+TPM+TCM+TALDT} \quad (4)$$

여기서, OT : 실 운용시간
ST : 대기시간
TPM : 총 예방정비시간
TCM : 총 보수정비시간
TALDT : 총 행정 및 군수지원시간

식 (4)에서 TCM과 TALDT는 MTBF와 MTTR을 통해 식 (5), (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$TCM = \frac{OT}{MTBF} \times MTTR \quad (5)$$

$$TALDT = \frac{OT}{MTBF} \times ALDT \quad (6)$$

이와 같은 TCM, TALDT의 정리에 의해 운용가용도 식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$A_o = \frac{OT+ST}{OT+ST+TPM + \frac{OT}{MTBF} \times MTTR + \frac{OT}{MTBF} \times ALDT} \quad (7)$$

식 (7)에서 OT, ST, TPM은 모두 OMS/MP에서 정의되며, ALDT는 유사체계에 대한 보급지원 경험으로부터 얻을 수 있다. 즉, BCS를 통한 MTBF, MTRR 요구조건 수립결과와 OMS/MP, 보급지원 경험으로부터 구한 OT, ST, TPM, ALDT를 위 식을 대입하면 체계의 운용가용도를 산출할 수 있다. 식 (7)에 제시된 방법으로 운용가용도를 구하여 최초 수립한 운용가용도 요구조건과 비교하여 만족할 경우 BCS를 통해 도출한 신뢰도와 정비도를 요구조건으로 확정한다. 만일 BCS를 통해 도출한 신뢰도, 정비도 결과가 운용가용도 요구조건을 만족하지 못할 경우, 개발대상 체계의 기술적, 운용적인 대안수립이 필요하게 되며 Fig. 2의 절차 중 최초 체계구조 수립과정으로 돌아가 주요품목에 대한 제원 및 특성이 재검토되어야 한다.

이러한 체계구조 수립과정의 기술적 대안검토는 장비자체의 신뢰성, 정비성을 향상할 수 있는 방안을 기술적으로 구현할 수 있는 방안을 검토하는 것이며, 예를 들어 미국 Abrams 전차의 M1A2 체계향상 프로그램(SEP : System Enhancement Program) 중 차량 내부의 열관리장치(TMS : Thermal Management System) 추가를 통한 장비 신뢰성 향상 등과 같은 활동을 들 수 있다^[21,22]. 운용적 대안검토는 정비, 보급체계의 개선을 통한 고장발생 시 반응, 복구시간을 최소화하는 활동을 예로서 들 수 있다.

5. 예제를 통한 개선된 요구조건 수립의 적용

예제를 통해 본 연구에서 제시한 RAM 요구조건 수립절차 및 방법을 보다 일목요연하게 설명하고자 한

다. 예제로서 Fig. 3과 같이 구성되는 가상의 전차를 개발대상 체계로 가정하였으며 단위부대의 전투편제는 20대로 가정하였다. 요구된 전투준비율은 C-3 범주(60%이상)보다는 높은 수준으로 가정하였으며, 이 경우 전투임무 수행을 위해 총 20대 중 최소 12대 이상 운용되어야 한다. 또한 전투준비율이 C-3 범주이상에 속할 확률은 99% 수준으로 가정하였다. 이와 같은 가정사항을 통해 가상전차 1대에 대한 운용가용도는 아래 식을 통해 산출된다.

$$0.99 = \sum_{x=12}^{20} \binom{20}{x} A_o^x (1-A_o)^{20-x} \quad (8)$$

위 식 (8)을 계산하면 운용가용도는 0.8이 된다.



Fig. 3. The battle tank as object assumed

개발대상 체계의 특성비교를 위한 BCS는 부체계별로 유사장치를 조사하고 이들의 조합하는 과정없이 임의의 기존전차를 모델로 하였으며, 이 때 개발대상 체계와 BCS(기존전차)의 특성비교 결과는 Table 3과 같다.

