

국방 선행연구단계에서 안전분석 기법 FTA/FMEA의 활용을 통한 핵심요소의 결정

최세근, 김영민, 이재천*
아주대 시스템공학과

Determination of Key Elements Using FTA/FMEA Safety Techniques for Precedent Research Stage of Defense R&D Programs

Se Keun Choi, Young-Min Kim, Jae-Chon Lee*

Dept. of Systems Engineering, Ajou University

요 약 방위력개선사업의 선행연구는 소요가 결정된 무기체계의 효율적인 획득방법 결정을 지원하기 위해 사업초기 단계에 수행되고 있다. 사업 초기단계의 선행연구는 그 중요성이 간과되어 소홀히 진행되어 왔으며, 이로 인한 성능 미충족 및 비용 증가 등의 사업추진간 문제점이 지속적으로 발생되고 있다. 제한된 시간내 많은 항목의 선행연구를 수행한 결과, 핵심검토 항목을 깊이 있게 검토하지 못함으로써 사업추진간 예상되는 위험을 식별하고 감소시키는 역할을 제대로 수행하지 못하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 방위력개선사업 선행연구 단계에서 수행시 고려해야 할 핵심요소들을 식별하기 위해 시스템안전 분석과정에서 사용되고 있는 FTA/FMEA 기법의 활용에 대해 연구하였다. 구체적으로 수행방안 도출시 FTA/FMEA 기법의 적용에 대한 착안점 및 주어진 조건에 부응하도록 개선을 통해 핵심검토 항목 도출을 위한 방법론을 구축하였다. 본 연구의 결과를 토대로 방위력개선사업 선행 연구단계에서 핵심 수행요소 재정립을 통해 향후 방위력 개선사업의 사업관리 측면에서 발생할 수 있는 불필요성 및 예상되는 위험을 제거함에 따라, 비용 및 시간을 절감하고 위험감소를 통한 사업의 안정적 추진을 기대할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract A precedent defense project study was carried out in the early stage of the project to support efficient determination of the acquisition method of the determined weapons system. A precedent study in the early stage of the project has been neglected, but lack of performance and increased costs are continuing problems. In a precedent study on a number of items within a limited time frame, expected risks during project implementation were not identified and reduced by failing to review the key review element in depth. Therefore, in this paper, we studied the application of the FTA/FMEA technique used in the system safety analysis process to identify key factors to be considered when carrying out the defense research project. The methodology for the development of the key review items was established through the improvement of the FTA/FMEA technique in order to meet specific conditions and given conditions. Based on the results of this study, we redefined core key factors in the precedent study stage, thereby eliminating unnecessary and anticipated risks that may arise in the future project management aspects of the defense project. It is anticipated that this will reduce costs and time in terms of the lifecycle of the weapon system and promote stable operation of the project through reduction of risk.

Keywords : Weapon System, Systems Engineering, Precedent study, Defense project, Failure Mode & Effects Analysis, Fault-Tree Analysis, Weapon systems, Project management

본 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. NRF-2015R1D1A1A01056730).

*Corresponding Author : Jae-Chon Lee(Ajou Univ.)

Tel: +82-31-219-3949 email: jaelee@ajou.ac.kr

Received July 10, 2018

Revised (1st July 24, 2018, 2nd August 9, 2018)

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

1. 서론

많은 비용과 시간 투입이 요구되는 되는 무기체계 도입은 해당 무기체계의 소요결정 후 선행연구(Precedent study)를 통해 방위력개천사업의 추진방안을 결정하고 있다[1]. 선행연구는 사업추진의 큰 틀을 제시하고 첫 단추 역할을 하지만 단순 연구용역 관리 수준의 인식을 갖고 있으며 그 중요성은 상대적으로 낮게 인식되어 왔다. 이에 따라 선행연구를 내실화하기 위해 방위사업관리규정에 선행연구단계에서 검토할 51개 항목이 반영되어 각 사업별 선행연구 용역이 이루어지고 있다. 선행연구 내실화를 위해 많은 검토항목을 규정에 반영하여 수행하고 있으나 불필요한 검토내용 작성과 연구기간 부족 등의 문제점 발생됨에 따라 효율적인 개선책이 요구되는 시점이다[2].

산업의 다양한 기술 발전의 견인을 통하여 국방산업도 최첨단의 기술이 접목되어 무인화 또는 로봇화에 까지 이르렀다. 이러한, 다양한 기술들을 기반으로 새롭게 수립되는 전장 환경의 운용개념에 접목되는 실정이다. 다양한 기술의 접목은 무기체계의 복잡도(체계 구성 및 상호운용성)를 증가시키고 이로 인해, 사업관리 측면에서 고려해야할 사항이 기하급수적으로 늘어남에 따라, 최근 무기체계의 사업관리의 초기 단계(선행연구)의 활동이 중요시되고 있는 실정이다[3]. 따라서, 수많은 사업관리 요소에서 핵심이 되는 요소를 기반으로 수행하는 접근법의 이슈를 해결하고자 위험도·신뢰도를 기반한 선행연구단계의 방위력 개선사업 사업관리의 수행방안에 대해 연구를 수행하였다.

기존의 선행연구단계의 수행은 Fig. 1과 같이 사업추진방법을 결정하기 위한 사업 초기단계로 사업추진의 청사진을 제시하는 역할을 수행하고 있다. 이러한 선행연구는 사업 종료 시까지 사업관리의 성능/비용/일정/위험관리 측면에서의 역할이 중요시되고 있다[3]. 따라서 선행연구단계에서는 다양한 많은 부분의 검토항목을 방위

사업관리규정에 반영하여 선행연구 조사·분석이 수행되고 있으나 과도한 검토 요구사항으로 인하여 연구기간이 장기화되고 선행연구 결과의 활용성이 저하되고 있는 실정이다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 현재의 선행연구 조사·분석시 요구되는 검토항목에서 핵심 검토사항을 도출하고 이에 대한 수행 절차를 정립할 수 있는 신뢰성 있는 선행연구 방안 적용이 시급한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 Fig.2와 같이, 선행연구 단계에서 수행되어야 할 핵심요소를 도출하고, 도출된 항목을 바탕으로 수행절차를 구축하는 방법론에 대한 연구를 수행하였다. 방위력 개선사업 선행연구단계에 대하여, 기존 산출물 및 활동에 대한 객관화하기 위한 정량적 평가기반 구축을 수행하기 위해 FMEA(Failure Mode Effects Analysis)[4]와 FTA(Fault Tree Analysis)[5]의 안전분석 기법을 사업관리 측면에서 활용해 본 연구를 수행하였다.

