

# 국방 선행연구단계에서 안전분석 기법에 기반한 수행프로세스의 개선 및 수행성숙도 평가를 활용한 위험 관리

최세근, 김영민, 이재천\*  
아주대 시스템공학과

## Safety Techniques-Based Improvement of Task Execution Process Followed by Execution Maturity-Based Risk Management in Precedent Research Stage of Defense R&D Programs

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

Ajou University

**요약** 방위력개선사업의 선행연구는 소요가 결정된 무기체계의 효율적 획득방법 결정을 지원하기 위해 수행되는 사업단계로, 선행연구단계에서 수행되어야할 요소를 식별하기 위해 안전분석 과정에서 활용되는 FTA/FMEA 기법의 수행방안을 착안 및 테일러링을 통해 핵심검토 항목 도출을 위한 방법론을 제시하였다. 기존의 연구에서 도출한 핵심요소를 보완하기 위해 핵심요소로부터 발생 가능한 다양한 사건들을 추가 보완 및 분석이 필요했으며 이를 위해 타 산업분야에서 안전분석을 위해 수행하는 HAZOP 기법을 활용하여 핵심요소 도출결과를 보완하였다. HAZOP/FTA/FMEA 기법을 연계하여 도출된 선행연구 단계의 핵심요소에 대해 입·출력 정보 및 연관관계를 설정하여 수행절차를 분석하고 모델화하였다. 또한 선행연구 수행성과에 대해 수행성숙도를 평가하고 성숙도가 낮은 핵심요소에 대해 관련 핵심요소와의 연동정보를 바탕으로 위험도 기반 대응 매뉴얼을 생성하였다. 본 연구결과를 토대로 방위력개선사업 선행연구단계에서 핵심요소 및 수행절차, 위험관리 대응 매뉴얼 적용을 통해 사업추진간 성능·비용·일정을 충족하고 예상되는 위험을 감소시켜 효율적이고 안정적인 방위력개선사업 추진을 기대할 수 있다.

**Abstract** The precedent study stage of defense programs is a project stage that is conducted to support the determination of an efficient acquisition method of the weapon system determined by the requirement. In this study, the FTA/FMEA technique was used in the safety analysis process to identify elements to be conducted in the precedent study stage and a methodology for deriving the key review elements through conceptualization and tailoring was suggested. To supplement the key elements derived from the existing research, it is necessary to analyze various events that may arise from key elements. To accomplish this, the HAZOP technique for safety analysis in other industrial fields was used to supplement the results of key element derivation. We analyzed and modeled the execution procedure by establishing input/output information and association with the key elements of the precedent study stage derived by linking HAZOP/FTA/FMEA techniques. In addition, performance maturity was evaluated for performance of precedent study, and a risk-based response manual was generated based on inter-working information with key elements with low maturity. Based on the results of this study, it is possible to meet the performance, cost, and schedule of the project implementation through application of the key elements and procedures and the risk management response manual in the precedent study stage of the defense program.

**Keywords** : Weapon System, Systems Engineering, Precedent study, Defense project, Failure Mode & Effects Analysis, Fault-Tree Analysis, HAZOP, 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 26, 2018

Revised (1st August 10, 2018, 2nd August 27, 2018)

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018



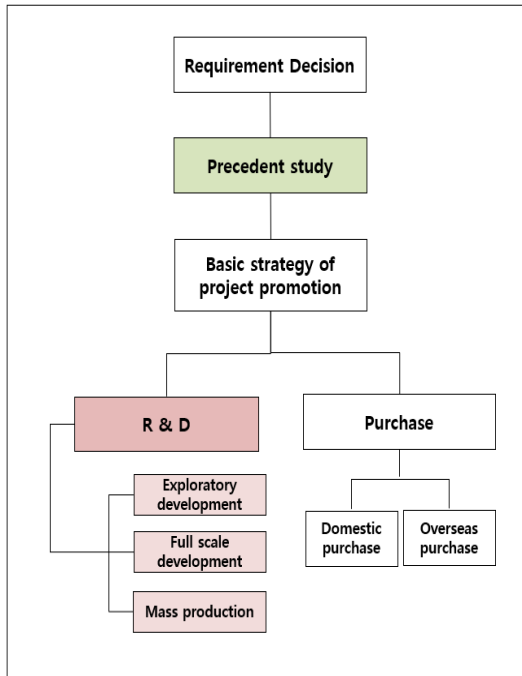


Fig. 2. Weapon System R & D Project Management Procedure

성이 저하되는 문제점 등이 대두됨에 따라 이를 해결하기 위해서는 현재의 선행연구 조사분석시 요구되는 검토요소 중 핵심요소를 도출에 관한 연구가 활발히 진행 중이다[5]. 또한, 도출된 핵심요소를 기반으로 이에 대한 수행 절차를 정립할 수 있는 신뢰성 있는 선행연구 방안 적용이 시급한 실정이다.

본 연구와 관련하여 연구진은 FMEA(Failure Mode Effects Analysis)[6]와 FTA(Fault Tree Analysis)[7]의 안전분석 기법을 사업관리 측면에서 활용하여 방위력개선사업 선행연구 단계의 핵심요소 도출 방법론을 제시하였다. 본 연구에서는 FTA/FMEA 분석기법을 활용하여 도출된 핵심 검토요소(35개)를 Fig. 3과 같이, HAZOP 기법을 활용하여 보완하고 도출된 핵심 검토요소를 기반으로 선행연구 수행모델을 제시하며 선행연구 단계의 위험관리 대응 매뉴얼을 제시하고자 한다. 특히, 수행 모델의 제시를 통해 일원화된 수행방안 제시를 통한 수행결과에 대한 기대 품질의 일관성을 확보할 수 있다.