Table 3에 정리된 바와 같이 BCS가 기존전차 체계의 구성을 그대로 따르다보니 기술적인 차이점은 있으나 체계구조의 큰 차이는 없다. 간결하고 명확한 예제 제시를 위해 BCS의 모델을 기존전차로 근거로 하였을 뿐, 유사체계가 존재하지 않는 신규 체계개발일 경우 BCS의 구성은 지상, 해상, 항공 등 전 분야를

아울러 가장 유사한 품목을 선정하는 것이 타당하다. 즉, Table 3의 체계구성 품목은 전차가 아닌 자주포, 장갑차의 구성품이 될 수도 있으며 심지어 함선, 수송기 등의 구성품도 해당될 수 있다.

Table 3. Characteristics comparison between object system and BCS

구분		제원/특성 비교		BCS R,M제원	
		BCS	개발전차	MTBF	MTTR
동력	기통수	8개	12개	200	2.1
	출력	1200hp	1500hp		
현수		토션바 (Torsion Bar)	HSU (Hydraulic Suspension Unit)	300	0.9
무장	구경	105mm	120mm	700	1.2
	장전	수동	자동		
사통		주간관측	주간관측	500	0.3
포구동		유압식	전기식	900	0.7
보조		-	보조엔진, 항법	1,500	0.5
구조		-	반응장갑	2,000	0.8

Table 3의 제원/특성 비교에 따라 각 분야별 전문가가 검토한 개발대상 체계의 신뢰도와 정비도에 적용되는 가중치와 적용결과는 Table 4와 같이 가정하였다. 이를 통해 Table 4에서 가장 하단에 수록된 체계 수준의 신뢰도, 정비도 산출결과는 요구조건 수립과정의 첫 단계에서 수립한 운용가용도와 비교해 적절한 수준인지를 판단하여야 한다. 즉, BCS 비교분석을 통한 신뢰도, 정비도 뿐만 아니라 식 (7)에서 정의된 운용가용도의 각 요소에 해당정보를 대입하여 개발체계의 운용가용도를 산출해야 한다. 운용가용도 산출과 관계된 추가 정보는 Table 5와 같이 가정하였다.

지금까지의 정보를 식 (7)에 대입하여 개발체계의 운용가용도 산출결과는 다음과 같다.

$$A_o = \frac{800 + 2000}{800 + 2000 + 104 + \frac{800}{14.15} \times 1.43 + \frac{800}{14.15} \times 10} = 0.789$$

지금까지의 가정과 기준을 통해 산출한 개발체계의 운용가용도 산출결과(0.789)는 운용가용도 요구조건(0.8)을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이를 개선시키기 위해 개발장비에 대한 기술적인 신뢰도, 정비도 향상방안을 검토하였으며, Table 4에서 음영으로 표시된 사항을 대상으로 보완대책이 강구된 것으로 가정하였다. 단, 정비지원 및 보급체계 개선 등의 운용적인 대안검토는 별

Table 4. The weight factors by comparison in affection factors and MTBF, MTTR results of object system

비교대상(BCS)			개발체계										
품목 구분	MTBF (hr)	MTTR (hr)	신뢰도						정비도				
			복잡도 (1)	기술 수준 (2)	작동 시간 (3)	환경 조건 (4)	가중계	적용 결과 (hr)	접근성 (1)	모듈화 (2)	표준화 (3)	가중계	적용 결과 (hr)
동력	50	2.1	0.8	0.9	1	0.95	0.68	34.2	1.2	0.95	0.95	1.08	2.27
현수	70	0.9	0.9	0.95	1	0.9	0.77	53.9	1.2	0.95	0.95	1.08	0.97
무장	200	1.2	0.9	1	1.1	0.9	0.89	178.2	1.15	1	0.95	1.09	1.31
사통	150	0.3	0.95	0.95	1	0.85	0.77	115.1	1.2	0.95	1	1.14	0.34
포구동	300	0.7	0.9	0.95	0.95	0.8	0.65	194.9	1.15	0.95	1	1.09	0.76
보조	500	0.5	0.9	1	0.8	0.85	0.61	306	1.15	1	1	1.15	0.58
구조	7000	0.8	0.95	1	1	1	0.95	6650	1.1	1	1	1.1	0.88
체계	19.4	1.29						14.15					1.43

도로 진행하지 않는 것으로 하였다. 이러한 사항에 대한 기술적 보완대책은 다음과 마련된 것으로 가정하였다.

