기동장비 RAM-D 설계목표 할당 모델
Allocation Model of RAM-D Design Goal for Vehicle System

한 상 철* 김 대 용**

ABSTRACT

신규개발장비에 대하여 사용자가 제시한 RAM-D 요구조건을 만족하기 위한 하부체계의 RAM-D 설계목표 설정 절차 및 방법에 대하여 기동무기체계의 대표적 장비인 전차를 대상으로 연구하여 RAM-D 요소별 할당 모델을 개발하였다.

Ⅰ. 서 론

신 무기체계 또는 장비개발시 RAM-D(Reliability, Availability, Maintainability & Durability) 요구조건은 개발장비의 운용조건에 의해 설정된 체계운용목표 및 OMS-MP(Operational Mode Summary - Mission Profile)에 의해 제시되며, 제시된 요구조건은 사용자 측면에서 운용성능 및 품질보증 평가기준으로 사용하게된다.

개발자는 제시된 RAM-D 요구조건을 만족할 수 있는가를 RAM-D 요소 예측을 통하여 판단하여야 하며, 예측자료를 기준으로 제시된 요구조건을 만족하기 위해 체계를 구성하고 있는 하부체계 및 구성품에 대하여 RAM-D 요소의 설계목표를 할당/배분(Apportionment /Allocation)하여야 한다. 이러한 활동은 개념설계 단계부터 설계완료시점까지 품질관리 활동의 일환으로 체계적인 RAM-D 분석 활동에 의해 수행되어야 한다.

따라서 본 연구를 통해 기 제시된 RAM-D 요소별 할당기법을 검토, 기동장비에 적합한 RAM-D 요소의 할당 절차 및 분석 모델을 개발하였다.

Ⅱ. 일반적인 RAM-D 요소별 할당 방법

1. 신뢰도 할당방법

기존에 제시된 신뢰도 할당방법[1]은 다음과 같다.

가. Equal Apportionment Technique : 동일 구성품 조합
나. AGREE Apportionment Technique : 전자장비 할당 방법
다. ARING Apportionment Technique : 유사장비 신뢰도 이용
라. Feasibility-of-Objectives Technique : 기계/전기 복합장비대상으로 가중치이용
마. Minimization of Effort Algorithm : 개발노력 최소화 방법
바. Dynamic Programming Approach : 개발노력의 최적화 방법

2. 정비도 할당방법

하부체계가 동일하지 않는 구성품 2개 이상인 체계는 정비도만을 기준으로 한 할당은 불가능하며, 하부체계의 고장발생 비율이 선 고려되어야 할당이 가능하다.

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

3. 가용도(정비도) 할당 방법

기존에 제시된 가용도 할당 방법은 임무수행에 대한 기능적 구조에 따라 다음과 같은 방법을 이용하여 할당한다.

가. 직렬 구조에 대한 가용도 할당

나. 병렬 구조에 대한 가용도 할당

다. 기술 수준을 고려한 가용도 할당

4. 내구도 할당 방법[2]

가. 내구도 요소 설정

장비의 요구수명(Life Time)을 기준으로 내구도(Durability), 내구성(Endurance) 및 내구도 고장에 대한 평가/판단기준이 설정되어야 한다.

