

무기체계 개발에서 시스템 안전성을 고려한 시험평가 프로세스의 개선에 관한 연구

심상현* · 이재천*
*아주대학교 시스템공학과

On the Improvement of the Test and Evaluation Process in the Weapon Systems Development with Systems Safety Incorporated

Sang Hyun Sim* · Jae-Chon Lee*
*Dept. of Systems Engineering Ajou University

Abstract

With the recent changes in the environment of weapon systems acquisition, the systems development is becoming more susceptible to a variety of risks. To cope with this situation, US DoD has been emphasizing the importance of constantly applying the test and evaluation (T&E) process throughout the whole life cycle of the weapon systems. In particular, the safety requirements are called for attention while dealing with system risks. To this end, the present paper is aimed at studying the T&E process which incorporates the systems safety in weapon systems development. Analyzing and modeling the relevant processes has made it possible to achieve the objective. As a case study, the model results were applied to the development of unmanned aerial vehicles.

Keywords : Test & Evaluation Process, Systems Safety Process, Safety Analysis, Systems Engineering, Weapon Systems

1. 서론

현대의 무기체계가 단순체계에서 복합체계(System of systems: SoS) 형태로 진화함에 따라 방위사업 환경 또한 변화되고 있다. 복잡한 무기체계의 성능과 기능은 최첨단 컴퓨터 및 통신전자, 정보기술과 접목되어 그 발전속도가 날로 증가함에 따라 개발 및 획득에 대한 위험도 동시에 증가하고 있다. 이에 따라 미국방부는 시험평가를 복잡한 획득과정에 지원하는 것뿐만 아니라 무기체계의 수명주기를 고려하여 지속 적용토록

강조하고 있다[1]. 개발 초기부터 시험평가를 고려함에 따라 제한된 자원을 효율적으로 사용할 수 있으며, 획득과정 중 발생할 수 있는 위험도를 최소화할 수 있다. 최근 'F-35'의 도입문제(2012) 소식과 대형 시스템에 의한 고장, 사고로부터 무기체계, 장비 및 시설을 보호하기 위하여 신뢰할 수 있는 시험평가에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 특성으로 인하여 시험평가 프로세스 전반에 걸쳐 시스템 안전 확보에 대한 검증을 효과적으로 할 수 있어야 한다.

† 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2012R1A1A2009193)

† 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 June 10, 2013; Revision Received September 4, 2013; Accepted August 28, 2013

미국의 무기체계에 대한 안전성과 관련된 표준인 MIL-STD-882D에 의하면 시스템 안전(System safety)이란 “무기체계 수명주기의 모든 단계에 걸쳐 운용효과 및 적합성, 시간, 비용의 제한 범위 안에서 사고 위험성을 허용 가능한 수준으로 달성하기 위한 공학과 관리 원칙, 조건 및 기법의 적용”이라고 정의하였다[2].

현재까지 국내에서 무기체계의 안전성과 관련된 규격이나 지침은 전무한 상황이나 기술성숙도평가(Technical Readiness Assessment), 전력화평가 제도 등을 도입하여 무기체계 개발에 있어 안전성 향상을 꾀하고자 하였다. 그리고 MIL-STD-810G는 무기체계 시험평가에 대한 상세 기준, 시험 항목 및 방법 등을 포함하고 있어 실제 운용 상황을 고려하여 적용하도록 권고하고 있다[3].

이에 본 연구에서는, 무기체계 개발에서의 체계획득 프로세스를 분석하고, 또한 안전성 평가 수행이 효과적으로 이루어지기 위한 시스템안전 프로세스를 분석한다. 그리고 시스템안전 설계에서 시스템안전 프로세스의 안전 활동을 분석하여 무기체계 획득 시 수명주기를 중심으로 시험평가에서 효율적인 안전성 평가 업무 수행과 후속 되는 안전관리 활동이 보다 더 일관되게 수행되도록 시험평가 프로세스를 통합 구축한다. 이후 구축된 통합 시험평가 프로세스가 무기체계 안전 확보를 위한 체계적인 개발 접근을 하는지 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서는 본 연구의 사회, 기술 및 연구 동향과 필요성을 제시하였고, 본문에서는 체계획득 프로세스와 시험평가 프로세스에 대해 무기체계 수명주기를 고려하여 정의하였다. 그리고 시험평가 활동을 시스템 수명주기 개발과정 전반에 걸쳐 반영하기 위해 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스의 데이터 인터페이스를 연결하고, 안전성 확보를 위한 활동들을 명시한다. 이를 기반으로 통합 시험평가 프로세스를 모델링한 내용을 기술하였다. 마지막으로 본 논문의 결과를 정리 및 요약하였다.

2. 문제의 정의

2.1 체계획득 프로세스, 시험평가 프로세스 및 시스템안전 프로세스의 정의

무기체계 획득이란 군이 필요로 하는 장비, 물자 등을 선정하여 최종 생산품을 공급하기까지의 모든 활동을 이르는 말로 구매 또는 연구개발을 통해 생산하여 조달하는 것을 의미한다[1]. 따라서 무기체계 획득 프로세스란 우리가 보유하지 못한 기술을 자체 또는 해외협력을 통하여 공동 연구하여 연구된 기술을 실용화하여 군이 요구한 무기체계를 생산 획득하는 것이다.

미국방부에서 무기체계 연구개발을 위해 획득 프로세스는 <Figure 1> (a)에서 나타난 바와 같이 선행연구, 탐색개발, 체계개발 그리고 양산 및 운영유지 단계로 구성된다[1].

