

FRACAS에 기반한 군 무기체계의 고장분석 워크플로우 구축에 대한 연구

이민영·김완걸·김경수

육군 종합정비창 정비기술연구소

A Study on the Development of FRACAS-based Failure Analysis Workflow for Military weapon system

Lee Min-young · Kim Wan-gul · Kim Kyung-soo

Maintenance Technology Research Center, ROKA

Abstract

The following thesis provides an explanation for the definition of the MIL-HDBK-2155 : Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System (FRACAS), which systemizes the collection and analysis of failure data and the feedback process of the results. It also presents a plan based on MIL-HDBK-2155 for the collection and analysis of operating specifications on weapon systems. The collection and analysis of failure data and the feedback process utilizing FRACAS contributes to identifying improvement requirements during equipment operation as well as finding and eliminating the root cause of the failures. The objective of applying FRACAS to weapon systems is to receive source data feedback for reliability enhancements and performance improvements during operation. This is done by recognizing weaknesses in the design or operation by identifying the type of failures that might occur, and by performing Failure Modes, Effects and Criticality Analysis(FMECA) and Failure Tree Analysis(FTA).

Keywords : FRACAS, FMECA, FTA, Failure Analysis

1. 서론

개발된 제품이 의도된 기능을 효과적으로 수행할 수 있는지의 여부는, 전 산업에 걸쳐 그 중요성에 대한 인식이 나날이 증대되어가고 있다. 이러한 성능발휘 여부를 통상적으로 ‘신뢰성’이라 하며 신뢰성의 향상은 제조기업의 성쇠를 좌우하는 핵심 요소로 평가되고 있다. 이는 제품의 성능발휘가 임무완수뿐 아니라 운용자의 생명과도 직결되는 방위산업분야에서 더욱 큰 의미를 가지며, 최근의 높아진 군 무기체계의 신뢰성에 대한 일련의 관심과 노력들이 이를 증명하고 있다.

신뢰성의 향상을 위한 조치 및 활동들은 통상 고장데이터의 수집과 분석을 통해 식별하게 된다. 수집된 고장데이터는 다양한 분석기법을 통해 발생한 고장의 원인규명 및 재발, 발생 가능성을 최소화하기 위한 일련의 조치를 결정하는 중요한 정보를 제공한다.

이러한 고장 데이터의 수집 및 분석, 그리고 그 결과의 환류 절차를 체계화한 것으로 MIL-HDBK-2155는 FRACAS의 개념을 설명하고 있다. 고장 보고, 분석 및 교정 조치 시스템 (Failure Reporting Analysis and Corrective Action System : FRACAS)은 장비의 결함을 규명하고 시정조치하며, 나아가 이러한 결함들의 발생을 사전에 예방하기 위한 관리도구이다 MIL-HDBK-338B(1998). 고장에 대한 지속적인 기록과 분석, 교정조치의 반복적인 과정은 장비의 하드웨어나 소프트웨어의 신뢰도가 지속적으로 향상될 수 있도록 관리할 수 있을 뿐 아니라, 발생한 결함에 대한 원인규명과 시정조치를 통해 결함발생을 사전의 예방하는 도구로서 사용되고 있다. 또한 이러한 기록을 축적된 데이터베이스화함으로써 향후 유사 장비 개발의 기본 자료로 활용하게 된다.

현재 군 주요 무기체계들은 이와 유사한 형태의 정보관리체계를 활용하고 있으나 체계적인 기준에 의한 수집 및 분석에는 한계가 있는 것이 사실이다. 이러한 문제점은 다양한 무기 체계에 대해 일관된 적용 기준을 마련하기가 어려우며, 이러한 관리체계를 운용하는데 소요되는 비용측면의 문제와 군의 조직 및 업무체계를 고려한 효율적인 수집 체계가 정립되어 있지 않기 때문이다. 또한 그동안 시도되었던 일련의 노력들은 야전자료 수집과 보고의 어려움 등 여러 가지 문제로 인해 정확한 결과를 도출해 내지 못하였다.