이와 관련한 연구로는 이기영 외(2010)[8] 방위력개선사업의 무기체계 선행연구에 대한 연구절차와 표준모델을 제시하였으나 선행연구단계에서 검토해야하는 핵

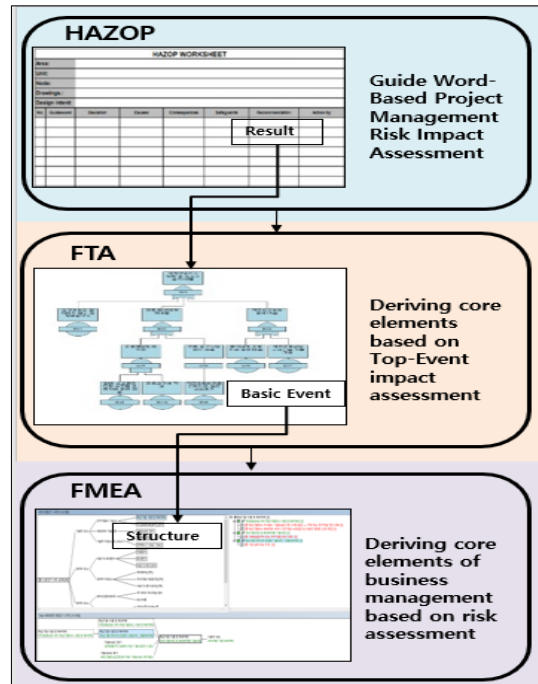


Fig. 3. Defense project management plan based on safety analysis technique

심요소 도출이나 핵심요소간의 상호 연관성 분석을 기초로한 객관성을 제시하지 못하고 있다. SE 기반 위험관리 가이드북(2018)[9]에서는 선행연구단계의 위험관리 목표와 완화활동을 개략적으로 제시하고 있으나 선행연구 핵심요소별 구체적이고 활용 가능한 위험관리 대응방안은 포함하고 있지 않다. 따라서, 사업관리 측면에서 위험관리 방안의 도입이 필요하다. 광상록 외(2014)[10]는 도시철도 대형사고 위기대응 매뉴얼 구성방안에 관한 연구를 수행하였다. 해당연구는 발생 가능한 사고를 경험 중심으로 대응 전략을 구성하고 있다. 하지만, 이러한 접근은 발생 가능한 사고의 원인요소에 대한 체계적 대응 전략을 수립하는데 한계점을 지니고 있다. Bubbico 외(2018)[11]은 위험원을 식별하는데 있어서 본 연구에서 활용한 HAZOP, FTA, FMEA 기법을 활용한 위험원 분석활동을 수행하지만, 해당 기법별 연동정보에 대한 정보는 미흡한 실정이다. 일반적으로 HAZOP 기법은 브레인스토밍에 해당하는 기법으로 사업초기에 적용 가능한 기법으로 우선시 사용되며, FTA와 FMEA는 기법간 접근 방식이 Top-Down 또는 Bottom-up 구조로 접근하는 상반된 접근을 수행하기 때문에 본 연구를 통해서

| 35 Key Element Variables   | 4 Key Guide Words   |   |  |   |
|--|---|---|--|---|
| Variables  | Guide Word  |   |  |   |
|  | No  | Perform formally / Perform theoretically  | Insufficient   | Wrong   |
| Identify and secure core technology elements related to ROC                                      | Restriction on the entry stage of R & D                                 | Restriction on establishing core technology acquisition plan  | Limit identification of core technology elements   | Influence on technical maturity evaluation error  |
| Domestic technology level and level of technology to be secured                                  |   |   |  |   |
| Technical details and technology acquisition plan reflected in core technology plan              | Acquisition Method Judgment Restriction                                 | Restrictions on whether to promote R & D due to lack of specific data                                   | Restriction on judgment of entry stage of R & D  | Acquisition method judgment error   |
| Review of Acquisition Plan (ROC)   | Limit calculation of R & D duration                                     | Limitations on identifying required technologies and core technologies already reflected                | Increased project period due to planned duplication of technology                                    | Project period and cost increase  |
| Operational performance analysis and formulation   | ROC can not be modified   | Restricted use to ROC refinement plan   | Project delays   | Project failure due to field placement restrictions   |
| Identification of inter-working system and creation of operation concept map                     | ROC can not be presented for medium-term plan                           | Restrictions on medium-term plan consensus  | Cost increase due to new demand performance identification during development                        | Failure of business due to development of unfeasible weapon system                          |
| How to ensure interoperability of weapons systems  | Identification of interworking target system                            | Confining interworking target system is limited   | Limit the confirmation of relations with other project   | Operational restrictions, duration and cost increase  |
| How to Perform a Test & Evaluation   | Limit interoperability  | Limit of linking level check  | Project delays   | Project period and cost increase  |
| Operation test / Field test  | Establishing the stage of entry into R & D according to TRA             | Limit the identity of test evaluation facilities / techniques to suit the weapon system characteristics | Due to additional facility and test technique studies, the duration and cost of the project increase | Failure to judge whether ROC is met or not  |
| Establishing the stage of entry into R & D according to TRA                                      | Increase period and costs by limiting ROC compliance                    |   |  |   |
| Possibility of overseas purchase considering overseas  | Increased force integration time  | Limit the identify of field operational tests and requirements in accordance with the weapon system     | Project period increase  | Field Placement Restriction   |
| Possibility of domestic purchase considering domestic level of technology and development status | Restriction on the entry stage of R & D                                 | Restriction on the use of R & D planning  | Project period and cost increase   | Project failure   |
| Result of technology level by WBS  | Acquisition Method Judgment Restriction                                 | Restricted use in determining whether to promote overseas purchase                                      | Loss of opportunity to shorten force integration time  | Development of obsolete weapon systems and export restrictions                              |
| System composition and task WBS analysis   | Acquisition Method Judgment Restriction                                 | Restricted use in determining whether to promote domestic purchasing                                    | Unnecessary project expense and term investment  | Acquisition method judgment error   |
| Result of technology level by WBS  | Acquisition Method Judgment Restriction                                 | Restrictions on identifying the level of technology required for the weapon system                      | Restricted technology verification to WBS  | Acquisition method judgment error, R & D entrance step setting restriction                  |
| Technology development possibility (performance adequacy according to technology level)          | Acquisition Method Judgment Restriction                                 | Limit verification of components of the weapon system   | Missing system components  | Technical maturity and cost analysis error  |
| Technology development risk analysis   | systematic technology maturity assessment and cost analysis limitations |   |  |   |
| Whether exploratory development is omitted or full scale development outline plan                | Acquisition Method Judgment Restriction                                 | Restriction of R & D possibility  | Increase in project period and cost due to lack of judgment on core technology factor                | Acquisition method judgment error   |
| Comparison of Performance, Cost, and Schedule by Acquisition Plans                               | Acquisition Method Judgment Restriction                                 | Limit ROC Appropriateness Judgment  | Project period and cost increase   | Failure of project due to development of unfeasible weapon system                           |
| Risk factor analysis by acquisition plans  | Limitation of planning such as research and development period          | Limit the use of ROC in risk management because it can not identify specific risk factors               | Project period and cost increase   | Unmet performance   |
| Developing and securing S / W  | Restriction on the entry stage of R & D                                 | Restriction on judging whether to skip exploratory development  | Project period and cost increase   | Restrictions on meeting force integration time, overlapping investments in project expenses |
| Review result of the research institute by the acquisition plans                                 | Acquisition Method Judgment Restriction                                 | Limit performance, cost, schedule confirmation by acquisition plan                                      | Comparison limit by acquisition method   | Acquisition method judgment error   |
| Possibility of achieving force integration time (performance / cost / schedule trade-off)        | Acquisition Method Judgment Restriction                                 | Limit the use of risk management because it can not identify specific risk factors                      | Project delay and cost increase due to acquisition method judgment error                             | Project failure due to acquisition method judgment error                                    |
| (Add) Weapon deployment schedule risk analysis   | Limitations on required S / W identification                            | Restricting S / W compliance to the weapon system   | Cost and period required to secure software  | Project failure due to lack of performance  |
| (Add) Analysis of acquisition & operation maintenance cost                                       | Limited judgment on R & D organization                                  | Restriction on the use of research and development subject institute judgment                           | Loss of opportunities to shorten project period  | Unnecessary project costs and time commitment   |
| Budget and financing plan by acquisition plans   | Restriction on force integration time                                   | Limit performance / cost to force integration time correlation  | Loss of opportunities to shorten project period  | Missing force integration time, performance and cost judgment error                         |
| Life Cycle Cost  | Limit the impact factor on force integration time                       | Limit the use of risk management because it can not identify specific risk factors                      | Shortage of technology development period, increase of project cost                                  | Field Placement not possible  |
| Weapon system direct / indirect effect analysis  |   |   |  |   |
| Expected performance by acquisition plans  |   |   |  |   |
| Cost-effectiveness analysis by acquisition plans   |   |   |  |   |
| National Defense Acquisition Policy, National R & D Policy                                       |   |   |  |   |
| Cooperation between the countries / government in the acquisition plan                           |   |   |  |   |
| Operational concept, need for acquisition and appropriate requirements                           |   |   |  |   |
| Associations with other projects   |   |   |  |   |
| Application of evolutionary development strategy considering delivery schedule performance       |   |   |  |   |