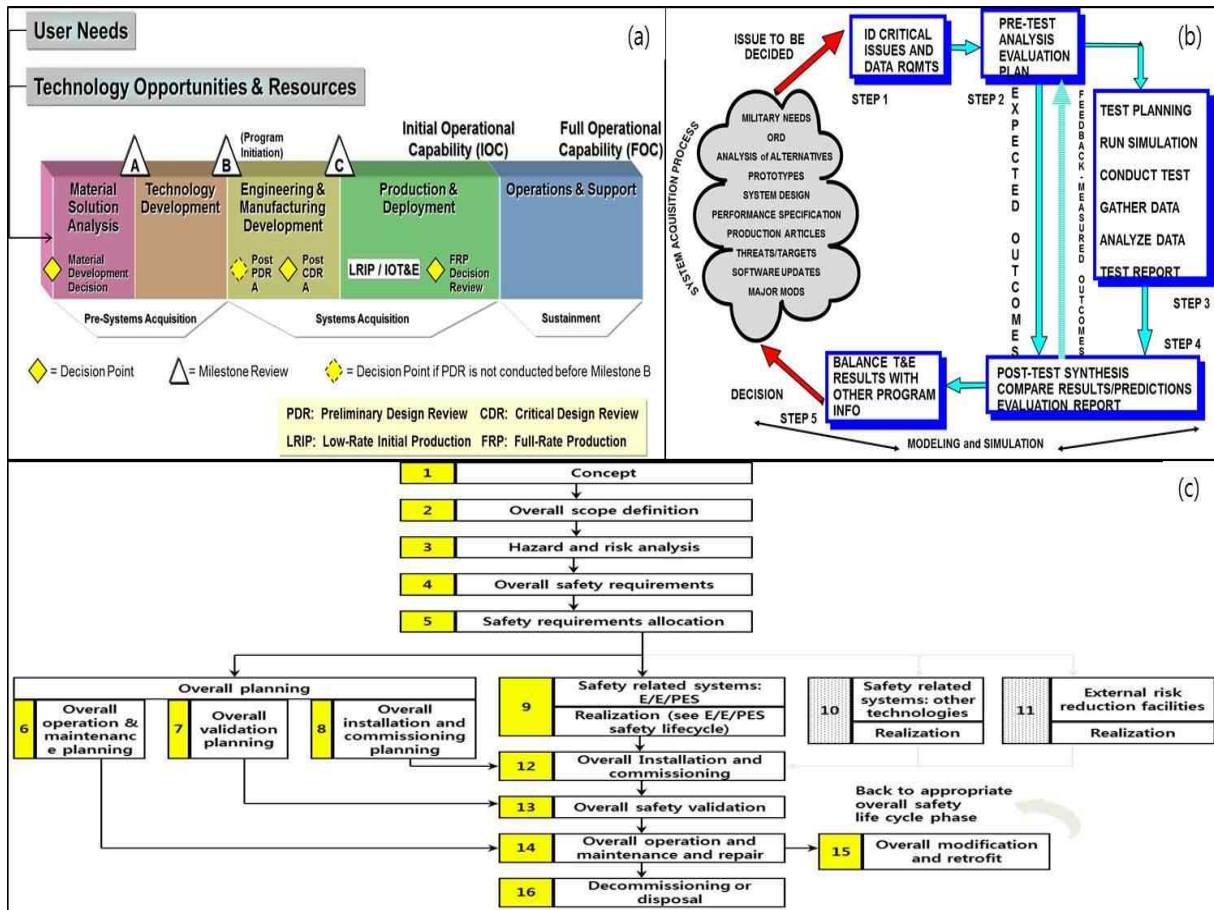
무기체계 시험평가(Test & Evaluation)은 연구개발 과정의 일부로서 무기체계의 부체계(subsystem)나 핵심부품(Component)의 시험(Development test)와 체계 단계에서의 기술적 성능을 검증하는 개발시험평가(Developmental Test & Evaluation), 운용성능을 검증하는 운용시험평가(Operational Test & Evaluation) 그리고 군 전력화를 위한 생산품에 대한 수락시험(Product Acceptance Test)으로 구분할 수 있다. 시험평가 프로세스는 획득과정의 여러 시점에서 의사결정권자들에게 의사결정에 필요한 자료를 제공할 수 있는 절차이다. <Figure 1> (b)에 나타난 바와 같이 시험목적 설정, 사전 시험분석 수행, 시험, 평가, 허용 가능한 위험 수준 및 개선단계로 총 6개 단계가 반복적으로 이루어진다[1].

국제 기능 안전 표준 규격인 IEC 61508은 기능 안전 시스템에 대한 요구사항 명세, 설계, 개발, 설치, 운영, 유지보수의 표준이다[4]. SIL(Safety Integrity Level)을 4등급으로 분류하고 각 레벨에 맞는 활동을 요구하고 있다. <Figure 1> (c)에 나타난 바와 같이 IEC 61508 시스템안전 프로세스는 수명주기를 고려하며 위험원 분석, 안전 요구사항 도출, 계획 수립, 실현, 점검, 확인, 운영 및 보수, 폐기 단계로 구성된다.

2.2 무기체계 수명주기 상에서 시스템공학을 통한 시험평가의 안전성 향상 및 위험관리의 필요성

시험평가 수행 시 무기체계 개발과정에서 요구사항이나 운용 개념, 목표 성능의 변화에 따른 추적성을 유지하지 못하여 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 기간초과의 원인이 되고 있다[5].

더불어 다른 무기체계와의 연동성과 상호운용성을 고려한 개발체제로 변화하는 과정에서 상호간의 안전성 및 위험관리에 대한 필요성은 다양한 관점과 접근 방식을 통하여 실행하고 있으나, 무기체계의 품질, 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성을 포괄하여 관리하기 위해서는 체계적인 프로세스를 활용할 수밖에 없는 상황이다[6].



<Figure 1> A set of processes relevant to the present study. (a) US defense acquisition process [1]. (b) US weapon systems T&E process [1]. (c) Systems safety process of IEC 61508 [4].

2.3 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스의 통합의 필요성

2.2절에서 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스와의 연계를 통해 산출물들이 일관적이고 체계적으로 설계 또는 계획되도록 하기 위한 언급을 하였다. 하지만 기존의 시험평가 프로세스와 별도로 시스템안전 프로세스를 진행할 경우 2중의 인력과 중복된 비용이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 시험평가 프로세스에 시스템안전 프로세스를 병행할 수 있는 통합 시험평가 프로세스를 제안한다.

