

야전운용제원을 활용한 항공무기체계 RAM 분석 방안 및 사례 연구

하성철*, 한승진
국방기술품질원

Study on RAM Analysis Process for Air Force Weapon System Based on Field Data

Sung-Chul Ha*, Seung-Jin Han
Defense Agency for Technology and Quality

요약 무기체계의 야전운용제원을 활용하여 RAM 분석을 수행하는 것은 대상 무기체계를 운용한 군의 경험을 직접 활용하는 것으로 그 분석가치가 높다고 할 수 있다. 이러한 야전운용제원 기반 RAM 분석 결과는 비단 개발목표의 야전 운용 시 달성여부 확인, 개발목표 설정 등 뿐 아니라 국산 무기체계의 해외 수출 시 군수지원성능을 대표하는 지표로 사용할 수 있다. 본 연구는 야전운용제원을 활용한 항공무기체계 중심의 RAM 분석 방안에 관한 것이다. 분석을 위한 자료의 식별과 수집 그리고 정제 및 보정 방안을 담고 있으며 해당 자료를 통한 RAM 분석 방안 및 절차를 제시하였다. 제안된 방안에 대한 타당성을 확인하기 위하여 00항공기의 개발목표값, 2015년 및 2021년 분석결과를 비교 분석하여 개발값과 군에서 운용하여 얻은 실측값 간의 간극을 확인하였으며 또한 일정 기간 차이를 둔 실측값을 분석하여 차이의 발생원인을 분석하였다. 본 연구결과는 향후 항공무기체계의 야전운용제원 분석 시 하나의 방안으로 활용할 수 있을 것이며 결과물은 유사무기체계 개발 등 항공무기체계 개발 시 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

Abstract RAM analysis based on field data is a reliable result that reflects the experience of military operators. This result can be used to confirm whether the development RAM goals have been achieved during operation and set the development RAM goals. This paper presents a process and method of RAM analysis based on field data focusing on air force weapon systems. Data collection, processing, and RAM analysis are proposed to analyze RAM. An analysis of 00 aircraft was conducted to confirm the feasibility of the proposed method. The development value, the past results ('15) and the present result ('21) were compared. As a result, differences were found between these results, and the cause was analyzed. These results can be used as useful basic data for the new development of similar weapon systems.

Keywords : RAM, Reliability, Maintainability, Availability, Field Data

1. 서론

급변하는 세계정세와 러시아와 우크라이나의 전쟁으로 전쟁에 대한 위협은 어느 때보다 고조되고 있는 상황에서 우리나라 방위산업체들은 수출 가능성 등으로 인해 역설적으로 호황기를 누릴 수도 있을 것으로 보인다. 우리나라 방위산업체의 적극적인 국산 무기체계 수출이 진

행되는 과정에서 수입국에서는 무기체계에 대한 RAM 분석결과를 요구하는 경우가 왕왕 나타나고 있다. 이는 무기체계의 수출 시에 수입국의 작전요구성능을 충족하는 것뿐 아니라 군수지원성능까지 고려하는 것이 필요하며 이 과정에서 무기체계에 대한 군수지원성능을 표현할 수 있는 RAM 분석의 중요성이 더욱 대두되는 것이라고 할 수 있을 것이다.

*Corresponding Author : Sung-Chul Ha(Defense Agency for Technology and Quality)
email: scha@dtaq.re.kr

Received August 9, 2022

Accepted November 4, 2022

Revised September 22, 2022

Published November 30, 2022

다행히 우리나라는 방위사업청의 무기체계 RAM 업무 지침에 따라 무기체계 획득 시 RAM 업무를 필수 업무로 인식하여 수행하고 있으며 RAM 업무계획서, RAM 분석 계획서 등 여러 개발산출물들이 생산되고 있고 국방기술 품질원에서 개발한 총수명주기 RAM 표준자료체계(이하 RAMDB 체계)를 통해 관리 중이다[1]. 또한, 무기체계의 획득뿐 아니라 운영유지 시에는 국방부 총수명주기관리 업무 훈령 "제6장 국방 RAM 업무 제3절 야전운용제원 분석 업무"에 따라 국방기술품질원에서 야전운용제원 분석을 수행하고 있으며 이 역시 RAMDB 체계를 통해 데이터베이스를 구축 중이며 국방부, 합참, 각 군 등 군 관련 유관기관에 분석결과를 환류하고 있다[2].

야전운용제원 분석에 대한 제도적 근거는 위와 같이 갖추어져 있으나 실제 수행되는 RAM 분석에 대한 절차와 방안은 명확하게 정립되어 있지 않다. 다만 육군의 지상무기체계에 대한 연구는 수행된 바가 있으며, 해당 연구에서는 지상무기체계의 야전운용제원을 육군 장비정보정보체계로부터 확보하고 RAM 분석 수행을 위한 자료의 가공 방안 및 RAM 분석을 위한 지표 산출 방안과 이를 적용하여 분석한 육군 장비의 사례를 소개하였다[3]. 그리고 해군 해상무기체계는 해군 장비정보정보체계에서 고장정보의 부재로 인한 해군 함정의 RAM 분석의 어려움을 극복하고자 함정의 정비실적 및 자재소비실적에서 수리 부속 소모실적을 추적하여 RAM 분석을 수행하는 방안을 모색하고 이를 전투함정 9척에 적용한 사례를 소개한 결과가 있다[4].

