무기체계 개발에서 RAMS 및 위험 관리를 통한 시험평가 프로세스의 개선에 관한 연구

신 영 돈* · 심 상 현** · 이 재 천**

*삼성탈레스

**아주대학교 시스템공학과

On Improving the Test and Evaluation Process by Incorporating the RAMS and Risk Management Processes

Young-Don Shin* · Sang-Hyun Sim** · Jae-Chon Lee**

*Samsung Thales

**Dept. of Systems Engineering, Ajou University

Abstract

As weapon systems become complex in terms of the scale and functionality, the required time to complete the test and evaluation (T&E) process is inevitably getting longer. However, nowadays the reduction of T&E period becomes one of the core targets in the weapon systems acquisition programs. This is because the reduced time for T&E process can yield the reduction of defense budget and also faster deployment of the weapon systems, thereby having a competitive edge over rival countries. On the other hand, in weapon systems development the management of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS), and risk is considered important to keep competitiveness and thus has been carried out separately. Thus, the objective of this paper is to study on improving the T&E process by integrating the RAMS and risk management process in it. To do so, the related processes are analyzed and modeled first. Then an integrated process model is developed. The resulting model is equipped with the traceability among the data and interfaces that are generated from the T&E and RAMS/risk processes. As a case study, the model developed is applied in tanks development. The effective use of the traceability is expected to reduce the time and cost required to complete T&E process.

Keywords : Test & Evaluation, Systems Engineering, Risk Management, Reliability, Availability, Maintainability, Safety, Acquisition Process

1. 서 론

최근 무기체계의 복잡화, 첨단화, 경량화 등으로 개

발 목표를 적절하게 시험평가 할 수 있는가는 무기체계 획득에 있어 중요한 고려사항이라 할 수 있다. 하지만 미국, 영국 등의 선진국의 경우 개발기간의 단축을

† 이 논문은 (주)삼성탈레스의 재정지원을 받아 아주대학교 모델기반시스템공학 연구실에서 수행된 산학연구사업의 결과물임.

† Corresponding Author : Prof. Jae-Chon Lee, Dept. of Systems Engineering, Ajou University, Wonchon-dong, Yeongtong-gu, Suwon, 443-749, Tel : 031-219-3941, E-mail : jaelee@ajou.ac.kr
Received April 20, 2014; Revision Received June 12, 2014; Accepted June 16, 2014

[Figure 1] DoD weapon systems acquisition process [2].

통해 국방예산을 절감하고 무기체계를 보다 빠르게 전락화하기 위해 시험평가의 경제적인 방법이 요구되고 있다. 이러한 추세에 따라 시험평가가 무기체계의 신뢰성을 제고하는 역할을 제대로 수행하지 못할 것이라는 우려가 발생되고 있으며 이에 대한 보완이 지속적으로 요구되는 것이 현실이다[1].

군에서 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)은 무기체계의 전투준비태세 유지 및 운용유지비용

을 최적화하기 위한 중요한 요소이다. 이러한 요소를 최적화하기 위해 소요군의 요구조건을 [Figure 1]에서 보는 바와 같이 소요제기 및 선행연구 단계(User Needs, Material Solution Analysis)에서 제시해야 한다 [1]. 무기체계가 상당한 수준의 RAM을 갖기 위해서는 시스템공학의 한 부분으로 RAM을 인식하고 체계적으로 획득 이전 단계부터 시작하여 개발, 양산 및 운용, 지원 단계까지 지원해야 한다.

[Figure 2] Systems safety process of IEC 61508 [7].

미 국방부(DoD)의 RAM Guide(2005)에서는 무기체계 획득 프로세스가 충분한 RAM을 달성하기 위한 단계로서 1) 사용자의 요구사항과 조건 이해, 2) RAM을 위한 설계 및 재설계, 3) 신뢰성, 정비성 있는 체계 양산, 4) 야전운용 성능 감시를 제시하고 있다[3]. 또한 IEC 62278은 철도 시스템의 전기전자 분야에 대해서 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety)를 기술하고 있다[4]. 우리나라에서는 방위사업청 예규 제156호 무기체계 RAM 업무지침(2013. 9. 10. 제정)을 통해 RAM 업무수행 기준과 절차를 제시하고 있다[5].

위험(Risk)이란 대상 및 목적에 대한 불명확한 영향(Effect of uncertainty on objectives)으로서 재무적, 보건과 안전, 그리고 환경적 목표 등과 같이 다양한 목적을 가질 수 있고, 전략, 전사적, 프로젝트, 제품과 프로세스와 같이 다양한 수준에 적용될 수 있다. 이러한 다양한 목적과 수준이 관련된 정보의 이해 또는 지식이 부족한 상황으로 인해 기대를 벗어난 발생을 위험이라고 ISO Guide 73(2009)에서 정의하고 있다[6]. 또한 위험 관리(Risk management)를 '위험'과 연관하여 조직을 지휘하고 관리하기 위해 조정되는 활동들이라고 정의하고 있다. 이러한 위험 관리와 더불어 시스템 안전 설계에 대한 안전 수명 주기에 따른 안전 활동 및 절차에 대해서 [Figure 2]와 같이 IEC 61508에서는 표현하고 있다[7].

