

기동장비 RAM-D 요구조건 설정 Determination of RAM-D Requirement for Vehicle System

한 상 철* 서 준 모**

ABSTRACT

신규 개발되는 기동장비의 RAM-D 요구조건 설정방법에 관하여 기동 무기체계의 대표적 장비인 전차를 대상으로 연구하였으며, 사용자의 장비운용에 대한 요구 가용 능력 및 운용유지 조건을 고려한 RAM-D 요구조건 설정절차 및 분석 모델을 개발하였다.

I. 서 론

기동장비의 RAM-D 특성요소는 전투장비 운용능력(Operational Capability)의 평가 요소인 전투준비태세(Readiness), 전투지속능력(Sustainments), 임무수행능력(Mission Ability), 장비가용능력(Availability), 군수지원능력(Logistic Support) 등을 예측 및 판단하기 위한 기본 요소로 사용된다.

이러한 이유로 미국의 경우 새로운 무기체계에 대하여 미래의 전장환경, 전투시나리오 및 과학기술의 발전성 등 개념을 정성적으로 정립하여, 소요병력, 교육, 조직, 장비, 교리 및 지휘관 등의 요구조건을 설정하고^[1], 또한 OMS-MP이라는 정량적인 개념을 도출하여 소요제기단계에서부터 개발장비에 대한 성능 및 운용 능력에 대한 RAM-D 요구조건을 제시하고 있다.^[2]

국내에서는 '90년대 초반까지 독자적인 무기체계 개발경험 미흡으로, 소요제기 단계에서 체계 운용 조건인 OMS-MP에 의한 RAM-D 요구조건은 고려하지 못하였다. '90년대 말부터 종합군수지원 정량화 설정기준에 RAM 요구조건 설정개념을 도입 활용 중에 있으나, 수행절차 및 분석모델 등이 명확히 제시되지 않았다.^[3]

따라서 신규개발장비에 대한 체계화된 RAM-D 요구조건 설정절차 및 분석모델이 요구되어 지상 기동장비 중 대표적인 전차를 대상으로 OMS-MP 작성 방법을 설정하고 RAM-D 요구조건에 대한 수학적 모델 개발을 통해 절차를 체계화하였다

II. 요구조건 설정 절차

1. 개 념

신규 무기체계 개발시 RAM-D 요구사항은 사용자(군)의 운용적 개념과 종합군수지원 체계의 발전방향에 의해 설정되어야 하며, 이 요구사항은 운용조건, 개발기간, 수명주기비용 및 설계/생산 기술 등을 고려한 Trade-off과정에 의해 결정되어야 한다.^[4]

RAM-D 요구조건은 장비운용성능 및 품질보증 판단을 위한 설계평가기준과 원활한 군수지원활동을 위한 지원성 판단기준으로 구분하여 설정 및 평가되어야 한다

* 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원(schan@mobis.co.kr) **선임 연구원

2. 요구조건 개발절차

RAM-D 요구조건을 설정하기 위해서는 체계운용 개념인 미래운용환경과 가상 전투시나리오를 기반으로 임무영역분석(MAA : Mission Area Analysis)을 통해 설정된 개발장비의 필수임무조건(MNS : Mission Need Statement), 운용개념/임무유형(OMS-MP) 및 ILS 정책 등이 선 연구 설정되어야 한다. ILS 정책에는 개발장비의 정비개념, 정비/지원계획 및 운용유지 계획 등이 포함되어야 한다.

체계개발과정에서의 RAM-D 요구조건 설정절차는 아래와 같이 7단계로 분류할 수 있으며, 단계별 수행 업무를 요약하면 다음과 같다.