반면, 공군 항공무기체계의 경우 야전운용제원 분석 결과를 활용한 개발단계 RAM 목표값과 야전운용제원 분석 결과를 비교하는 연구만 진행되는 사례가 있으며 해당 연구에서는 항공무기체계의 야전운용제원 RAM 분석 지표에 대한 소개가 이루어졌고 연구개발 항공장비와 구매 항공장비의 야전운용제원 RAM 분석결과가 연구개발목표값을 어느정도 달성하고 있는지 분석하였다. 하지만 해당 연구에서는 분석을 위한 기초자료의 식별, 수집, 정제, 보정 등의 내용은 포함되어있지 않았다[5]. 기존 연구결과들을 통해 일반적인 야전운용제원에 기반한 RAM 분석 방안과 절차 그리고 지표들을 확인할 수 있었으나 자료의 형태와 보정규칙, 상이한 지표를 사용하는 항공무기체계에 직접 적용하기 위해서는 추가적인 연구가 필요함을 식별하였다.

본 연구는 현재 대한민국 공군에서 수집 중인 항공무기체계 야전운용제원의 형태를 고려한 RAM 분석 방안을 제안하고자 한다. 2장에서는 분석에 필요한 자료를 식별하고 각 자료의 연관 관계 및 분석 절차에 대해 제안

한다. 3장에서는 2장의 결과를 기반으로 RAM 분석을 위한 지표를 식별하고 지표 산출을 위한 방안을 제안한다. 4장에서는 3장에서 식별한 RAM 지표를 적용하여 RAM 분석을 수행하고 그 결과를 비교 분석하도록 한다.

2. RAM 분석 방안

항공무기체계의 야전운용제원을 활용한 RAM 분석 방안 및 절차는 Fig. 1에서 도식한 것과 같이 분석자료 확보, 분석자료 보정 및 정제 그리고 RAM 분석의 순으로 진행되며 분석도구로는 국방기술품질원에서 개발한 RAM 목표값 검증평가체계(RAMVV)의 야전운용제원 분석 모듈을 활용하며 분석결과는 RAMDB 체계에 축적한다.

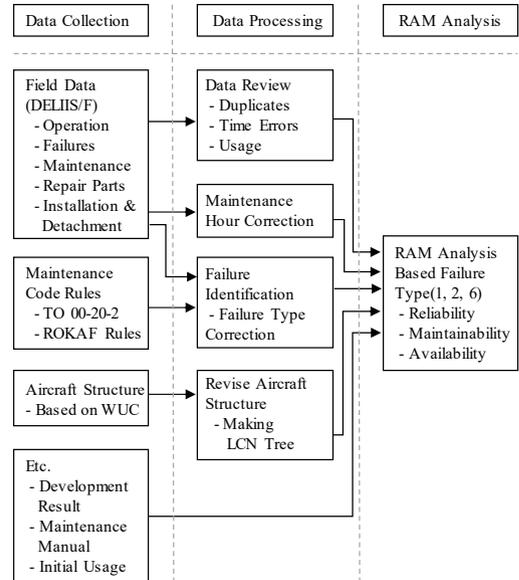


Fig. 1. RAM Analysis Process using RAMVV

2.1 분석자료 확보

항공무기체계 야전운용제원 분석을 위한 분석자료는 기본자료와 보조자료로 나눌 수 있다. 기본자료는 분석을 위한 필수 자료이며 공군에서 항공무기체계를 운용하며 기록한 운용이력, 고장이력, 정비이력, 수리부속이력, 장탈착이력 등 총 5개의 자료이다. 공군에서 기록하는 자료는 군수통합정보체계(공군 장비정보정보체계 (DELIIS/F, Defense Logistics Integrated Information System/Airforce))로 취합되고 있으며 국방기술품질원은 군수통합정보체계의 자료를 연동받아 분석을 수행한다.