Fig. 4. Complementing key elements based on HAZOP technique

Fig. 1과 같이, 국방 사업관리 측면에서 활용 가능한 접근 모델을 제시한다.

따라서, 본 연구에서는 방위력 개선사업 선행연구단계에서 발생 가능한 위험요소를 보다 체계적인 방법을 통해 식별하기 위해, 공학적 위험원 분석 기법을 근간으

로 위험요인 식별, 그리고 이와 관련한 대응 전략을 세우기 위한 위험도 기반 사업관리 대응 매뉴얼을 생성함으로써 체계적 대응전략을 기반으로 사업관리를 수행하고자 한다.

Table 1. Severity Rating Criteria

| Effect   | Criteria (severity of impact)   | Level |
|--|---|-------|
| Unable to force integration                              | Failed to meet performance / cost / schedule  | 5     |
| Revision of requirements and review of project plan      | Failure to ROC, increase project costs, schedule delay  | 4     |
| Review performance modification and modify project plans | Technically ancillary performance not met, project expense and schedule delay                               | 3     |
| Change project plan                                      | Project costs and delays due to some non-functionalities other than ROC and technical ancillary performance | 2     |
| Promoting project normally                               | No impact on performance / cost / schedule.   | 1     |

## 2. 문제의 정의

### 2.1 선행연구단계의 세분화 및 핵심요소 절차 구축의 필요성

본 연구진은 앞서 수행한, 선행연구 단계 핵심요소 도출을 위한 연구 수행을 통해, 35개의 핵심요소를 도출하였다. 기존의 도출된 핵심요소를 체계적으로 수행하기 위해서는 단편화된 기존 선행연구 단계를 보다 세분화 구분하여, 도출된 핵심요소가 어떠한 단계에 속하는지에 대한 구체화 작업이 실무적 관점에서 필요로 하였다. 식별된 핵심요소가 선행연구 단계의 어떠한 단계에 속하고 그와 관련되어 수행되어야 하는 핵심요소의 절차적 관점에서 제시된다면, 핵심요소에 대한 무분별한 활용에 대한 개선 및 가이드 방안으로 활용될 수 있을 것이다.

### 2.2 HAZOP 기법을 활용한 선행연구 핵심요소 도출의 필요성

앞서 수행된 선행연구 단계에서 수행되어야 하는 핵심요소에 대해 보완적인 관점에서 접근이 우선 필요로 하였다. 기존 도출된 핵심요소는 안전분석 기법인 FTA 기법과 FMEA 기법의 혼합 활용을 통해, 분석하고 정제하는 과정을 거쳤다. 그렇지만, 이전에 도출된 핵심요소는 가이드 워드 NO(수행하지 않았을 때)와 Wrong(잘못수행)시 발생될 수 있는 결과 사건(Event)에 대한 분석을 통해, 도출한 핵심요소였다. 해당 연구의 보완적 수행을 위해, 사업관리 초기에 수행 가능한 HAZOP 기법을 활용해 다양한 가이드워드(미흡한 수행, 형식적/이론적 수행 등)의 적용을 통한 사업에 미치는 영향에 대해 분석 결과를 도출하여 새로운 고려 요소를 식별하였다.

### 2.3 위험도 기반 사업관리 대응 시나리오의 효용성

현재 방위력개선사업 관련 지침에는 사업관리 측면에서 개별 사업위험 관리 대응에 관한 지침이나 규정이 존재하지 않는다. 최근 방위사업청은 방위력개선사업 수행에 있어 위험관리 및 이슈관리의 중요성을 인식하여 “SE 기반 위험관리 가이드북[9]”을 발간하였다. 그러나 해당 가이드북의 내용은 실무에 참고할 수 있는 이론적 수준의 내용으로 위험대응한 직접적인 활용은 제한된다. 또한 연구개발단계(탐색개발, 체계개발)를 중심으로 기술되어 있어 선행연구단계에서 적용은 매우 제한적이다.