- ① 단계 : 체계운용 개념 설정
- ② 단계 : RAM-D 특성 요소 설정
- ③ 단계 : 필수 기능 정의 및 고장정의 판단 설정
- ④ 단계 : RAM-D 요구조건 적용 수학적 모델 개발
- ⑤ 단계 : RAM-D 요구조건 산출(OMS-MP 및 장비운용 개념기준)
- ⑥ 단계 : Trade-off(유사장비 및 설계/개발 능력을 고려한 개발 가능성 판단)
- ⑦ 단계 : 요구조건 설정(체계개발 규격)

3. RAM-D 요구조건 설정기준

가. 운용 조건

개발장비의 운용조건은 전시, 평시 및 시험 평가 등 3가지로 구분하여 제시되어야 하며, 포함되어야 할 기본 요소는 다음과 같다.

▷ 환경조건, ▷ 임무별 운용비율, ▷ 임무별 장비 사용을 ▷ 제한조건

나. RAM-D 요소 판단 기준

<표 1> RAM-D 요소별 요구조건 판단 기준

RAM-D 요소		관련자료 및 기준	
신뢰도	임무 신뢰도	OMS-MP 및 전투지속 요구능력	
	시스템 신뢰도	OMS-MP 및 고유 가용도	
정비도	계 획 정 비	일반검사	검사 가용인력/시간
		주기 예방정비	정비 가용인력/시간
	비계 획 정 비	부대정비	OMS-MP 및 정비 가용인력/시간
		직접지원이상	정비 가용인력/시간
	정 비 율	OMS-MP 및 정비 가용인력/시간	
가용도	운용 가용도	OMS-MP 및 체계운용목표	
내구도	수명제한 품목(Life Limited)	예상고장분포, 비용 대 효과 분석	
	소모성 품목(Wear-out)	고장영향분석, 비용 대 효과 분석,	

기동무기체계의 경우 다음<표 2>과 같이 RAM-D 요소 및 기준은 운용적 측면에서의 평시, 전시 및 품질보증 측면에서의 시험평가 조건 등으로 구분하여 제시되어야 한다.

<표 2> RAM-D 평가 요소 및 기준

RAM-D 요소		척 도	기 준
신뢰도	임무 신뢰도	MKBMF	임무 불가 결함
	시스템 신뢰도	MKBF	비 계획정비를 유발 시키는 결함
정비도	계 획 비	일반검사	Max hour Manhours 90% 수준 평균 투입 m-h
		주기 예방정비	Max hour Manhours 90% 수준 평균 투입 m-h
	비계획정비	부대정비	Max hour MTTR 90% 수준 정비당 평균 정비시간
		직접지원이상	Max hour Manhours 90% 수준 정비당 평균 정비시간
	정 비 율	m-h/o.h c-h/o.h	운용시간당 투입 m-h 정비시간/운용시간
가용도	운용 가용도 (고유/성취 가용도)*	%	Down time=정비 시간 +행정/군수소요 시간
내구도	수명제한 품목 (Life Limited)	Hour(Km) %/hour(Km)	완성차/주요장치 창정비 주기
	소모성 품목 (Wear-out)	%/hour(Km) Hour(Km)	유효수명 고장까지의 평균수명 또는 도달 확률

* 가용도 목표는 운용 가용도가 제시되고 있으나, 시험평가 단계에서 ALDT(행정 및 군수지원 시간)분석이 곤란하여 고유/성취 가용도를 기준으로 평가한다.

다. 군수지원 측면 RAM-D 요소

현재 무기체계 개발과정에서 ILS 요소개발을 위해서 사용자는 국방 ILS 규정 ('95. 6)에 의거 최초 ILS 요구조건을 제시하게 되는데, 이는 MIL-STD-1388-2B 기준으로 LSA(Logistic Support Analysis) A Sheet를 작성하게 되어있다.