따라서 본 연구는 우리 군 무기체계의 운용 및 유지를 위하여 국방 분야에 대한 FRACAS의 실제적인 적용방안을 제시하고자 한다. 첫째로 무기체계 운용간 필요한 분석방법과 수집 데이터를 식별하여 적용 가능한 FRACAS 모델을 구축하였다. 둘째, 수집된 고장데이터를 활용한 Closed-Loop화된 고장원인분석 프로세스와 데이터 관리방안을 도출하였다. 이를 바탕으로 우리 군 무기체계의 수명주기 관리에 최적화된 FRACAS 워크플로우를 제시하였다.

2. FRACAS 개요

2.1 FRACAS 개념

FRACAS는 고장(Failure)기록을 수집하고 그 문제를 분석하여, 이에 대한 대책을 수립하고, 체계의 신뢰성 또는 정비업무 등의 활동에 적용하는 반복-지속적(Closed-Loop)이며 효율적인 “분석-관리 체계”를 말한다. 효과적인 FRACAS 체계를 구축함으로써 무기체계의 개발 초기 단계에서 설계상의 문제점을 조기에 발견하여 예방조치를 취할 수 있다. 또한, 개발 후기 단계에서는 장비가 가공단계를 거치는 동안의 설계 상태를 추적하여 조립이나 시험 중에 발생할 수 있는 고장 문제들을 조기에 발견하고 조치를 취할 수 있다. 무기체계가 야전에 배치된 후 운용단계에서는 야전에서 발견된 문제들이 예상 유형 고장들과 일치하는지를 확인하거나, 또는 예상치 못한 문제들을 발견하여 추가적인 분석의 필요성을 인식하고 필요한 경우 설계 및 공정의 일부를 변경하게 된다 김세현(2005).

FRACAS를 시행하기에 앞서 어떠한 목적을 가지고 운용할 것인지를 정의하는 일은 운용 및 데이터의 수집 및 분석을 성공을 좌우하는 중요한 요소이다. FRACAS의 1차적 목표는 고장 및 고장의 문서화를 위한 메커니즘을 제공하고 Closed-Loop방식으로 이러한 고장 데이터에 접근할 수 있도록 하는 것이다. 이러한 FRACAS의 효과는 기본적으로 어떤 데이터를 어느 정도의 정확성을 가지고 입력하였는가에 따라 좌우된다.

따라서 효과적인 Closed Loop화된 FRACAS를 운용하기 위해서는 반드시 FRACAS가 산출하는 데이터와 정보가 어떠한 형태로 활용되는가에 대한 판단이 필요하다. <그림 1>은 FRACAS의 데이터와 정보의 분석흐름을 개관한 것이다 김세현(2005).



<그림 1> FRACAS의 분석흐름

고장 정비기록이 시스템에 입력되면, FRACAS내에서 일련의 분석과정을 통해 왜 고장이 발생했는지에 대한 해답을 제시하거나, 다른 체계에서 발생하는 동일하거나 유사한 고장

FMECA가 Bottom-up 방식의 귀납적인 방식으로 고장유형을 식별하는 반면, Top-down 방식의 FTA는 연역적인 방식으로 체계의 고장에 대한 원인계통을 분석한다(정일한(2007)). 즉 FMECA는 해당 부품의 단순고장분석의 수행을 통해 차상위 및 체계에 미치는 영향을 분석하는 반면, FTA는 복합고장을 고려하여 고장원인을 추정하는 방식이다. 따라서 2가지 기법을 병행하여 실시함으로써 체계의 고장 분석 효과를 극대화 할 수 있다(채제욱(2005)).

