

수상함 개발에서 기술성숙도, 난이도 및 중요도 기반의 위험도 평가 방안

김 경 환* · 이 재 천**

*국방기술품질원(아주대학교 시스템공학과) · **아주대학교 시스템공학과

On a Risk Assessment Methodology based on the Technology Readiness Levels, Degrees of Difficulty, and Technology Need Values in the Development of Naval Surface Ships

Kyong-Hwan Kim* · Jae-Chon Lee**

*Defense Agency for Technology and Quality(Dept. of Systems Engineering, Ajou University)

**Dept. of Systems Engineering, Ajou University

Abstract

The objective of this paper is to propose a method of how to perform risk assessment in the early stage of defense research and development for the acquisition of weapon systems. An advanced method for risk assessment and its associated objective functions are developed first based on the concept of systems engineering. The developed method is then applied to carry out the analysis of alternatives in the trade-off environments. As a case study, the multi-purpose training ship is considered, where it is performed using the notions of technology readiness levels, degrees of difficulty, and technology need values to facilitate design space visualization and decision maker interaction. It is noted that decision makers can benefit from our approach as an improved risk assessment method in the context of multi-criteria decision making.

Keywords : Systems Engineering, Technology Readiness levels, Risk Assessment

1. 서 론

무기체계는 획득 단계는 소요제기, 선행연구, 탐색개발, 체계개발, 양산 단계로 구분되며, 국내 선행연구 단계에서는 요구사항 분석, 무기체계 및 함정 설계개념에 대한 기술적 분석, 타당성 검토 등을 통해 획득대안에 대한 합리적인 의사결정을 지원하고 있다.

미국의 경우 국내 선행연구 단계와 유사한 요구사항 탐색 및 개념 개발 단계에서 시스템공학(Systems Engineering) 프로세스를 기반으로 무기체계를 구성하

는 설계 변수들 간의 설계조합을 통해 요구사항을 충족시킬 수 있는 다양한 설계 변수들을 대상으로 비용대 효과 및 위험도를 종합적으로 평가함으로써 최적의 획득 대안을 도출하고 있다.

본 연구에서는 국내외에서 무기체계 획득단계별 단계전환 및 의사결정을 위한 판단으로 적용하고 있는 기술성숙도(TRL : Technology Readiness Level) 지표를 활용하여 연구개발 사업의 위험도 평가의 계량적인 지표로 활용할 수 있는 방안을 연구하였다.

† 교신저자 : 김경환, 서울시 중립구 중립동 441번지, 한국경제신문사 빌딩 5층, 국방기술품질원

M · P: 010-2332-4752, E-mail: seahope21@nate.com

2012년 7월 16일 접수; 2012년 9월 4일 수정본 접수; 2012년 9월 4일 게재확정

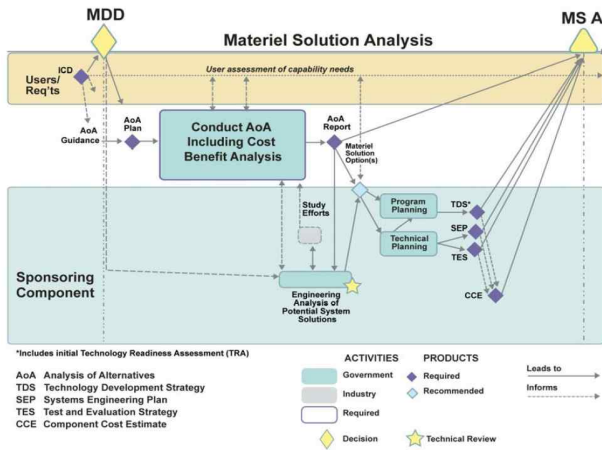
또한 위험도 평가(Risk Assessment)시 기술성숙도가 나타나지 못하는 항목인 기술의 중요도와 난이도를 동시에 고려한 평가 방안을 제시하였고, 특히 실증적 사례 연구를 위해 국내 선행연구단계에서 함정 무기체계를 대상으로 본 연구를 수행하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 선행연구단계 시스템공학 프로세스

무기체계 선행연구단계에서는 미래전에 요구되는 임무, 합동능력 및 운용개념을 기반으로 설정된 개별 무기체계의 능력/목표성능을 충족시킬 수 있도록 다양한 기술적 대안들에 대한 절충(trade-off) 및 최적화를 통해 기술개발 목표를 설정해야 한다.

미 국방부는 MSA(Material Solution Analysis) 단계(국내 선행연구/함정 개념설계 단계와 유사)에서 <Figure 1>과 같이 ICD(Initial Capability Document)를 기반으로 최적의 대안분석을 수행하여 성능, 비용, 일정 제약조건 안에서 가용한 기술들에 대한 절충을 통해 획득 대안을 선정하고 있다.[1]



<Figure 1> Material Solution Analysis Process, US DoD

이러한 기술적 대안 분석의 과정은 시스템공학 프로세스(process), 방법론(method) 및 다양한 전산도구(tool)를 기반으로 초기 개념설계 단계에서부터 최적화(optimization)를 통해 요구사항을 정제하고 이를 충족시키기 위한 최적의 기술적 대안들을 기술개발전략에 연계하는 것이다.