나. 내구도 목표값 설정시 고려사항

▷ 시스템 운용조건

- 시스템의 임무유형 : 다중기능, 단일연속기능, 단일주기기능 단일일회기능
- 운용조건 : 운용지형, 운용시간, 운용속도, 운용온도, 운용지원

▷ 개발투자비용 대 효과, ▷ 향후 장비 개발 계획, ▷ 기술 수준

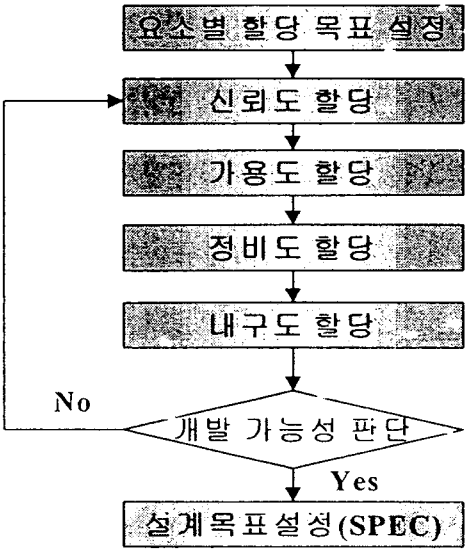
▷ 정비기준 및 군수지원 계획 등

다. 내구도 품목 선정기준

- 주임무와 안전성 등에 관련된 중요한 품목
- 고장률이 증가하는 품목(마찰, 반복하중, 열화 등의 영향을 받는 품목)
- 고장발생시 2차적 결함으로 타 시스템에 치명적인 결함이 발생되어 고장전 선 교환이 필요한 품목
- 고장발생시 정비 시간이 길고 정비를 위하여 특별한 장비나 높은 수준의 정비기술이 요구되거나, 경제적 손실이 큰 품목

Ⅲ. 기동장비 RAM-D 할당 모델

1. RAM-D 예측 및 설계목표 할당 절차



▷ 1 step : 개발체계 및 장비에 대한 정의

▷ 2 step : 운용형태, 임무 유형(OMS-MP) 및 정비정책/개념 정의

▷ 3 step : 고장정의 및 판단기준

▷ 4 step : RAM-D 요구조건 설정

▷ 5 step : RAM-D 예측/분석 모델 개발

▷ 6 step : 하부체계 및 구성품 정의

▷ 7 step : 하부체계 RAM-D 예측

▷ 8 step : RAM-D 미 예측된 하부체계 및 구성품 신뢰도 추정

▷ 9 step : RAM-D 조합(하부체계별 운용조건 할당 및 조합)

(그림 1) RAM-D 할당 절차

▷ 10 step : 개발장비 RAM-D 예측(개발 가능성 판단)

▷ 11 step : RAM-D 요구조건 할당

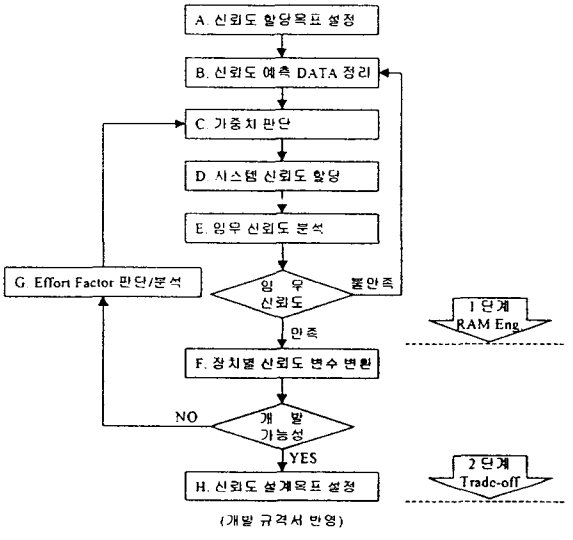
▷ 12 step : 할당 요구조건에 의한 설계/설계 가능성 판단

▷ 13 step : RAM-D 설계목표 설정 (개발자 중심)

위 절차에서 step 11 - 13 사항에 대하여 RAM-D 요소별 할당 절차는 (그림 1)와 같다.

2. 신뢰도 할당

가. 신뢰도 할당 절차 및 방법론



기동장비의 하부체계/구성품에 대한 신뢰도 할당에 대한 일반절차 11~13 step 과정을 다음 (그림 2)와 같이 설정하였다.

(그림 1)에서 1 단계는 RAM 엔지니어에 의한 할당 및 판단하는 단계이며, 2 단계는 설계 엔지니어의 의견반영 신뢰도 목표에 대한 Trade-off하는 과정이다.