RAM과 안전(Safety), 위험관리에 대해 선행 연구 분석한 결과를 <Table 1>에 나타내었으며, 이를 통한 본 연구의 문제의 정의는 다음 장에 자세히 다루었다.

본 연구에서는 기존의 무기체계 시험평가 수행을 토대로 RAMS를 통한 신뢰성 확보 및 위험 관리 방법을 제시한다. 시스템공학 기반으로 제시된 모델을 통해서 무기체계 시험평가 진행 시 생성되는 정보를 일관적이고 효율적으로 관리하고 필요시에는 원하는 정보에 쉽게 접근할 수 있는 메커니즘을 제공하는 방법론을 제안하고자 한다. 이후 제안된 방법론이 시험평가에서 안전성 향상을 위한 체계적인 접근을 하는지 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 서론에 이어 2장에서는 연구의 주제, 문제정의를 수행하였다. 3장에서는 무기체계 시험평가 프로세스의 활동을 통한 RAMS 활동 및 위험 관리간의 비교 분석 및 인터페이스 정의를 통한 모델링을 수행하였다. 4장에서는 3장의 모델링 수행 결과를 토대로 구축된 시험평가 프로세스 모델의 RAMS 및 위험관리 활동 수행 방법에 대해 기술하였다. 5장에서는 개선된 시험평가 방법론을 검증하는 내용을 기술하였다. 마지막으로 6장에서는 본 논문의 결과를 정리 및 요약하였다.

2. 문제의 정의

2.1 선행연구 고찰

RAMS 및 위험관리와 시험평가 간의 관련 연구동향을 파악하기 위하여 RAMS와 위험관리, 시험평가와 위험관리, RAMS와 시험평가 관점에서 관련된 선행연구 논문을 고찰한 내용을 <Table 1>에 나타내었다.

관련 연구들을 살펴보면, RAMS와 위험 분석을 시스템개발에서 통합하여 수행하는 접근이 있었다[8]. 일반 시스템 개발뿐만 아니라 안전 표준을 통한 RAMS 공학에다가 안전을 기반으로 안전 수명주기에 대한 접근이 있었다[9]. 또한 계층적 모델기반 위험관리를 통해 위험을 체계적으로 접근하고자 하였다[10]. 그리고 모델기반시스템공학 기반으로 시험평가 활동을 체계적으로 구현하고자 하였다[11].

본 연구에서는 위와 같은 선행연구 고찰 내용을 토대로 전차 무기체계 시스템에 RAMS 및 위험관리 요소들의 인터페이스 및 체계적 접근 적용을 통해 개선된 시험평가 프로세스를 제시한다.

2.2 무기체계 시험평가에서 RAMS 및 위험관리 연구의 필요성

무기체계 시험평가(Test & Evaluation)은 연구개발 과정의 일부로서 무기체계의 부체계(Subsystem)나 핵심부품(Component)의 시험(Development test)와 체계 단계에서의 기술적 성능을 검증하는 개발시험평가(Developmental Test & Evaluation), 운용성능을 검증하는 운용시험평가(Operational Test & Evaluation) 그리고 군 전력화를 위한 생산품에 대한 수락시험(Product Acceptance Test)으로 구분할 수 있다. 시험평가 프로세스는 획득과정의 여러 시점에서 의사결정권자들에게 의사결정에 필요한 자료를 제공할 수 있는 절차이다. <Fig. 3>에 나타난 바와 같이 시험목적 설정, 사전 시험분석 수행, 시험, 평가, 허용 가능한 위험 수준 및 개선단계로 총 6개 단계가 반복적으로 이루어진다[2].

2.1절을 통해 선행연구들의 연구 결과와 문제점 및 미비점을 고찰 및 분석하였다. 대부분의 선행연구들이 RAMS 및 위험관리를 시스템 설계나 제품 개발 수명주기에 통합하여 수행할 것을 제시하고 있다. 이는 RAMS 및 위험관리가 시스템 개발에 있어 이제는 빠지지 말아야 할 필수요소로 자리잡아가고 있다는 것을 보여준다. 따라서 기존의 무기체계 시험평가 프로세스

<Table 1> Summary of related work.