Table 5. Additional information assumed for operational availability

구분		시간(hr)	
OT		800	
ST		2000	
ALDT		10	
TPM	월간	64(8×8회)	104
	분기	16(8×2회)	
	반기	8(8×1회)	
	년간	16(16×1회)	

- 신뢰도 : 사통장비와 보조장비 증가 및 집적화, 전기력을 이용한 포구동으로 대전력 스위칭 등으로 인해 포탑내부 발열온도 증가가 예상되었으며, 이는 전기전자부품의 신뢰성에 큰 영향을 미치는 것으로 판단하였다. 이에 대한 보완대책으로 포탑 내부에 열관리장치를 추가함으로써 고열발생 부위에 국소 냉방을 적용키로 하였다.
- 정비도 : 제한된 공간 내에서 동력, 현수, 사통장치 등의 출력증가, 신기술적용에 따른 고밀도화가 예상

됨에 따라 정비수행 시 접근이 제한되는 것으로 나타났다. 이를 극복하기 위한 방안으로 설계초기 단계부터 배치 최적화를 고려하기로 하였다. 또한 사통, 포구동, 보조장치의 경우 신규개발 장비를 다수 채택할 것으로 판단됨에 따라 해외수입품 적용으로 인한 규격화, 통일화된 부품 및 공구사용이 제한될 것으로 예상되었다. 이에 대한 방안으로 제품의 조기 국산화 추진과 타 무기체계의 공용품 및 공용공구의 적용성 고려를 실시하기로 하였다.

이상과 같은 신뢰도, 정비도 향상방안이 개발체계에 효과적으로 적용된 것으로 가정하였으며, 분야별 전문가가 BCS 대비 개발체계 특성비교를 재 수행한 결과는 Table 6과 같이 변경된 것으로 가정하였다. Table 6의 재검토 결과에 따라 운용가용도 재산정은 다음과 같다.

$$A_o = \frac{800 + 2000}{800 + 2000 + 104 + \frac{800}{15.16} \times 1.26 + \frac{800}{15.16} \times 10} = 0.800$$

기술적 대안검토 결과 및 이에 따른 운용가용도 재산정 결과, 개발대상 체계의 신뢰도와 정비도는 운용가용도 요구조건(0.8)를 만족할 수 있는 수준인 것으로 나타났으므로 Table 6의 체계 신뢰도, 정비도 결과를 요구조건으로 확정하였다.

Table 6. RAM characteristics after technical alternative analysis

비교대상(BCS)			개발체계												
품목 구분	MTBF (hr)	MTTR (hr)	신뢰도						정비도						
			복잡도 (1)	기술 수준 (2)	작동 시간 (3)	환경 조건 (4)	가중계	적용 결과 (hr)	접근성 (1)	모듈화 (2)	표준화 (3)	가중계	적용 결과 (hr)		
동력	50	2.1	0.8	0.9	1.0	0.95	0.68	34.2	1.0	0.95	0.95	0.90	1.90		
현수	70	0.9	0.9	0.95	1.0	0.9	0.77	53.9	1.0	0.95	0.95	0.90	0.81		
무장	200	1.2	0.9	1.0	1.1	0.9	0.89	178.2	1.15	1.0	0.95	1.09	1.31		
사통	150	0.3	0.95	0.95	1.0	1.15	1.04	155.7	0.95	0.95	0.9	0.81	0.24		
포구동	300	0.7	0.9	0.95	0.95	1.15	0.93	280.2	1.15	0.95	0.9	0.98	0.69		
보조	500	0.5	0.9	1.0	0.8	1.15	0.83	414	1.15	1.0	0.9	1.04	0.52		
구조	7000	0.8	0.95	1.0	1.0	1.0	0.95	6650	1.1	1.0	1.0	1.1	0.88		
체계	19.4	1.29							15.16						1.26