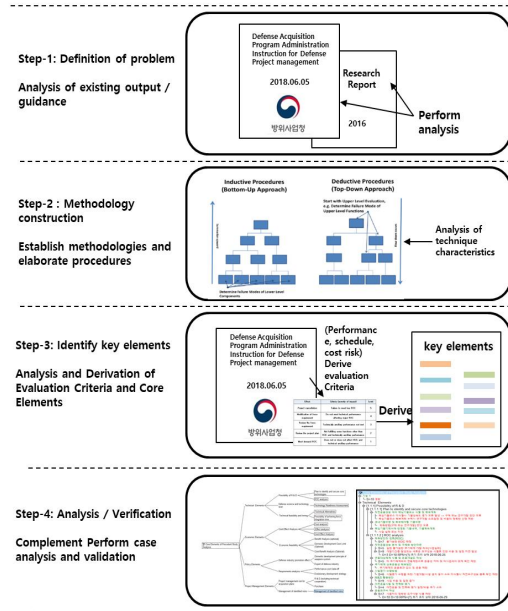


Fig. 2. Research Outline

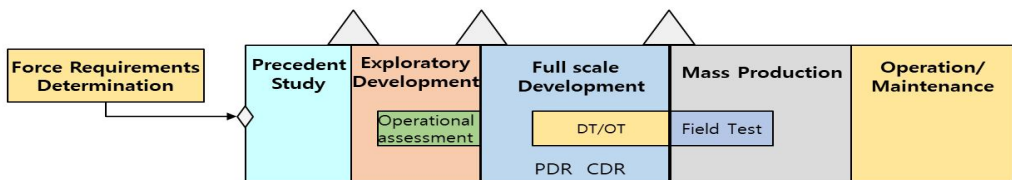


Fig. 1. Weapon System R & D Project Management Procedure

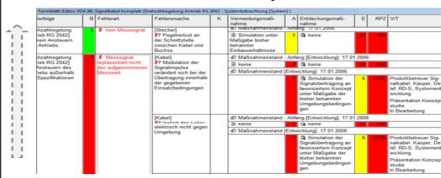
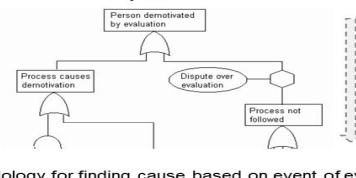
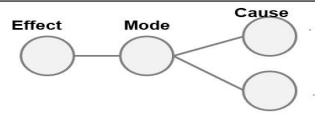
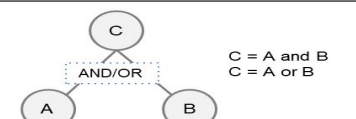
Category	FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)	FTA(Fault tree analysis)
Qualitative/ Quantitative	Qualitative	Qualitative & Quantitative
Method	<p>Bottom-up</p>  <p>(After analyzing the cause of failure, the method of analyzing the effect and phenomenon)</p>	<p>Top-down</p>  <p>(Methodology for finding cause based on event of event)</p>
Cause of failure Scope of analysis	<p>Effect Mode Cause</p> 	 <p>C = A and B C = A or B</p>

Fig. 3. Comparison of FMEA and FTA techniques

관련된 연구로는 국방 분야에서 시스템엔지니어링 기반으로 무기체계 연구개발 단계 개선에 관해 연구를 수행하였다. 해당 연구는 시스템엔지니어링 분야에서 언급하는 개발 생명주기에 따라, 기존의 선행연구 단계에서 요구되는 항목에 대해 재구분(할당) 관점에서 수행을 하였다. 따라서, 현재 문제시되고 있는 효율화/절차화 측면에서는 고려하기 어려운 접근 방안이다.

최근 자동차 분야에서는 급격히 증가하는 전자 장비의 이유로 시스템/하드웨어/소프트웨어적인 설계 신뢰도 기반의 차량 안전성 확보가 국제표준 ISO 26262[6]를 통해서 이슈 및 확산되고 있다. ISO 26262 표준은 설계적 결함의 문제의 해결을 위해 Fig. 3에 해당하는, 위험원 분석 기법인 FMEA와 FTA 기법의 수행을 요구하고 있다. 특히, 방법론적으로 시스템의 위험 요소를 식별하여 설계적 결함을 사전에 방지하기 위한 접근 방안으로 FTA-FMEA 순서로 연구가 진행되는 추세이다[5]. 차량의 구조적/기능적 관점에서 분석을 통해 유발 가능한 영향 및 위험원 인자를 식별하는데 목적을 두는 두 기법은 서로 정반대의 접근 메커니즘을 바탕으로 수행하기 때문에 본 연구에서는 구조적/기능적/영향/원인 관점을 사업관리적 관점에서 착안하여 두 기법의 연계성을 확보 기반으로 선행연구 단계의 수행방안에 대해서 연구하는데 노력하였다.

이와 관련한 관련 연구로는, Ward(2011)[7], Grello(2011)[8]는 해당 두 기법의 설계적 접근법의 장·단점을 식별하여 상호 보완적인 접근 방안이 될 수 있도록 평형

선에서 접근 가능한 방안을 제시하고 있다. 이러한 점은 사업관리 방안 및 영향을 분석하는데 있어서 구조(관련 범주)와 기능(수행 요소)으로부터 분석 및 수행의 필수 요소를 도출하는데 있어서 중요한 접근법을 제공하였다. 또한, 이러한 점은 안전분석 기법을 통해 기능(수행 요소)오류의 다양한 모드와 발생시 미치는 영향이 분석된다는 측면에서 상호 활용적 가능성을 높이는 대목이 된다.