나. 신뢰도 할당목표 설정(절차_A)

▷ 운용조건, ▷ 신뢰도 요구조건

▷ 신뢰도 예측 결과

▷ 신뢰도 할당을 위한 완성장비 신뢰도 설계 목표 등

(그림 5) 신뢰도 할당 절차

다. 신뢰도 예측 DATA 정리(할당절차_B) : 기준 및 조건별 신뢰도 예측결과

라. 가중치 판단(할당절차_C)

'Feasibility-of-Objectives Technique'방법론을 응용 다음과 같이 가중치 판단 기준을 설정하였으며, 설계자의 설문을 통해 기 예측한 신뢰도 예측치에 대한 할당 및 재분배 기준으로 사용하였다.

▷ 설계개선(W_D) : 기존에 사용된 장치/부품을 사용하는 것으로 현재 제시된 고장형태에 대하여 설계개선을 통해 신뢰도 향상이 가능한 정도를 나타내는 척도

▷ 적용기술(W_T) : 개발 대상 장치에 대한 개발/제작 기술

▷ 구성 모듈(부품) 증가 비(W_M) : 동일 기능을 발휘하며 기존 또는 현재 타 체계에 사용중인 장비와 비교

▷ Stress Profile 비(W_S) : 동일 기능을 발휘하며 기존 및 현재 타 체계에 사용중인 장비와 비교(외부하중, 정격부하, 환경조건 등)

▷ 가중치 산출식

$$\text{가중치}(Wr) = W_D \times W_T \times W_M \times W_S \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

마. 시스템 신뢰도 할당(할당절차_D)

'ARING Apportionment Technique'과 '신뢰도 예측 DATA를 이용한 할당' 방법을 이용 다음과 같이 수학적 모델을 설정하여 적용하였다.

1 단계 : 적용 고장률(λ_c) 산출

· 적용고장률(λ_c) = 예측고장률(λ_p)×신뢰도가중치(w_r) ..... (2)

2 단계 : 완성차 적용 고장률(λ_{ct}) 산출

· 완성차적용고장률(λ_{ct}) = $\sum_{i=0}^{n}$ 적용고장률(λ_c)i ..... (3)

여기서 i : 최하 구성품/장치

3 단계 : 할당비율(β) 산출

· 할당비율(β) = $\frac{\text{완성차 적용 고장률}(\lambda_{pt})}{\text{장치별 적용 고장률}(\lambda_c)}$ ..... (4)

4 단계 : 장치별 목표 고장률(λ_i^*) 산출

· 장치별 목표 고장률(λ_i^*) = 완성차 목표 고장률(λ^*)×할당비율(β) ..... (5)

5 단계 : 장치별 목표 신뢰도 산출

· 목표 신뢰도($MTBF_i$) = $\frac{1}{\text{장치별 목표 고장률}(\lambda_i^*)}$ ..... (6)

(43)식에 의해 도출된 신뢰도는 기준척도 운용시간으로 제시된 것으로 구성 장치별(1개당) 운용시간에 의한 신뢰도 산출은 다음 식을 이용한다.

· 요구 신뢰도($MTBF_i^*$) = 목표 신뢰도($MTBF_i$)×n×δ ..... (7)

여기서 n = 구성품 수량, δ = 장비 운용비

바. 임무 신뢰도 분석(할당절차_E)

▷ 기준 및 조건 : RBD(Reliability Block Diagram) 모델

사. 장치별 신뢰도 변수(척도) 변환(할당절차_F)

'마' 및 '바'항에서 예측/조정된 고장률을 다음과 같은 식을 이용하여 장치별 운용조건에 의한 목표 신뢰도를 산출 함.