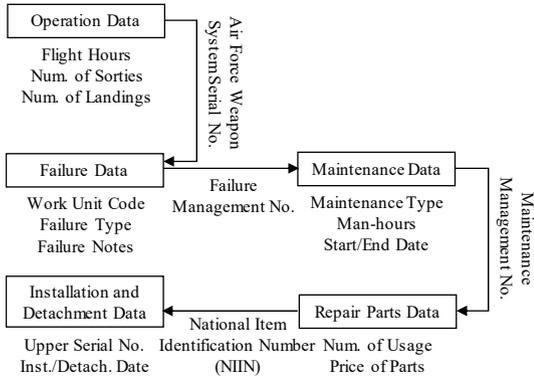


Fig. 2. Data Relationship Diagram

기본자료의 주요 정보 및 자료 간 연결은 아래의 Fig. 2와 같다. 운용이력은 비행시간, 소트 및 랜딩 수 등이 기록되며 항공무기체계의 운용시간을 산출하는 주요 자료이다. 운용이력은 항공무기체계 일련번호를 통해 고장이력과 연결된다. 고장이력은 고장위치인 WUC(Work Unit Code)와 고장의 형태, 내용이 기록되며 고장 수 등을 판단하기 위해 사용된다. 정비이력은 고장이력의 고장관리번호를 통해 연결되며 정비형태, 정비 인시, 정비 시작 및 종료 시간이 기록되어 정비시간 등을 판단할 수 있다. 수리부속이력은 정비관리번호를 통해 정비이력과 연결되며 사용된 수리부속품목의 개수, 가격 등의 정보를 확인할 수 있으며 정비수행 시 사용된 구체적인 수리부속을 식별하는데 사용된다. 마지막으로 장탈착이력은 수리부속품의 국가재고번호를 통해 연결되며 장착 또는 탈착된 수리부속품의 위치를 식별하기 위한 상위품의 일련번호, 장착 및 탈착 시간이 기록된다. 이와 같은 자료 간 연결고리를 통해 항공무기체계의 운용시간, 고장 수, 정비시간, 정비품목 등 RAM 분석에 필요한 기초자료를 식별할 수 있다.

보조자료로는 정비 코드 보정규칙, 구조정보, 개발산출물, 정비 교범, 기초운용량 등이 있다. 정비 코드 보정규칙은 미 공군에서 사용하는 기술문서인 TO 00-20-2를 사용한다. 해당 문건에서 정의하는 WUC(Work Unit Code), HMC(How Malfunction Code), ATC(Action Taken Code)의 세 가지 고장 형태 및 정비 관련 코드를 위의 고장이력, 정비이력에서 수집한다. WUC, HMC 그리고 ATC 코드와 보정규칙은 항공무기체계에서 발생한 고장을 부품 자체의 실제 고장을 의미하는 고유고장(Inherent Failures, Type 1), 부품 자체의 원인이 아닌 외부의 영향에 의해 발생한 것을 의미하는 유발고장

(Induced Failures, Type 2) 그리고 재시현되지 않는 무고장(No Defect Actions, Type 6)으로 분류하기 위해 수행한다[6]. 위의 코드 분류에 따른 고장 기준에 따라 항공무기체계는 고유고장, 유발고장, 무고장 및 모든 고장(고유, 유발, 무고장 포함)에 대한 RAM 분석을 수행한다. 항공무기체계 구조정보는 공군에서 작성한 WUC를 기초 구조로 활용하며 기본적인 WUC 코드 부여 기준은 MIL-STD-780G를 준용한다. 항공기에서 정비 행위가 발생하여 수리부속품이 교체되는 경우 해당 부품이 할당된 WUC를 기록하게 되어있어 WUC는 항공기의 기본적인 구조정보로 활용할 수 있다. 개발산출물의 경우 항공무기체계 개발 시 확보할 수 있는 RAM 분석결과보고서, ILS-P(Integrated Logistic Support Plan), LSA(Logistic Support Analysis) 결과보고서 등이 있으며 해당 자료를 통해 개발 시 예측한 항공무기체계의 운용계획, 정비개념, 수리부속 재고관리, RAM 예측값 등을 확인할 수 있다. 해당 자료는 야전운용제원 분석을 수행한 후 개발목표에 대한 달성 여부 확인 등에 활용한다. 정비 교범은 항공무기체계의 계통, 하위 품목에 대한 세부 위치, 품명, 부품 일련번호, 재고번호, 수량 등을 확인할 수 있으며 이는 항공무기체계의 구조정보를 최신화할 때 사용한다. 다만 정비 교범의 경우는 항공무기체계가 개발된 이후 양산이 되면서 성능개량, 형상변경 등이 발생하는 경우를 대비하여 최신의 교범을 사용하는 것이 요구된다. 기초운용량은 RAM 분석 수행 시 Power Law Process를 통해 수리가능품목의 고장추이를 분석하기 위해 필요한 항공무기체계의 군 배치(전력화) 이전의 운용량을 식별하기 위해 사용한다.

2.2 분석자료 정제 및 보정

RAM 분석을 수행하기 위한 원천자료는 군수통합정보체계를 통해 수집할 수 있으나 해당 자료를 정제 및 보정하여 분석이 가능한 자료로 가공하는 것이 필요하다.

가장 기초적인 작업으로는 중복자료의 제거, 누적 운용량 산출, 시간 오류자료의 제거, 소요량 보정, WUC 기반 LCN 구조정보 구축 및 수정 등이 있다. 상기 내용 중 중복 및 시간 오류자료 제거는 대부분 자료의 연동 과정에서 중복 연동 행위가 발생하거나 자료입력 시 사용자의 부주의 등으로 인해 발생하는 경우로 판단할 수 있다. 중복자료의 제거는 운용이력에 분석대상 항공무기체계의 운용량(비행시간, 소트 수, 랜딩 수)이 일일 단위로 입력될 때 중복으로 입력되는 경우 수행한다. RAM 분석 수행 시 고장 및 정비가 발생할 때까지의 누적 운용시간

이 필요하므로 일일 운용량을 기준으로 누적 운용량을 아래의 Eq. (1)과 같이 일일 운용량(Daily Operation Hours)의 합에 분석대상의 기초운용량(Initial Operation Hours)이 있는 경우 해당 운용량을 추가하여 누적 운용량(Cumulative Operation Hours)을 산출한다.

$$(Cum. Oper. Hrs) = (Initial Oper. Hrs) + \sum(Daily Oper. Hrs) \quad (1)$$

일일 운용량은 무기체계를 하루 동안 운용한 비행시간을 말하며 기초 운용량은 무기체계가 생산된 후 군에 인도되기 전까지 운용된 양을 의미한다.