3. 현 실태 및 사례

3.1 민수 분야

민수 분야의 경우 (주)로템이 전동차량에 발생한 고장 및 이와 관련된 데이터를 수집하고 관리하는 FMS(Fault Monitoring System)로 FRACAS 체계를 구축하여 운영하고 있다. FMS는 기본적으로 로템에서 제작하는 철도차량의 고장정보를 향후 제작될 철도차량의 기본 자료로 활용할 뿐 아니라 고장원인분석을 통하여 최대한 빠른 시간에 정상상태로 복귀시키는 데에 그 목적이 있다. (주)로템은 수집된 데이터를 RAM분석 및 예방정비 업무에 활용할 뿐 아니라 RAM 분석 툴과 연동하여 이를 분석하는데 활용하고 있으며, 다음과 같이 구성되어 있다.

- (1) Incident Details(고장정보)
- (2) Equipment Information(장치 고장정보 입력)
- (3) Action Taken(수리 조치현황관리)
- (4) Engineering Response(기술검토)
- (5) Reliability Demonstration 오지은과 강찬용(2008)

(주)로템의 사례에서 FRACAS 체계를 자사의 철도차량에 대하여 적용 가능한 형태로 구현했다는 점은 주목할 부분이다. 단순한 고장 DB구축뿐 아니라 고장 정보수집체계를 우선적으로 갖추어 분석에 맞는 정보를 수집할 수 있었으며, FMECA 등과의 연계를 통해 지속적인 신뢰도 관리를 가능토록 하였다.

3.2 국방 분야

국방 분야의 경우 무기체계의 고장데이터 관리를 야전에서 의 정비지시서 작성을 통해 수집하고 있다. 이러한 시스템을 전산화한 ‘장비정비정보체계’(DELIIS)가 현재 운용되고 있으며, 각 체계별 정비관련 정보가 통합적으로 수집되어 관리되고 있다. 육군의 장비정비정보체계의 수집데이터는 크게 정비지시서(정비기록)와 월장비운행증(운용기록) 두 가지로 구분된다. 정비지시서상의 정보는 정비작업 중에 소요된 수리부속의 교환기록으로, 고장에 의한 교환과

예방정비에 의한 교환 등의 정보가 혼합되어 있다. 또한 고장이 발생한 경우와 유형, 근본 원인을 파악하는 기초자료로 활용하기에는 한계가 있다. 따라서 고장의 보고라는 측면에서 고장검토위원회(FRB : Failure Review Board)의 고장분석에 의한 교정조치의 적용이 신속하게 이루어지기에 어려운 구조를 가진다.

한편 국방기술품질원에서는 2008년부터 고장데이터의 수집 및 분석과 D/B구축 프로세스를 구현한 LAMDA(reLiability Analysis Model Based on field DAta)를 개발, OO후속군수지원 사업에 적용하여 야전운용데이터 수집 및 분석에 시범 운용하고 있다. LAMDA는 PDA를 통한 실시간 현장자료 수집을 구현하였으며, 현 육군 장비정비정보체계의 DB구조에 OO탄약 운반차 전용의 운용제원 및 RAM-D분석에 필요한 제원을 포함하는 DB구조를 가진다.