이러한 최적화의 핵심 기반은 요구사항 분석, 기능분석, 설계조합(synthesis) 등의 수행을 통해 임무과 요구

능력을 충족시킬 수 있는 목표 무기체계의 요구사항(requirements)을 명확하게 정의하고 관련된 위험요소들을 식별 및 평가함으로써 사업 위험관리에 반영하는 것이며, 최적화된 획득 대안들은 기술개발전략, 시스템공학 기획, 시험평가전략(TESS : Test and Evaluation Strategy) 등의 수립에 활용되는 것이다.

2.2 무기체계 위험도 평가

위험도 평가는 예상되는 위험요소들을 우선적으로 식별하고, 식별된 위험요소들이 발생할 가능성과 이 위험요소들이 성능, 비용, 일정에 미치는 영향성을 평가하는 것이 일반적인 접근 방법이라고 할 수 있다.[2]

위험 관리와 관련하여 미 해군, 국방부 등에서는 위험관리 지침서 등을 기반으로 식 1과 같이 위험요소들이 일어날 확률 P_i 와 그것이 무기체계 획득 사업의 성능, 비용, 일정에 초래하는 결과 C_i 의 정성적 또는 정량적 판단을 기반으로 위험도 평가를 수행하고 있다.[3]

$$Risk = R_i = P_i \times C_i \tag{1}$$

(P_i : probability of occurrence,
 C_i : consequence of the event)

또한, 미국 Virginia Tech의 Mierzwicki와 Alan J. Brown은 2004년부터 위험도 평가시 P_i 와 C_i 의 적용 개념을 발전시켜 함정 요구사항 탐색 및 개념 개발단계에서 설계 대안들에 대한 위험도 평가를 위해 식2와 같은 OMOR(Overall Measure of Risk) 목적함수(objective function)를 개발하여 적용하고 있다.[4], [5]

$$OMOR = W_{perf} \frac{\sum P_i C_i}{\sum_i (P_i C_i)_{max}} + W_{cost} \frac{\sum P_j C_j}{\sum_j (P_j C_j)_{max}} \tag{2}$$

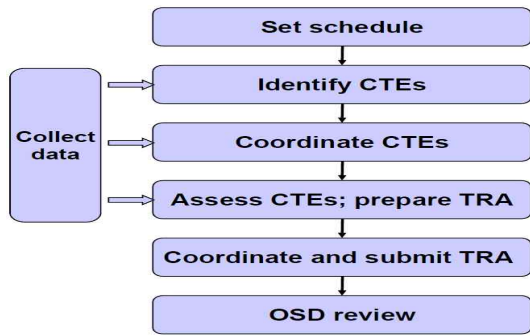
$$+ W_{sched} \frac{\sum P_k C_k}{\sum_k (P_k C_k)_{max}}$$

2.3 기술성숙도, 난이도, 중요도 평가

기술성숙도평가(TRA : Technology Readiness Assessment)는 미 국방부 TRA 가이드북에 제시된 바와 같이 평가 수행 초기에 해당 무기체계 사업의 성능, 비용, 일정에 중대한 영향을 미치는 요소인 핵심기술요소(CTE : Critical Technology Elements)를 시스템공학 환경을 기반으로 도출하도록 권고하고 있다.[6]

미 국방부 DDR&E(Office of the Director, Defense Research & Engineering)에서는 MSA 단계 시스템공학팀(SE Team)의 주요 임무 및 활동에 이러한 CTE의 식별 및 정의 활동을 포함하도록 하고 있다.[1]

기술성숙도평가 프로세스에서 우선적으로 선행되어야 하는 것은 <Figure 2>와 같이 개발하고자 하는 대상 무기체계 관련 자료를 수집하여 기술적으로 분석하고, 해당 사업에 영향을 미치는 중요한 요소로 핵심기술요소를 식별(CTE Identification) 하는 것이다.[7]



<Figure 2> Technology Readiness Assessment Process

획득 단계별 의사결정 시점인 MS(Milestone)-A(합정의 경우 MS-A에서 TRA 수행), MS-B 등 각 획득 단계의 의사결정 시점에서는 해당 기술들에 대한 기술성숙도 평가(TRA)가 수행된다.

기술성숙도평가의 수행과 관련하여 국내에서는 미 국방부 및 NASA의 지침서 및 가이드북에 수록된 TRA/TRL 모델을 참고하여 방위사업관리규정 등에 반영하는 등 핵심기술을 평가 및 측정과 관련된 활동 및 연구를 상당부분 수행하고 있다.

또한 식별된 핵심기술에 대한 기술적 목표성능은 개발하고자 하는 대상 무기체계의 목표성능, 사업 비용, 전력화시기 등의 상호 역학관계를 고려한 다양한 획득 대안의 분석 및 시스템 최적화를 기반으로 도출되어야 한다.