다음으로 시간 오류자료를 제거한다. 주로 정비이력에서 발생하며 정비 시작 일자와 종료 일자를 비교했을 때 정비 종료 일자가 시작 일자보다 앞서 기록된 경우 해당 자료는 오류로 판단하여 삭제한다. 소요량 보정은 수리부속이력을 대상으로 수행한다. 하나의 정비관리번호에서 동일한 수리부속품에 대해 여러 건의 소요내역이 존재하는 경우 해당 소요량을 사칙연산하여 하나의 자료로 만드는 과정을 말하며 소요량이 음수로 나타난 경우 이는 수리부속품을 반납한 것으로 판단한다.

그리고 앞서 확보한 WUC 기반 LCN(Logistic Control Number) 구조정보 구축 및 수정이 필요하다. Fig. 3과 같이 WUC의 기본 형식에 추가적인 숫자를 부여하는 방식으로 항공무기체계의 구조를 LCN의 형태로 변경하여 RAM 분석에 활용한다. 다만 5자리로 구성되는 WUC에서 '99'로 종료되는 NOC(Not Otherwise Coded)의 경우 특별히 할당받은 WUC가 없는 항공기 각 계통별 여러 수리부속품이 함께 위치한다. 이에 따라 NOC에 위치한 수리부속품들은 개별적인 식별이 어렵다. 해당 수리부속품들을 개별적으로 식별하고 수리부속품들의 MTTF(Mean Time To Failure)를 분석하기 위

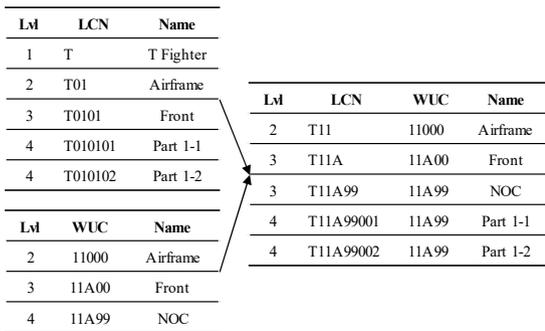


Fig. 3. Revise to Airforce Weapon System Structure

해 WUC를 준용하되 WUC 중 '99'로 종료되는 구조는 뒤에 숫자 세 자리를 추가로 부여하였다.

이 경우 NOC로 분류되던 수리부속품에 대한 신뢰도(MTTF) 분석이 가능하여 보다 많은 수리부속품 개별에 대한 신뢰도 값을 확보할 수 있다.

상기 기초적인 작업 외 주요한 정제 및 보정작업으로는 코드 보정 및 고장이벤트 분류와 고장 및 정비시간의 추출이 있다. 코드 보정은 앞서 2.1에서 언급한 TO 00-20-2의 WUC, HMC, ATC 보정 규칙에 따라 보정을 수행하고 추가적으로 공군의 군수사령부에서 수립한 보정규칙을 적용하여 우리 항공무기체계의 운용, 정비환경에 맞도록 한다. 코드 보정을 수행한 후 해당 결과를 바탕으로 고장을 2.1에서 언급된 고유고장, 유발고장, 무고장으로 고장이벤트 분류 작업을 수행한다. 고장이벤트 분류 작업은 아래의 Table 1의 분류 방식으로 수행한다.

Table 1의 고장이벤트 분류는 TO 00-20-2에서 제시하는 분류 방식을 준용하되 국내 정비환경을 고려하고 야전운용제원 분석은 시험 자료가 빠진 점 등을 반영하여 시험 관련 코드는 제외하였다.

Table 1. Event Type Classification Rules

WUC	11xxx ~ 99xxx				
HMC	Type 1	Type 2	Type 1,2	Type 6	E, H, J, Q, W, V, X, Y, T, S
ATC	F, K, L, Z, P, R, A	F, K, L, Z, P, R, A	G	P, R, L, Z, G, A	
Event Type	Inherent Failure	Induced Failure	No Defect		

고장 및 정비시간 추출은 기본자료에서 항공무기체계 및 하위 계통, 품목에 대한 RAM 분석을 위해 고장시간과 정비시간을 계산하는 작업이다. 우선 고장시간의 경우는 고장이력을 확인하여 두 고장 사이의 시간 간격을 의미하며 이는 신뢰도 산출에 사용한다. 고장관리번호가 발생한 시점의 운용이력을 기준으로 시간을 생성한다. 항공기는 일반적인 캘린더 타임이 아닌 비행시간(Flight Time)을 사용하므로 고장이력에 기록된 고장 발생시간 이전 운용이력의 일자에서 다음 고장관리번호의 고장 발생시간 이전의 운용이력 일자를 뺀 기간의 비행시간의 합으로 고장시간을 산출한다. 정비시간의 경우는 정비이력의 정비 시작시간과 종료 시간의 차이로 산출한다. 다만 이때 정비는 정비중단이 발생할 수 있다. 정비가 완료되지 못하고 중단되는 경우 정비중단이 기록되므로 정비시간에서 정비 중단시간 만큼을 제외하도록 한다. 이것 외