참고문헌	주요내용	미비점
[8] [Tore Markeset and Uday Kumar, "Integration of RAMS and risk analysis in product design and development work processes: A case study", Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2003.]	설계, 제조에서의 신뢰성, 가용성, 유지보수성을 고려하여 시스템 개발의 위험 분석을 위한 접근 방법에 대한 통합을 제시. 이를 위해 설계 단계에서 프로젝트 및 업무 프로세스 관리, 조정 및 제어를 위한 Stage Gate Model의 RAMS 통합을 제안.	Stage Gate Model은 개발자와 이해당사자간의 제품에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 파트엔지니어의 역할까지 지정해야 함. 따라서 피드백이 어려움. 이는 시스템 수준의 개발에서 RAMS 및 위험 분석의 적용이 계층적으로 적용될 때 어려움이 있는 것으로 보임.
[9] [Mary Ann Lundteigen, Marvin Rausand, and Ingrid Bouwer Utne, "Integrating RAMS engineering and management with the safety life cycle of IEC 61508", Reliability Engineering & System Safety, 2009.]	Murty 모델로 RAMS 활동과 IEC 61508 안전 수명주기와의 통합을 제시. Murty 모델을 적용하기 위해 HIPPS 프로그램을 대상 분석하여 요구사항을 도출하여 안전 요구사항과 RAMS 요구사항과의 통합. 이를 통해 Murty 모델의 계층적/점진적 개발 프로세스를 구현함.	Murty 모델이 3수준별, 3단계를 지원하여 계층적으로 접근하고는 있으나, 각 단계별로 활동 절차가 서브시스템과 컴포넌트 수준을 Top-Down방식과 Bottom-up방식을 혼합하여 제시함으로써 절차간의 인터페이스 구성이 어렵게 구성되어 있음. 따라서 각 단계별 인터페이스 및 절차가 체계적이 못한 점을 개선할 필요가 있음.
[10] [F. Baiardi, C. Telmon, and D. Sgandurra, "Hierarchical, model-based risk management of critical infrastructures", Reliability Engineering & System Safety, 2009.]	구성 요소 간의 보안 종속성을 설명하는 hypergraph를 통해 위험관리 및 안전성 컴포넌트 요소들을 계층적으로 위험기반모델로 제시. hypergraph를 통해 인프라 구성 요소와 보안 종속성을 설명하는 모델에서 위험 관리 전략을 빠르게 도출 할 수 있도록 각 구성 요소가 다수의 구성 요소로 분해될 수 있는 계층적 접근 방식을 제안. 이를 위해 인프라의 안전성을 평가하고 대안 대책을 평가하는 지표를 제시.	단순 모델로 제시된 부분이 복잡 시스템에 적용되었을 때, 계층적 접근이 효과적으로 이루어질 수 있는지에 대한 부족함을 나타냄. hypergraph에 의한 구성 요소들의 분해를 위한 필요충분 조건이 이해당사자의 요구와 연계되어 위험 전략을 수립하는지에 대한 고찰이 부족함.
[11] [E. A. Bjorkman, S. Sarkani, and T. A. Mazzuchi, "Using Model-based systems engineering as a framework for improving test and evaluation activities," Systems Engineering, 2012.]	MBSE 시스템 모델은 시스템공학 활동의 업데이트와 시스템 설계가 성숙되도록 모델을 수정하는데 필요를 제시. MBSE 접근 방식을 통해 다양한 시스템 측정의 불확실성 예산을 수립 및 운용 전투 분석 모델과 함께 시스템 모델을 사용할 수 있음. 이러한 불확실성 예산을 TPM을 통해 목표를 설정하는데 사용할 수 있음. TPM의 초기 불확실성을 추정하기 위해 MCM 분석을 사용함. MCM은 시스템 수준의 성능, 효율성, 적합성 측정에 매개 변수의 불확실성의 영향을 분석하기 위해 사용함.	시험평가 시의 임의의 불확실성 시험평가 요소를 발견하였을 때, 이에 대한 추가 확인 작업에 대한 고려가 필요함. 추가 확인 작업은 시스템 모델을 통해 구조적으로 확인하여 요구사항부터 시험평가 수행에 대한 결과값 분석들을 시험평가에 대한 TPM결과 값이 복잡한 시스템으로 확장될 때, 이에 대한 시험평가 활동들이 MBSE를 활용한 통합 환경을 개선할 필요가 있음.

[Figure 3] DoD test and evaluation (T&E) process for weapon systems development [2].

와 별도로 RAMS 및 위험관리 프로세스를 진행할 경우 이중의 인력과 비용이 발생하게 된다. 이에 따라 기존의 시험평가 프로세스가 RAMS 및 위험관리를 동시에 진행할 수 있도록 하는 것이 비용 및 효과측면에서 유리하다는 것을 알 수 있다.

2.3 체계적인 접근을 통한 시험평가 프로세스의 RAMS & 위험관리 역할 및 활동 확대

시험평가 수행 시 무기체계 개발과정에서 요구사항이나 운용 개념, 목표 성능의 변화에 따른 추적성을 유지하지 시험평가 과정에서 많은 어려움을 겪게 된다.