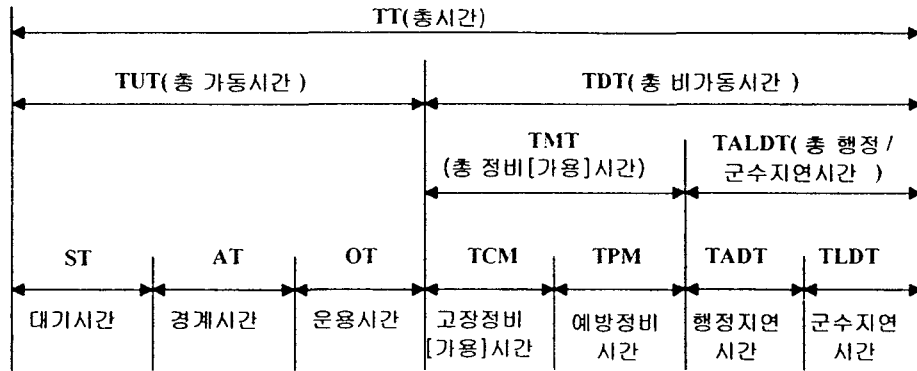
LSA A Sheet는 '운용 및 정비 요구조건(Operation Maintenance Requirement)' 양식으로 OMS-MP, 정비환경 및 체계정비소요와 관련된 정보를 기록하게 되어있다.

일반적으로 LSA A Sheet는 소요제기서, 요구운용능력서(ROC, Required Operational Capability) 등을 이용하여 관련 정부기관(사용자)이 탐색개발 단계에서 제공하게 되는데 입력요소의 약 70%가 OMS-MP 자료와 RAM-D 요구조건에 대한 관련 사항으로 구성되어 있다.

Ⅲ. 요구조건 수학적 모델

1. 시간분류

RAM-D 요구조건 설정시 기준척도는 적용 및 평가를 위하여 명확히 설정되어야 하며, 특히 전시, 평시 및 시험조건에 대한 운용형태, 임무유형, 체계요구 기능/성능 및 역할주기 등 운용시간과 정비활동에 관련된 정량적인 시간관계는 명확한 기준에 의거 분류되어야 한다. 기동무기체계에 대한 시간 분류 기준은 다음 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 시간 분류 기준

2. 제한조건

RAM-D 요구조건을 설정하기 위해서는 다음과 같은 사항이 선 분석되어야 한다.

가. 개발장비 전·평시 OMS-MP를 통한 정량적 운용 개념

OMS(Operational Mode Summary)는 운용형태와 장비사용시간과의 관계 표로, MP(Mission Profile)는 임무유형과 장비가동시간과의 관계 표로 제시되어야 한다.

나. 개발 무기체계의 체계운용 목표

체계운용목표란 RAM-D 요구조건 설정기준으로 개발무기체계가 운용될 전장환경 및 가상전투 시나리오 및 시뮬레이션 결과에 의해 예측/판단하여 요구되는 전투편제, 준비태세 수준 및 임무수행능력 등의 항목에 대하여 제시되어야 한다.

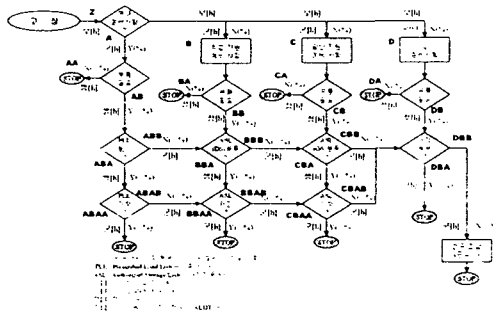
다. 개발장비의 정비개념

개발무기체계에 대한 정비개념^[6]은 다음과 같은 분야에 대하여 제시되어야 한다.

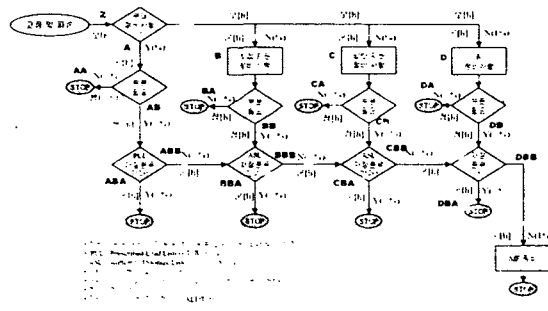
- ▷ 정비 목표 ▷ 정비 원칙 ▷ 정비 방침 ▷ 정비 구분
- ▷ 정비활동 절차 ▷ 정비지원체계 ▷ 정비지원을 위한 주특기 소요
- ▷ 정비 허용시간 등

라. 행정 및 군수지원 시간(ALDT) 모델 개발 특성 값 도출

기동장비의 ALDT 분석모델^[7]을 연구한 결과는 다음 그림과 같다.