에 추가적으로 정비가 1일(24시간) 또는 시간외(09시 이전, 18시 이후)로 정비시간이 기록되는 경우 이는 근무시간 외 시간으로 판단하여 09시 이전 및 18시 이후의 시간은 정비시간에서 제외한다. 이외에도 항공무기체계의 정비는 항공기 상에서 이루어지는 On Equipment 정비와 항공기에서 탈거 후 이루어지는 Off Equipment 정비가 존재한다. On Equipment 정비 시 해당 항공기는 운행이 불가한 상태로 판단하며 Off Equipment 정비가 이루어지는 경우에는 정비는 수행되고 있으나 항공기는 운행이 가능한 상태로 판단한다. Off Equipment는 실제 정비는 발생하고 있으나 항공무기체계의 운용과는 다르게 발생하므로 운용가용도 산출 시 제외한다.

3. RAM 분석

3.1 신뢰도 분석

RAM 분석은 신뢰도, 정비도, 가용도를 분석하는 것으로 신뢰도의 경우 MTBF를 지표로 사용하는 타 무기체계와 다르게 항공무기체계 분석 시에는 운용시간을 비행시간 기준으로 분석한다. 이에 따라 Time을 Flight Time으로 변경하여 MFTBF(Mean Flight Time Between Failures)를 사용한다. 이는 일반적인 캘린더 타임을 사용하는 것이 아닌 항공무기체계의 비행시간을 기준으로 신뢰도를 산출하는 것을 의미한다[5]. 신뢰도를 분석하는 방법은 2.1 및 2.2를 통해 확보, 보정, 정제된 운용시간 및 고장이벤트 별로 분류된 각 고장의 횟수를 사용한다. 기본적으로는 항공무기체계의 총 운용시간을 각 고장이벤트별 고장 수로 나눈 것으로 고장이벤트 별 MFTBF를 산출하며 각각을 MFTBF 1, MFTBF 2, MFTBF 6 및 MFTBF(모든 고장)으로 명칭한다. MFTBF 산출 외에 수리가 가능한 품목으로 볼 수 있는 항공무기체계 및 계통, 주요 품목 수준에서의 신뢰도 변동 추세를 분석한다. 신뢰도 변동 추세는 확률 모형 중 하나인 Power Law Process를 적용한다.

$$\widehat{MFTBF}(t) = \frac{t^{1-\beta}}{\lambda\beta}, \quad \beta > 0, \lambda > 0, t > 0 \quad (2)$$

Eq. (2)의 식을 통해 PLP 모형을 적용한 MFTBF를 특정 시점 t의 신뢰도를 추정하고 이 때 β값을 신뢰도 추세로 판단한다. β가 1 초과인 경우 신뢰도 감소, 1인 경우 신뢰도 일정, 1 미만인 경우 신뢰도 증가 추세로 해석할 수

있다[7]. 수리불가능품목은 와이블 분포를 적용한 MFTTF (Mean Flight Time To Failure)로 산출한다[8,9].

3.2 정비도 분석

정비도는 평균 정비시간을 산출하는 것으로 MTTR (Mean Time To Repair)을 계산한다. 고장으로 인해 발생한 총 정비시간을 고장 정비 횟수로 나누어 정비도를 산출한다. 정비도 산출 시 정비시간의 분포가 지수, 정규, 대수정규분포 중 적합한 분포가 식별되는 경우 MTTR 추정값을 제시한다. 이 중 대체적으로 정비도는 대수정규분포가 가장 적합한 것으로 알려져 있으며 대수정규분포를 따르는 경우 Eq. (3)의 식에 따라 추정치를 산출한다[10].

$$\widehat{MTTR} = \exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2}) \quad (3)$$

3.3 가용도 분석

가용도(Ao)는 전체 보유시간 중 가동상태에 있을 수 있는 시간의 비율로 정의하여 분석한다. 가동상태에 있을 수 있는 시간을 전체 보유시간으로 나누는 방식으로 분석할 수 있으나 정비도 분석 등을 통해 항공무기체계의 불가동시간을 산출할 수 있으므로 전체 시간 1에서 불가동시간(Downtime)을 제하는 방식으로 가동시간(Uptime)을 산출하며 Eq. (4)의 식을 따른다.

$$Ao = 1 - \frac{(Downtime)}{(Uptime) + (Downtime)} \quad (4)$$

불가동시간은 무기체계의 운용이 불가한 상태의 시간을 의미하며 고장이력, 정비이력 등을 분석하여 총 고장 정비시간, 총 예방정비시간 및 총 행정 및 군수지원시간의 합으로 산출한다. 가동시간은 무기체계의 운용이 가능한 상태의 시간을 의미하며 운용이력을 분석한 항공무기체계의 비행시간을 기본적으로 사용하고 이외에도 총 시간에서 비행시간 및 불가동시간을 뺀 나머지 시간을 항공무기체계의 대기시간으로 활용하여 가동시간으로 합산한다[11].