2.4 선행연구 고찰

시험평가 프로세스 관련 연구동향을 파악하기 위하여 시험평가와 안전, 무기체계 수명주기 관점에서의 시험평가, 시험평가 프로세스 개선 등에 관련된 선행연구 논문을 고찰한 내용을 <Table 1>에 나타내었다. 국내 시험평가 관련 연구는 모델링 및 시뮬레이션(Modeling & Simulation: M&S) 활용, 공인 인증제도 시행과 신뢰도와 적용기준의 필요성, 시험평가 인프라 구축 등이

활발히 연구되는 것을 알 수 있다. 국외 시험평가관련 연구를 살펴보면, 시스템 수명주기를 고려한 시험평가 고려, 모델기반 시스템공학(Model-based Systems Engineering: MBSE)을 활용한 접근, 시험평가에 시스템 언어(SysML)을 활용한 프로세스 구현 등이 활발히 진행되고 있는 것을 알 수 있다. 기존 연구와 본 연구의 차별성을 살펴보면, 기존의 시험평가관련 연구에서는 안전에 대한 문제점은 인지하고 있으나, 시험평가 프로세스 및 평가의 적용을 고려한 연구는 미흡한 것으로 나타났다. 특히 무기체계 시험평가에 안전 활동 기법을 활용 및 적용, 획득 프로세스에서 안전을 고려한 개발 방법의 제시는 거의 없는 것으로 나타나, 본 논문에서는 이를 중심으로 시스템 안전성을 고려한 시험평가 프로세스를 제시를 하고자 한다.

2.5 연구 목표 및 범위

상위 선행연구 분석을 통해 무기체계 획득에 있어 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스의 데이터 인터페이스 연계를 통한 통합 시험평가 프로세스가 필요하다는 것을 인지하였다. 특히 무기체계 수명주기를

<Table 1> A review of previous study on T&E process.

참고문헌	주요내용	보완점
시험평가와 안전(Safety)을 고려한 관련 선행연구		
[6] [Test and Evaluation in Support of Systems Acquisition, Department of the Army Pamphlet 73-1, 2003.]	무기체계 획득에 있어 시험평가를 발전 적용하기 위하여 무기체계 수명주기 상에서 행해지는 시험평가에 대하여 활동, 방법, 역할, 요소 등에 대하여 가이드형식으로 기술.	무기체계 획득을 지원하는데 있어 시험평가에 대한 활동 및 역할에 대하여 언급하고 있으며 중요한 활동 중에 안전에 대해서도 기술하고 있다. 요구사항과 운용 환경 등에 대하여 안전 활동을 설명하고 있으며, 시스템 설계 활동에서 안전 활동 분석을 간략히 표현하고 있다. 다만 체계개발단계의 DT/OT 영역에 안전에 대하여 언급하고 있으나 단순히 안전 활동에 대한 내용만을 포함하고 있어 시험평가 프로세스 부분에 대하여 부족한 면이 있다.
[7] [Frank Fratrick, "Challenges in Software Safety for Army Test and Evaluation," ITEA Journal, 2009]	소프트웨어 수명주기 관점에서 시스템 안전을 고려하여 시험평가를 통해 개발 리스크를 줄이려고 시도 및 UGV(Unmanned Ground Vehicle)를 대상으로 사례연구.	소프트웨어의 설계 활동에서 안전 활동 분석을 통해 설계 수명주기 상에서 반영하고자 하였고, 시험평가를 통해 설계 리스크를 줄이기 위한 기능 및 태스크를 식별하여 개선하고자 하였다. 하지만 구체적인 프로세스 제시라든지, 상호간의 인터페이스 연결 등이 부족한 것으로 보인다.
시스템 수명주기 관점에서 시험평가 관련 선행연구		
[8] [Viktor Levardy and Tyson R. Browning, "Adaptive test process - designing a project plan that adapts to the state of a project," 15th International INCOSE conferences, 2005]	시험 후 결과에 대한 피드백을 통해 시스템 설계 방향에 대한 의사결정 정보를 제공함으로써 시스템 설계시의 불확실성과 모호성을 줄이려고 시도.	시스템 수명주기와 시스템 설계를 동시에 시험평가를 한다는 점에서는 긍정적이지만, 시스템 개발에 적용한 DSM은 시스템 수준보다는 제품 개발 수준에 적합한 개념으로 보인다. 또한 많은 데이터가 구축되어있어야만 가능한 것으로 보인다.
[9] [김태우, "무기체계 시험평가의 개선방안에 대한 연구," 석사학위논문, 2004]	무기체계 획득 주기를 고려하여 시험평가를 적용하되, M&S를 사용하여 시간과 비용을 절감 시도.	프로세스나 행정 절차에 대한 단축 등 상세하게 내용을 다뤘지만 기술적인 내용은 적게 보인다.
[10] [양병희, 김홍빈, "획득 환경변화에 따른 효율적인 무기체계 시험평가 방법," 한국국방경영분석학회, 2005]	무기체계 획득환경변화에 따른 시험평가의 어려움을 M&S를 활용하여 비용과 시간을 단축하는 방법을 제시.	한국군의 시험평가 실태를 파악하고 문제점을 제기하고 이에 대한 대책으로 전 수명주기를 고려하는 시험평가가 연구되어야 한다고 주장하는 점이 긍정적으로 보인다.

고려할 때 무기체계가 전력화 배치 전 단계인 시험평가 단계의 중요성 인식에 따라 안전성 확보 방안이 필요하다. 본 연구에서는 무기체계 개발 과정에서의 안전성 향상을 위한 프로세스 정립을 위해 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스를 연계한 통합 시험평가 프로세스를 제안한다.

따라서 이렇게 제시된 통합 시험평가 프로세스를 바탕으로 전산지원 도구를 활용해 통합 시험평가 프로세스의 구축 및 검증에 관한 연구를 수행 하였다. 일반적

으로 무기체계 수명주기는 <Figure 1> (a)에 도식화한 것처럼 표현되며, 본 연구는 탐색개발에서 운용성 확인을 통한 시험평가 내용을 토대로 요구사항을 반영하여 해당 시스템의 개발의도를 명확히 하였다. 그리고 무기체계 개발의 범위를 조정, 확정하는 단계에서의 시험평가 개선을 대상으로 <Figure 2>에 나타난 바와 같이 체계개발 단계(Engineering & Manufacturing Development)로 범위를 제한 및 설정 하였다.