목표 신뢰도($MTBF\ or\ MKBF$) = $\frac{1}{\text{장치별 목표 고장률}(\lambda_i^*)}$ ×운용시간비율...(8)

또는

· 장치별 $MTBF_i^*$ = $MTBF_i$ ×(장치별 가동시간/장비 운용시간)

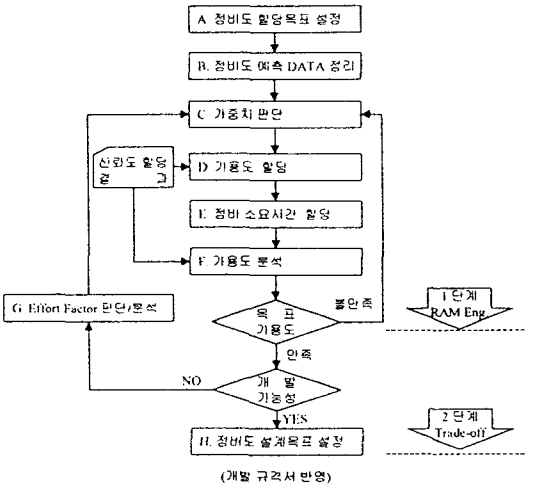
· 장치별 $MKBF_i^*$ = $MTBF_i$ ×(주행거리/장비 운용시간)

· 장치별 $MRBF_i^*$ = $MTBF_i$ ×(사격발수/장비 운용시간)

3. 정비도 할당

가. 기동장비 정비도 할당 절차 및 방법론

1) 기준 자료



정비도 할당 방법론은 가용도 할당 방법을 이용하는 것으로 Ⅱ항, 2절에 제시되어 있으며, 신뢰도 할당 절차 중 Ⅲ항, 1절에 제시된 1~10 step 결과를 정비도 할당 기준 자료로 사용하였다.

2) 정비도 할당 절차

기동장비의 하부체계 및 구성품에 대한 정비도 할당에 대한 일반절차를 기동장비 특성에 맞게 다음 (그림 3)과 같이 설정하여 수행하였다.

(그림 3) 정비도 할당 절차

상기 (그림 3)에서 1 단계는 RAM 엔지니어가 판단하는 단계이며, 2 단계는 설계 엔지니어의 의견을 반영하여 정비도 목표에 대한 Trade-off하는 과정이다.

나. 정비도 할당목표 설정(할당절차_A)

▷ 운용조건, ▷ 완성장비 가용도 요구조건

▷ 완성장비 정비도 요구조건, ▷ 정비도 할당 목표

다. 정비도 예측 DATA 정리(할당절차_B)

7~10 step에서 수행한 정비도 예측결과를 이용 재정리

라. 가중치 판단(할당절차_C)

하부체계의 정비소요시간에 미치는 영향은 정비를 위한 접근성, 분해/조립 소요시간, MODULE화에 의한 교환 용이성 및 고장발견 신속성 등이다. 이러한 요소에 대하여 기존 유사장비와 비교한 가중치를 다음과 같은 사항에 대하여 설계자의 설문을 통해 판단하였다.

▷ 접 근 성(W_A) : 기존에 사용된 장치/부품과 유사체계로 현재 설계/배치를 고려하여 정비를 위한 해당장치 접근 방법

▷ 분해시간(W_R) : 기존 또는 유사체계에 사용된 장치/부품과 유사체계로 현재 설계방법을 고려할 때 분해/조립 방법

▷ 용 이 성(W_M) : 현재 설계방향을 고려시 MODULE화(하부 구성품을 기능 및 정비용이성을 고려하여 단위별 조립체로 구성) 체계의 개념이 기존 또는 체계에 사용중인 장비와 비교 판단

▷ 고장진단(W_F) : 해당 하부체계 및 구성품에 대하여 자동 고장진단 판단이 가능한 체계의 개발 가능성

▷ 가중치 산출식

$$\text{가중치}(W_m) = W_A \times W_R \times W_M \times W_F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (9)$$

마. 가용도 할당(할당절차_D)

유사장비를 이용한 정비도 예측결과와 상기 '라'항의 정비도 가중치를 이용 적용 정비도($MTTR_i'$)를 설정하고, 기 할당된 신뢰도 자료를 기준으로 다음의 방법에 의거 각 하부체계에 대한 목표 가용도를 할당하였다.