4. RAM 분석 결과 및 사례

4.1 분석 대상 자료 확보

항공무기체계 분석 대상 장비는 00 항공기로 연구개발값과의 비교를 위해 국산 항공기로 선정하였다. 해당 항공기는 본 분석 대상 항공기를 기본 형태로 하여 다양한 변형, 성능개량의 항공기가 존재한다. 분석 기간은 '09년 7월부터 '20년 6월까지의 야전운용체계를 활용하였으며 분석장비에 대한 자료 수집은 군수통합정보체계와 국방기술품질원의 RAMDB 체계 간 자료 연동을 통해서 확보하였다. 확보된 자료는 2.1에서 언급된 기본자료이며 운용이력 약 9만여 건, 고장이력 약 11만 건, 정비이력 약 195만 건, 수리부속이력 약 50만 건, 장탈착 이력 약 39만 건이다. 이외에 공군에서 관리 중인 부품구조체계로부터 00 항공기 WUC를 확보하여 약 7,900 건의 계통, 조립체, 단품 등의 구조를 구축하였으며 ILS-P, RAM 분석결과 보고서, 정비 교범 등 개발자료를 확보하여 분석에 활용하였다.

RAM 분석은 국방기술품질원이 개발한 RAMVV의 야전운용제원 분석 모듈을 활용하여 수행하였다. 국방기술품질원에서는 매년 국방 RAM 심의위원회에서 선정된 분석대상 장비에 대해 분석을 수행하고 있으며 2015년과 2021년에 00 항공기가 분석대상으로 선정되었으므로 00 항공기의 2015년 및 2021년 분석결과와 개발목표값을 비교 분석하였다. '09년 7월은 공군 장비정비정보체계(DELIIS/F, 현 군수통합정보체계)가 전력화된 시점으로 '09년 7월 이전의 데이터는 일부 확보할 수 있었으나 공군과의 협의 시 데이터의 신뢰성 문제로 사용하지 않았다.

4.2 RAM 분석 결과 및 사례 분석

2장의 RAM 분석 방안에 따른 분석자료 정제 후 3장의 분석 방법에 따라 항공무기체계 중 하나인 00 항공기에 대한 RAM 분석 결과는 Table 2와 같으며 개발목표값은 신뢰도의 고유고장(Type 1) 기준만 확인되었다[12].

신뢰도(MFTBF)는 고유고장(Type 1) 개발목표값은 6.0시간이었으나 '15년 기준 4.7시간, '21년 기준 5.2시간으로 분석되었으며 유발고장(Type 2)의 경우 '15년 기준 5.3시간, '21년 기준 2.7시간이며 무고장(Type 6)은 '15년 12.7시간, '21년 24.4시간이며 모든고장(All)의 경우 '15년 기준 2.2시간, '21년 기준 1.8시간이다. 00 항공기는 고유고장 기준 개발 목표를 현재 충족하지는 못하고 있으나 2015년과 2021년을 비교했을 때 신뢰도가 소폭 상승하여 신뢰도가 개선되고 있음을 나타낸다. 반면 모든고장을 고려했을 때는 오히려 신뢰도가 소

Table 2. Result of 00 Aircraft RAM Analysis

Indicator		00 Air Force Weapon System		
		Dvlp. Goal	2015	2021
MFTBF(Hr)	Type 1	6.0	4.7	5.2
	Type 2	-	5.3	2.7
	Type 6	-	12.7	24.4
	All	-	2.2	1.8
MTTR (Hr)	Type 1	-	12.2	11.7
	Type 2	-	3.1	2.0
	Type 6	-	2.0	2.4
	All	-	7.8	5.7
Ao(%)		-	96.95	96.88

폭 감소했고 유발고장 및 무고장에서도 일부 변화를 확인하였다. 이는 운용 및 고장 현황을 분석했을 때 '15년과 '21년 간 00 항공기 1기 기준 연평균 고장 수는 소폭 감소하였으나 유의미한 차이로 판단하는 것은 다소 어렵고 고장 유형별로 봤을 때 모든고장 중 고유고장 및 무고장의 비중 감소, 유발고장의 비중 증가가 신뢰도의 변화로 반영된 것으로 판단할 수 있다. 이에 따라 00 항공기는 '21년 분석결과를 현재로 고유고장 기준 개발목표값에는 미치지 못하나 신뢰도는 소폭 상승하고 있으며 약 5.2시간 마다 수리부속을 요하는 고장이 발생 중이며 00 항공기에서 발생하는 모든고장 기준으로는 약 1.8시간 마다 고장이 발생하고 있음을 알 수 있다.

정비도(MTTR)는 고유고장 기준 '15년 12.2시간, '21년 11.7시간, 모든고장 기준 '15년 7.8시간, '21년 5.7시간으로 전체적인 00항공기의 정비시간이 소폭 감소하였음을 알 수 있다. 이는 정비현황을 분석했을 때 소터 1회 당 고장으로 인해 수행되는 정비시간이 소폭 감소한 것과 동일한 결과임을 알 수 있었다. 또한 고유고장의 정비도가 타고장의 정비도 보다 다소 큰 것은 모든고장에서 차지하는 고유고장의 비중이 타 정비에 비해 정비시간에서 차지하는 비중이 커 정비도가 크게 분석된 것으로 확인하였다.

가용도는 '15년 기준 96.95%, '21년 기준 96.88%로 유사하게 분석되었다. '15년과 비교했을 때 '21년 분석 시 0.07%가 감소한 것으로 분석되었는데 이는 총 가동시간은 과거('15년) 대비 76% 증가하였지만 총 불가동시간이 80% 증가한 것에 기인하였다. 이를 해석하자면 1년 365일을 기준으로 했을 때 약 6시간 정도 불가동시간이 증가하였음을 의미한다.