또한, 김태교 외(2016)[9]는 선행연구 검토항목 정립을 위해 관련법규, 전문가 워크샵/관련부서 의견 수렴을 통해 개선방안을 제시하는 전문가 토의를 통한 핵심요소의 선정 방법을 활용하였으며, 이는 전문가의 직관적인 분석 및 전문가 전문분야별 특성이 다르기 때문에 부분분야의 직관성을 기반한 선행연구 활동 수행에는 한계가 있다. 무기체계 사업의 특성상 사업전체를 검토하는데 있어서 전문가의 전문성 분야별 놓치는 문제가 발생할 수 있기 때문에 무기체계 사업의 전체의 관점에서 활용 가능한 접근 방법론이 필요하였다. 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 체계적 접근 방법론 구축에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위해 공학분야 안전분석 기법을 활용해 무기체계 관련 사업관리 요소를 체계적 관점에서 접근 가능한 방법론 구축에 관한 연구를 수행하였다. 윤상윤 외(2014)[10]는 선행연구 단계에서 수행되어야 할 활동에 대해 총괄적인 관점에서 절차 및 활동을 제시하고 있다. 김순영 (2012)[11]는 대안분석 기법인 AHP 기법을 활용해 국방품질경영요소를 우선순위 기반 도출에 관한 연구를 수행하였다. 해당연구는 사업관리의 품질요소

에 대한 설문조사를 기반으로 수행했다는 점에서 객관화에 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 안전분석 기법의 사업관리 관점에서의 활용방안을 제시하여 선행연구단계의 수행되어야 할 핵심요소 식별 및 핵심요소 기반의 수행방안 모델을 만들고자 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서는 본 연구의 사회, 기술 및 연구 동향을 기술하였고, 2장에서는 FMEA 및 FTA 방법론을 결합한 접근의 필요성과 방위력 개선 사업 선행연구 단계의 핵심요소 도출의 필요성 및 핵심요소 기반의 수행방법론 구축의 필요성을 제시하였다. 3장에서는 핵심요소를 기반한 선행연구 방법론 구축에 관해 제시하고 있다. 전체 사업에 미치는 위험도 측면의 분석된 결과를 바탕으로 핵심요소 도출 및 방법론을 정립하였다. 4장에서는 FMEA 지원 도구기반 선행연구단계의 핵심요소 기반 방법론을 구축하고 기존 무기체계 개발 사례를 통한 검증활동을 수행 하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결과 정리 및 공헌에 대해 기술하였다.

2. 문제의 정의

2.1 선행연구단계 핵심요소 도출 및 절차 구축의 필요성

방위력개선사업 선행연구의 전문성과 내실화를 위해 많은 검토항목을 표준화하여 적용하고 있으나 연구기간 및 예산, 연구기관의 수준에 따라 정성적인 기준을 적용하여 검토항목을 선별적으로 적용하고 있다. 따라서 핵심 검토항목이 누락되거나 불필요한 검토항목에 대한 연구수행으로 연구기간이 증가하고 연구결과의 활용성이 저하됨에 따라 향후 사업실패의 주요 원인으로 작용하기도 한다. 이에 따라 선행연구단계에서의 검토항목에 대한 개별 위험원을 식별하고 심각도 및 영향도 평가 기반 핵심요소 도출을 통한 선행연구 수행방안 적용이 필요하다.

2.2 FTA/FMEA 기법을 활용한 선행연구 수행 방법 도출의 필요성

기존의 무기체계 개발선행연구 단계에서 선행연구 단계를 전문가의 지식검토 형태로 접근을 수행하고 있다. 선행연구단계의 핵심요소를 도출하는데 직관에 기반한

접근한 수행의 한계점을 해결하기 위해, 본 연구에서는 시스템 안전분석을 위해 수행되는 FTA와 FMEA 기법을 활용하였다. 두 기법의 접근형태는 구조(Structure)와 영향(Effects) 및 사고(Event) 측면에서 서로 상반된 접근 방식을 기반으로 수행된다. 따라서, 통상 병행 활동을 통해, 상호간에 식별되지 못한 요소를 찾는 데 역할을 함으로 상호보완적 접근법이라고 볼 수 있다. 최근 국방방위력 개선사업을 통해 수행되는 무기체계 개발사업의 종료 후, 다양한 문제로 인적/재산적 피해가 유발되고 있다. 사업관리 측면에서 사전에 이러한 요소를 식별하여 대응한다면, 문제 유발 저감 및 발생 후 대응에 큰 기대효과를 가져올 것이다. 위험요소를 식별하고 이에 따른 결과를 예측 및 평가를 가능하게 하기에 본 연구에서 접근하는 사업관리 기법으로 활용하는 방안을 필요로 하는 시점에 와 있다.

2.3 위험도 기반 방위력 개선 사업의 효용성

본 연구에서 위험도는 방위력 개선 사업관리측면에서 체계의 운용 장애 및 사업관리 지연/실패 등에 미치는 영향을 정량적으로 평가한 결과로 정의한다. 따라서, 체계의 운용 장애 및 사업관리 지연/실패에 영향을 미칠 수 있는 다양한 원인 요소로부터 발생할 수 있는 결과 또는 심각도를 예측 및 평가함에 따라, 정량적 기준을 근간한 방위력 개선사업의 수행이 가능해 진다. 특히, 방위사업 특성상, 일정/기간/체계의 복잡도가 일반 사업의 사업관리 측면보다 범위가 넓기 때문에, 정량적 접근을 기반한 사업관리가 가능해진다는 것은 향후, 매우 큰 사업관리 효과를 가져올 것으로 기대한다.

3. 방위력 개선사업의 선행연구에서 핵심요소 도출 방법론 구축

3.1 FTA/FMEA 기법의 연계 활용모델 구축 방안

본 연구는 안전분석 기법인 FTA/FMEA 기법이 지니고 있는 수행 특징을 활용해, 방위력 개선사업관리에 유용한점을 활용하였다. Fig. 4와 같이, 두 기법의 활용적 관점에서 우선, 기존 방위사업관리규정[1]에 선행연구단계에서 검토할 51개 항목이 지니고 있는 미흡점을 찾아 보완하기 위해 FTA 기법을 활용하였다. 보완된 요소를