4. 국방 분야의 FRACAS 적용 가능 모델

4.1 운용 목적 및 방안

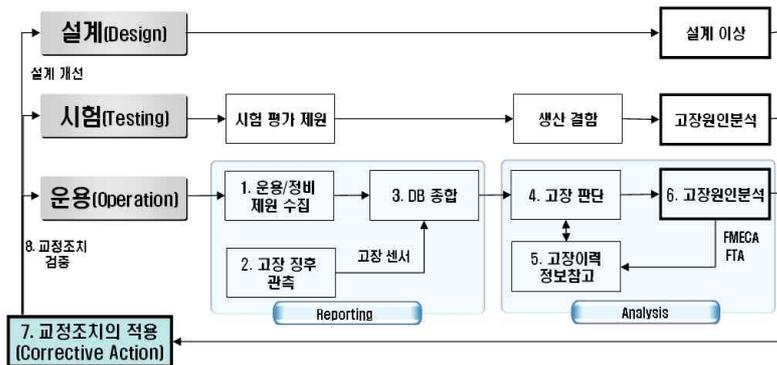
과거에 구현되어 운용중인 군 무기체계의 고장 데이터 수집/분석체계가 현재 활용되는데 있어서 제한사항이 존재하는 근본적인 원인은 정확한 목표의 설정 없이 고장데이터를 수집하였기 때문이다. 수집과 분석 그리고 교정조치가 행해지는 일련의 활동들에 의도된 목표가 반영되어 구현될 수 있도록 명확히 정의를 내리는 것은 FRACAS 시행에 있어서 가장 중요한 일이다. 본 연구에서 제시하는 군 무기체계의 FRACAS 적용 가능 모델은 다음과 같은 운용 목표를 가진다.

- (1) 야전 장비의 고장에 대한 추적 가능한 Closed-loop system 구축
- (2) 운용 신뢰도 평가 및 검증
- (3) 한국군 운용환경에 맞는 고장 유형의 라이브러리화
- (4) 고장 데이터의 통계적 분석
- (5) 고장 원인 분석(Cause Analysis)을 위한 기본 자료 제공

무기체계의 고장분석을 위한 FRACAS의 기본적인 목적은 고장에 대한 추적이 가능한 환류 체계의 구축이 있다. 대상 장비의 고장유형별로 어떤 지역, 부대, 환경, 훈련에서 발생하였는지를 추적하고 관리할 수 있는 수집체계의 구현을 통해 고장에 대한 라이브러리를 제공할 수 있어야 한다. 또한 운용간 신뢰도의 평가를 통해 일련의 교정조치를 제시할 수 있어야 하고, 기간별 고장기록의 추세분석을 통해 현재의 부품별 상태를 진단하고 예상고장시점을 분석하여 효율적인 정비시점을 결정하는 기본 자료를 제공하여야 한다. 나아가서는 FRACAS - FMECA - FTA가 연계된 고장 원인 분석을 수행하게 된다.

4.2 운용 프로세스

Hallquist and Shick(2004)는 FRACAS 구축에 고려해야 할 주요 이슈들을 제시하며 8단계의 구축 방법론을 제시하고 있다. FRACAS의 Closed-loop화 된 고장데이터에 대한 접근방법을 토대로 구성한 군 무기체계의 고장 보고, 분석 및 조치에 대한 운용 프로세스는 <그림 3>와 같다.



<그림 3> 군 무기체계에 적용한 FRACAS

4.2.1 운용 / 고장 이력 보고

군 무기체계의 고장데이터 수집은, 정비자에 의해 식별되는 운용 및 고장이력과 센서 및 데이터 기록 장치에 의해 식별되는 고장징후데이터 2가지로 구분할 수 있다.

고장 분석에 필요한 운용 및 고장 이력은 <표 1>과 같다. 각 이력은 고장기록, 운용기록, 정비기록 등 3가지로 구분된다.

<표 1> 운용 / 고장 이력

구 분	운용 / 고장 이력
고 장 기 록	<ul style="list-style-type: none"> • 장비 호수, 장비 소속 부대명, 정비 부대명 • 고장 발생 날짜 • 치명도(체계에 미치는 영향을 세분화) • 고장 유형 • 고장 원인 • 고장 영향 • 고장 탐지 방법 • 고장발생 설명 • 기타 : 발생환경, 지형, 날씨, 온도, 훈련사항 등
운 용 기 록	<ul style="list-style-type: none"> • 운용 시작 날짜 • 운용 완료 날짜 • 운용거리 • 장치별 운용량

정비 기록	<ul style="list-style-type: none"> • 정비 시작 날짜 • 정비 완료 날짜 • 행정지연시간, 원인 • 고장정비, 계획정비 구분 • 정비 계단 • 정비작업 설명 • 정비비용(부품비, 정비비 등)
----------	---