| REVIEW ORDER   |
|--|
| 3-2-1-1. Operational concept, need for acquisition and appropriate requirements                          |
| 1-2-1-2 Possibility of domestic purchase considering domestic level of technology and development status |
| 1-2-1-5. System composition and task WBS analysis  |
| 1-1-2-3. Identification of inter-working system and creation of operation concept map                    |
| 1-1-2-4. How to ensure interoperability of weapons systems   |
| 1-1-2-1. Review of Acquisition Plan (ROC)  |
| 1-1-2-2. Operational performance analysis and formulation  |
| 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             |
| 1-2-1-4. Result of technology level by WBS   |
| 1-2-1-6. TRA Results for CTE   |
| 1-2-1-1. Establishing the stage of entry into R & D according to TRA                                     |
| 1-1-1-2 Domestic technology level and level of technology to be secured                                  |
| 1-2-1-3. Possibility of domestic purchase considering domestic level of technology and development       |
| 1-3-1-1. Technology development possibility  |
| 1-3-1-6. Developing and securing S / W   |
| 1-3-1-2. Technology development risk analysis  |
| (Add) Analysis logistic support & Supporting element of force integration                                |
| 1-1-2-5. How to Perform a Test & Evaluation  |
| 1-1-2-6. Operation test / Field test   |
| 1-3-1-3. Whether exploratory development is omitted or full scale development outline plan               |
| 1-3-2-1. Possibility of achieving force integration time (performance / cost / schedule trade-off)       |
| 1-3-2-2. Weapon deployment schedule risk analysis  |
| 2-1-1-1. Analysis of acquisition & operation maintenance cost  |
| 2-1-1-3. Life Cycle Cost   |
| 2-1-1-2. Budget and financing plan by acquisition plans  |
| 2-1-2-1. Weapon system direct / indirect effect analysis   |
| 2-1-2-2. Expected performance by acquisition plans   |
| 2-1-3-1. Cost-effectiveness analysis by acquisition plans  |
| 3-1-1-1. National Defense Acquisition Policy, National R & D Policy                                      |
| (Add) Selection of domestic R & D investment entity  |
| 3-1-2-1. Cooperation between the countries / government in the acquisition plan                          |
| 1-3-1-4. Acquisition performance, cost, schedule and comparison table for each acquisition plan          |
| 1-3-1-5. Risk factor analysis by acquisition plans   |
| 1-3-1-7. Review result of the research institute by the acquisition plans                                |
| 3-2-2-1. Application of evolutionary development strategy considering delivery schedule performance      |
| 3-2-1-2. Associations with other projects  |

Fig. 5. Procedures for key elements of the derived precedent study stage

따라서 개발 착수이전 ROC의 적정성, 기술적 수준 등의 위험요소를 식별하고 이에 대한 대응방안이 필요하다. 본 연구에서는 선행연구단계에서 발생가능한 문제점에 대해 위험도 기반 평가를 통한 사업관리 대응방안에 대해 기술하였다. 특히, 기존에 수행한 핵심요소 간의 추적성 정보를 바탕으로 대응 시나리오 생성을 통해 향후, 위기관리 대응능력 향상에 큰 기대효과를 가져올 것으로 예측된다.

### 3. 방위력 개선사업의 선행연구에서 핵심요소 활용 절차 및 선행연구단계 세분화 방법론 구축

#### 3.1 안전분석기법(HAZOP/FTA/FMEA) 기법의 연계 활용모델 구축 방안

앞서 수행된 본 연구진의 선행연구를 통해서 안전분석 기법인 FTA 기법과 FMEA 기법이 지니고 있는 특징을 활용하여 방위력 개선사업 선행연구 단계에서 수행되어야 할 핵심지표를 도출하는데 중점을 두어 활용 및 수행하였다. HAZOP 기법은 브레인스토밍 단계인 초기단계에 사전적 솔루션을 찾기 위한 방안으로 활용되고 있다. 기존에 활용한 FTA/FMEA 기법보다 보다 먼저 수행되어야 할 안전분석 기법이다. 따라서, HAZOP 기법

을 가장 우선화되어 활용되어야 하며, 이후, FTA 기법을 통해, 기존에 식별된 핵심요소에 대한 보완요소를 식별하였다. 최종적으로는 위험도 평가 기법을 기반한 FMEA 기법 수행을 통해, 위험도 관점에서 우선순위가 중요도 순으로 핵심요소를 도출하는 과정을 수행할 수 있었다. 안전분석 기법을 활용한 핵심요소 도출을 위한 기법간 연계 활용 방안은 Fig. 3과 같이 제시한다. 본 연구는 앞서 본 연구팀에서 연구된 FTA-FMEA 기법 수행에 관한 내용은 다루지 않는다. Fig. 4와 같이, 선행연구 단계의 조사·분석항목의 HAZOP 수행은 기존 연구를 통해 식별된 35개 핵심요소를 변수로 고정시키고, 사용된 가이드 워드를 중심으로 발생 가능한 결과 이벤트를 분석하는 과정을 통해, 신규 핵심요소를 분석·도출하는 과정을 수행하였다.