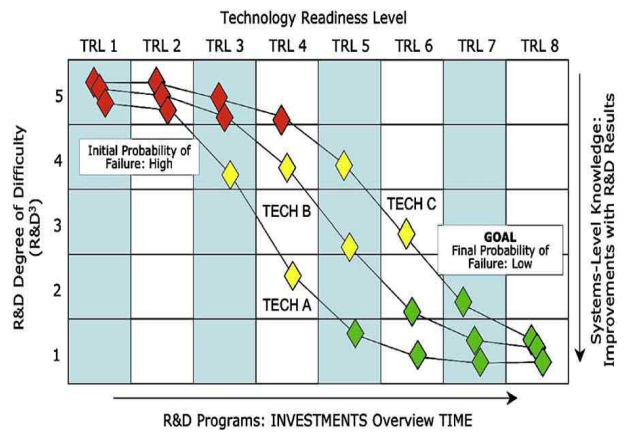
기술성숙도 평가를 위한 지표인 TRL 지표는 1970년대 미 항공우주국 NASA에서 최초로 개발한 이후 현재 미 국방부 등에서 무기체계 획득 전순기(선행연구, 탐색개발, 체계개발) 간 위험 감소를 위한 평가지표를 활용하고 있으며, 국내에서는 2012년부터 시범 적용을 통해 획득단계별 의사결정을 위한 판단기준으로 활용하고 있다.

미 정부회계감사국(GAO : Government Accountability Office)는 기 수행된 무기체계 획득사업들에 대한 사례분석을 통해, 사업의 성능, 비용, 일정에 지대한

영향을 미치는 중요한 원인을 미 성숙된 기술들로 판단하고, 사업 초기단계부터 기술성숙도평가를 사업 위험도 관리를 위한 유용한 도구로 활용하고 있다.[8]

그러나, 기술성숙도는 획득 프로세스 상에서 시간 기반의 수평적인 관점에서 보면 달성되어야 할 기술의 진행단계를 평가하는 것으로, 수직적 관점에서 보면 기술의 난이도와 중요도를 반영하기에는 제한이 따른다.

2009년 미 항공우주국의 John C. Mankins는 <Figure 3>과 같이 연구개발 사업에서의 기술성숙도와 난이도(R&D3 : R&D Degree of Difficulty)의 상관관계와 차이점을 개념적으로 제시하였다.[9], [10]



<Figure 3> Generic scenario for technology development

또한, 기술성숙도, 난이도와 함께 위험도 평가를 위해 고려해야 할 추가적인 요소로서 기술의 중요도 TNV(Technology Need Values) 지표를 <Table 1>과 같이 제시하였다.[9]

<Table 1> Technology Needs Value

Technology Need Value	Weighting Factor	Description
TNV-1	40%	The technology effort is not critical at this time to the success of the program—the advances to be achieved are useful for some cost improvements; However , the information to be provided is not needed for management decisions until the far- term
TNV-2	60%	The technology effort is useful to the success of the program—the advances to be achieved would meaningfully improve cost and/or performance; However , the information to be provided is not needed for management decisions until the mid- to far- term
TNV-3	80%	The technology effort is important to the success of the program—the advances to be achieved are important for performance and/or cost objectives AND the information to be provided is needed for management decisions in the near- to mid- term
TNV-4	100%	The technology effort is very important to the success of the program; the advances to be achieved are enabling for cost goals and/or important for performance objectives AND the information to be provided would be highly valuable for near-term management decisions
TNV-5	120%	The technology effort is critically important to the success of the program at present—the performance advances to be achieved are enabling AND the information to be provided is essential for near-term management decisions

2.4 문제 정의

무기체계 연구개발 초기 단계(선행연구단계)에서는 다양한 획득 대안 및 제약사항에 따라 초기에 설정된 요구사항 및 성능 목표를 충족시키기 위해 서로 다른 가용기술(enabling technology) 및 설계 변수들을 식별하고, 효과도, 비용, 위험도를 종합적으로 평가함으로써 기술개발전략을 차별화해야 한다.

국내의 경우 무기체계 선행연구단계에서 사업분석, 비용분석, 함정 개념설계 등을 통해 초기 소요제기 단계에 설정된 작적운용성능에 대한 타당성 분석, 소요 비용 및 총 사업비 추정을 실시하고 있으나, 위험도 평가를 기반으로 효과도, 비용 간의 절충 및 비교분석을 통한 연구는 아직 부족한 실정이다.

미국의 경우에는 버지니아텍 등에서 수상함 및 잠수함 요구사항 및 개념 탐색을 위한 연구시 효과도, 비용, 위험도에 대한 종합적인 분석에 기반한 최적 획득 대안을 분석하고 있으며, 위험도 평가 분야에 있어서는 기존 OMOR 기반의 위험도평가를 대체할 수 있는 방법으로 기술성숙도의 적용 개념이 일부 연구되고 있다.

버지니아텍 Alan J. Brown의 최근 연구자료에 따르면 함정 요구사항 및 개념 개발시 현재 적용하고 있는 OMOR 기반의 위험도 평가를 대체할 수 있는 또 다른 방법으로서 기술성숙도 지표를 적용할 수 있다고 제기하였으나 현재까지 구체적인 적용 방법 및 연구결과는 제시되지 않은 상태이다.