4.2.2 고장 징후 관측

현재 야전의 고장 및 운용, 정비 제원은 정비자에 의해서 전산입력 되고 있다. 그러나 운용 거리 및 운용량 등 수치적인 요소들은 센서와 전기적인 장치에 의한 수집으로 대체가 될 수 있고, 이를 통해 보다 정확하고 신뢰성 있는 데이터수집이 이루어질 수 있다. 또한 군 무기 체계는 전장이라는 고도로 척박한 운용환경의 특성상 온도, 압력 등의 환경적인 요소들이 고장분석의 중요한 고려요소가 되어야 한다. 따라서 고장 및 운용센서의 활용은 정비자가 입력하기 애매한 상당부분의 제원 수집에 활용될 수 있다.

4.2.3 DB 종합

관측된 모든 운용 / 고장 관련 정보는 관리 및 분석, 보고에 용이하도록 구성된 중앙 DB 관리 틀에 종합된다. 실제 상용으로 개발된 Relex사의 FRACAS[8] 등 다양한 틀들이 DB구축 및 신뢰성 분석과 연계한 기능과 인터페이스를 제공하고 있다.

4.2.4 고장 판단 및 검증

수집된 제원과 관측된 고장 징후를 토대로 야전 및 창 정비숙련자와 체계 전문가로 구성된 고장검토팀을 구성하여 고장이 발생한 위치, 초기 고장 관측의 유효성, 고장 유형을 확인한다.

4.2.5 고장이력정보 참고

FRACAS의 Closed-loop 과정의 모든 결과는 DB화 되어 고장판단 및 분석시 참고자료로 활용된다. 과거에 발생한 유사고장의 정보를 토대로 고장에 대한 판단을 신속히 수행할 수 있다.

4.2.6 고장원인분석

규명된 고장 유형은 근본원인의 식별과 고장 메커니즘의 규명을 위하여 고장원인분석을 수행한다. 고장원인분석에 대한 최적의 워크플로우 및 방법은 본 논문의 4.4에서 논한다.

4.2.7 교정조치의 결정 및 개선사항 식별

식별된 고장유형과 그 원인에 대한 자료를 토대로 해당 고장에 대한 교정조치를 결정한다. 교정조치는 근본적으로 고장 재발을 방지하거나, 고장 빈도를 낮추는 설계상의 변경을 의미하며 김세현(2005), 과거의 고장 이력은 이러한 판단을 돕는데 효과적이다. 분석된 교정조치는 관련 사항에 따라 야전 사용자 및 정비자, 혹은 설계자에게 전달되어 운용 및 성능개량간 개선소요가 반영될 수 있도록 해야 한다.

4.2.8 교정조치의 검증

교정조치의 검증은 교정 조치가 의도한 대로 실행되었으며, 고장의 근본원인을 새로운 고장의 발생 없이 효과적으로 제거하였는지를 확인하는 것이다. 검증은 창에서의 운행시험과 야전에서의 실제운용을 토대로 판단한다. 만약 교정조치가 의도된 목적대로 수행되지 않았을 경우, 야전과의 지속적인 피드백을 통한 상기의 FRACAS 프로세스의 재시행이 요구된다.