3. 시스템 안전성을 고려한 체계개발 단계의 시험평가 프로세스 개선을 위한 모델링

3.1 통합 시험평가 프로세스의 모델링 절차

무기체계 연구개발에서 미국방의 시험평가 프로세스는 무기체계의 안전요소 분석에 대한 상세 활동에 대하여 고려하는 부분이 부족하다. 따라서 일반적인 안전 분석 활동에 대한 검증 단계를 제시하는 IEC 61508 표준에서 제시하는 시스템안전 프로세스와의 조정이 필요하다.

본 논문에서 제시하는 시스템 안전성 요소를 고려하여 시험평가를 개선한 프로세스의 상세 모델은 기능 모델 표현 방법 중 EFFBD(Enhanced Function Flow Diagram)을 통해 모델링 하였다. 이는 각 활동의 입출력 정보를 표현 할 수 있어 프로세스 확인에 용이하다.

개선된 시험평가 프로세스는 시스템 안전 요건 할당 후에 성능 및 기능 분석에 대한 시험평가를 행하는 단계를 포함하여 최종 시험평가 결과까지의 산출물을 정의하였다. 이는 상위 단계의 안전 요구사항이 하위 단계의 기능 분석 간의 추적성 확보가 부족한 부분을 정리하는데 용이하게 되어 있다.

3.2 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스의 활동 비교

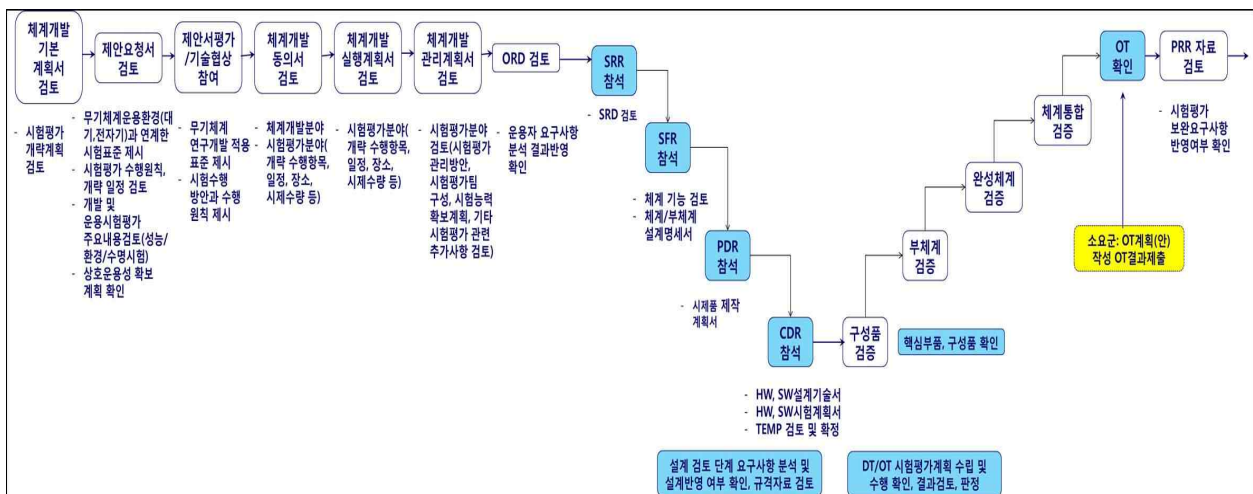
본 연구의 적용범위인 체계개발단계의 무기체계 획득 프로세스와 시험평가 프로세스를 연계하여 구조화한 결과는 앞의 <Figure 2>와 같다. 체계개발단계의 시험평가 프로세스에서 중점적으로 살펴보아야 할 부분은 아래와 같이 구분할 수 있다.

- (1) 시험평가 적용 대상체계 식별
- (2) 시험평가 수행 방침에 관한사항
- (3) 개발 및 운용시험평가에 대한 개략적인 사항
- (4) 시험평가에 필요한 요소 자원 식별

이와 같이 체계개발단계의 시험평가 프로세스는 대상체계 연구개발 시 안전 확보에 대한 상세한 활동이 부족하므로 시스템안전 프로세스와의 상호간 긴밀한 조정이 필요하다. 하지만 <Figure 1>의 (c)에서 보듯이 시스템안전 프로세스가 산출물 간의 추적성 확보가 부족하여 체계적으로 정리되지 않아 어려움을 겪는 면이 많다. 그리고 하드웨어와 소프트웨어별 기능 안전에 대하여 제시하지만 무기체계 설계와 비교해볼 때 프로세스의 정교함이 떨어지는 측면이 있다. 하지만 체계개발 단계는 시스템공학 프로세스의 일부분으로서 체계적인 시스템 개발을 따르기 때문에 시스템안전의 검증 단계 활동과 비교함으로써 시험평가에 참여하는 사용자가 안전을 바라볼 수 있는 관점에서 구조적으로 구분하는데 도움을 줄 것이다.

3.3 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스간의 인터페이스 정의

앞의 3.2절에서도 언급했듯이 체계개발단계의 획득 프로세스는 무기체계의 수명주기를 고려하여 접근하고 있다. 시스템안전 프로세스도 일반적인 안전 설계의 수명주기를 따르므로 상호간의 관계는 매우 유사하다고 볼 수 있다. 다만 시스템안전 프로세스는 6번부터 13번까지의 영역이 주된 검증 단계 활동이며, 이 부분의 활동은 안전 설계의 일정 수립 및 확정, 이에 대한 수명주기를 고려한 안전 활동과 이에 대한 검증이 일어나는 단계이다.



<Figure 2> A model of the T&E process and its activities in connection with the life cycle of weapon systems development [1].

<Table 2> Results of analyzing T&E process and systems safety factors.