또한, NASA John C. Mankins의 최근 연구는 기술적 위험도 평가 방법에 있어서 기술성숙도, 난이도, 중요도를 기반으로 하는 연구를 수행하였으나 개념 및 논리적인 부분만 제시되고 있으며, 다목표 의사결정 환경에서의 최적 설계 개념 도출을 위해 필요한 실질적인 획득대안 분석에 적용할 수 있는 구체적인 방법을 제시하지는 못하고 있다.

2.5 연구 방법

본 연구는 우선적으로 사업 위험관리 분야에서 활용 가능성이 높은 계량화된 지표인 기술성숙도 평가 방법의 활용 가능성을 분석하고, 또한 추가적인 위험도 평가 지표로 기술의 난이도, 중요도의 적용 개념과 실질적인 적용 방안을 분석하였다.

이를 통해 기존 OMOR 위험도 목적 함수와의 상관관계를 연구 분석하여 이를 대체 및 개선시킬 수 있는 목적함수로의 활용 가능성과 실질적으로 적용 방안을 연구 및 분석하였다.

시범 함정에 대해서는 시스템공학 프로세스를 기반으로 임무 및 운용능력 정의, 요구기능 및 성능 분석 등을 수행하였고, 함정의 임무와 요구사항을 충족시킬 수 있는 설계변수들 간의 설계종합을 통해 다양한 획득 대안들을 도출하였다.

도출된 획득 대안들에 대해서는 기 수행한 MTS 함정의 선행연구단계 사업분석 결과를 반영하여 OMOE (Overall Measure of Effectiveness) 효과구조도와 비용 분할구조도를 기반으로 효과도, 비용을 추정하여 상관관계를 상호 분석하였고, 위험도 분석은 기술성숙도, 난이도, 중요도 기반의 목적함수에 따라 위험도 평가결과를 실시 후 기존 OMOR 목적함수 기반의 위험도 평가방법과 비교하여 그 유용성을 확인하였다.

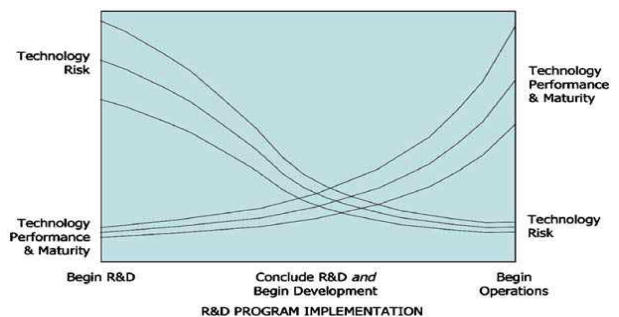
본 연구에서 도출한 TMOR(Technology based Measure of Risk) 목적함수에 대해서는 실증적 사례 연구를 위해서 국내 차세대 함정 무기체계에 대한 사례 연구 및 적용을 통해 기존 OMOR 목적함수를 적용한 결과와 비교 검증을 실시하였다.

3. 기술성숙도, 난이도, 중요도 기반의 무기체계 위험도 평가방법

3.1 기술성숙도, 난이도, 중요도 기반의 위험도 목적함수 적용

무기체계 연구개발시 위험 요인은 여러 가지로 분류할 수 있으나 미국 정부회계감사국 GAO의 보고서, 미국방부 TRA 지침서 등에 명시된 바와 같이 미성숙된 기술이 개발사업의 성능, 비용, 일정에 막대한 영향을 미치고 있으며, 따라서 대부분의 연구개발 사업의 위험요소는 대부분 기술상의 문제로 판단할 수 있다.

<Figure 4>와 같이 연구개발 초기에는 미성숙된 기술로 인하여 기술의 위험도가 일반적으로 높으며, 연구개발 종료 단계에서는 기술의 성숙도가 높아 기술 위험도가 대체적으로 낮은 특징을 나타내고 있다.[7]



<Figure 4> Technology Risk Vs Performance & Maturity

본 연구에서는 위험도(Ri) 평가시 위험요소들이 일어난 확률 Pi와 위험요소가 초래하는 결과 Ci를 기반으로 Mierzwicki와 Alan J. Brown이 위험 요인에 따라 성능, 비용, 일정 상의 가중치를 적용한 OMOR 목적함수를 대체할 수 있는 목적함수를 개발하는 것으로, John C. Mankins의 이론을 참조하여 기술성속도, 난이도, 중요도 3가지를 위험도 지표로 변환하여 기존 OMOR 함수를 대체할 수 있고 보다 계량적으로 접근할 수 있는 목적함수를 제시하고자 한다.

이론적 고찰에서 제시한 바와 같이 현 단계까지의 위험도를 반영하는 기술의 미성숙 여부는 9단계로 계량화된 기술성속도(TRL) 지표로 판단이 가능하며, 이와 함께 기술의 중요도와 난이도를 함께 평가함으로써 기술적 위험도의 측정이 가능하다고 할 수 있다.

기술성속도에 대한 평가 결과가 낮거나 높다는 것은 목표로 수준에 도달하기 까지 사업진행 간 기술적 위험요소의 발생가능성이 높거나 낮다는 것이다. 또한, 현 단계에서 여러 가지 기술들에 대한 기술성속도를 평가한 결과 기술성속도가 동일하다고 하더라도 각각의 기술들의 난이도에 따라 성능, 비용, 일정 상의 위험요소들이 발생할 가능성(Pi)는 달라진다.