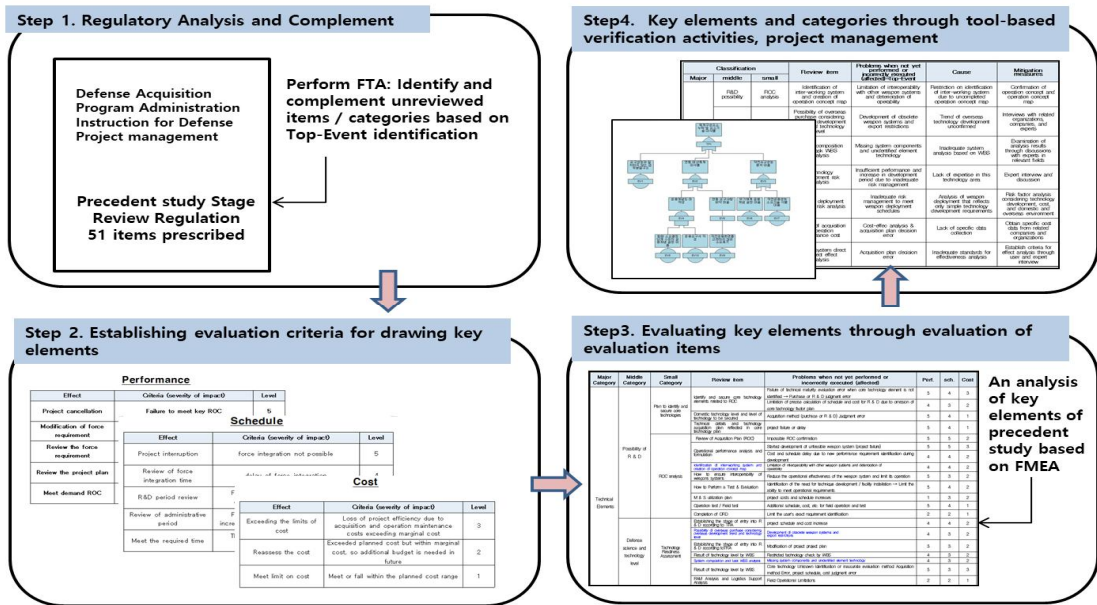


Fig. 4. Precedent study model that links FTA / FMEA techniques

Table 1. Conversion of project management perspective by technique and factor

Techniques and Perspectives	FMEA	Precedent study project management perspective	FTA	Precedent study project management perspective
Performance factor	Structure analysis	Precedent study Item category	Top-Event Identification	Results of project delays / failures
	Function analysis	Precedent study Review factor	Minimal Cutset	Minimum Influence set
	Mode analysis	System type and project point	Gate	project failure / delay mode
	Error analysis	Errors due to project delays / failures	AND	Complex influencing factor
	Impact Analysis	Impact(schedule/performance/cost/risk perspective) of project error (delay/ failure)	OR	Single influencing factor
			Basic Event	Project Delays / Failure Causes factor

만영한 전체 검토항목에 대해서, FMEA 활동을 통해, 개별 항목이 지니고 있는 다양한 관점에서의 특징을 분석하고 이를 기반으로 개별 항목에 대한 평가를 수행하였다. 개별항목에 대해서는 방위력 개선사업에 영향을 미치는 요소를 식별하고, 식별된 요소를 평가할 수 있는 평가지표 및 기준을 제안하여 수행하였다. 평가된 검토항목에 대해서, 정량적 평가를 통해, 사업 지연/실패에 크게 미치는 수치 이상의 활동을 선행연구단계에서 활용될 핵심요소로 활용하였다. 핵심요소 기반의 선행연구단계

의 수행을 위한 과정을 다음과 같이 제시 하고자 한다.

- Step 1. FTA/FMEA 안전분석 기법의 요소를 Table 1 과 같이, 사업관리 관점에서 바라보는 뷰의 변환에 대한 정의를 수행한다.
- Step 2. FTA 수행을 통한, 기존 수행요소 보완 식별 수행.
- Step 3. FMEA 기법 평가핵심 지표 도출 및 평가 기준 정의.

Table 2. FTA Top-Event, Cuase-based review items and category assignment

Problems when not yet performed or incorrectly executed (affected)=Top-Event	Cause	Review item	classification			Mitigation measures	
			small	middle	Major		
Limitation of interoperability with other weapon systems and deterioration of operability	Restriction on identification of inter-working system due to uncompleted operation concept map	Identification of inter-working system and creation of operation concept map	ROC analysis	R&D possibility	Technical element	Confirmation of operation concept and operation concept map	
Development of obsolete weapon systems and export restrictions	Trend of overseas technology development unconfirmed	Possibility of overseas purchase considering overseas development trend and technology level	TRA	Defense science and technology level		Interviews with related organizations, companies, and experts	
Missing system components and unidentified element technology	Inadequate system analysis based on WBS	System composition and task WBS analysis	Technical Alternatives	Technical feasibility and requirement timing		Examination of analysis results through discussions with experts in relevant fields	
Insufficient performance and increase in development period due to inadequate risk management	Lack of expertise in this technology area	Technology development risk analysis	Possibility of achieving force integration time			Expert interview and discussion	
Inadequate risk management to meet weapon deployment schedules	Analysis of weapon deployment that reflects only simple technology development requirements	Weapon deployment schedule risk analysis	Cost analysis	Cost-Effect Analysis		Risk factor analysis considering technology development, cost, and domestic and overseas environment	
Cost-effec analysis & acquisition plan decision error	Lack of specific data collection	Analysis of acquisition & operation maintenance cost	Effect analysis			Economic element	Obtain specific cost data from related companies and organizations
Acquisition plan decision error	Inadequate standards for effectiveness analysis	Weapon system direct / indirect effect analysis					Establish criteria for effect analysis through user and expert interview

- Step 4. FMEA 기법 수행을 통한 전체 수행요소의 위험도 기반 평가 수행.
- Step 5. 위험요소의 영향에 대한 심각도 평가 수행을 통한 핵심 수행요소 식별 수행.
- Step 6. 선행연구단계 핵심요소 기준 수행 절차 식별 및 수행.

3.2 FTA 기반 선행연구단계 검토항목 분석 및 보완 수행

기존 방위사업청 방위사업관리규정의 선행연구단계 검토항목을 보완하기 위해, FTA 기법을 활용하였다. FTA 기법은 Top-Event를 정의하여, Top-Event를 유발시키는 원인이 되는 요소를 식별하는 기법이다. 해당기법의 Top-Event는 선행연구 사업상에 발생할 수 있는 사건의 결과로 정의 하였다. 따라서, 발생할 수 있는 사건을 분석하는데 있어서 식별할 수 있는 능력은 실제 수

행자의 경험을 바탕으로 식별되거나 식별되지 않을 수도 있다는 장단점을 지니고 있다. 경험바탕의 지식 기반 FTA 수행을 통해, 기존에 관리규정에서 고려하지 않는 발생할 수 있는 사건(Top-Event)를 식별하여 이를 기반으로 관련 요소를 검토항목으로 추가하였다.