| Input  | Key Elements in the Precedent Study Stage   | Output  |
|--|---|---|
| (1) Weapon System Decision Making Document   | 3-2-1-1. Operational concept, need for acquisition and appropriate requirements                           | (2) Calculate the required amount   |
| (1) Weapon System Decision Making Document   | 1-2-1-2. Possibility of domestic purchase considering domestic level of technology and development status | (3) Foreign weapon system performance and technology level<br>(4) Foreign similar weapon system structure |
| (1) Weapon System Decision Making Document<br>(4) Foreign similar weapon system structure                                  | 1-2-1-5. System composition and task WBS analysis   | (5) System composition diagram and WBS  |
| (1) Weapon System Decision Making Document   | 1-1-2-3. Identification of inter-working system and creation of operation concept map                     | (6) Operational concept map   |
| (1) Weapon System Decision Making Document   | 1-1-2-4. How to ensure interoperability of weapons systems  | (7) Interoperability Requirements Level   |
| (1) Weapon System Decision Making Document   | 1-1-2-1. Review of Acquisition Plan (ROC)   | (8) ROC Feasibility Analysis Results  |
| (8) ROC Feasibility Analysis Results<br>(17) The possibility of development of technology and ROC adequacy review result   | 1-1-2-2. Operational performance analysis and formulation   | (9) ROC Amendment   |
| (9) ROC Amendment  | 1-1-1-1. Identify and secure core technology elements related to ROC                                      | (10) List of Core Technology Elements   |
| (10) List of Core Technology Elements  | 1-1-1-3. Technical details and technology acquisition plan reflected in core technology plan              | (11) Technology and security plan reflected in Core Technology Plan                                       |
| (5) System composition diagram and WBS   | 1-2-1-4. Result of technology level by WBS  | (12) TRL results  |
| (10) List of Core Technology Elements  | 1-2-1-6. TRA Results for CTE  | (13) TRA results for CTE  |
| (13) TRA results for CTE   | 1-2-1-1. Establishing the stage of entry into R & D according to TRA                                      | (14) Establishment stage of research and development (exploratory development or full scale development)  |
| (11) Technology and security plan reflected in Core Technology Plan<br>(13) TRA results for CTE                            | 1-1-1-2. Domestic technology level and level of technology to be secured                                  | (15) Technology level of domestic companies and institutions  |
| (15) Technology level of domestic companies and institutions   | 1-2-1-3. Possibility of domestic purchase considering domestic level of technology and development        | (16) Domestic purchase possibility analysis result  |
| (15) Technology level of domestic companies and institutions   | 1-3-1-1. Technology development possibility   | (17) The possibility of development of technology and ROC adequacy review result                          |
| (8) ROC Feasibility Analysis Results   | 1-3-1-6. Developing and securing S / W  | (18) S / W development scope and development plan   |
| (13) TRA results for CTE   | 1-3-1-2. Technology development risk analysis   | (19) Technology development risk analysis result  |
| (9) Operational concept map<br>(8) ROC Feasibility Analysis Results  | (Add) Analysis logistic support & Supporting element of force integration                                 | (38) Plan for securing the supporting element of force integration  |
| (8) ROC Feasibility Analysis Results   | 1-1-2-5. How to Perform a Test & Evaluation   | (20) Implementation of Test & Evaluation  |
| (20) Implementation of Test & Evaluation   | 1-1-2-6. Operation test / Field test  | (21) Operation test / Field test evaluation method  |
| (14) Establishment stage of research and development (exploratory development or full scale development)                   | 1-3-2-1. Possibility of achieving force integration time (performance / cost / schedule trade-off)        | (23) force integration time plan  |
| (23) force integration time plan   | 1-3-2-2. Weapon deployment schedule risk analysis   | (24) Results of deployment schedule factor analysis   |
| (5) System composition diagram and WBS<br>(17) The possibility of development of technology and ROC adequacy review result | 2-1-1-1. Analysis of acquisition & operation maintenance cost   | (25) Analysis result of acquisition cost / operation maintenance cost by acquisition plan                 |
| (25) Analysis result of acquisition cost / operation maintenance cost by acquisition plan                                  | 2-1-1-3. Life Cycle Cost  | (26) Life Cycle Cost Analysis Results   |
| (25) Analysis result of acquisition cost / operation maintenance cost by acquisition plan                                  | 2-1-1-2. Budget and financing plan by acquisition plans   | (27) Budget formation by acquisition plan   |
| (8) ROC Feasibility Analysis Results   | 2-1-2-1. Weapon system direct / indirect effect analysis  | (28) Analysis of effects by acquisition plan  |
| (26) Life Cycle Cost Analysis Results  | 2-1-2-2. Expected performance by acquisition plans  | (29) Expected performance analysis results by acquisition plans   |
| (25) Analysis result of acquisition cost / operation maintenance cost by acquisition plan                                  | 2-1-3-1. Cost-effectiveness analysis by acquisition plans   | (30) Cost-Effect Analysis by acquisition plans  |
| (8) ROC Feasibility Analysis Results   | 3-1-1-1. National Defense Acquisition Policy, National R & D Policy                                       | (31) As a result of reviewing whether it meets policy   |
| (31) As a result of reviewing whether it meets policy  | (Add) Selection of domestic R & D investment entity   | (39) Domestic R & D investment subject review result  |
| (29) Expected performance analysis results by acquisition plans<br>(31) As a result of reviewing whether it meets policy   | 3-1-2-1. Cooperation between the countries / government in the acquisition plan                           | (32) Cooperation among countries or ministries by acquisition plan  |
| (8) ROC Feasibility Analysis Results<br>(17) The possibility of development of technology and ROC adequacy review result   | 1-3-1-4. Acquisition performance, cost, schedule and comparison table for each acquisition plan           | (33) Comparison of Acquisition Performance, Cost, and Schedule by Acquisition Plans                       |
| (19) Technology development risk analysis result<br>(24) Results of deployment schedule factor analysis                    | 1-3-1-5. Risk factor analysis by acquisition plans  | (34) Risk factor analysis by acquisition plan   |
| (8) ROC Feasibility Analysis Results   | 3-2-2-1. Application of evolutionary development strategy considering delivery schedule performance       | (36) Evolutionary development strategy  |
| (7) Interoperability Requirements Level  | 3-2-1-2. Associations with other projects   | (37) Analysis result of connection with other projects  |

Fig. 6. Analysis of key element execution procedure of precedent study stage based on input / output information

### 3.2 선행연구단계 핵심요소 절차화 방안 모델 구축

기존 선행연구를 통해, 본 연구팀은 방위사업청 방위 사업관리규정의 선행연구단계 검토요소를 35개 식별하였고, 이를 기준으로 4개의 가이드워드를 활용하여 HAZOP 기법을 수행하였으며 그 결과, Fig. 4와 같이 총 140가지의 발생 가능한 위험을 식별하였다. 식별된 발생 가능한 위험에 대해 기존 연구를 통해 제시한 심각도 평가기준(Table. 1.)을 적용하여 사업 실패에 해당하는 Level 4 이상의 48개 위험을 식별하였다. 이후 Fig. 4의 왼쪽과 같이 기존 도출된 핵심요소 35개와 핵심요소를 포함한 범주를 기반으로 새롭게 식별된 48개 위험원과의 연관성을 분석하여 2개의 핵심요소(군수지원 및 전력 화지원분석, 국내연구개발 투자주체 선정)을 추가 확인하여 총 37개 요소를 식별하였다. 식별된 핵심요소를 가지고서는 활용자 측면에서 검토요소별로 어떻게 수행할 지에 대한 문제를 제기될 수 있다. 이러한 취약점을 보완하기 위해서 단계적 접근을 기반한 핵심요소 수행에 관한 절차화 방안을 제시하였다.

- Step 1. 기존 선행연구 단계 핵심 검토요소에 대한 HAZOP 기법을 통한 입·출력 산출물을 보완한다.
- Step 2. 선행연구단계 핵심 검토요소의 입·출력 정보 간 연관 관계 설정
- Step 3. 선행연구단계 핵심 검토요소별 그룹설정
- Step 4. 핵심 검토요소별 연관관계 및 그룹설정에 기초한 연구수행단계 정립

제시된 절차를 기반으로 수행은 Fig. 6과 같다.