따라서, 위험요소가 발생할 가능성(Pi)은 식 3과 같이 기술성속도와 난이도 지표로 나타낼 수 있다.

$$P_i \approx \Delta TRL \times DD \quad (3)$$

기술성속도가 높다는 것은 개발산출물의 완성도가 높다는 것을 의미하며 위험요소가 발생하더라도 사업에 미치는 결과(Ci)가 낮다고 할 수 있으며, 반대로 기술성속도가 낮다는 것은 목표로 하는 수준까지 도달하기 위해 구현해야할 개발 산출물이 많이 남아있으므로 위험요소가 발생할 경우 이것이 사업에 초래하는 결과(Ci)는 높다고 할 수 있다.

또한, 무기체계를 구성하는 기술들의 기술성속도 현 단계에서 동일한 수준이라 하더라도, 무기체계에서 차지하는 비중과 중요도 높은 기술일수록 해당 사업에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다.

따라서, 위험요소의 발생으로 인해 초래되는 결과는 식 4와 같이 기술성속도와 중요도 지표로 나타낼 수 있다.

$$C_i \approx \Delta TRL \times TNV \quad (4)$$

따라서, 위험도 지표인 Ri의 Pi는 기술성속도와 난이도로, Ci는 기술성속도와 중요도를 적용할 수 있으며,

더불어 위험도 평가 지표는 획득 대안들 간 또는 기술들 간의 우선 순위(ordinal)를 평가하는 지표이므로 수식 5와 같이 위험도 목적함수(Ri)를 적용할 수 있다.

$$R_i = P_i \times C_i = \Delta TRL \times DD \times TNV \quad (5)$$

상기 식 5의 결과를 기존 식 2의 OMOR 목적함수와 동일한 방식으로 적용하면 식 6과 같은 기술성속도, 난이도, 중요도를 기반으로 하는 위험도평가 함수인 TMOR로 적용할 수 있으며, 본 연구에서는 차세대 함정 무기체계에 대한 사례 연구를 통해 기존 OMOR 기반의 위험도평가와 TMOR 기반의 위험도평가 방법을 비교하고 활용성을 평가하였다.

$$\begin{aligned} TMOR &= W_{pef} \frac{\sum_i P_i C_i}{\sum_i (P_i C_i)_{max}} + W_{cost} \frac{\sum_j P_j C_j}{\sum_j (P_j C_j)_{max}} \quad (6) \\ &+ W_{sched} \frac{\sum_k P_k C_k}{\sum_k (P_k C_k)_{max}} \\ &= W_{pef} \frac{\sum \Delta TRL_i DD_i TNV_i}{\sum_i (\Delta TRL_i DD_i TNV_i)_{max}} \\ &+ W_{cost} \frac{\sum \Delta TRL_j DD_j TNV_j}{\sum_j (\Delta TRL_j DD_j TNV_j)_{max}} \\ &+ W_{sched} \frac{\sum \Delta TRL_k DD_k TNV_k}{\sum_k (\Delta TRL_k DD_k TNV_k)_{max}} \end{aligned}$$

3.2 사례 연구를 통한 TMOR 위험도 목적함수 적용 및 평가

TMOR 목적함수를 활용한 함정 선행연구단계 위험도평가는 설계변수(구성품 또는 기술)들인 DVs와 연계되어 있으며, 설계변수들은 시스템공학 절차에 따라 개발하고자 하는 무기체계의 요구능력(또는 기능)을 식별 및 정의하고, 정의된 요구능력을 충족시킬 수 있는 설계변수들을 구성 및 설계조합을 수행해야 한다.

본 연구에서는 국내 연구개발을 추진 중인 차기 MTS(Multi-purpose Training Ship) 함정을 대상으로 선행연구단계에서 무기체계 임무 및 운용개념, 요구능력 분석 등을 수행하고, AHP(Analytical Hierarchy Process) 기반의 전산 도구인 Expert Choice를 활용하여 <Figure 5>와 같이 효과구조도를 작성하였다.

또한, 요구능력 및 기능을 충족시킬 수 있는 다양한 설계변수들(DVs : Design Variables)을 대상으로 설계

조합을 실시함으로써 다양한 획득대안을 도출하였고, 각각의 대안들에 대해서는 TMOR 목적함수를 적용한 위험도평가를 수행하였다.



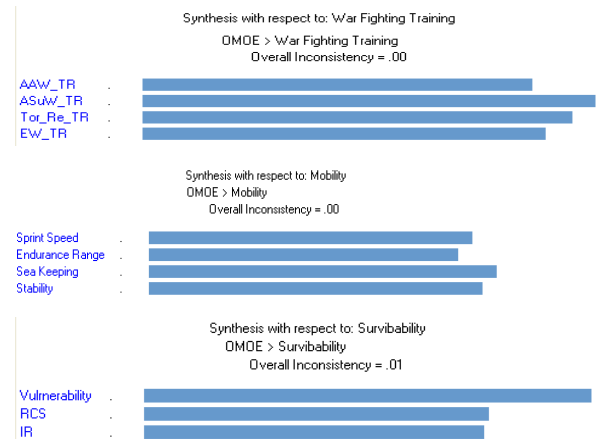
<Figure 5> OMOE breakdown structure

획득대안별 다양한 설계변수들에 대한 기술성숙도평가는 <Table 2>와 같이 TRL 단계별(1~9단계) 평가 기준 및 세부 체크리스트를 활용하여 평가하였다.