도출된 핵심요소가 지니고 있지 않는 범주에 속할시 관리 범주를 새롭게 Table 2와 같이 검토 항목을 7가지를 추가하고 추가된 항목은 범주에 따라 분류하여 추가할 수 있었다. 또한, 이러한 사업 관리적 방안은 발생하는 문제점을 가이드 또는 해결하기 위한 지침이 될 수 있는 저감대책을 도출할 수 있었다. Fig. 5는 ‘체계구성 요소 누락 및 요소기술 미식별’이라는 상위수준의 이벤트 결과를 바탕으로 이와 연동되는 원인요소들이 어떠한 것들이 있는지에 대해 찾는 과정이다. 이를 통해, 개별 원인요소에 대해, 사업관리 관점에서 대응책을 마련할 수 있었다.

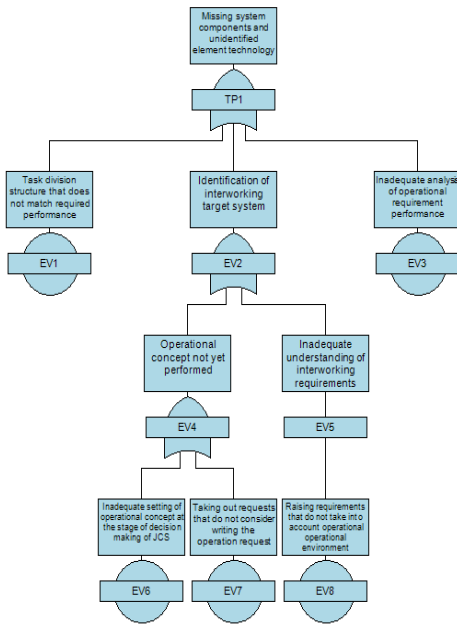


Fig. 5. Analysis and supplementation of key elements based on FTA Top-Event identification

3.3 FMEA 기법 중심의 중요도 반영을 위한 평가기준 확립
 앞서, FTA 활동을 통해, 보완적인 요소 7개 항목을

추가적으로 분석·도출하였다. 따라서, 기존 방위사업청 규정 51개 요소를 포함한, 총 58개의 요소를 기반으로 핵심요소를 도출하는 활동을 수행하였다. 핵심요소를 도출하기 위해서 FMEA 기법을 활용한 중요도 평가 개념을 적용하여 중요도 평가에 따른 핵심요소를 도출하였다. 중요도는 사업의 지연 및 실패에 미치는 영향도에 따른 중요도에 따라 평가하였다. 본 연구에서는 방위력 개선 사업에 미치는 요소를 일정/성능/위험도/비용을 기준으로 식별하였다. 따라서, 평가요소에 대한 평가기준의 정립이 요구되었다. 기존 방위사업청 위험관리 가이드북 기준에 따르면 사업의 종료시점을 기준으로 사업평가를 위한 평가지표로 일정/성능/비용을 기준으로 수행되었지만, 본 연구에서는 최근 무기체계의 안전성 중요도 증대 및 사업관리 관점의 위험 영향이 반영될 필요가 있어, 추가적으로 제시 되었다.

평가지표는 Fig. 6과 같이, 위험도 우선순위 숫자(RPN)값을 구하기 위해, 사업관리 측면에 가장 큰 영향을 미치는 성능, 일정, 비용 관점에서 평가 기준 표를 새롭게 마련하였다. 평가된 점수 RPN 값을 기준으로 최종적으로 5등급의 구분으로 나누어 선행연구단계 핵심지표 2등급 이상, 즉, 사업의 정상 추진 이외의 영향을 미치는 위험원에 대해서는 핵심항목으로 선정하는 기준을 제시 하였다.