특성	문서구분	내용	시스템 안전성 요소
Input	예비시험평가기본계획서	탐색개발결과 문서로 TEMP 작성에 필요한 예비문서	-안전 요구사항 (Safety Requirements)
	시험평가기본계획서(TEMP)	체계개발단계에서 개발시험평가계획(안)과 운용시험평가계획(안) 작성기준을 적은 계획서	
	개발시험평가계획(안)	체계개발 시제품에 대하여 개발목표 및 군요구사항 등의 충족여부를 확인하기 위한 계획서	-PHA (Preliminary Hazard Analysis), -THA (Threat Hazard Assessment)
	개발시험평가 계획서	개발시험평가계획(안)에 대하여 관련기관 검토를 거친 문서	-DT&E (Developmental Test & Evaluation)
	개발시험평가결과보고서	개발시험평가계획서에 따라 시험평가를 수행하고, 그 결과를 작성한 문서	
Output	운용시험평가계획(안)	체계개발 시제품에 대하여 작전운용성능 충족 및 운용적합여부를 확인하기 위하여 작성한 문서	-SHA (System Hazard Analysis), -O&SHA (Operating and Support Hazard Analysis)
	운용시험평가 계획서	운용시험평가계획(안)에 대하여 관련기관 검토를 거친 문서	-OT&E (Operational Test & Evaluation)
	운용시험평가결과보고서	운용시험평가계획서에 따라 시험평가를 수행하고, 그 결과를 작성한 문서	-EOA (Early Operational Assessment)

하지만 시험평가 프로세스는 요구사항에 따라 시험 평가 전략을 수립하고 이를 달성하기 위해 실행 계획을 수립할 때, 시스템 안전에 대한 고려를 하지 않기 때문에 이후 기능 및 성능에 대한 검토나 최종적으로 획득된 체계에 대하여 시험평가를 할 시 따로 시스템 안전에 대한 내용을 추가하기에는 비용과 시간이 들기 때문에 쉽게 간과하는 면이 있다. 이러한 결과로 인해 이해당사자에 의한 운용성 확인 시에 문제가 발생 되면 체계개발 전반에 걸쳐 프로세스가 다시 진행하게 되는 악순환이 벌어지게 된다. 따라서 체계개발단계의 획득 프로세스와 시스템안전 프로세스와의 상호 인터페이스 교환을 통해 시험평가 활동과 시스템안전 활동에 관한 연관 요소를 도출하였다. 이에 대한 상세 내용을 <Table 2>에 Input & Output 활동과 시스템 안전성 요소와의 관계를 나타내었다.

<Figure 3>에 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스간의 인터페이스를 설정한 기준은 다음과 같다.

- (1) 무기체계 체계개발 획득 프로세스의 시험평가 활동과 시스템안전 프로세스 사이의 안전 요소를 고려한 기능적 연결
- (2) 체계개발단계의 시험평가 프로세스의 시험평가 데이터와 시스템안전 프로세스의 설계 및 안전성 확보 데이터간의 기능적 연결

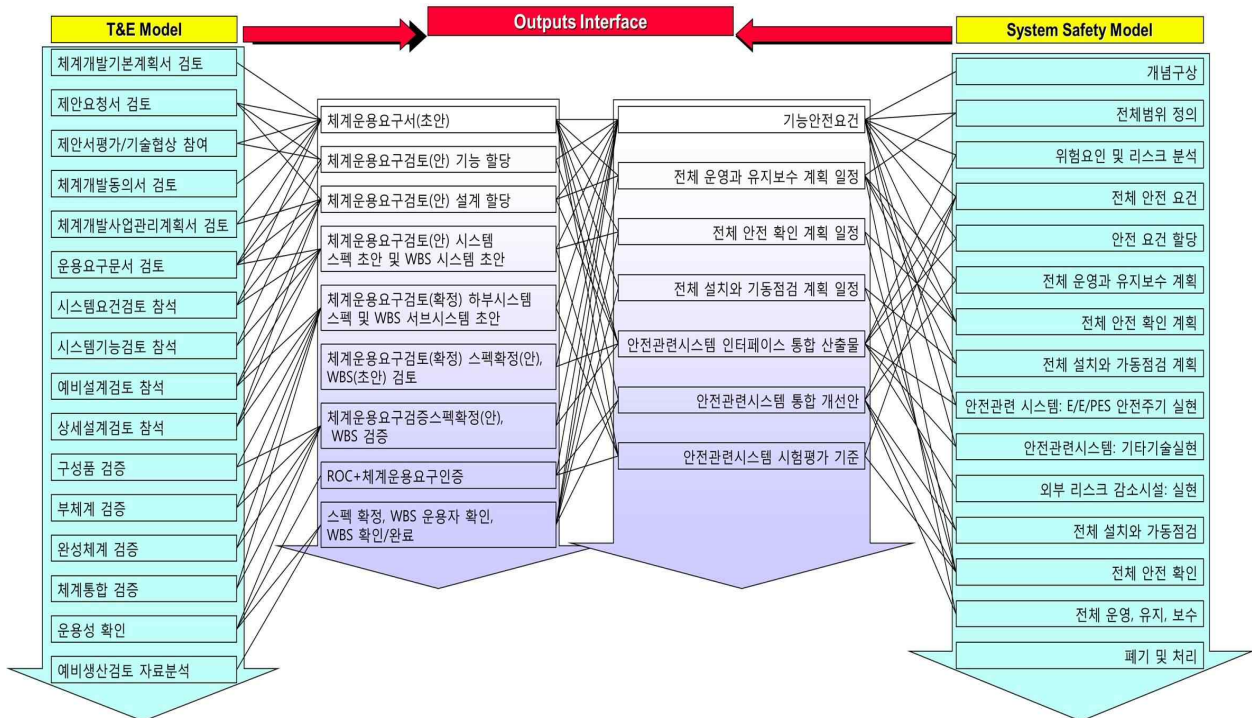
(3) 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스에서 도출되는 산출물간의 물리적 또는 기능적 연결

체계개발단계의 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스 안전 요소간의 인터페이스 정의를 통해서 시험평가 활동과 시스템안전 활동을 통해 산출되는 데이터간의 추적성 및 기능 연결 흐름을 쉽게 볼 수 있다. 이를 통해 통합 시험평가 프로세스 모델을 구축하는데 있어 <Figure 1> (b)의 시험평가 프로세스의 시험평가 요소들이 시스템안전 프로세스와의 인터페이스를 토대로 연계될 수 있음을 보여준다.