(그림 2) 평시 ALDT 분석 모델



(그림 3) 전시 ALDT 분석 모델

3. RAM-D 요소별 분석 모델

가. 가 용 도

가용도(Availability)는 분석기준에 따라서 고유 가용도(Inherent Availability), 성취 가용도(Achieved Availability), 운용 가용도(Operational Availability)로 나눌 수 있으며 이는 보수정비 시간, 예방정비 시간 및 군수지연 및 행정지연시간의 포함여부에 따라서 계산이 달라진다. 가용도 산출모델은 운용체계목표와 운용개념이 (그림 1)과 같은 정량적인 시간분석 자료에 의한 해석 방법으로 구분할 수 있다.

1) 체계운용목표 기준

체계운용에 대한 목표가 설정되면 단위부대의 운용가용도 목표는 다음 (1)식 이항(Binomial) 분포 식을 이용 운용 가용도를 산출하면 된다.

$$P = \sum_{x=S}^N \binom{N}{x} A_0^x (1-A_0)^{N-x} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, P ; 장비에 대한 가용확률, N ; 단위부대 총장비 수
S ; 운용이 가능해야할 최소 장비 수, A₀ ; 장비의 운용 가용도

2) OMS-MP 정량적 시간분석 기준

가) 고유 가용도 (A_i: Inherent Availability)

예방정비를 고려하지 않고 이상적인 지원 상태하에서의 보수정비만을 고려하여 체계가 운용될 때 임의의 시점에서 만족스럽게 작동할 확률로서 체계자체 요인의 고장만 반영한 값이다.

$$A_i = \frac{\text{총 운용시간}}{\text{총 운용시간} + \text{총 보수정비 시간}} = \frac{OT}{OT + TCM} \dots\dots (2)$$

나) 성취 가용도 (A_a: Achieved Availability)

성취 가용도는 고유 가용도에서 고려하지 않은 예방정비시간을 보수정비시간과 함께 고려함으로써 체계 자체의 직접적인 요인이 아닌 비가동시간을 포함한 개념이다.

$$A_a = \frac{\text{총동작가능시간}}{\text{총동작가능시간} + \text{총정비(보수정비+예방정비)시간}} \\ = \frac{TUT}{TUT + TMT(TCM + TPM)} \dots\dots\dots (3)$$

다) 운용 가용도 (A_o: Operational Availability)

운용 가용도는 성취 가용도에 행정지연시간과 군수지연시간을 함께 고려한 값으로 실제 장비가 운용될 운용환경과 규정된 조건하에서 운용될 때 임의의 시점에서 만족스럽게 작동할 확률로 나타낸다.

$$A_o = \frac{\text{총시간} - \text{총동작불가능시간}}{\text{총시간}} = \frac{\text{총동작가능시간}}{\text{총동작가능시간} + \text{총동작불가능시간}} \\ = \frac{TUT}{TUT + TDT} = \frac{TT - TCM - TALDT}{TT} \dots\dots\dots (4)$$

나. 신뢰도

1) 시스템 신뢰도 산출 방법

운용 가용도를 만족하기 위한 신뢰도를 산출하기 위해서는 먼저 TALDT (총 행정 및 군수 지연 시간)를 고려하여야 하며, 이와 관련된 식은 다음 (5)식과 같다.