1 단계 : 정비소요시간 가중치 적용

$$MTTR_i' = MTTR_i \times W_i \quad \cdots\cdots (10)$$

여기서 $MTTR_i'$; 가중치 적용 정비도(평균정비소요시간)
$MTTR_i$; 유사장비를 이용한 정비도 예측 결과
W_i ; 각 하부체계 및 장치별 정비도 가중치

2 단계 : 적용 가용도 산출(고유 가용도 기준)

$$A_i' = \frac{MTBF_i^*}{MTBF_i^* + MTTR_i'} \quad \cdots\cdots (11)$$

여기서 $MTBF_i^*$; 각 하부체계 또는 장치별 할당된 신뢰도

위 식에 의해 하부체계를 직렬구조 체계로 가정 체계 가용도(A_p)를 산출하면 다음과 같다.

$$A_p = A_1' \cdot A_2' \cdot \cdots \cdot A_i' \quad \cdots\cdots (12)$$

3 단계 : 가용도 할당 가중치 산출

$$A_g = (A_1' \cdot A_2' \cdot \cdots \cdot A_n') \cdot \eta^n \quad \cdots\cdots (13)$$

여기서 A_g : 정비도 할당 목표 가용도
η : 가용도 할당 가중치(각 하부체계 동일 수준으로 할당)
n : 하부체계/구성품 수

위 식에 의해 가용도 가중치는 다음과 같다.

$$\eta = \sqrt[n]{\frac{A_g}{A_p}} \quad \cdots\cdots (14)$$

4 단계 : 하부체계 목표 가용도(A_i^*) 할당

$$A_i^* = A_i' \cdot \eta \quad \cdots\cdots (15)$$

바. 정비 소요시간 할당(할당절차_E)

상기 '마'에서 할당된 하부체계별 목표 가용도와 신뢰도 할당 값을 기준으로 각 하부체계의 정비도(부대정비 기준) 할당 방법은 다음 (54)식을 이용 산출한다.

$$MTTR_i^* = MTBF_i^* \left(\frac{1}{A_i^*} - 1\right) \quad \cdots\cdots (16)$$

장치별 설계 목표 정비도 산출은 다음 (55)식에 의해 산출한다.

$$MTTR_S^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} MTTR_i^* \times \lambda_i^*}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i^*} \quad \cdots\cdots (17)$$

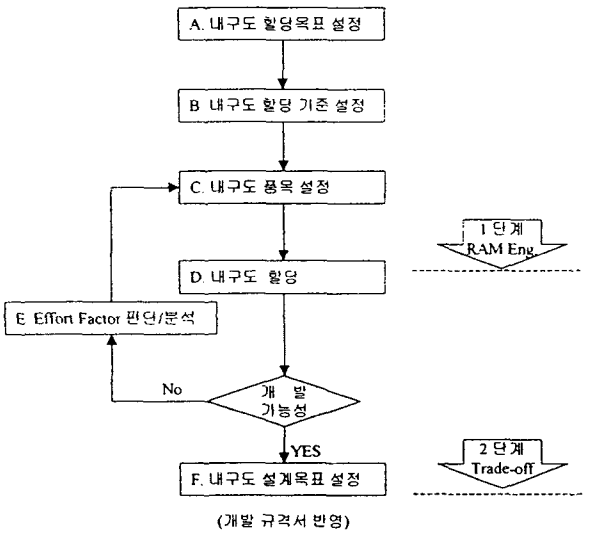
여기서 n ; 하부체계 및 구성품 수

사 가용도 분석(할당절차_F)

각 하부체계별 할당된 신뢰도 및 정비도 자료를 이용한 고유 가용도 분석을 (48)식을 이용 산출하고, 정비도 할당결과를 설계 할당목표인 정비도 및 가용도 목표를 모두 만족하는가를 비교하여 타당성을 판단한다.