4. 통합 시험평가 프로세스 모델의 구축

4.1 체계개발단계의 시험평가 프로세스와 시스템안전 프로세스간의 산출물 분석

본 연구의 통합 시험평가 프로세스 모델은 2.3절에서 필요성을 기술하였다. 무기체계의 시스템 안전 확보를 중심으로 활동 절차와 도출되는 데이터에 초점을 맞추어 모델을 구축하였다. <Figure 4>에서와 같이 무기체계의 탐색개발을 거쳐 체계개발로 진행하게 되었을 때, 체계개발에 들어오는 무기체계 시스템에 대한 개념 및 기본 설계에 대한 사항을 정의한다. 이를 바탕으로 대



<Figure 3> Derived interfaces among the T&E process and systems safety process during systems development.

상 무기체계 시스템에 대한 위험원 및 위험 분석을 선행하게 된다. 선행된 분석 결과를 토대로 대상 무기체계 시스템에 대한 시스템 요구사항을 도출해낸다. 시스템 요구사항에는 앞에서 행한 위험원 및 위험 분석 결과가 반영된 안전 요구사항 또한 도출이 된다. 이를 토대로 시험평가를 하는 목적을 설정하게 되며, 전체 안전 계획과 안전주기, 기타 기술과 외부 리스크 감소시설에 대한 기능 분석의 입력의 아이템으로서 적용된다.

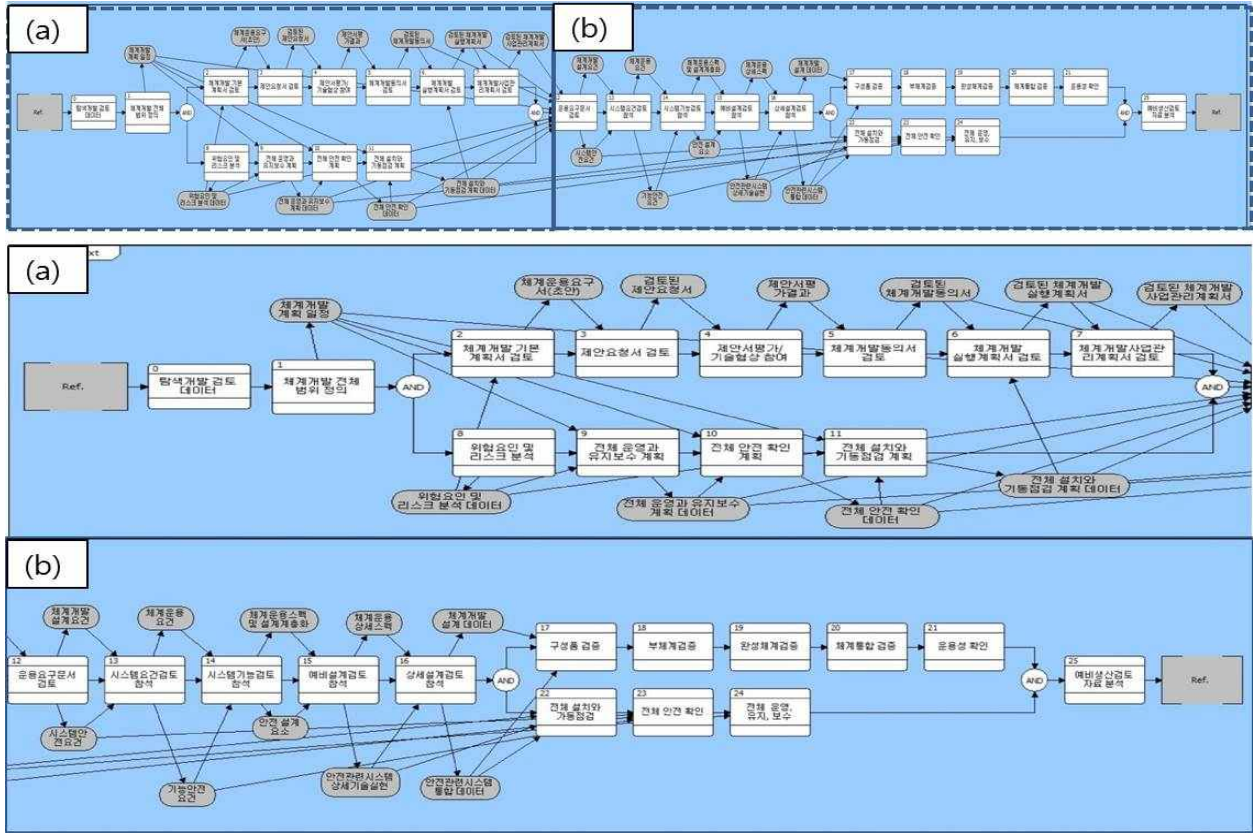
대상 시스템의 시험평가에 대한 외부평가 요소가 분석이 완료된 후에는 사전 분석 평가 계획을 세우게 된다. 이러한 사전 분석 설정은 안전 요소 식별을 가능하게 해주며, 식별된 요소들의 속성을 명확하게 분류함으로써 정제된 안전 요구사항을 얻을 수 있다. 또한 시험평가가 필요한 요소들의 안전 요소들까지 식별해냄으로써 시스템 요구사항을 다시 확인할 수 있게 도와준다. 그 후 수명주기를 고려한 대상 무기체계 시스템의 절차와 기타 기능 및 기술 등과 더불어 외부 안전 위험에 대한 기기 및 장비 시설에 대한 분석을 수행하게 된다.

이러한 전반적인 시설 및 기능에 대한 분석이 끝나게 되면, 데이터들의 통합을 위해 전반적인 검토를 하게 된다. <Figure 4>의 17번 이후부터의 프로세스 활동은 기존의 시스템안전 프로세스에서는 점검 및 확인 단계를 통해 안전 활동을 검토하고 전반적인 안전 확인을 한 후에 운영, 유지, 보수 단계에서 오류가 발견되면 그때서야 다시 프로세스의 수명주기 상위 단계로 돌아가 검토하는 단계로 구성되어있다.