<Table 2> Technology Readiness Levels

단계	정의	설명
TRL1	기본 원리 이해 단계	기술개발의 가장 낮은 단계로, 과학적 연구결과가 응용연구개발 단계로 전이되기 직전 단계
TRL2	기술개념 형성 및 응용분야 식별 단계	기본원리가 이해된 후 응용분야를 식별함. 응용내용이 아직은 이론 수준으로서 추론을 뒷받침할 실험적 증명이나 상세 분석이 이루어지지 않은 상태임
TRL3	주요 기능에 대한 분석/실험 또는 특성에 대한 개념입증 단계	활발한 연구개발이 시작됨. 기술을 적절한 대상에 응용하기 위한 분석적 연구, 분석결과가 물리적으로 유효함을 입증하는 실험실 수준의 연구를 포함. 타 부품에 적용되지 않았거나 성능이 완전하지 않은 부품 수준도 포함됨
TRL4	실험실 환경에서 구성품 또는 실험용 조립품 수준의 성능 입증 단계	부품(시제품)이 결합되어 불안정하지만 종합적으로 성능을 발휘함. 최종 체계에 비해서 성능이 상대적으로 불완전함
TRL5	유사 운용환경에서 구성품 또는 실험용 조립품 수준의 성능 입증 단계	시험 대상 구성품 및 실험용 조립품(Breadboard)의 성능 안정성이 상당히 향상됨. 성능의 충실성을 높일도록 실험실에서 구성품을 조립하는 것도 포함
TRL6	유사 운용환경에서 체계/부체계 모델 또는 시제품의 성능시험 단계	TRL 5 수준 이상의 대표적인 모델 또는 시제품이 유사 운용 환경에서 시험됨
TRL7	운용환경에서 체계 시제품의 성능 시연 단계	운용환경에서 시제품에 대한 성능시험을 수행하는 단계로서, 체계공학과 개발 관리 신뢰성을 보증하는데 목적이 있음
TRL8	시험 및 시범을 통해서 체계의 완성 및 입증 단계	예상되는 조건하에서 최종 완성된 형태로 기술이 입증됨. TRL은 거의 모든 상태에서 실제 체계의 개발이 완성된 상태를 표현함(최초생산품에 대한 초도시험평가가 완료됨)
TRL9	성공적인 임무운용을 통한 실제계의 입증 단계	최종 형태 및 임무조건 하에서 기술의 실제적인 운용이 완성된 상태(최초운용능력(IOC) 확인으로 임무 및 운용성이 입증됨)

기술의 중요도 평가 지수는 AHP 전산도구인 Expert Choice를 활용하여 <Figure 6>와 같이 산출한 OMOE 분할구조도의 각 요구능력 및 성능별 효과도 산출에 적용한 가중치를 관련된 각 설계변수(기술)들에 할당하여 산출하였다.



<Figure 6> Result of priorities with respect to OMOE breakdown structure

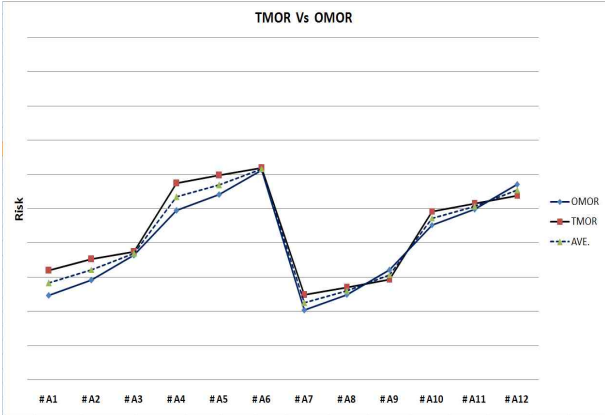
기술의 난이도는 <Table 2>의 난이도 평가 기준 등을 참고하여 5단계(0.1~0.9) 난이도 지표로 기준으로 전문가들의 의견을 기반으로 AHP 기법을 활용하여 무기 체계를 구성하는 설계 변수들에 대한 난이도를 평가하였다.