$$TALDT = \frac{OT}{MTBF} \times ALDT \dots\dots\dots (5)$$

여기서, ALDT : 고장 1건당 평균 행정 및 군수 지연 시간
 (5)식을 신뢰도 MTBF를 구하기 위하여 (4)식에 대입하면

$$A_o = \frac{TT - TMT - \frac{OT}{MTBF} \times ALDT}{TT} \text{ 이며,}$$

MTBF로 치환하면,

$$MTBF = \frac{OT \times ALDT}{(1 - A_o) TT - TMT} \dots\dots\dots (6)$$

여기서, OT, TT, TMT(TCM+TPM) ; OMS-MP 결과치를 이용
 A_o ; (1) 또는 (4)식으로 산출
 ALDT ; 군수지원체계에 의한 모델개발 및 분석을 통해 산출

2) 임무 신뢰도 산출 방법

가) 전투지속 요구능력이 제시된 경우

전투지속 요구능력 α %를 유지 조건으로 제시된 경우, 고장분포가 지수분포라고 가정하면, 임무신뢰도는 다음 (7)식을 이용하여 산출하면 된다.

$$\text{목표}(\alpha) = e^{-\frac{k}{MKBF}} \dots\dots\dots (7)$$

여기서, k ; 요구 평균임무 수행 주행거리(km)

나) 전투지속 요구능력이 미 제시된 경우

전시 환경의 OMS-MP의 운용 개념을 기준으로 (6)식에 의해 산출된 신뢰도를 임무 신뢰도 목표로 설정하는 방법도 가능하다. 단 임무 형태가 단일임무 이어야 한다. 복합 임무의 경우 임무 유형별 가중치 및 운용비율을 설정하여 결정하거나, RBD(Reliability Block Diagram) 분석 결과를 이용 판단하여야 한다.

다. 정비도

1) 평균수리시간(MTTR)

고장 발생시 원상복구에 필요한 평균수리시간(MTTR)은 운용부대 정비 가용 시간을 기준으로 산출하게 되며 산출 식은 다음과 같다.

$$MTTR = \frac{\text{총 고장정비 가용시간}}{\text{총 고장 횟수}} = \frac{TCM}{OT/MTBF} \dots\dots\dots (8)$$

2) 최대정비 허용시간(M_{max})

정비행위에 대한 정비시간 분포는 통상 단일 고장모드인 경우 정비시간 분포는 정규분포, 유사 고장모드에 대한 정비시간 분포는 대수정규 분포, 다양한 고장모드에

대한 정비시간 분포는 지수분포를 따른다. 따라서 전차의 경우 다양한 고장모드에 정비행위가 요구되므로 다음 지수분포 (9)식을 이용하여 산출 할 수 있다.

$$P_M = 1 - e^{-\frac{t_i}{MTTR}} \dots\dots\dots (9)$$

여기서, P_M ; t_i 시간 내에 정비완료 확률, t_i ; 정비소요시간
 $MTTR$; 식(8)의 평균정비소요시간

최대 허용시간(M_{max})은 통상 P_M 이 90%(또는 95%)되는 시점을 설정한다. 따라서 식(9)를 이용하여 치환하면 아래와 같다.

$$\therefore M_{max} = -MTTR \times \ln(1 - P_m(0.9))$$

3)정비율(MR)

- 정비시간 기준

정비소요시간과 운용시간의 비율을 나타내는 척도

$$MR = \frac{\text{총 정비(예방+고장) 시간}}{\text{총 운용시간}} = \frac{TCM + TPM}{OT} \dots\dots\dots (10)$$

- 정비인시 기준

정비소요 인시와 운용시간의 비율을 나타내는 척도

$$MR = \frac{\text{총 정비(예방+고장) 인시}}{\text{총 운용시간}} = \frac{TCM \times CM + TPM \times PM}{OT} \dots (11)$$

여기서 PM ; 예방정비 평균 투입 가능인원(예, 승무원 수)

CM ; 고장정비 평균 투입 가능인원(예, 승무원 수 + 정비요원)

※ 정비계단별 정비도 산출은 동일하며, 단 가용한 총 정비 시간 및 투입인원이 정비정책에서 결정되어야만 함.