6. 결론

본 연구에서는 BCS 모델을 통한 무기체계의 RAM 요구조건 수립방안을 다루었다. BCS 모델을 통해 유사장비와 개발장비의 RAM 특성에 대한 기술적, 운용적인 차이점을 비교분석함으로써 현실적이며 달성가능한 RAM 요구조건을 도출할 수 있다. 따라서 RAM 요구조건 수립과정은 단순히 장비가 어떻게 사용될 것인가를 정의한 OMS/MP에 국한된 판단이 아니며, 개발대상 체계의 과거와 미래의 기술적, 운용적 특성에 어떤 차이가 있고 이를 보완하기 위한 기술적, 운용적 대안은 무엇인가를 검토하여 진행되는 체계공학의 중요한 한 부분이다. 제시된 RAM 요구조건 수립과정은 사용자의 작전운용 개념에 입각한 목표제시 뿐만 아니라 RAM 측면의 기술적, 운용적인 보완사항을 조기에 판단함으로써 성공적인 무기체계 개발을 유도할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구에서 제시된 RAM 요구조건 수립절차 중 BCS 비교 분석단계에서 각 분야별 전문가의 판단이 반드시 필요한데, 객관적이며 합리적인 판단을 위한 전문가 구성방안 및 각 평가요소별 판단기준에 대한 연구가 추후에 필요하다고 판단한다.

References

- [1] 이한규, 최진희, “RAM 요소설계 목표값 연구”, 군사과학기술학회지, Vol. 3, No. 1, pp. 218~230, 2000.
- [2] 오종진, 김동혁, 진교수, 김광용, “OMS/MP를 이용한 철매-II 탑재차량 기동임무 신뢰도 목표값 산출”, 제16회 지상무기학술대회, 2008.
- [3] 장원준, “RAM 목표값 설정 방법론 연구”, 제3회 국방신뢰성세미나, 2009.
- [4] AR 702-3, Army Materiel Reliability, Availability and Maintainability(RAM), Headquarters Department of the Army, pp. 2-3~2-4, 1976.
- [5] DoD 3235.1-H, Test & Evaluation of System Reliability, Availability and Maintainability, Department of Defense, pp. 4-1~4-8, 1982.
- [6] Carroll Widenhouse, “Communicating Operational Reliability Requirements to Designers”, Aerospace and Electronics Conference, 1992.
- [7] Jokubaitis, L. K., Quinn, M. F., “New Army Method in Stating and Assessing RAM Requirements”, Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 19~27, 1992.
- [8] AMC PAM 70-11, RAM Rationale Report Handbook, Training And Doctrine Command (TRADOC), pp. 4.1~4.4, A.2~A.3, D.3, E.33, 1987.
- [9] Price, B. C., “Achieving a System Operational Availability Requirement Model”, Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 370~375, 1994.
- [10] Hockley, J. C., “Setting The Requirements For The Royal Air Force’s Next Generation Aircraft”, Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 44~48, 1997.
- [11] Ryan, E. M., “The Reliability Challenge : Common Pitfalls, and Strategies for Maximizing Inherent Reliability Performance of Weapon Systems”, Naval Postgraduate School, pp. 11~13, 2001.
- [12] DoD 5000.2-R, Mandatory Procedures for Major Defense Acquisition Programs, Under Secretary of Defense, 2002.
- [13] Jones, V. J., Integrated Logistics Support Handbook, Mcgraw-Hill, pp. 12.15~12.17, 2006.
- [14] Operational Availability Handbook, Reliability Analysis Center, pp. 16~17, 2004.
- [15] Alexander Kossiakoff, Sweet, N. W., System Engineering-Principles and Practice, Wiley Interscience, 204, 2003.
- [16] DTaQ-08-1741-R, 민군 신뢰성 관련규격의 통일화 및 표준화-부록4, 14, 국방기술품질원, 2008.
- [17] 종합군수지원 정량화 설정기준, 육군본부, 228, 1998.
- [18] MIL-HDBK-338B, Electronic Reliability Handbook, Department of Defense, 6-13, 1998.
- [19] Harold Vannoy, Reliability and Maintainability for Manufacturing Machinery and Equipment, Society of Automotive Engineers, pp. 154~157, 2000.
- [20] Reliability Toolkit : Commercial Practices Edition, Reliability Analysis Center, 53, 1995.
- [21] <http://www.armedforces-int.com/categories/combat-vehicles/m1a2-sep.asp>
- [22] <http://knox-www.army.mil/center/tsmabrams/papers/Thermal%20Management%20System.doc>