개발 초기에 잘 정의되지 못한 시험평가 항목이나 방법, 명확하지 않은 성능 기준, 획득가치를 고려하지 않은 시험평가 계획으로 인해 계획변경, 시제품 보완 등의 문제로 인해 무기체계 개발 비용증가 및 기간 초과가 원인이 되고 있다[12].

더불어 다른 무기체계와의 연동성과 상호운용성을 고려한 개발체계로 변화하는 과정에서 상호간의 RAMS 및 위험관리에 대한 필요성은 다양한 관점과 접근방식을 통하여 실행하고 있으나, 무기체계의 품질, 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성을 포괄하여 관리하기 위해서는 체계적인 프로세스를 활용할 수밖에 없는 상황이다[3].

본 연구와 선행연구의 차별성을 살펴보면, 기존 RAMS 관련 연구에서도 위험관리에 대한 필요성을 인

지하여 이에 대한 모델을 제시하였으나 시스템 수준에 따른 RAMS 활동 및 위험관리에 대한 계층적 접근 및 적용을 고려한 연구는 미흡한 것으로 나타났다. 특히 무기체계 시험평가에서는 RAM 달성을 위한 많은 연구들이 활발히 진행되었지만 안전(Safety) 및 위험관리 기법을 활용 및 적용을 고려한 방법의 제시는 거의 없는 것으로 나타났다.

따라서 본 논문에서는 선행연구의 문제 및 미비점을 중심으로 시험평가 프로세스의 개선을 통하여 RAMS 및 위험관리 목표를 달성할 수 있도록 프레임워크를 제시 하고자 한다.

2.4 문제의 정의

2.2절과 2.3절을 통해 무기체계 획득에 있어 시험평가 프로세스가 RAMS 및 위험관리와의 연계를 통한 통합 시험평가 프로세스 필요하다는 것을 인지하였다.

특히 무기체계 수명주기를 고려할 때 무기체계가 전력화 배치 전 단계인 시험평가 단계의 중요성 인식에 따라 RAMS 및 위험관리 확보 방안이 필요하다.

본 연구에서는 무기체계 개발 과정에서의 RAMS 및 위험관리 달성을 위한 프로세스 정립을 위해 RAMS 및 위험관리와 연계된 시험평가 프로세스를 제안한다. 따라서 이렇게 제시된 시험평가 프로세스를 바탕으로 전산지원 도구를 활용해 시험평가 프로세스의 구축 및 검증에 관한 연구를 수행하였다.

무기체계 수명주기는 [Figure 1] 에 도식화 한 것처럼 표현되며, 체계개발단계(Engineering & Manufacturing Development)는 시스템을 상세설계 및 제작하고 통합하는 단계이다. 즉 양산 단계 전에 RAMS 및 위험관리 요소들이 제대로 반영되었는지 시험평가를 통해 확인할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 RAMS 및 위험관리 분석을 체계개발단계의 시험평가에 반영할 수 있도록 범위를 제한 및 설정하였다.

2.5 연구 수행방법 제시

무기체계 개발에서의 시험평가 프로세스를 분석하고, 또한 RAMS 및 위험관리 수행이 효과적으로 이루어지기 위한 RAMS 및 위험관리 모델을 분석한다. 그리고 시험평가 프로세스를 통해 RAMS 및 위험관리 달성 확보를 위하여 상호간의 연계 방안을 제시한다. 이를 통해 무기체계 개발 시 체계 개발 단계에서 체계적이며 효율적인 RAMS 및 위험관리 업무수행과 더불어 시험평가 활동이 보다 더 일관되게 수행되도록 통합 시험평가 프로세스를 구축한다. 그리고 구축한 통합 시험평가 프로세스가 RAMS 및 위험관리 활동 확보를 위한 체계적인 설계 접근을 하는지에 대해 검증한다. [Figure 4]을 통해 통합 시험평가 프로세스 구축에 대한 연구 수행 방법을 도식화 하였다.

<Figure 4> The approach taken in the study.

3. RAMS 및 위험 관리 활동을 고려한 체계개발 단계의 시험평가 프로세스 개선을 위한 분석

3.1 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 RAMS 및 위험관리 간 활동 비교 및 산출물 분석

본 연구의 적용범위인 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 RAMS 및 위험관리 간 활동 비교 시 중점적으로 살펴야 할 부분은 아래와 같이 구분할 수 있다.