4) 예방/계획 정비

예방 및 계획정비는 정비정책에 의거 정비계단, 시점 및 규정이 결정되어야 하며, 정비 소요시간은 가용한 인력 및 소요시간을 분석하여 결정하여야한다. 통상 예방정비 소요시간은 정비완료 확률이 90%인 시점기준으로 최대허용시간(M_{max})으로 규정한다. 예방정비 소요시간 분포는 정비행위 특성에 따라 정규분포 또는 대수정규분포를 따르므로 유사장비 정비자료가 확보된 경우 분포 추정후 분포 식을 이용하여 설정하거나, 정비정책에 의해 결정되어야 한다.

라. 내 구 도

가) 수명제한 품목(완성장비/주요장치 내구도)

(1) 비용을 고려한 최적 수명한계

최적의 유효수명(Operational Life) 시점을 완성장비 내구도 수명기준으로 제시하고 있으며, 유사장비 운용자료 또는 고장발생 분포 예측결과를 이용 비용측면의 분석방법은 다음과 같다.

C_f : 고장 발생시 정비에 지출되는 비용, 이는 임무중단에서 야기되는 모든 비용과 부품교환에 직접소요 되는 비용을 포함

C_p : 예방정비계획에 의해 고장 나기 전에 부품을 교환 할 때에 지출되는 비용

t : 고장률이 증가하는 시점

Nf(t,t+α) : [t,t+α]사이에 발생하는 부품고장 수

Np(t,t+α) : [t,t+α]사이에서 행해지는 예방정비 회수라고 하면, [t,t+α]사이에서 발생하는 총 정비 비용은

$$C(t, t + \alpha) = C_f \cdot E[N_f(t, t + \alpha)] + C_p \cdot E[N_p(t, t + \alpha)] \dots\dots\dots (12)$$

이며, 창정비 소요비용(Coh)을 고려한 비용적 측면에서 Overhaul 최적 정비 시점은 다음 (13)~(15) 식을 만족하는 최적 점을 판단하여 결정하여야 한다.

$$C(t, t + \alpha) \geq C_{oh} + C_p(t - \alpha, t) \dots\dots\dots (13)$$

$$C_{oh} \leq C_n \times 0.65 \dots\dots\dots (14)$$

$$L_{oh} \geq L_n \times 0.8 \dots\dots\dots (15)$$

여기서, Cn ; 신 장비비용(상수 0.65⇒ K1전차 창정비 기준)^[8]

Loh ; Overhaul 후 장비 내구수명

Ln ; 장비 내구수명(상수 0.8⇒ K1전차 창정비 기준)

최적화 시점을 결정하는 방법은 (12)식을 만족하는 t와 t+α 사이에서 t가 증가함에 따른 α 값의 추세를 분석한 결과와 요구되는 임무 신뢰도 또는 운용가용도(전투준비 태세)의 요구되는 최저성능 유지 시점을 고려하여 판단하는 것이다.

(2) 가용도를 고려한 최적 수명한계

최저 전투준비 태세 요구조건이 제시된 경우 가용도에 의한 장비의 유효수명을 결정하는 방법으로 임의 시간 ti의 신뢰도를 MTBFi라고 하면, 고유가용도를 기준으로 한 다음 식 (16)를 만족하는 시점을 최적의 창정비 시점으로 결정하는 방법이다.

$$A_i \geq \frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTR} \dots\dots\dots (16)$$

여기서, MTTR ; 평균정비시간(Mean Time To Repair)

그리고, 유사장비의 운용 및 정비/군수지연시간 등 관련 자료가 확보되었을 경우, 운용 가용도(Ao)에 의한 최적 창정비 시점은 다음 식 (17)를 이용 최적 유효수명 시점을 설정할 수 있다.

$$A_o \geq \frac{(t_i, t_i + \alpha) \text{ 동안 운용시간} - (t_i, t_i + \alpha) \text{ 동안 불가동시간}}{(t_i, t_i + \alpha) \text{ 동안 운용시간}} \dots\dots\dots (17)$$

위 (17)식에서 고상분포에 따라 차이는 있으나, ti+(α/2) 시점이 최적의 Overhaul 시점이라고 할 수 있다. 비용과 운용성능을 모두 고려시 식 (12)~(17)를 이용 최적화하여 설정하면 된다.