Table 3은 LCN 2레벨 수준 계통별 모든고장 기준 신뢰도 산출결과로 '15년과 '21년 분석결과를 비교한 것이

다. 모든고장 기준으로는 개발산출물을 통한 개발목표값을 확인할 수 없어 '15년 결과와 '21년 결과를 비교하였다. 00 항공기는 총 26개의 계통을 가지고 있다. 약 31%의 계통이 '15년 대비 신뢰도가 감소한 것으로 나타났으며 이는 고장의 발생빈도가 '15년 분석 후 높아진 것에 기인한 것으로 식별되었고 그 중 T47의 경우는 감소폭이 큰 데 하위 조립체 중 호스조립체의 고장이 다수 증가한 영향으로 판단된다.

Table 3. Level 2 System MFTBF(All) Comparison

LCN	MFTBF(Hr)		Rate(%)
	'15	'21	
T11	6.6	4.4	-50.0
T12	57.7	66.9	13.8
T13	10.1	10.4	2.9
T14	48.5	26.3	-84.4
T23	70.8	63.6	-11.3
T24	100.7	112.8	10.7
T41	156	158.6	1.6
T42	80.5	83.6	3.7
T44	8.5	9.8	13.3
T45	114.1	107.5	-6.1
T46	114.6	97.9	-17.1
T47	285.3	126.5	-125.5
T49	1,158.4	1,939.6	40.3
T51	108.5	88.5	-22.6
T55	775.4	1,174.9	34.0
T63	293.7	374.7	21.6
T64	349.9	403.3	13.2
T65	562.0	769.7	27.0
T69	814.2	508.1	-60.2
T71	400.7	527.3	24.0
T72	-	11,801.1	-
T74	91.0	123.8	26.5
T75	378.9	3,064.6	87.6
T91	243.5	4,229.0	94.2
T96	-	6,941.6	-
T97	-	16,313.7	-

개발산출물 상 고유고장 기준 신뢰도 분석만 수행됨에 따라 개발목표값과의 비교를 위해 고유고장 기준의 신뢰도 비교를 수행하였으며 결과는 Table 4와 같다. 약 53.8%의 계통이 개발목표값을 상회하고 있는 것으로 분석되었으며 T42의 경우는 개발목표값 대비 약 391.6 시간이 낮게 분석되었고 주요 고장 원인으로는 손상, 작동

불량 등이 주를 이루었으며 교류식 발전기 등 129종의 하위 품목이 교체되었다.

Table 4. Level 2 System MFTBF(Type 1) Comparison

LCN	MFTBF(Hr)			Rate(%) (21/Dvlp.)
	Dvlp. Goal	'15	'21	
T11	62.0	56.4	63.3	2.05
T12	150.0	198.5	214.0	29.91
T13	25.9	61.9	51.3	49.51
T14	106.6	93.6	82.4	-29.37
T23	95.1	101.9	89.1	-6.73
T24	250.3	127.4	147.2	-70.04
T41	422.5	453.3	501.9	15.82
T42	481.0	86.6	89.4	-438.03
T44	106.4	9.0	12.3	-765.04
T45	233.5	149.6	212.2	-10.04
T46	126.7	171.6	170.6	25.73
T47	865.3	294.5	176.1	-391.37
T49	1820.6	1376.4	3382.6	46.18
T51	117.3	115.6	93.7	-25.19
T55	922.1	991.6	4173.8	77.91
T63	144.0	394.1	462.3	68.85
T64	270.5	391.9	442.0	38.80
T65	922.2	613.5	860.0	-7.23
T69	1001.0	752.3	730.1	-37.10
T71	182.7	756.4	1632.6	88.81
T72	656.9	-	13149.7	95.00
T74	62.5	172.9	186.6	66.51
T75	227.4	539.1	9739.2	97.67
T91	22816.0	243.5	10719.0	-112.86
T96	3422.5	-	11347.7	69.84
T97	1174.6	-	-	-

Table 5는 LCN 2레벨 수준 계통별 모든고장 기준 정비도 산출결과이다. 정비도 관련 개발산출물 결과가 확인되지 않음에 따라 '15년 및 '21년의 분석결과를 비교하였다. 약 69% 계통의 정비도가 줄어들어 평균 정비시간이 단축된 것으로 분석되고 이 중 T42의 정비시간 감소가 가장 두드러졌으며 해당 계통의 경우 하위 품목 중 동력 변환 장치, 동력 발전 장치, 배터리 계통, 보호 및 스위칭 장치 등의 평균 정비시간 감소가 주요하게 작용한 것으로 식별되었다.