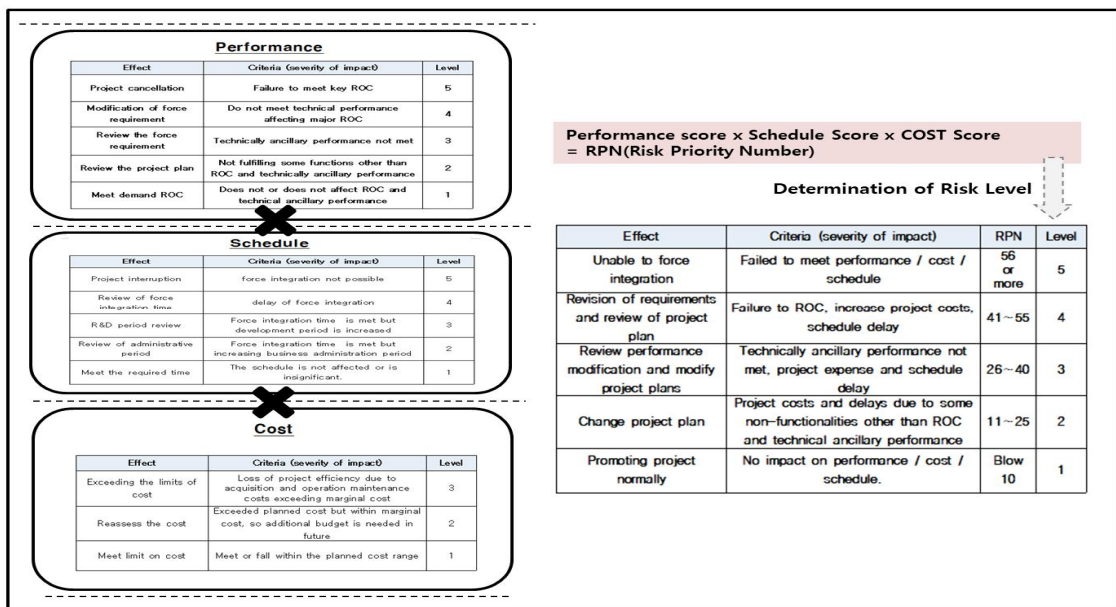


Fig. 6. Project management evaluation metrics matrix based on FMEA

Major Category	Middle Category	Small Category	Review Item	Problems when not yet performed or incorrectly executed (affected)	Perf.	sch.	Cost	RPN	Delete item
Technical Elements	Possibility of R & D	Plan to identify and secure core technologies	Identify and secure core technology elements related to ROC	Failure of technical maturity evaluation error when core technology element is not identified → Purchase or R & D judgment error	5	4	3	60	
				Limitation of precise calculation of schedule and cost for R & D due to omission of core technology factor plan	4	3	2	24	
				Acquisition method (purchase or R & D) Judgment error	5	4	1	20	
			Domestic technology level and level of technology to be secured	project failure or delay	5	4	1	20	
			Technical details and technology acquisition plan reflected in core technology plan	Impossible ROC confirmation	5	5	2	50	
		ROC analysis	Review of Acquisition Plan (ROC)	Started development of unfeasible weapon system (project failure)	5	5	3	75	
			Operational performance analysis and formulation	Cost and schedule delay due to new performance requirement identification during development	4	4	2	32	
			Identification of inter-working system and creation of operation concept map	Limitation of interoperability with other weapon systems and deterioration of operability	4	4	2	32	
			How to ensure interoperability of weapons systems	Reduce the operational effectiveness of the weapon system and limit its operation	5	3	2	30	
			How to Perform a Test & Evaluation	Identification of the need for technique development / facility installation → Limit the ability to meet operational requirements	5	4	2	40	
	M & S utilization plan		project costs and schedule increases	1	3	2	6	○	
	Operation test / Field test		Additional schedule, cost, etc. for field operation and test	5	4	1	20		
		Completion of CPD	Limit the user's exact requirement identification	2	2	1	4	○	
	Defense science and technology level	Technology Readiness Assessment	Establishing the stage of entry into R & D according to TRA	project schedule and cost increase	4	4	2	32	
			Possibility of overseas purchase considering overseas development level and technology level	Development of obsolete weapon systems and export restrictions	4	3	2	24	
			Establishing the stage of entry into R & D according to TRA	Modification of project project plan	3	3	2	18	
			Result of technology level by WBS System composition and task WBS analysis	Restricted technology check by WBS Missing system components and unidentified element technology	4	3	2	24	
			Result of technology level by WBS	Core technology Unknown identification or inaccurate evaluation method Acquisition method Error, project schedule, cost judgment error	5	3	3	45	
	Technical feasibility and timing	Technical Alternatives	RAM Analysis and Logistics Support Analysis	Field Operational Limitations	2	2	1	4	○
			Technology development possibility (performance adequacy according to technology level)	Started development of unfeasible weapon system (project failure)	5	3	2	30	
			Technology development risk analysis	Insufficient performance and increase in development period due to inadequate risk management	4	3	2	24	
			Examination of possibility and method of project promotion according to	Lack of objectivity in determining the type of investment	1	1	1	1	○

Fig. 7. Perform RPN evaluation for key factor

Small Category	Review Item	Effect	Interrelationship	
1-1-1. Plan to identify and secure core technologies	1-1-1-1. Identify and secure core technology elements related to ROC	→	1-1-1-3. Technical details and technology acquisition plan reflected in core technology plan	
	1-1-1-1. Identify and secure core technology elements related to ROC	→	1-1-1-2. Domestic technology level and level of technology to be secured	
	1-1-1-2. Domestic technology level and level of technology to be secured	←	1-1-1-1. Identify and secure core technology elements related to ROC	
	1-1-1-2. Domestic technology level and level of technology to be secured	←	1-2-1-3. Result of technology level by WBS	
	1-1-1-2. Domestic technology level and level of technology to be secured	←	1-2-1-4. TRA of Critical Technology Element	
	1-1-1-2. Domestic technology level and level of technology to be secured	→	1-3-1-6. Domestic Development Technology Protection Plan	
	1-1-1-3. Technical details and technology acquisition plan reflected in core technology plan	←	1-1-1-1. Identify and secure core technology elements related to ROC	
	1-1-1-3. Technical details and technology acquisition plan reflected in core technology plan	←	1-1-2-4. How to Perform a Test & Evaluation	
	1-1-2. ROC analysis	1-1-2-1. Review of Acquisition Plan (ROC)	→	1-1-2-2. Operational performance analysis and formulation
		1-1-2-1. Review of Acquisition Plan (ROC)	→	1-3-1-4. Comparison of Performance, Cost, and Schedule by Acquisition Plans
1-1-2-2. Operational performance analysis and formulation		←	1-1-2-1. Review of Acquisition Plan (ROC)	
1-1-2-2. Operational performance analysis and formulation		←	1-2-1-3. Result of technology level by WBS	
1-1-2-2. Operational performance analysis and formulation		←	1-2-1-4. TRA of Critical Technology Element	
1-1-2-2. Operational performance analysis and formulation		→	1-3-1-4. Comparison of Performance, Cost, and Schedule by Acquisition Plans	

Fig. 8. Informational traceability between key elements

3.4 FMEA 기법 중심의 중요도 반영한 선행연구 조사·분석 핵심요소 도출 및 추적성 확보

앞선 3.3 절의 주요항목 평가기준 표를 바탕으로 Fig. 7과 같이, 개별 검토항목에 대해 성능, 일정, 비용을 바탕으로 평가를 수행하였다. 수행한 결과 값은 RPN 값이 심각도 등급 2등급 이상의 항목을 유지하고 1등급에 해당하는 저위험군 요소는 핵심요소에서 제외하는 절차를 수행하였다. 이를 통해, 총 58개의 검토 요소 중 23개 항목을 삭제하여 35개 항목으로 최종 도출될 수 있었다.

개별 검토항목의 요소로부터 발생가능한 위험결과를 바탕으로 국방 무기체계 개발 사업의 사업지연 및 실패를 초래하는 위험요소 인자에 대한 평가 수행과 이를 기반으로 핵심요소를 도출할 수 있었다. 기존의 핵심지표는 해당 범주 내에서의 활동에 머물렀다. FMEA 기법은 의도한 기능의 추적 및 기능의 오류가 미치는 영향성 및 추적성 확립이 요구되는 기법이다. 따라서, 본 연구에서는 해당하는 핵심지표가 연동하고 있는 핵심지표 요소와의 연동성 확립을 통해, Fig. 8과 같이, 어떠한 범주의 핵심요소와의 연동이 있는지에 대한 추적성 정보 확립을