4. 내구도 할당

가. 내구도 할당 절차



기동장비 내구도 요구조건[3]을 만족하기 위한 핵심 하부체계 및 구성품에 대한 내구도 설계목표 할당 절차는 다음 (그림 4)과 같이 설정하여 수행하였다.

(그림 4)에서 1 단계는 RAM 엔지니어가 판단하는 단계이며, 2 단계는 설계 엔지니어의 의견을 반영하여 내구도 목표에 대한 Trade-off하는 과정이다.

(그림 4) 정비도 할당 절차

나. 내구도 할당 목표 설정(할당절차_A)

기동장비 내구도 요구조건은 다음과 같이 제시되어 있으며, 이를 만족하기 위한 하부체계의 내구도 품목 선정 및 내구도 설계목표를 할당하였다.

1) 운용 조건 : 환경 조건, 하드웨어 사용률(운용시간)

2) 내구도 목표 : 완성장비, 수명제한 품목, 소모성 품목

다. 내구도 할당 기준 설정(할당절차_B)

1) 운용 조건

2) 할당 조건

라. 내구도 품목 설정(할당절차_C)

1) 내구도 대상 품목 선정 및 분류

2) 품목별 목표 수명 및 정비방법 판단

- Overhaul 정비 : 목표수명시점에 창 정비를 통해 재생
- 교 환 : 목표 수명시점에서 새로운 장치로 교환

마. 내구도 할당(할당절차_D)

1) 목표수명판단 : 완성장비수명(Life Time), 피로/마모 및 소모성 품목

2) 내구도 목표 설정

3) 내구도 목표 할당

5. 할당 결과 타당성 검토

가. 개발 가능성 검토

설계목표 할당결과의 설계 담당자에 의한 개발 가능성 판단 방법

- 기존 유사장비 자료 및 시험결과와 비교
- 유사장비 규격에 제시된 요구조건과 비교
- RAM-D 엔지니어에 의한 예측결과와 비교

나. 할당결과에 대한 Trade-off

개발 가능성 판단에 의해 조종이 요구되는 대상장비에 대하여 Effort Factor 판단 및 분석하여, 최적 설계목표를 설정한다.

Effort Factor에 대한 고려 요소는 개발기간, 기술수준, 개발비용, 중량 및 부피 등으로 기본 식은 다음과 같다.

	신뢰도,	정비도,	내구도		
Minimize	$\Sigma G(Ri, Ri^*)$,	$\Sigma G(Mi, Mi^*)$,	$\Sigma G(Di, Di^*)$,	.....	(18)
Subject	$\Pi Ri^* > Ri$,	$\Pi Ai^* > Ai$,	$Di^* > Di$,	.....	(19)

Ⅳ. 결 론

본 연구를 통해 개발한 RAM-D 요소별 설계목표 할당절차 및 방법은 사용자가 제시한 RAM-D 요구조건을 하부체계의 RAM-D 설계목표 최적 분배 및 할당에 활용 가능함에 따라 최적 설계 및 효율적인 품질관리가 가능하게 되었다.

본 연구를 통해 개발된 모델은 현재 개발중인 기동무기체계[4]에 적용하여 사용 중이며, 기타 무기체계 및 민수 장비에 대하여 사용 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] MIL-STD-338-1A, 1988. 10 "Electronic Reliability Design Handbook"

[2] 한상철, 현대모비스(주) 1993. 10, STS-Ⅱ-026 부록5 "내구도 항목 및 마모/교체 기준"

[3] 한상철, 현대모비스(주), 2000.12, MOBIS-FMBT-RAM-10 "차기전차 RAM-D 요구조건 및 설계목표"

[4] 한상철, 현대모비스(주), 2001. 5, MOBIS-FMBT-RAM-14 "차기전차 RAM-D 설계목표 할당"