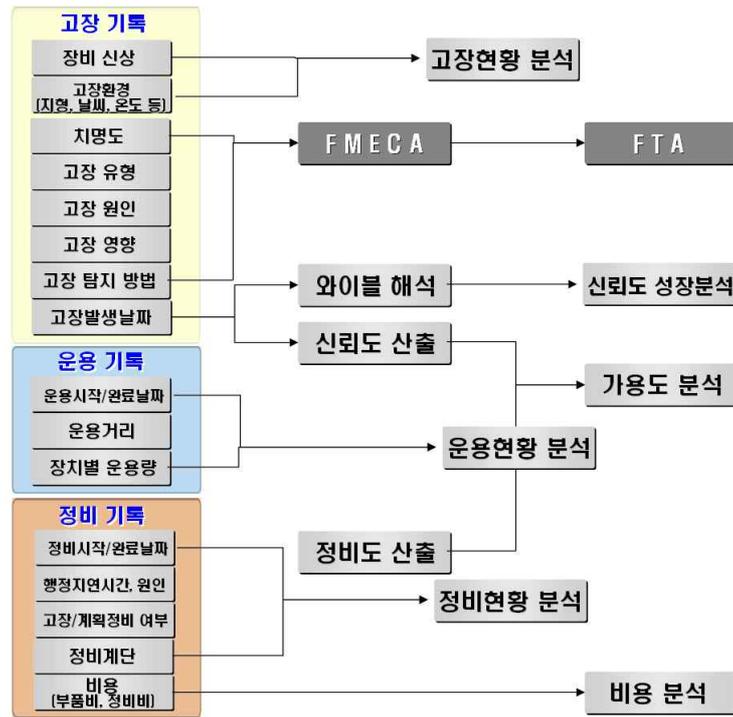
<표 2>는 무기체계 FRACAS의 단계별 역할과 처리항목을 나타낸 워크플로우이다.

<표 2> 무기체계 FRACAS 단계별 처리항목

단계	업무명	역할	처리항목
1	운용 / 고장이력 보고	야전 정비관	고장 증상, 고장 내역, 고장추정원인, 고장운용환경, 정비내역
2	고장 징후 관측	야전 정비관, 고장 및 운용 센서	운용이력, 장치별 센서값,
3	DB 종합	관련 부서	고장기록, 운용기록, 정비기록
4	고장 판단 및 검증	관련 부서	고장 유형
5	고장이력정보 참고	관련 부서, 신뢰성전문가	유사고장정보
6	고장원인분석	관련부서, 신뢰성전문가	고장 유형, 고장 원인, 고장 발생 메커니즘, 고장 분석보고서
7	교정조치의 결정 및 개선사항 식별	FRB	교정조치, 개선사항 식별 보고서
8	교정조치 검증	FRB	교정조치의 효율성, 효과 등 검증 보고서

4.3. DBMS(DataBase Management System) 설계

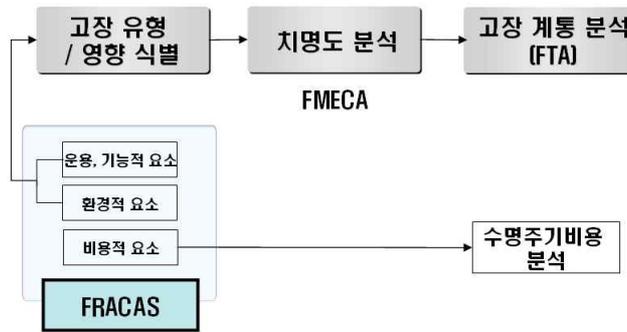
FRACAS의 고장데이터는 고장분석 흐름에 따라 계층구조를 갖추어 DB화 되어야 한다. <그림 4>는 군 무기체계의 고장 데이터베이스간의 연계성에 따라 설계된 관계도의 일부이다.



<그림 5> 수집 데이터의 분석 활용

고장분석의 목적은 발생한 고장들에 대한 연계성을 찾고, 새로운 고장 유형의 발생을 억제 하면서 기존의 고장 유형 및 빈도를 최소화 할 수 있는 최적의 교정조치를 찾아 적용하는데 있다. 따라서 고장분석을 효율적으로 수행하기 위해서는 분석레벨별 고장유형의 데이터 수집이 선행되어야 한다. 또한 분석자는 장치별 고장의 연관관계를 이해 할 수 있도록 체계의 구성 및 기능에 대한 전문가 수준의 이해를 가지고 있어야 한다.