4.2 통합 시험평가 프로세스 모델

통합 시험평가 프로세스에서는 기능 분석이 끝난 후에 산출물과 안전 요구사항, 시험 및 평가 요소에 대하여 전반적인 통합을 통해 인터페이스를 정의한다. 이는 단순히 점검 및 확인 단계에서 검출할 수 없는 기능 요소들에 대한 모든 데이터를 검토할 수 있으며, 시험 및 평가 요소까지 고려함으로써 앞선 단계에서 고려한 프로세스 일정까지 포함한다. 전체 안전 확인 단계 후에 전체 안전 검증 단계를 추가함으로써 통합 단계에서 놓칠 수 있는 평가 부분들에 대하여 다시 검토를 함으로써 보완사항을 발견할 수 있으며, 안전 요구사항이 제대로 반영되었는지에 대해서도 검증할 수 있다.

이후에 시험평가 후 통합적인 결과 및 예측을 비교하고 검토함으로써 최종 시험결과를 보고 하게 된다. 이 때 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.



<Figure 4> An integrated process model incorporating the T&E and safety processes simultaneously.

5. 개선된 시험평가 프로세스 모델의 무기체계 시스템 적용에 대한 검증

본 시험평가 프로세스 모델은 시스템공학 프로세스를 중심으로 하여 구축되었으므로 기본적으로 시스템공학 표준을 충족시키고 있다. 본 시험평가 프로세스 모델은 따라서 계층적으로 설계가 되어있으며, 요구사항 분석, 기능 분석, 시스템 설계를 수행하면서 안전요소 분석 활동 및 시험평가를 추가하였다. 이러한 시험평가 프로세스 모델을 시스템공학 전산지원도구를 사용하여 수행할 수 있게 함으로써 산출물들의 추적성 관리 및 문서자동화 등의 이점을 가지게 된다.

5.1 무기체계 시스템의 특징 및 범위

무인항공기 무기체계의 기능안전을 파악하고 관리하여 사람이 하기 어려운 대체임무를 수행하는 시스템에 대하여 대상시스템을 정하였다.

무인항공기는 일반적으로 비행체, 지상통제장비, 통신장비, 관제장비 등으로 구성되어 있고, 구성장비 측면에서는 임무장착체, 데이터링크 및 이착륙장비들로 이루어져 있다. 하지만 디지털 시스템에 대한 의존도가 높은 시스템이면서도 운용환경 조건에 따른 시험평가가

효율적으로 수행되지 않은 것으로 평가되었다. 이는 개발비용의 최소화와 더불어 안전한 비행시험을 수행하는 최소한의 범위로 한정하였지만, 최소한의 범위에서도 시험평가에 대한 이해와 안전에 대한 고려가 미흡한 상태에서 나날이 발전하는 디지털 시스템이 추가됨으로써 개발자에게 혼란을 주고 있다는 것을 입증한다.

5.2 무기체계 시스템의 적용 결과

무기체계 체계개발에 있어 무인항공기 설계에 따른 시험평가 요소 및 안전 활동에 따른 고려를 하지 않음에 따라 무인항공기가 운용자의 실수 및 오류를 발생시켜 안전사고에 대한 위험성이 높아졌다고 볼 수 있다. 따라서 무인항공기 시스템의 효용을 극대화 및 무인항공기의 안전 설계를 위해 본 논문에서 제시한 시험평가 프로세스를 적용한 결과를 <Figure 5>에 표시하였다.

이는 상위 수준의 무인항공기 무기체계의 요구사항과 관련된 기능들을 도출하여 이에 대한 환경 분석과 시험목적의 정의 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 모델의 상세

활동 결과를 토대로 무인항공기 무기체계와의 추적성 연결을 통해 최종적으로 결과를 통합한다. 이렇게 통합된 결과를 바탕으로 무인항공기의 기능 및 성능, 요건에 대하여 안전 활동 검증을 수행한다. 이러한 부분은 본 논문에서 제시한 시스템안전성 요소를 고려한 부분을 반영한 것이다. 따라서 무인항공기의 체계개발단계에서의 요구사항부터 운용성 확인까지 진행되는 시스템 공학적 방법에 대한 내용이 시험평가 활동을 통해 시스템 안전성에 대한 요소들을 빠르게 확인할 수 있다.