### 3.3 선행연구 수행절차 세분화 모델 구축

앞서, 3.1절과 3.2절의 활동을 통해, HAZOP 활동과 최종 도출된 핵심요소를 기반으로 입·출력 산출물 및 수행활동의 속성정보를 바탕으로 수행 절차에 관해 분류하여 Fig. 5 구성의 상위구성요소로부터 시작하여 하단의 구성까지의 순으로 수행절차를 마련할 수 있었다. 입·출력 산출물과 해당 검토항목의 속성정보의 군집화 과정을 통해, 핵심요소간 군집화 과정을 수행하였다. 동일한 요소간에 같은 색으로 표기하여 그룹에 대한 정보를 구분/식별할 수 있도록 제시 하였다. 그룹화된 선행연구 절차는 Fig. 7과 같이, 총 8단계 과정으로 구성됨을 식별할 수 있었다. 개별 상세 단계별 수행되는 주요 활동 및 특징에 대해 기술하여 활용도 측면을 높이고자 하였다.

## 4. 선행연구단계의 핵심요소 위험 평가기반 위험관리 대응 매뉴얼 구축

### 4.1 핵심요소의 위험도기반 위기관리 대응 매뉴얼 수행항목 선정 방안

총 37개의 도출된 선행연구 단계 핵심요소에 대해서, 개별 요소가 지닌 위험요소의 상황에서 핵심요소가 지니고 있는 수행 성숙도 평가를 Table. 2의 개별 배점 항목의 80% 이하 달성 시 본 연구에서 제시하는 위험도 기반 위기관리 대응 매뉴얼 수행 항목을 선정하게 된다. 현재 방위력개선사업의 선행연구 결과평가는 80% 이상 달성 시 다음 사업단계의 진입을 허용한다. 도출된 핵심

| Precedent Study Stage  |  |   |   |   |  |  |  |
|--|--|---|---|---|--|--|--|
| 1. Project need analysis<br>◦ Enemy threat analysis<br>◦ Current force operation status<br>◦ Status of overseas similar weapon systems and development trend | 2. R & D possibility analysis<br>◦ System and operational concept analysis<br>◦ ROC analysis and specification<br>◦ Identification of core technology elements and TRA | 3. Reviewing force integration time<br>◦ Review the adequacy of force integration time<br>◦ Reviewing measures to meet force integration time | 4. Cost analysis<br>◦ Analysis of the acquisition/operation and maintenance cost by each acquisition plan | 5. Effect analysis<br>◦ Direct / indirect effect analysis of weapon systems<br>◦ Expected performance for each acquisition plan | 6. Cost-Effect Analysis<br>◦ Cost-effective-ness analysis of each acquisition plan | 7. Analysis of policy aspects<br>◦ Analysis on Defense Acquisition Policy<br>◦ Identification of cooperative elements between countries /ministries by each acquisition plan | 8. Identify acquisition plan and derive optimal acquisition plan<br>◦ Acquisition performance, cost, schedule and comparison table for each acquisition plan<br>◦ Risk Factors for Each Acquisition Plan<br>◦ Suggestion of optimal acquisition plan |

Fig. 7. Detailed precedent study stage

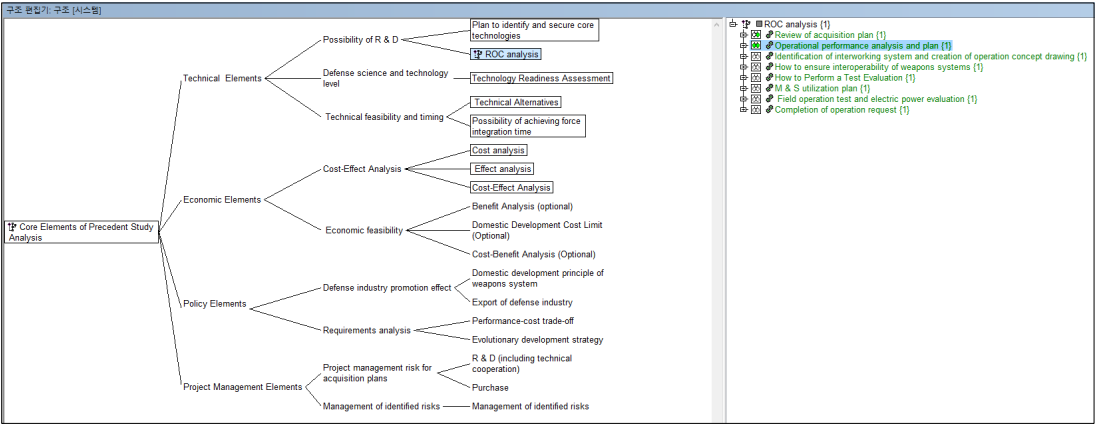
요소가 Table. 2의 어느 범주에 해당하는지부터 분석하여, 해당 범주에서 요구하는 평가 세부요소에 대한 평가를 수행하여야 한다.