Table 5. Level 2 System MTTR(All) Comparison

LCN	MTTR(Hr)		Rate(%)
	'15	'21	
T11	3.5	3.3	-5.2
T12	13.9	7	-98.7
T13	2.7	2	-36.0
T14	48.2	31.5	-53.0
T23	140.0	86.4	-62.0
T24	133.8	64.3	-108.1
T41	46.7	22.7	-105.7
T42	254.6	9.5	-2580.1
T44	0.7	0.6	-15.0
T45	17.8	13.3	-33.5
T46	94.8	53.9	-75.9
T47	14.1	2	-603.0
T49	2.8	8.1	65.4
T51	18.5	7.7	-140.0
T55	6.6	5	-32.4
T63	5.3	6.2	15.3
T64	5.2	5	-4.0
T65	5.2	16.8	68.9
T69	20.8	19.1	-9.0
T71	3.2	4.1	21.5
T72	-	60.3	-
T74	11.9	19.3	38.2
T75	22.2	2	-1012.0
T91	0.7	0.3	-120.0
T96	-	0.6	-
T97	-	17	-

5. 결론

본 연구는 대한민국 공군이 야전에서 항공무기체계를 운용하며 축적해온 야전운용제원을 활용한 항공무기체계 RAM 분석 방안을 제안하였고 해당 방안을 활용한 분석 사례를 제시하였다. 분석 방안은 자료 확보와 분석자료 보정 및 정제, 그리고 RAM 분석의 순으로 진행되며 주요 분석 정보체계는 국방기술품질원에서 개발한 RAMVV 체계이다.

00 항공기에 대한 RAM 분석을 수행한 결과, 개발목표와 비교했을 때 다소 미충족하는 것을 식별하였으나 과거 분석 대비 최근 분석결과는 향상하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 다만 개발목표를 본 연구에서 제안한 RAM 분석과 온전히 비교하지 못한 것은 아쉬운 부분이나 방위사업청 무기체계 RAM 업무지침의 제정 및 전부

개정 등으로 무기체계 확보 시부터 RAM 업무가 강화됨에 따라 향후 무기체계들에 대해서는 개발목표와 야전운용제원분석결과의 비교 분석이 원활할 것으로 판단된다.

야전운용제원을 분석하고 그 결과를 지속적으로 축적하는 경우 본 연구의 분석 사례에서 확인할 수 있는 것처럼 과거 대비 운용 장비에 대한 변화를 식별할 수 있을 뿐 아니라 유사 무기체계 개발 시 개발목표값으로 활용하여 운용경험에 기반을 둔 현실적인 목표의 수립이 가능할 것이다. 현실적인 목표의 수립은 경제적인 무기체계의 확보, 정확성 높은 동시조달수리부속(Concurrent Spare Parts) 목록 수립, RAM 값에 기반한 운영유지비용 산출 등의 활동으로 이어질 수 있어 무기체계의 확보에서 운영유지까지 전반적인 효율성을 높일 것으로 기대한다.

RAM 분석은 분석결과의 도출로 끝나는 것이 아니라 적극적으로 활용하는 것이 중요하다. 후속 연구로는 RAM 분석결과를 유사무기체계 획득에서 운영유지에 걸친 국방 분야의 여러 업무에서 활용할 수 있는 방안을 연구하는 것이 필요할 것이다.

References

- [1] DAPA, Weapon System RAM Law & Guide Book, pp.31, Defense Acquisition Program Administration, 2021, pp.1-23.
- [2] MND, Total Life Cycle Systems Management Instruction, pp.136, Ministry of National Defense, 2022, pp.37-47.
- [3] G. M. Park, "A Study on Process and Case of RAM Analysis in Ground Weapon System Using Field-Data", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.20, No.5, pp.485-491, May 2019. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.5.485>
- [4] J. M. Sohn, C. M. Chang, and Y. D. Won, "A Case Study of RAM Analysis Using Field Data: Focusing on Korean Warship", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol.12, No.12, pp.395-412, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2012.12.12.395>
- [5] I. S. Kim, W. Jung, "Comparison of RAM target value and operation data in air weapon systems", *Journal of Applied Reliability*, Vol.15, No.4, pp.282-288, 2015.
- [6] DoD Air Force, Maintenance Data Documentation(TO 00-20-2), Technical Manual, DoD Air Force, U.S.A., pp.1-196.
- [7] S. E. Rigdon, A. P. Basu, *Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*, pp.290, John Wiley & Sons Inc., 2000, pp.1-290.

- [8] R. B. Abernethy, The New Weibull Handbook 5th Edition, pp.350, R. B. Abernethy, 2006, pp.1-350.
- [9] J. Yu, G. Tian, M. Tang, "Statistical inference and prediction for the Weibull Process with incomplete observations", *Computational Statistics & Data Analysis*, Vol.52, No.3, pp.1587-1603, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csda.2007.05.003>
- [10] S. G. Seo, "Estimation and Demonstration Test Plan for Availability with Weibull Lifetime and Lognormal Repair Time", *The Korea Reliability Society, Journal of Applied Reliability*, Vol.14, No.1, pp.1-9, 2014.
- [11] S. C. Ha, RAM analysis report based on field data for ROKAF aircraft, Technical Report, Defense Agency for Technology and Quality, Korea, pp.99-126.
- [12] KAI, Reliability Prediction And Analysis Report, Technical Report, Korea Aerospace Industries, LTD, Korea, pp.2-17.

하 성 철(Sung-Chul Ha)

[정회원]



- 2008년 8월 : 한국과학기술원 산업공학과 (산업공학석사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

RAM, 신뢰성

한 승 진(Seung-Jin Han)

[정회원]



- 2016년 2월 : 창원대학교 산업시스템공학과 (산업공학석사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

RAM, 신뢰성