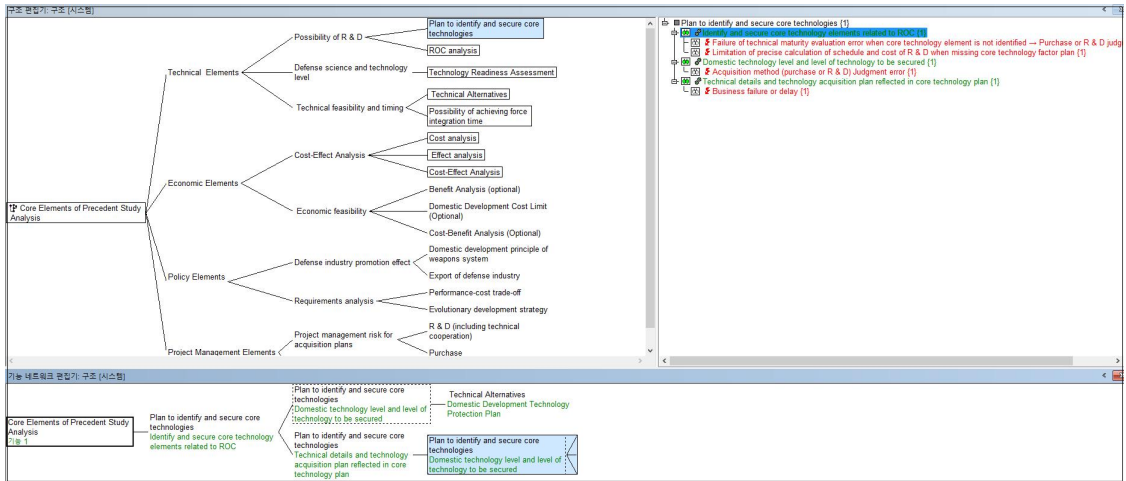


Fig. 9. Examples and validation using FMEA support tools

Table 3. Domestic Defense Weapon System Failure Project Cause Factor Coverage

Classification	Cause of failure	Derived core index	New additions Item
○○○○ Alarm Equipment	· Unidentified core technology associated with ROC	○	
	· Inadequate setting of R & D entry stage due to domestic technology level error	○	
	· Restriction of interoperability with other weapon systems due to unidentified interoperability target and method	○	○
○○○○ Bridge System	· Commencement of development impossible by ROC confirmation impossible	○	
	· Unidentified core technology associated with ROC	○	
	· Inadequate setting of R & D entry stage due to domestic technology level error	○	
	· Unsuccessful overseas purchase considering overseas development trend and technology level	○	○
○○○○○ Protection System	· Errors in selecting R & D organization	○	
	· Unknown identification of test evaluation techniques associated with ROC	○	
	· Failure to identify risk factors for technology development (key performance / test assessment techniques)	○	○

수행하였다. 이는 향후, 사업관리의 위험관리 측면에서 중요한 정보를 제공한다.

4. FMEA 기법 기반 선행연구 분석요소 도출 및 도구기반 수행방법론의 구축/검증활동

4.1 선행연구 조산·분석 활동을 위한 도출된 핵심요소

Table 4는 본 연구를 통해, 최종적으로 도출된 핵심요소이다. 추가된 항목의 경우, 해당 범주 항목에 추가된 요소에 대해 식별하여 표기 하였다. 추가된 항목 7가지를 포함하여, 3.4절에 언급한 RPN 평가 값을 기반으로 ‘대분류-사업관리요소-중분류(획득방안별 사업관리 위험요소), 중분류(식별된 위험요소 관리 방안)’의 범주가 삭제되었다. 기존의 ‘대분류-사업관리요소-중분류(획득방안별 사업관리 위험요소), 중분류(식별된 위험요소 관리방안)’의 경우 상대적으로 RPN 값이 낮게 측정되었으나, 기술/경제적 요소 사업관리 측면과의 일부 중복/연계

Table 4. Review item of key elements of precedent research stage derived through research

Major Category	Middle Category	Bottom Category	Review item
Technical Elements	Possibility of R & D	Plan to identify and secure core technologies	Identify and secure core technology elements related to ROC
			Domestic technology level and level of technology to be secured
			Technical details and technology acquisition plan reflected in core technology plan
		ROC analysis	Review of Acquisition Plan (ROC)
			Operational performance analysis and formulation
			(Add) Identification of inter-working system and creation of operation concept map
			How to ensure interoperability of weapons systems
	How to Perform a Test & Evaluation		
	Operation test / Field test		
	Defense science and technology level	Technology Readiness Assessment	Establishing the stage of entry into R & D according to TRA
			(Add) Possibility of overseas purchase considering overseas development trend and technology level
			Possibility of domestic purchase considering domestic level of technology and development status
			Result of technology level by WBS
			(Add) System composition and task WBS analysis
			TRA Results for CTE
	Technical feasibility and timing	Technical Alternatives	Technology development possibility (performance adequacy according to technology level)
			(Add) Technology development risk analysis
			Whether exploratory development is omitted or full scale development outline plan
			Comparison of Performance, Cost, and Schedule by Acquisition Plans
			Risk factor analysis by acquisition plans
			Developing and securing S / W
Review result of the research institute by the acquisition plans			
Possibility of achieving force integration time		Possibility of achieving force integration time (performance / cost / schedule trade-off)	
(Add) Weapon deployment schedule risk analysis			
Economic Elements	Cost-Effect Analysis	Cost analysis	(Add) Analysis of acquisition & operation maintenance cost
			Budget and financing plan by acquisition plans
			Life Cycle Cost
	Effect analysis	(Add) Weapon system direct / indirect effect analysis	
		Expected performance by acquisition plans	
	Cost-Effect Analysis	Cost-effectiveness analysis by acquisition plans	
Policy Elements	industry promotion effect	Domestic development principle of weapons system	National Defense Acquisition Policy, National R & D Policy
		Export of defense industry	Cooperation between the countries / government in the acquisition plan
	Requirements analysis	Performance-cost trade-off	Operational concept, need for acquisition and appropriate requirements
			Associations with other projects
		Evolutionary development strategy	Application of evolutionary development strategy considering delivery schedule performance

를 고려하여 별도의 새로운 범주로 반영되었다. 선행연구 핵심요소의 추가/삭제 과정을 거쳐 최종적으로 35개의 핵심지표를 구축할 수 있었다.