최종 위험도는 TMOR 목적함수를 활용하여 산출하였으며, 시스템을 구성하는 DVs과 관련된 DV options에 대한 ΔTRL, DD, TNV를 평가한 후 Pi와 Ci로 전환하여 산출한 평가 결과는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> TMOR risk register

Event	Related DV	DV option	ΔTRL	DD	TNV	Pi	Ci	Ri
1	DV1	DV1_Op1	0.30	0.60	0.10	0.600	0.031	0.019
2	DV1	DV1_Op2	0.30	0.70	0.10	0.700	0.031	0.022
3	DV1	DV1_Op3	0.30	0.80	0.10	0.800	0.031	0.025
4	DV2	DV2_Op1	0.10	0.10	0.12	0.100	0.012	0.001
5	DV2	DV2_Op2	0.50	0.60	0.12	0.600	0.059	0.035
6	DV3	DV3_Op1	0.30	0.20	0.33	0.200	0.100	0.020
7	DV3	DV3_Op1	0.30	0.10	0.33	0.100	0.100	0.010
8	DV4	DV4_Op1	0.10	0.10	0.10	0.100	0.010	0.001
9	DV5	DV5_Op1	0.10	0.10	0.11	0.100	0.011	0.001
10	DV6	DV6_Op1	0.10	0.10	0.23	0.100	0.023	0.002
11	DV6	DV6_Op2	0.10	0.10	0.23	0.100	0.023	0.002

MTS 함정에 대한 총 12개 획득 대안들(#A1 ~ #A12)을 대상으로 TMOR 위험도 평가함수를 적용하여 최종적으로 도출한 위험도평가 결과와, 기존 OMOR 위험도 평가함수를 활용한 결과는 <Figure 7>과 같이 도출되었다.



<Figure 7> Risk assessment result implemented by TMOR and OMOR methods

총 12가지 획득 대안들에 대하여 기존 OMOR 방식과 비교해 보면 <Figure 7>과 같이 TMOR 방식과 점수 편차는 있으나, 전체 12개 대안들에 대한 위험도 우선순위(ordinal corelation)에 있어서는 동일한 결과가 도출되어 유용하게 활용할 수 있음을 알 수 있다.

특히, 위험도 평가 방법적인 측면에서 계량화된 평가 방법인 기술성숙도 지표(TRL 9단계 지표)를 활용함으로써 보다 객관적이고 정량적인 평가가 가능함을 알 수 있다.

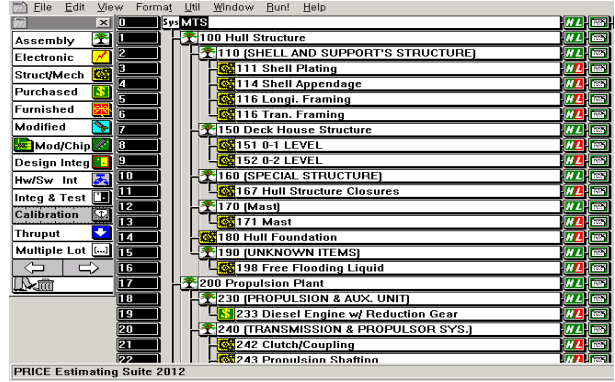
3.3 TMOR을 활용한 합성 획득대안 분석

국내에서는 무기체계 획득대안 분석시 통상적으로 선행연구 및 개념설계를 통해 도출된 대안들에 대하여 통상적으로 작전운용성능의 타당성과 비용을 분석하여 획득대안을 선정한다.

무기체계 선행연구단계에서 개발 목표를 충족시키기 위한 다양한 획득대안을 분석시 고려해야 할 평가요소로는 효과도, 비용, 위험도가 종합적으로 고려한 다목적 의사결정(multi-objective decision making) 환경 하에서 판단하여야 한다.

시범 합정을 대상으로 본 연구에서 분석한 총 12가지 획득대안들은 무기체계 선행연구단계 개념설계, 사업분석 등을 통해 실행가능한 영역에서 선제기술, 추진기술, 각종 탑재장비 들 간의 설계조합을 통해 도출되며, 또한 효과도, 비용, 위험도 각각의 판단기준에 따라 대안별 우선순위가 서로 달라지게 된다.

본 시범 합정에 대한 획득대안별 비용 추정은 유사 장비 추정을 통한 공학적 추정과 <Figure 8>과 같이 PRICE 모델을 활용한 전산모델 추정 2가지 방법을 병행하여 추정한 결과 값을 사용하였다.

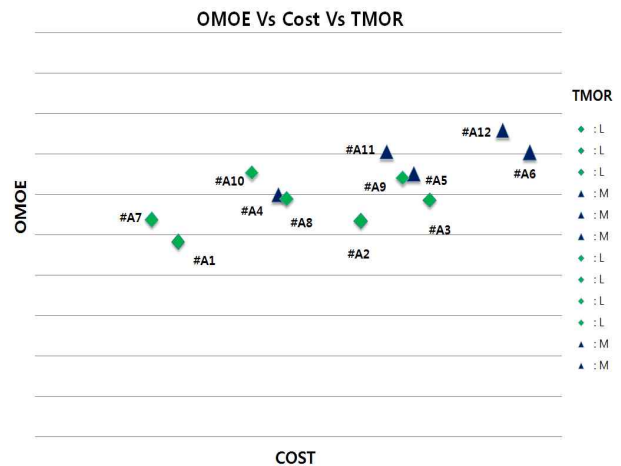


<Figure 8> Estimating Breakdown structure for Cost Estimation

획득 대안별 효과도 산출은 <Figure 6>의 가중치 결과를 반영하고, 시범 합정을 구성하는 설계변수들에 따라 설정된 VOP(Value of Performance), (MOP : Measure of Performance)를 적용하여 Alan J. Brown의 효과도 목적 함수인 식 7에 따라 산출하였다.

$$OMOE = g[VOP_i(MOP)] = \sum_i w_i VOP_i(MOP_i) \quad (7)$$

총 12가지 획득 대안별 OMOE, Cost, TMOR을 종합적으로 비교 분석한 결과는 <Figure 9>와 같다.