나) 소모성 품목(Wear-out)

내구도 품목중 소모성 품목은 마모 또는 피로에 의한 결함발생 특성을 갖고 있으며, 완성장비의 수명제한 조건에 의한 내구수명 이전에 교환이 요구되는 것으로 선정한다. 소모성 내구도 품목의 수명분포는 정규분포 또는 대수정규 분포를 따르는 품목으로 교환 시점은 다음과 같은 사항을 고려하여 결정한다.

- 결함 발생전 교환(계획정비) : 고장으로 인하여 기능과 비용면에서 손실이 큰 경우
- 결함 발생 이후에 교환(비계획정비) : 비용면에서 손실이 없는 경우

소모성 품목의 내구수명 목표 설정방법은 설계수명분석(간섭이론, S-N 특성곡선 등)을 통해 설정하는 방법과, 유사장비의 운용자료나 내구성 시험(Endurance Test) 자료에 의해 통계적 예측 및 판단 방법을 이용 설정하여야 한다.

IV. 기동무기체계 RAM-D 요구조건 설정

1. 요구조건^[9]

- 가. 전시 및 평시 운용조건에 기준으로 RAM-D 요소에 대한 요구조건 설정
- 나. 시험평가(내구도 시험) 운용조건을 기준으로 RAM-D 요소 설계목표 설정

2. 운용 및 정비 요구조건

ILS의 운용 및 정비 요구조건(LSA A SHEET)에 제시되는 사항으로 OMS-MP 및 RAM-D 요구조건을 기준으로 다음과 같은 소요에 대하여 설정

- 운용/정비소요, -전/평시 운용/정비소요, -주특기 소요, - 신뢰도 소요 등

VI. 결 론

무한궤도차량 전차를 기준으로 한 기동무기체계의 RAM-D 요구조건 분석모델 및 설정절차를 체계화함에 따라 국내 무기체계 개발에 있어 운용적 측면에서의 설계 요구조건 도출 및 운용능력 판단에 체계적으로 접근 할 수 있을 것으로 판단된다.

체계공학 측면에서의 RAM-D 요구조건을 보다 신뢰성 있게 제시하기 위하여서는 사용자의 개발장비에 대한 명확한 운용개념이 제시되어야 함은 물론, 현재 운용되고 있는 장비에 대한 정확한 RAM-D 특성 값을 분석하여 향후 개발할 유사장비의 비교 예측 가능한 기준^[10]으로 사용하기 위한 기반이 구축되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 1997.3, TRADOC PAM 71-9, "Force Development Requirements Determination"
- [2] 1987, TRADOC/AMC 70-11, "RAM Rationale Report Hand Book",
- [3] 육군본부, 1998. 10, "종합군수지원 정량화 설정기준"
- [4] 민성기, 도서출판 문원, 1996, "시스템 엔지니어링"
- [5] U.S.A. 1994, "Military Technology (Vol. XVII Issue)"
- [6] 한상철, 현대모비스(주), 1999. 9, MOBIS-FMBT-RAM-03 "전차 정비개념 설정"
- [7] 한상철, 현대모비스(주), 1999. 9, MOBIS-FMBT-RAM-04 "ALDT 모델개발 및 분석 결과"
- [8] 육군본부, 1998. 6, "K1전차 항정비 교범"
- [9] 한상철, 현대모비스(주), 2000.12, MOBIS-FMBT-RAM-10 "차기전차 RAM-D 요구조건 및 설계목표"
- [10] 한상철, 현대모비스(주), 2001.1, MOBIS-FMBT-RAM-11 "차기전차 RAM-D 요소예측"