Table 2. Performance evaluation tables for key elements of precedent study

| Major Category  | Middle Category  | Small Category                                | Detailed evaluation factor  | Distribution                                     | score  |
|---|--|---|---|--|--|
| Technical Elements  | Possibility of R & D   | Plan to identify and secure core technologies | · Did you identify key technical elements versus ROC and reflect your acquisition plans?<br>(Including the technical details reflected in the core technology plan) | 7  |  |
|   |  |   | · Did you present the level of domestic technology and the level of technology required to secure it in the future?   | 1.5  |  |
|   |  | ROC analysis                                  | · Did you review / analyze the proposed ROC and provide a refinement plan?  | 11   |  |
|   |  |   | · Has the concept of operation been drawn up based on the interlocking target system and reflected the measures to secure interoperability?                         | 6  |  |
|   |  |   | · Did you analyze the technology and facilities required for the test evaluation and present the test evaluation plan including the field operation test?           | 6  |  |
|   | Defense science and technology level   | Technology Readiness Assessment               | · Have you judged the possibility of purchasing considering the overseas development trend and domestic technology level?   | 4  |  |
|   |  |   | · Is the CTE selected based on the division of work and the TRA valid?<br>(Check TRA guidelines compliance)   | 9  |  |
|   |  |   | · Is the R & D entry stage appropriate?   | 3  |  |
|   | Technical feasibility and timing   | Technical Alternatives                        | · Did you judge the possibility of technology development for the proposed ROC?   | 3  |  |
|   |  |   | · Did you identify the risk factors between technology development?   | 1.5  |  |
|   |  |   | · Has the exploratory development omission or full scale development outline plan been presented?   | 1.5  |  |
|   |  |   | · Did you provide a comparison table for acquisition performance, cost, and schedule for each acquisition plan?   | 5  |  |
|   |  |   | · Have you analyzed the risk factors for each acquisition plan?   | 1.5  |  |
|   |  |   | · Did you identify and secure the S / W requirements for development?   | 1.5  |  |
| · Did you appropriately select the R & D organization for each acquisition plan?                          |  |   | 1.5   |  |  |
| · Have you analyzed the possibility of achieving force integration timing considering performance / cost? |  |   | 3   |  |  |
| Economic Elements   | Cost-Effect Analysis   | Cost analysis                                 | · Is the acquisition and operating expenses separated?  | 1.5  |  |
|   |  |   | · Did you provide the annual budget for each acquisition plan?  | 1.5  |  |
|   |  |   | · Have you analyzed the cost taking into account the total life cycle?  | 3  |  |
|   |  | Effect analysis                               | · Has the direct and indirect effects of the acquisition been reasonably analyzed?  | 2  |  |
|   |  |   | · Have you analyzed the expected performance of each acquisition plan?  | 4.5  |  |
|   |  | Cost-Effect Analysis                          | · Have you analyzed the expected effects of each acquisition plan?  | 7  |  |
|   |  | Policy Elements                               | Defense industry promotion effect   | Domestic development principle of weapons system | · Did you judge compliance with defense acquisition policy and R & D policy for each acquisition plan? |
| Export of defense industry  | · Has the analysis of inter-country or inter-governmental collaboration needs been analyzed? |   |   | 2.5  |  |
| Requirement analysis  | Performance-cost trade-off   |   | · Did you make the appropriate requirements analysis considering the acquisition need and operational concept?  | 2.5  |  |
|   |  |   | · Did you identify other projects that could affect performance / cost / schedule?  | 1.5  |  |
|   | Evolutionary development strategy  |   | · Has an evolutionary development strategy been presented?  | 5  |  |
| <b>Sum</b>  |  |   |   | <b>100</b>                                       |  |



Table 3. Template for risk based project management response manual

| Risk factor ID   | Risk factor   |
|--|---|
| Fill in the identified risk factor number through the HAZOP technique.   | Fill in the identified risk factors through the HAZOP technique.        |
| Risk classification  | Associated precedent study review elements                              |
| Write the major categories of the elements of the precedent study review items   | Describe the precedent study review items correlated with risk factors. |
| Risk content   |   |
| Details of the identified risks for each item reviewed in the precedent study are described in detail.   |   |
| Actions and Procedures   |   |
|   |   |
| <p>Analyze and prepare the procedures to mitigate the described risk by considering the related precedent study items. The countermeasures and procedures are structured on the basis of the composition and relationship / influence of the risk management response manuals described below.</p> |   |

#### 4.2 핵심요소의 위험도기반 위기관리 대응 매뉴얼 템플릿 생성

Table. 3은 본 연구를 통해, 제시된 Table. 2의 선행연구 단계 성숙도 평가를 통해, 식별된 수행 성숙도가 상대적으로 낮은(80% 이하 점수) 항목에 대해, 제시되는 위험기반 사업관리 대응 매뉴얼 템플릿을 기반으로 수행되어야 한다. 제시되는 템플릿은 위험도 기반의 수행이 반영되기 위해서 위험요소 식별, 식별된 위험요소의 ID 부여, 범주의 분류, 연관된 선행연구 항목에 대해서 식별되어야 한다. 현재 선행연구 단계에서 수행되는 핵심요소는 해당 요소만의 관점에서 바라보지만, 제시되는 대응 매뉴얼은 관련된 범주 및 핵심요소를 포함한 연동 기반의 템플릿 정보를 담고 있다. 해당 위험요인에 대한 내용을 상세히 기술하고 이에 대한 대응 방안 및 절차를 포함하고 있다. 대응 방안 및 절차는 기존 연구를 수행된 FMEA 기반 접근을 통해 구축된 조직/수행적(기능적)

관점에서의 연동 정보체계를 활용하였다. 해당하는 핵심요소와 연계되는 다양한 인자에 대한 연관 관계 정보 기반의 대응 및 수행절차를 체계적으로 구축하였다.

#### 4.3 위험도 기반 선행연구 핵심요소 위기관리 대응 매뉴얼 구축 및 검증

Table. 4와 같이, “중기전환 ROC(요구성능 구체화) 제시 불가”라는 위험요소에 대한 사례를 다루었다. 해당 위험요소 ID는 Fig. 4의 상단에서 5번째 위치한 위험요소에 해당하며, 해당된 위험요소 마다, Fig. 4의 HAZOP 수행을 통해, 수행된 개별 가이드위드별 A, B, C, D로 구분하여, 핵심요소인 변수별 가이드위드의 조합에 따른 발생 결과 이벤트를 대상으로 위험요소 ID를 부여 하였다. 해당 요소는 Table. 2의 평가표에 근거하여 수행 성숙도 평가에서 80%이하 성숙도 결과를 바탕으로 가정하여 수행되었다. “중기 전환 ROC 제시 불가”는 Table.

Table 4. Case study on risk based project management response manual

| Risk factor ID  | Risk factor  |
|---|--|
| 5-A   | ROC can not be presented for medium-term plan<br>(Failure to specify required performance)   |
| Risk classification   | Associated precedent study review elements   |
| Technical Elements  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-1-2-1. (1.0) Review of Acquisition Plan (ROC)</li> <li>• 1-2-1-4. (1.0) Result of technology level by WBS</li> <li>• 1-2-1-6. (1.0) TRA Results for CTE</li> <li>• 1-3-1-4. (0.1) Acquisition performance, cost, schedule and comparison table for each acquisition plan</li> </ul> |
| Risk content  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Since the analysis of the technical feasibility of each required ROC item is insufficient, it is limited to confirm that it is a feasible requirement</li> <li>• Limit the identification of interrelationships with other ROC items as the need for ROC items is not confirmed.</li> <li>• Because there is no analysis by ROC item, it is not possible to present more specific ROC required to reflect mid-term plan</li> </ul>   |  |
| Actions and Procedures  |  |
| <pre> graph LR     A[ROC analysis Review of acquisition plan] --&gt; B[Technology Readiness Assessment: The results of the technology level survey]     A --&gt; C[Technology Readiness Assessment: Maturity rating of core technology element (CTE)]     B --&gt; D[ROC analysis Operational performance analysis and plan]     C --&gt; D     D --&gt; E[Technical Alternatives Acquisition Performance by Acquisition Plan □ Cost □ Schedule and Comparison Chart]     </pre>  |  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perform a feasibility analysis on the required ROC and reflect the results             <ul style="list-style-type: none"> <li>* It analyzes and reflects the necessity and feasibility of each ROC item</li> </ul> </li> <li>2. Identify required technology and analyze technology level based on WBS</li> <li>3. Identify the CTE of the technology required and assess the TRA through expert groups             <ul style="list-style-type: none"> <li>* When experts are selected, utilize expert pool of Defense Agency for Technology and Quality</li> </ul> </li> <li>4. Apply specific ROC when comparing acquisition performance, cost, and schedule for each acquisition plan</li> <li>5. Identify additional features / capabilities through expert group discussions and present specific ROC</li> </ol> |  |