<그림 6>은 FRACAS를 통한 고장데이터의 수집에서 고장분석까지의 일련의 과정을 수명 주기비용분석(LCC)과 연계하여 도식화 한 것이다. FRACAS상의 수집된 고장유형에 대한 정보들은 FMECA를 통해 해당 부품에 끼치는 영향과 치명도(Criticality)를 분석하는 기초 자료가 된다. 이 과정에서 군 무기체계의 치명도는 임무(Mission)수행에 미치는 영향을 중심으로 분석되어야 한다. 장치별로 식별된 고장 유형과 영향, 치명도의 분석결과를 토대로 Bottom-up 방식을 통해 고장 원인을 식별하게 된다.



<그림 6> 고장분석 워크플로우

FMECA를 통해 분석 수준 장치별 고장 유형 및 치명도에 대한 데이터가 축적되면, 분석자는 치명도가 높은 고장을 주 고장사상(Top Event)의 대상으로 선정하여 고장 계층 분석(FTA)을 수행하여 고장의 근본원인을 식별한다. 고장의 원인은 장비 내부의 메카니즘적 요인과 운용 환경적 요인, 기능적 요인으로 구별할 수 있는데, 무기체계의 경우 기계적 원인 외에도 운용상의 요인들이 고장원인의 주를 이루는 경우가 많다. 따라서 FTA의 수행은 이러한 요소들을 다각도로 고려하는 것이 적합하다 할 수 있다.

5. 결론

고장 및 운용데이터의 수집은 고장분석의 핵심적인 요소이다. 본 연구에서는 고장분석을 위한 군 무기체계의 효과적인 FRACAS기반의 고장분석 워크플로우 구축 방안을 제시하였다.

첫째, 현재 군의 정비시스템에 효율적으로 적용할 수 있는 Closed-loop화된 고장데이터의 분석 흐름을 설계하고 각 단계별 절차와 방법을 정립하였다.

둘째, 무기체계의 발생한 고장의 원인분석과 잠재적 고장을 FMECA와 FTA를 연계하여 식별하는 고장분석 프로세스를 제시하였다.

본 연구의 적용 시 단순히 고장의 현황 및 수리부속 교환실적만을 파악하던 현재의 단계에서 한국군 운용환경에서 빈번하게 발생하는 고장에 대한 근본적 원인분석을 수행할 수 있다. 또한 FRACAS의 시행은 정비의 효율성 측면에서 운용간 발생할 수 있는 품질 위험 비용을 줄일 수 있다는 의의도 크다. 이렇게 축적된 데이터는 현 운용 장비의 성능 개량시, 혹은 유사 무기체계 개발시 실제적인 운용에 의한 고장분석 자료로 활용된다.

향후에는 특정 장비를 선정하여, 구체화된 FRACAS 프로세스의 설계를 통해 실제 무기체계에서 발생하는 고장 유형을 장치별로 식별하여 그 원인을 분석하는 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 김세현(2005), 고장보고 분석 및 교정조치 시스템, 교우사.
- [2] 오지은과 강찬용(2008), 철도차량 FRACAS System 적용에 관한 연구, 한국 철도 학회 2008 추계 학술대회 논문집, pp 487 ~ 497.
- [3] 정일한(2007), 능동과피체계에서 성공적인 임무 수행을 위한 고장계통분석 적용, 제15회 지상무기 학술대회.
- [4] 채제욱(2005), 차기 복합형소총(XK11)의 고장계통분석(FTA) 적용방안에 관한 연구, 제13회 지상 무기체계 발전 세미나.
- [5] Hallquist, E. J. and Shick, T.(2004), Best Practices for a FRACAS Implementation, IEEE Reliability and Maintainability - 2004 Annual Symposium - RAMS.
- [6] KS A IEC61025(2003), 결함 나무 분석(FTA), 한국표준협회.
- [7] MIL-HDBK-338B(1998), Military Handbook : Electronic Reliability Design Handbook.
- [8] www.relex.com