4.2 FMEA 지원 도구 기반 선행연구단계의 핵심요소 기반 방법론 구축 및 검증

Fig. 9와 같이, IQ-FMEA라는 FMEA 기법 전문 지원 도구를 활용해, 무기체계 선행연구 단계에서 고려되어야 할 핵심요소에 대해, 도구기반의 구축활동을 수행하였다. 이러한 수행을 통해서, 기존에 알수 없었던 영향성 평가를 수행할 수 있었다. FMEA 기반의 수행활동은 기능 및 오류에 대한 네트워크 구축, 다시 말해, 추적성 확립이 중요한 활동이다. FMEA 활동의 주요 요소인 구조 및 기능, 오작동에 대해 사업관리 측면에 해당하는 범주, 핵심요소, 영향에 대해 상호연동성 정보를 파악할 수 있었다. 특히, 기존의 단편적인 단일 항목의 의미에서 벗어나, 상호 연동 범주 및 핵심요소 식별이 되었다는 점에서 사업관리 측면에서의 중요한 연동정보를 제공할 수 있었다. Table 3에서 제시하는 바와 같이, 신규 및 본 방법론을 기반으로 구축된 핵심지표가 기존 사례의 원인에 해당하는 요인에 대해 전체를 커버한다는 측면에서, 본 연구의 핵심지표의 신뢰도 평가를 할 수 있었다. 기존 방위사업청 규정에 포함된 선행연구 핵심요소 51개는 개별 요소의 독립요소로 존재하지만, 본 연구를 통해 제시하는 방법론은 해당 핵심요소와의 상호관계 및 입·출력 관점에서 제시된다는 측면에서 사업관리자 및 사용자로 하여금 가이드가 될 수 있는 정보제공이 가능해 졌다. 또한, Table 4를 통해 제시되는 핵심요소가 지니고 있는 위험요소, 위험요소로부터 발생 가능한 상황(Event)를 제공함으로써, 사업관리자로서 역량 강화에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. Table 3과 같이, 기존 국방 사업에서 문제시 되는 요소에 대해, 도출된 핵심요소를 기반으로 기존 문제점 소요소에 대한 커버 범위가 해당된다는 측면에서 국방 선행연구 단계의 핵심적 사항을 다루고 있다.

5. 결론

본 연구는 FTA/FMEA 안전분석 기법을 국방 무기체계 선행연구단계에서 활용 가능한 연구관점에서 수행되

었다. FTA와 FMEA 기법의 상호보완 요소라는 측면의 특성을 활용해, 보완요소를 식별하여 기존의 무기체계 개발사업, 특히, 선행연구단계에서 고려되어야 할 핵심 요소에 대한 분석 및 도출을 수행하였다. 핵심요소를 도출하기 위해서, 무기체계 개발 선행연구단계 특성을 반영한 평가 지표를 개발하여 기존 지표를 중심으로 핵심요소를 도출하기 위한 방법론을 구축하였다. 구축된 방법론은 기존의 사업관리 기법에서 제시하지 못하는 중요 요소에 대한 평가 및 상호연동성 확보가 가능하다는 장점을 지니고 있다. 이러한 제시된 방법론은 향후, 타 산업 분야에서도 확산/보급 가능하다고 판단된다. 현재 선행연구단계에서 수행하는 핵심요소는 개별 요소의 중점에서 벗어나지 못하지만 도구기반 연동 정보를 활용한다면, 최근 안전성 및 사업관리의 효율화 측면에서 위기 및 대응관리 매뉴얼 생성에 적극 활용되어 보다 가치 있는 활용법이 될 수 있다고 판단된다. 도출된 핵심요소를 기반으로 향후, 선행연구 단계의 핵심요소로 활용된다면, 개발기간 및 비용의 단축을 기대할 수 있다.

References

- [1] Defense Acquisition Program Administration Instruction for Defense Project management, DAPA, 2018.
- [2] Y.S. Song, "A study on the improvement plan of SE-based weapons system R & D", Thesis(Master of Engineering), Weapon Systems, KNDU, Seoul, Dec. 2015.
- [3] M.D. Han, C.H. Son, "Application of systems engineering to the advance study for weapons systems development project", Korea Third Military Academy, 2007.
- [4] Glancey, Jim. "Failure Analysis Methods-What, Why and How." Special Topics in Design. MEEG 466 (2006).
- [5] S. Mergen, W.J. Schreiber-Prillwitz, P. Schmidt-Webe, "An Overview of System Safety Assessment Merging FMEA and FTA for safety analysis of sensors for automotive application", TDK-EPC, Sep. 2016.
- [6] ISO. "26262 - Road vehicles-Functional safety." International Standard ISO/FDIS 26262 2011.
- [7] B. Ward, "Modeling and simulation for mission-based test and evaluation (MBT&E)", in Proc. 27th Annual National Test & Evaluation Conference, March. 17, 2011.
- [8] L. Grello, "Model based systems engineering (mbse) and modeling and simulation (m&s) adding value to test and evaluation (t&e)," in Test and Evaluation Conference, March, 2011.
- [9] T.K. Kim, K.S. Lee, K.B. Wig, K.Y. Kim, J.Y. On, "A

Study on the Improvement of Precedent Study Evaluation Standard”, KDIA, 2016.

- [10] S.Y. Yun, S.H. Lee, J.H. Park, “Study on the promotion method of the precedent study specialization”, SMI, 2014.
- [11] S.Y. Kim, “A Study on the Strategic Priority for Defense Quality Management Factors by using Analytic Hierarchy Process”, Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Sep, 2012.

최 세 근(Se-Keun Choi) [정회원]



- 2006년 2월 : 국방대학교 무기체계학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 충남대 군사학과(석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 (박사과정)
- 2006년 1월 ~ 현재 : 방위사업청 재직

<관심분야>
시스템공학 (SE), Project management, Model-Based SE (MBSE)

김 영 민(Young-Min Kim) [정회원]



- 2016년 2월 : 아주대학교 시스템공학과(공학박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : (주)에스피아이디 시스템엔지니어링사업부 책임엔지니어 재직
- 2016년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 강의
- 2016년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 설계최적화 자문위원

<관심분야>
시스템공학 (SE), Model-Based SE (MBSE), Systems Safety, Systems T&E, Modeling & Simulation

이 재 천(Jae-Chon Lee) [정회원]



- 1977년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 1979년 2월 / 1983년 8월 : KAIST 통신시스템 (석/박사)
- 1984년 9월 ~ 1985년 9월 : 미국 MIT Post Doc 연구원
- 1985년 10월 ~ 1986년 10월 : 미국 Univ. of California 방문연구원
- 1990년 2월 ~ 1991년 2월 : 캐나다 Univ. of Victoria (Victoria, BC) 방문교수
- 2002년 3월 ~ 2003년 2월 : 미국 Stanford Univ. 방문교수
- 1994년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 정교수

<관심분야>
시스템공학 (SE), Model-Based SE (MBSE), Systems Safety, Systems T&E, Modeling & Simulation