3에서 제시되는 바와 같이, FMEA 기반의 구조/수행 관점에서 구축된 구조/기능 및 관계/영향 정보를 바탕으로 해당 범주의 정보가 “기술적 요소”임을 알 수 있다.

핵심요소간의 연동정보를 기반으로 분석 대상의 핵심요소가 선행 또는 후행에 연동되는 정보가 있을 시, 그 해당 정보는 동일 범주 또는 기타 범주에 속하는 핵심요소와의 연동 정보를 포함하고 있다. 예를 들어, (0,1)은 해당 핵심 지표를 대상으로 선행 연동 정보가 없을 경우 괄호 안의 앞의 숫자는 0에 해당하며, 연동되는 정보가 있을 시 1이라는 표기를 통해, 후행 요소와 상호 연동정보를 제공하고 있음을 나타낸다. 따라서, 범주 “ROC 분석”에 해당하는 핵심지표 “작전운용성능 분석 및 구체화 방안마련”과 관련해, 선행 또는 후행에 해당하는 연동

정보를 바탕으로 대응 방안 및 절차에 관한 내용을 기술하였다. 기존의 선행연구단계에서의 문제가 발생시, 사업관리자의 역량과 경험에 의존한 대응책이 이행되고 있는 실정이다. 본 연구를 통해 제시되는 핵심요소가 지니고 있는 다양한 범주는 국방 사업관리 측면에서 다루어져야 할 다양한 요소가 존재하는데, 이러한 다양한 요소 기술을 사업관리자가 전부 통제 및 관리하는데 한계가 있는 게 현실이다. 따라서, Table. 4와 같이, 하나의 핵심요소가 지니고 있는 연동 정보가 존재한다면, 이로 인해, 다양한 연계 핵심요소로부터 발생할 수 있는 선행연구 단계 사업관리 문제점을 효율적으로 대응하고 관리할 수 있는 방법이 된다.

## 5. 결론

본 연구는 기존의 수행된 FTA/FMEA 안전분석 기법 기반의 수행된 도출된 핵심요소를 보완하기 위한 방안으로 HAZOP 방안을 활용하였다. 다양한 위험인자를 식별하고 이를 기반으로 반영해야 할 핵심요소를 추가 반영하는 방안을 제시 하였다. 도출된 핵심요소를 기존의 수행 및 경계가 불명확한 선행연구 단계에 대한 핵심요소의 속성 및 수행절차 마련을 통해 선행연구 단계를 총 8 단계로 보다 상세화 시킬 수 있었다. 해당 정보를 바탕으로 현재, 방위사업 관리규정에서 다루고 있지 않은, 위험도 기반의 사업관리 대응 매뉴얼 생성에 관한 연구를 수행하였다. 해당 연구를 통해, 상호 연동 정보를 기반한 위험도 대응 매뉴얼 생성에 관해 수행할 수 있었다. 상호 연동 기반 대응 매뉴얼은 핵심요소가 속한 범주 이외의 범주와도 연동 정보를 제공한다는 점에서 유용한 분석적 정보를 제공가능하다. 이러한 위험도 기반 사업관리 대응 매뉴얼 생성은 타 산업 분야에서도 확대 적용 가능하다고 판단된다. 무기체계 산업 역시, 안전성 및 사업관리의 효율성이 강조되고 있다. 이러한 측면에서 위험도 기반의 사업관리 대응 매뉴얼이 적극 활용된다면, 향후, 선행연구 단계에서 사업관리 측면의 제반요소를 충분히 검토함으로써 요구성능을 충족하고 개발기간 및 비용을 단축하며 위험상황 발생 시 효율적으로 대처할 있는 사업관리기법으로 기대할 수 있다.

## References

- [1] Department of Defense Instruction for Defense Force Development, Department of Defense, 2017.
- [2] K.Y. Wig, C.S. HA, C.H. Jeon, J.H. Lee, "Effective linkage between weapons system decision making and project promotion methods", Korea Institute for Military Affairs, 2014.
- [3] W.J. Pyun, S.K. Kim, J.H. Lee, "An Empirical Study on Managerial Factors Affecting Performance of Defense R&D Projects", Journal of Information Technology Applications & Management, The Korea Database Society, vol.16(No.4), pp. 223-224, Dec. 2009.
- [4] Defense Acquisition Program Administration Instruction for Defense Project management, DAPA, 2018.
- [5] S.Y. Yun, S.H. Lee, J.H. Park, "Study on the promotion method of the precedent study specialization", SMI, 2014.
- [6] Glancey, Jim. "Failure Analysis Methods-What, Why

and How." Special Topics in Design. MEEG 466 (2006).

- [7] 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.
- [8] K.Y. Lee, B.R. Lee, H.Y. Lee, "Standard Model of Weapon systems Feasibility Study", Defense Agency for Technology and Quality, Seoul, Tech. Rep. DtaQ-10-2472-R, Nov. 2010.
- [9] DAPA, "Systems Engineering Risk Management Guidebook", 2018.
- [10] S.L. Kwak, W.H. Park, D.H. Koo, "A Study on Emergency Response Manuals for Urban Train Accident", 2014 Annual Meeting & Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp.669-673, 2014.
- [11] Bubbico, Roberto, Viviana Greco, and Carla Menale. "Hazardous scenarios identification for Li-ion secondary batteries." Safety science 108, pp.72-88, 2018.

### 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 책임 엔지니어 재직
- 2017년 9월 ~ 현재 : 경기도 교육청 시스템설계 및 연구수행 기법 강의
- 2016년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 강의

<관심분야>

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

**이 재 천**(Jae-Chon Lee)

[증신회원]



- 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