- (1) 시험평가가 필요한 대상 및 체계 식별
- (2) 시험평가 수행 방침을 고려하여 RAMS 및 위험관리 적용에 관한 사항
- (3) 개발 및 운용시험 평가에 대한 개략적인 사항
- (4) 시험평가 수행 시에 필요한 RAMS 및 위험관리 요소 식별을 통한 적용에 관한 사항

이와 같이 체계개발단계의 시험평가 프로세스는 [Figure 5] 에서와 같이 기술 검토(Technical Review)를 수행 시 무기체계 획득에 대한 의사결정 정보를 주는 역할을 한다. 따라서 각 기술 검토 마다 시험평가 활동과 더불어 RAMS 및 위험관리 활동들에 대한 정보를 추가하되, 체계적으로 접근한다면 의사결정 정보의 질을 더 높일 수 있다.

구체적으로 살펴보면 탐색개발단계가 끝난 후 획득 프로세스는 체계개발 기본 계획서 검토를 통해 운용요구서(Operational Requirements Document: ORD) 검토 후 체계 요구사항 검토(System Requirements Review: SRR)를 수행하게 된다. SRR에서는 체계 및 성능 요구사항이 비용, 일정, 위험 및 기타 체계 제약조건에 부합하는지 확인한다. 개념연구 또는 입증 및 유효성 확인 단계에서 수행하며, 보통 기능분석과 예비 요구조건 배분을 완료한다. 하드웨어 및 소프트웨어 체계에 대한 RAMS 요구조건 설계목표를 할당한다. 이와 관련된 RAMS 및 위험관리 활동은 신뢰도 모델링, 신뢰도/정비도 할당 및 예측 등이 있다.

체계 기능 검토(System Functional Review: SFR)에서는 체계 예비설계를 진행할 수 있는지를 보증하기 위해 수행한다. 기능적 기준선을 검토하고 예비설계 시작 전에 수행한다. 이와 관련된 RAMS 및 위험관리 활동은 고유가용도 분석, 디레이팅(Derating) 기준 설정 등이 있다.

<Figure 5> The phase-by phase activities of T&E process in weapon systems development [2].

예비 설계 검토(Preliminary Design Review: PDR)에서는 주어진 제약조건하에서 체계가 정해진 성능 요구사항을 만족하고, 상세설계로 진행할 수 있는지 여부를 보증하기 위해 예비설계 완료 후 수행한다. 예비 RAMS 설계가 사용자 요구사항을 만족시키는지를 평가한다. 이와 관련된 RAMS 및 위험관리 활동으로는 RAM 프로그램 계획, 설계 변경, 신뢰도 모델링, 신뢰도/정비도 예측, 신뢰성 주요 품목 관리, 정비성 설계기준, 신뢰성/정비성 시험계획 등이 있다.

상세 설계 검토(Critical Design Review: CDR)에서는 설계문서(상세규격, 소재 및 공정 규격 포함)가 생산을 시작하기에 충분한지 확인하기 위해 실시한다. 상세설계 완료 후, 양산라인 구축 전에 수행하며, 최종 RAMS 설계가 사용자 요구사항을 만족하는지를 평가한다. 이와 관련된 RAMS 및 위험관리 활동은 신뢰도/정비도 예측, 설계기준, 신뢰도 모델링, 회로분석, 공차분석, 열 해석, 구조해석, 신뢰도/정비도 시험계획 등이 있다.

생산 준비상태 검토(Production Readiness Review: PRR)에서는 생산준비가 되었고, 생산자가 설계 RAMS 수준을 저하시키지 않게 적절한 생산계획을 수립하였는지를 검토한다. 생산 체계 또는 생산 준비상태 검토하기 위해 CDR 이후, 초도생산 이전에 체계검증검토(System Verification Review: SVR)와 함께 수행된다.

이와 관련된 RAMS 및 위험관리 활동으로는 FMEA(Failure mode and effects analysis) 등이 있다.

이와 같이 체계개발 단계의 시험평가 프로세스는 대상체계 연구개발 시 안전성 확보에 대한 상세한 활동이 부족하며 이를 RAMS 및 위험관리 활동 간의 상호간 긴밀한 조정이 필요하다는 것을 알 수 있다. 또한 시험평가와 RAMS 및 위험관리 활동을 비교함으로써 시험평가에 참여하는 사용자가 안전을 바라볼 수 있는 관점에서 체계적으로 구분하는데 도움을 줄 것이다.

3.2 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 RAMS 및 위험관리 활동간 인터페이스 정의

시험평가 프로세스는 요구사항에 따라 시험평가 전략을 수립하고 이를 달성하기 위해 실행 계획을 수립할 때, 안전에 대한 고려가 부족하다. 이후 기능 및 성능에 대한 검토나 최종적으로 획득된 체계에 대하여 시험평가를 할 시 따로 RAMS 및 위험관리 활동에 대한 내용을 추가하기에는 비용과 시간이 들기 때문에 쉽게 간과하는 면이 있다. 이러한 결과로 인해 운용 및 양산단계에서 문제가 발생 시에 체계개발 단계로 돌아가야 하는 악순환이 일어난다.