<Figure 9> OMOE Vs Cost Vs TMOR

OMOE, Cost 2가지만을 고려하면 <Figure 9>에서와 같이 #A7, #A10, #A11, #A12 4가지 대안은 실행 가능 영역(feasible area)에서의 나머지 대안들 보다 비용대 효과 측면에서 우월한 대안으로 분석된다.

그러나, TMOR 위험도 평가 결과를 동시에 고려하는 경우에는 획득대안들을 선택함에 있어서 사업 위험도를 고려함에 따라 그 우선순위는 달라지게 된다.

특히, 획득대안들 중 비용대 효과가 유사한 #A4와 #A8, #A9와 #A5의 경우와 같이 우선순위 판단이 곤란한 경우에도, 위험도 평가결과를 적용함으로써 합리적인 의사결정의 수단으로써 위험도가 유용한 지표로 활용될 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 국내 무기체계 선행연구 단계에서의 획득대안 분석시 고려되어야 할 중요한 평가 요소로 위험도 평가의 적용 방안을 제시하였다.

위험도평가의 경우 함수의 미국 등에서 적용되고 있는 Pi 및 Ci 기반의 기존 OMOR 목적함수를 대체할 수 있는 목적함수로, 계량화된 평가지표인 기술성숙도, 중요도 및 난이도 지표를 기반으로 평가가 가능한 TMOR 목적함수의 적용가능성을 차세대 다목적 MTS 함정사례 연구를 통한 실증적 연구를 통해 그 가능성을 확인하였다.

또한, 무기체계 선행연구 및 함정 개념설계 단계에서 시스템공학적 접근 방법에 따라 TMOR 목적함수와 더불어 획득대안별 사업비용 추정, 효과도 분석 등을 동시에 고려한 획득대안 분석을 국내 무기체계 연구개발 분야에 시범적으로 적용함으로써 합리적인 의사결정을 도출할 수 있는 선행연구 방법을 도출하였다.

향후에는 본 연구결과를 기반으로 유사 무기체계들에 대한 추가적인 연구를 수행함으로써, 위험도 평가 방법을 보다 계량화 및 정교화 함으로써 확대 적용할 수 있도록 추가적인 연구를 수행할 계획이다.

References

- [1] Judith S. Dahmann and Mike Kely(2009), Systems Engineering during the Material Solution Analysis and Technology Development phase, US DDR&E, pp. 2-6.
- [2] US Department of Defense, "Risk Management Guidebook for DoD Acquisition", pp. 11-14, 2006.
- [3] Mierzwicki, T., Brown A. J. (2004), "Risk Metric for Multi-Objective Design of naval ships", Naval Engineering Journal, Vol. 116, No. 2, pp. 55-71.
- [4] Justin Strock, T., Brown A. J. (2008), "Methods for Naval Ship Concept and Propulsion Technology Exploration in a CGX Case Study", Naval Engineering Journal, pp. 103-104.
- [5] Virginia Tech.(2008), Ballistic Missile Defense

- Submarine(SSEMD), Design Report, Virginia Tech, p. 35.
- [6] US DoD(2009), Technology Readiness Assessment (TRA) deskbook, pp. B3-B4.
- [7] Institute for Defense Analyses(2007), "How the S&T Community can best for the technology Readiness Assessment(TRA) process do's and don'ts", 2007 Technology Maturity Conference, p. 17.
- [8] US General Accounting Office(1999), Better Management of Technology Development Can improve weapon system outcomes, pp. 4-5
- [9] John C. Mankins(2009), "Technology readiness and risk assessments : A new approach", Science Direct, pp. 1210-1212.
- [10] John C. Mankins(1998). "Research & Development Degree of Difficulty(RD3)" A White Paper, NASA, pp. 1-3.

저 자 소 개

김 경 환



현 국방기술품질원 기술기획본부 기반체계전력팀 선임연구원. 순천대학교 기계공학과 공학사, 국방대학교 무기체계학과 국방과학석사, 현재 아주대학교 시스템공학과 박사과정 중.

관심분야 : 시스템공학 및 위험도 평가 등

주소 : 서울시 중구 중림동 441, 한국경제신문사 5층, 국방기술품질원

이 재 천



현 아주대학교 시스템공학과 정교수. 서울대학교 전자공학과 공학사, KAIST 전기 및 전자공학과 석사 및 박사 학위 취득. 미국 MIT Post-Doc 수행, Univ. of California(Santa Barbara) 초빙연구원, 캐나다 Univ. of Victoria(BC) 방문교수, KIST 책임연구원 재직. 이후 미국 Stanford Univ. 방문교수 역임.

관심분야 : 시스템공학 및 Systems Safety에의 응용 등.
주소 : 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 서관 309호