6. 결론

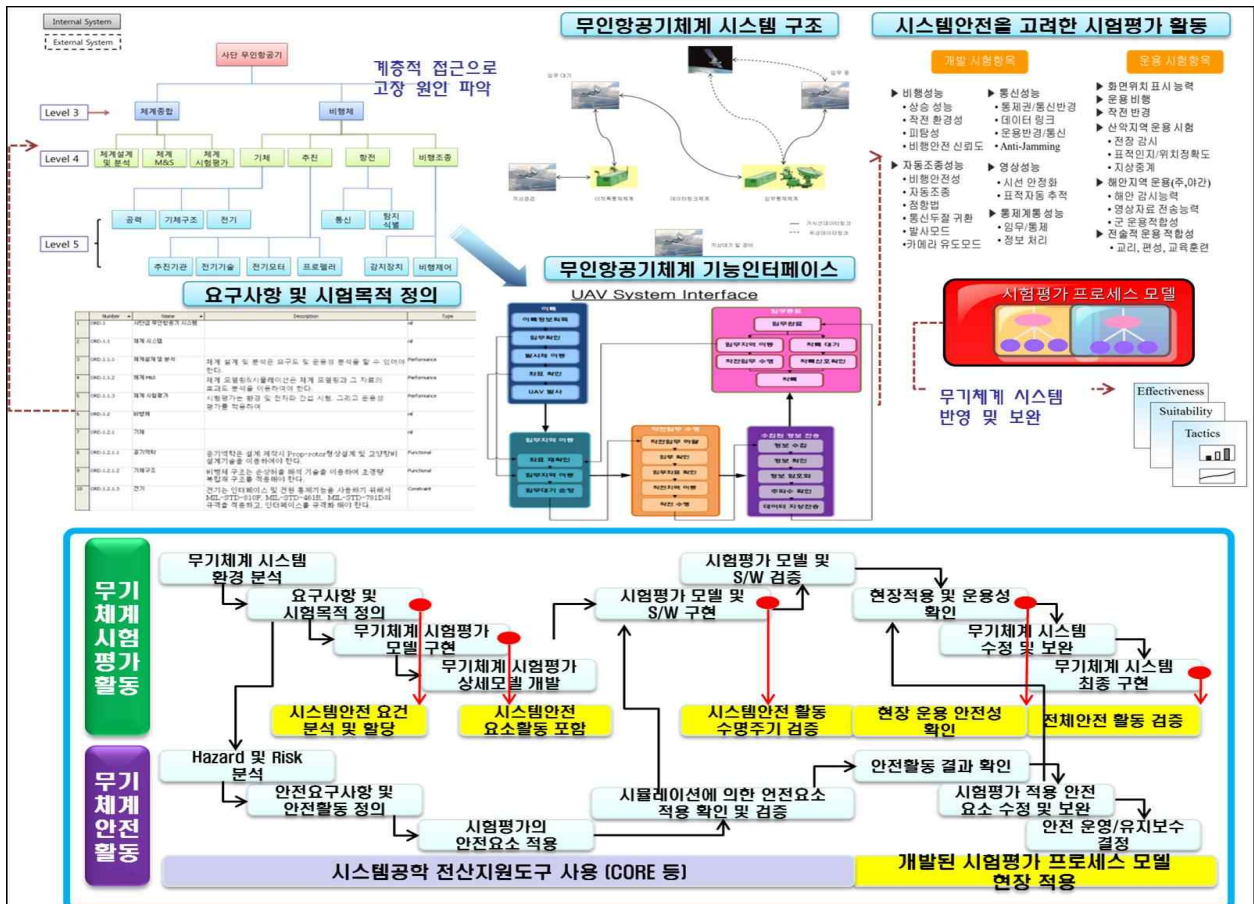
본 연구와 관련하여 시험평가에 대한 중요성을 느끼고 시험평가 프로세스의 발전을 제시한 연구들이 있었다. 그러나 본 연구의 주안점은 무기체계 개발에 있어 체계단계를 시스템공학 관점에서 바라보는 것에 있다. 효과적인 시험평가 단계를 구성 및 수행함으로써 시스템공학 프로세스의 개선을 반영하고 궁극적으로 무기체계의 안전을 도모하는 것이 본 연구의 목표이다.

본 논문에서는 시험평가 프로세스의 시스템 안전성 개선을 위하여 안전 활동을 고려한 연구를 수행하였다.

시험평가 프로세스의 개선을 위해 안전 요소 분석 활동과, 체계개발단계의 상세활동을 정의하였다. 앞서 선행된 IEC 61508표준을 기반으로 시험평가 프로세스의 안전 관련 요소들을 식별하고 이들 간의 관계를 파악하여 추적성을 확보한 기능 인터페이스를 정의하였다. 이를 통해 도출된 시스템 안전성을 고려하여 개선된 시험평가 프로세스를 시스템공학 전산 지원 도구를 통하여 논리적으로 검토하였다.

무인항공기 무기체계에 본 연구에서 제시하는 시험평가 프로세스 모델을 적용하여 초기 안전 활동부터의 활동들을 효과적으로 검증할 수 있도록 함으로써 무인항공기에 대한 기능 및 기기간의 관계를 성숙시켜 안전성을 높일 수 있었다.

구축된 시험평가 프로세스는 안전 요구사항이 시스템 요구사항으로 구조화 될 수 있도록 하여, 검증 단계에서 보다 명확하게 검토하여 보완토록 하였다. 이는 무기체계 체계개발에서 시스템공학 기법을 활용함으로써 안전 관련 활동 및 안전사고 요소에 대한 예방을 개선, 안전의식 확대 및 무기체계의 신뢰성을 높일 수 있을 것이다.



<Figure 5> A result of the case study on the application of the proposed process model to the development of unmanned aerial vehicles.

7. 참고 문헌

- [1] John. D. Claxton(2005), Test And Evaluation Management Guide, Defense Acquisition University, 5th ed., Jan..
- [2] Standard Practice for System Safety, Department of Defense Standard, MIL-STD-882D, 2000.
- [3] Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, Department of Defense Standard, MIL-STD-810G, 2008.
- [4] Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-related Systems, International Electrotechnical Commission, IEC Std 61508, 2003.
- [5] J. H. Yoon and J. C. Lee(2007), "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.
- [6] Test and Evaluation in Support of Systems Acquisition, Department of the Army Pamphlet 73-1, 2003.
- [7] Frank Fratrick(2009), "Challenges in Software Safety for Army Test and Evaluation," ITEA Journal, vol. 30, pp. 409-416.
- [8] Viktor Levardy and Tyson R. Browning(2005), "Adaptive test process - designing a project plan that adapts to the state of a project," in Proc. 15th Annu Int Symp INCOSE.
- [9] T. W. Kim(2004), "On the Study to Improve in the Test & Evaluation of Weapon Systems," M.S. thesis, Dept. of Public Administration, Mokwon Univ., Daejeon, Korea.
- [10] B. H. Yang and H. B. Kim(2005), "Effective Test & Evaluation Method of Weapon Systems in the Change of Acquisition Environment," The Military Operations Research Society of Korea, vol. 31, pp. 93-106.

저자 소개

심상현



현 아주대학교 시스템공학과 박사과정. 관심분야는 시스템공학 및 Systems Test & Evaluation에의 응용, Modeling & Simulation 등.

주소: 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 성호관 243호

이재천



현 아주대학교 시스템공학과 정교수. 서울대학교 전자공학과에서 공학사, KAIST 전기 및 전자공학과에서 공학석사 및 박사학위를 취득. 미국 MIT에서 Post-Doc을 수행하였으며, 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 및 Systems Safety에의 응용 등.

주소: 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 서관 309호