따라서 본 연구의 적용범위인 체계개발 단계의 시험평가 프로세스와 RAMS 및 위험관리 활동 간의 상호 인터페이스 연결을 통해 시험평가 활동과 RAMS 및 위험관리 활동에 관한 연관 요소를 도출하여 연계한 결과는 <Table 2>와 같다.

<Table 2>에 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 RAMS 및 위험관리 간의 인터페이스를 설정한 기준은 다음과 같다.

- (1) 무기체계 체계개발 획득 프로세스의 시험평가 활동과 RAM 및 위험관리 요소간의 수행 단계별 기능적 연결
- (2) 체계개발단계의 시험평가 프로세스의 시험평가 데이터와 RAMS 및 위험관리 데이터간의 기능적 연결
- (3) 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 RAMS 및 위험관리 요소에서 도출되는 산출물간의 물리적 또는 기능적 연결

<Table 2> Analyzing relationships in activities between the T&E and RAMS/risk management processes.

시험평가 활동	체계개발단계의 획득 활동	RAMS 및 위험관리 요소
시험평가 개략계획 검토	체계개발기본계획서 검토	안전 요구사항 (Safety Requirements) PHA (Preliminary Hazard Analysis) THA (Threat Hazard Assessment)
무기체계 운용환경과 연계한 시험표준 제시 시험평가 수행원칙, 개략 일정 검토 개발 및 운용시험평가 주요내용 검토(성능/환경/수명시험) 상호운용성 확보 계획 확인	제안요청서 검토	DT&E (Developmental Test & Evaluation)
무기체계 연구개발 적용 표준 제시 시험수행 방안과 수행 원칙 제시 체계개발분야	제안서평가/기술협상 참여	
시험평가분야(개략 수행항목, 일정, 장소, 시제수량 등)	체계개발동의서 검토	
시험평가분야 검토(시험평가 관리 방안, 시험평가팀 구성, 시험능력 확보계획, 기타 시험평가 관련 추가사항 검토)	체계개발사업관리계획서 검토	
운용자 요구사항 분석 결과반영 확인	운용요구문서 검토	SHA (System Hazard Analysis) O&SHA (Operating and Support Hazard Analysis) EOA (Early Operational Assessment)
SRD 검토	시스템요건검토 참석	신뢰도 모델링 신뢰도/정비도 할당 및 예측
체계 기능 검토 체계/부체계 설계명세서	시스템기능검토 참석	고유 가용도 분석 디레이팅 기준 설정
시제품 제작 계획서	예비설계검토 참석	RAM 프로그램 계획 신뢰도 모델링 신뢰도/정비도 예측 신뢰성 주요 품목 관리 정비성 설계 기준 신뢰성/정비성 시험계획
하드웨어, 소프트웨어 설계 기술서 하드웨어, 소프트웨어 시험 계획서	상세설계검토 참석	FMECA 신뢰도/정비도 예측 신뢰성/정비성 설계 기준 회로분석, 공차분석, 구조해석 등 정비성 분석
TEMP 검토 및 확정		
핵심부품, 구성품 확인	구성품 검증	
	부체계 검증	
	완성체계 검증	
	체계통합 검증	
	운용성 확인	
	예비생산검토 자료분석	FMEA

체계개발단계의 시험평가 프로세스와 RAMS 및 위험관리 활동 간의 인터페이스 정의를 통해서 시험평가 활동과 RAMS 및 위험관리 활동을 통해 산출되는 데이터 간의 추적성 및 기능 연결 흐름을 쉽게 볼 수 있다. 이를 통해 시험평가 프로세스 모델을 구축하는데 있어 시험평가 요소들이 RAMS 및 위험관리 활동과의 인터페이스를 토대로 연계될 수 있음을 보여준다.

4. 통합 시험평가 프로세스 모델의 구축

본 연구의 시험평가 프로세스 모델은 2절에서 필요성을 기술하였다. 무기체계 시험평가의 안전성 확보를 중심으로 시험평가 및 RAMS 및 위험관리 활동에서 도출되는 데이터에 초점을 맞추어 모델을 구축하였다.

[Figure 6]에서와 같이 무기체계의 탐색개발을 거쳐 체계개발로 진행하게 되었을 때, 체계개발에 들어오는

<Figure 6> An integrated model for T&E process by incorporating the RAMS/risk management.

<Figure 7> Application of the developed process model in tanks development.

무기체계 시스템에 대한 개념 및 기본 설계에 대한 사항을 정의한다. 이를 바탕으로 대상 무기체계 시스템에 대한 RAMS 및 위험관리 요구조건 설계목표 및 요구사항 분석을 선행하게 된다.

선행된 분석 결과를 토대로 대상 무기체계 시스템에 대한 시스템 요구사항을 도출해낸다. 시스템 요구사항에는 앞에서 행한 RAMS 및 위험관리 요구조건 설계 목표 및 요구사항 분석 결과가 반영된 시험평가 요구사항 또한 도출이 된다.

대상 시스템의 시험평가에 대한 외부평가 요소가 분석이 완료된 후에는 사전 분석 평가 계획을 세우게 된다. 이러한 사전 분석 설정은 RAMS 및 위험관리 활동 식별을 가능하게 해주며, 식별된 요소들의 속성을 명확하게 분류함으로써 정제된 시험평가 요구사항을 얻을 수 있다. 또한 시험평가가 필요한 요소들의 RAMS 및 위험관리 활동들까지 식별해냄으로써 시스템 요구사항을 다시 확인할 수 있게 도와준다. 이러한 분석이 끝나게 되면, 데이터들의 통합을 위해 전반적인 검토를 하게 된다.

이후에 시험평가 후 통합적인 결과 및 예측을 비교 및 검토함으로써 최종 시험결과 보고를 하게 된다. 이때 최종 시험결과 보고에서 이상이 발견되면, 이상 상태에 따라 시험 목적단계인지, 시험 수행 단계인지 등에 따라 다시 시험평가를 수행하게 된다. 이러한 점까지 완벽하게 수행되었을 때 시험평가 프로세스의 단계를 마치고 다른 프로그램에서 시험평가와의 결과를 합쳐 체계개발단계에서의 시험평가를 마치게 된다. 체계개발단계에서의 시험평가의 결과를 토대로 운용 및 양산 단계로 넘어갈지에 대한 의사결정의 자료로서 제공하게 된다.

5. 전차 무기체계 개발에 대한 적용 사례

5.1 적용 무기체계시스템 (전차)

전차 무기체계는 디지털화가 이루어져 자동으로 적 전차를 찾아 파괴하고 적의 공격을 막아내는 최첨단 기능과 더불어 지휘통신체제와 데이터 통신 연동을 통

해 임무를 수행하는 시스템이다.

전차는 일반적으로 주포, 장갑 등으로 구성되어 있고, 구성장비 측면에서는 자동장전장치, 전장정보 관리 시스템, 대역 레이더 시스템, 열 광학 장치 등으로 이루어져 있다. 하지만 디지털 시스템에 대한 의존도가 높은 시스템이면서도 운용환경 조건에 따른 시험평가가 효율적으로 수행되지 않은 것으로 평가되었다. 이는 시험평가에 대한 이해와 안전에 대한 고려가 미흡한 상태에서 나날이 발전하는 디지털 시스템이 추가됨으로써 개발자에게 혼란을 주고 있다는 것을 입증한다.

5.2 전차 무기체계 시스템에 대한 적용

무기체계 체계개발에 있어 전차 설계에 따른 RAMS 및 위험관리 활동에 따른 고려를 하지 않음에 따라 전차 설계의 운용자의 실수 및 오류를 발생시켜 전력화 배치에 대한 위험성이 높아졌다고 볼 수 있다. 따라서 전차 시스템의 효율을 극대화 및 전차의 안전 설계를 위해 본 논문에서 제시한 시험평가 프로세스를 적용한 결과를 [Figure 7]에 표시하였다.

이는 상위 수준의 전차 무기체계의 요구사항과 관련된 기능들을 도출하여 이에 대한 환경 분석과 시험목적의 정의를 하게 된다. 이러한 분석이 끝나게 되면 무기체계 시험평가 모델 구현을 위해 시험평가와 직접적 관련이 있는 기능과 안전 요구사항간의 인터페이스를 설정한다. 인터페이스 설정 결과를 토대로 모델링 및 시뮬레이션(M&S) 검증과 시험평가 프로세스 모델의 상세활동 결과를 토대로 전차 무기체계와의 추적성 연결을 통해 최종적으로 결과를 통합한다.

이렇게 통합된 결과를 바탕으로 전차의 기능 및 성능, 요건에 대하여 시험평가 시 RAMS 및 위험관리 활동 검증을 수행한다. 이러한 부분은 본 논문에서 제시한 RAMS 및 위험관리를 고려한 부분을 반영한 것이다. 따라서 전차의 체계개발단계에서의 요구사항부터 운용성 확인까지 진행하는 시스템공학적인 방법에 대한 내용이 시험평가 활동을 통해 시스템 안전성에 대한 요소들을 빠르게 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 무기체계 개발에 있어 체계개발 단계를 시스템공학 관점에서 바라보는 것에 있다. RAMS 및 위험관리 활동을 구성 및 수행함으로써 시험평가 프로세스의 개선을 반영하고 궁극적으로 무기체계의 안전을 도모하는 것이 본 연구의 목표이다.

시험평가 프로세스의 신뢰성 확보를 위하여 RAMS 및 위험관리 활동을 고려한 체계개발단계의 상세활동을 정의하였다. 시험평가 프로세스의 RAMS 및 위험관리 관련 요소들을 식별하고 이들 간의 관계를 파악하여 추적성을 확보한 인터페이스를 정의하였다. 이를 통해 도출된 안전성을 고려하여 개선된 시험평가 프로세스를 시스템공학 전산 지원 도구를 통하여 논리적으로 검토하였다.

전차 무기체계에 본 연구에서 제시하는 시험평가 프로세스 모델을 적용하여 RAMS 및 위험 관리 활동들을 효과적으로 검증할 수 있도록 함으로써 전차에 대한 기능 및 기기간의 관계를 성숙시켜 오류 및 설계결함을 줄일 수 있었다.

구축된 시험평가 프로세스는 시험평가 요구사항이 시스템 요구사항으로 구조화 될 수 있도록 하여, RAMS 및 위험관리 활동을 명확하게 검토하여 보완토록 하였다. 이는 무기체계 체계개발에서 시스템공학 기법을 활용함으로써 시험평가의 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성 및 위험 관리 관련 데이터의 관리 및 추적 기능을 개선함으로써 향후 시험평가 기간의 단축 및 비용을 절감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

7. References

- [1] K. Dalton, J. B. Hall, "Implementing New RAM Initiatives In Army Test And Evaluation," Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2010 Proceedings, San Jose, Jan. 25-28, 2010, pp. 1-6.
- [2] John D. Claxton, Test and Evaluation Management Guide, Defense Acquisition University, 5th ed., Jan. 31, 2005.
- [3] Duma. D. W. and Kneg. K. J., DoD Guide for Achieving Reliability, Availability, and Maintainability(RAM), DoD, August 3, 2005.
- [4] Railway Applications - Specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), International Electrotechnical Commission, IEC Std 62278, 2002.
- [5] Defense Acquisition Program Administration(DAPA), "Weapon Systems RAM Guideline", DAPA regulation 156, Sep. 10, 2013.
- [6] International Organization for Standardization, Risk Management – Vocabulary, ISO Guid e 73, 2009.
- [7] Functional Safety of Electrical/Electronic/Program

- mable Electronic Safety-related Systems, International Electrotechnical Commission, IEC Std 61508, 2003.
- [8] Tore Markeset and Uday Kumar, "Integration of RAMS and risk analysis in product design and development work processes: A case study," Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 9, no. 4, pp. 393-410, Dec 31, 2003.
- [9] Mary Ann Lundteigen, Marvin Rausand, and Ingrid Bouwer Utne, "Integrating RAMS engineering and management with the safety life cycle of IEC 61508," Reliability Engineering & System Safety, vol. 94, no. 12, pp. 1894-1903, Dec. 31, 2009.
- [10] F. Baiardi, C. Telmon, and D. Sgandurra, "Hierarchical, model-based risk management of critical infrastructures," Reliability Engineering & System Safety, vol. 94, no. 9, pp. 1403-1415, Sep. 30, 2009.
- [11] E. A. Bjorkman, S. Sarkani, and T. A. Mazzuchi, "Using Model-based systems engineering as a framework for improving test and evaluation activities," Systems Engineering, vol. 16, no. 3, pp. 346-362, Nov. 12, 2012.
- [12] J. H. Yoon and J. C. Lee, "On an Efficient Development of the Test & Evaluation Plan through the insured Traceability of the Safety Requirements," Korea Safety Management & Science, vol. 9, pp. 89-96, 2007.

저 자 소 개

신 영 돈

현 삼성탈레스 수석 연구원, 아주대학교 시스템공학과 박사과정. 관심분야는 영상 시스템제어, 시스템공학, 요구사항분석, Modeling & Simulation 등.

주소 : 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 성호관 243호

심 상 현

현 아주대학교 시스템공학과 박사과정. 관심분야는 무기체계 시험평가, 모델기반 시스템공학, Modeling & Simulation 등.

주소 : 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 성호관 243호

이 재 천

현 아주대학교 시스템공학과 정교수. 서울대학교 전자공학과에서 공학사, KAIST 전기 및 전자공학과에서 공학석사 및 박사학위를 취득. 미국 MIT (Massachusetts Institute of Technology)에서 Post-Doc을 수행하였으며, 미국 Univ. of California (Santa Barbara)에서 초빙연구원, 캐나다 Univ. of Victoria (BC)에서 방문교수, KIST에서 책임연구원 재직. 이 후 미국 Stanford Univ. 방문교수 역임. 현재 연구 및 교육 관심분야는 시스템공학, 모델기반 시스템공학 (MBSE), Systems Safety, Systems T&E 및 다양한 산업 분야에서의 응용 등.

주소 : 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 서관 309호