

무기체계 연구개발사업에서 기술적 위험지표 적용 가능성 분석

이선현^{*,1)} · 김민준¹⁾

¹⁾ 국방기술품질원 기술기획본부

An Analysis of the Applicability of Technical Risk Index in the Weapons System Research & Development Projects

Sunhun Lee^{*,1)} · Minjun Kim¹⁾

¹⁾ *Technology Planning Bureau, Defense Agency for Technology and Quality, Korea*

(Received 19 June 2017 / Revised 23 August 2017 / Accepted 27 October 2017)

ABSTRACT

The Technology Readiness Assessment(TRA) has the advantage of identifying immature technologies in promoting weapon system research and development project. However, a more diverse set of information is required for the determination of phase shift and technical risk management for weapons system R&D projects. In this paper, we investigate the various indexes the various indexes proposed to overcome the limitations of the Technology Readiness Level(TRL) and analyze the possibility of applying to the actual weapons system R&D projects. Based on the analysis, it was possible to provide additional information that could not be presented in TRA using technical risk indexes other than TRL, confirming that it could be used for technical risk management for weapons system R&D projects.

Key Words : Technology Readiness Assessment(기술성숙도평가), Technology Readiness Level(기술성숙도), Risk Management(위험관리)

1. 서론

기술성숙도평가(TRA, Technology Readiness Assessment)란 무기체계에 적용되는 핵심 기술들이 현재 시점에서 어느 수준까지 성숙되어 있는지를 정량적인 지표로 산출하는 프로세스로 정의할 수 있다¹⁻³⁾. 평가 대

상이 되는 기술을 의미하는 핵심기술요소(CTE, Critical Technology Element)는 해당 무기체계 연구개발사업의 범위 내에서 해당 사업의 완수를 위해 기술적으로 중요한 요소로서 사업의 목표 즉, 성능이나 비용, 일정 등을 충족하는데 결정적인 영향을 미치는 기술을 의미하며 정량적 평가지표인 기술성숙도(TRL, Technology Readiness Level)는 해당 CTE가 대상 무기체계에 적용되어 쓰일 수 있기까지 어느 수준까지 성숙되어 있는지를 Fig. 1과 같이 1부터 9단계로 구분하여 정의한

* Corresponding author, E-mail: sunhunlee@dtaq.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

것이다. 국내·외 최고 수준의 기술력과 비교하여 상대적인 기술력을 의미하는 ‘기술수준’과 달리 ‘기술성숙도’는 무기체계의 작전운용성능을 기준으로 해당 기술에 대한 개발능력이 어느 정도 성숙(준비)되어 있는지를 표현하는 지표로서 무기체계 연구개발사업의 단계전환 의사결정의 주요 근거로 활용되고 있다.

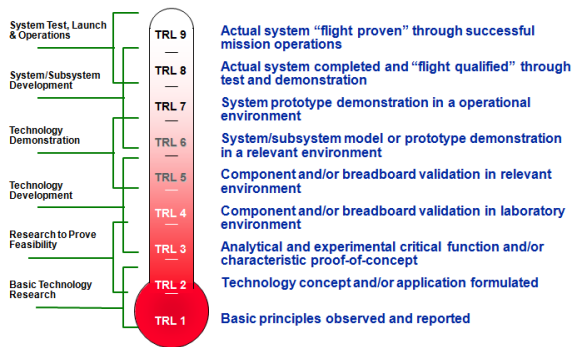


Fig. 1. Technology readiness levels
(출처 : <http://www.wikipedia.org>)

첨단 무기체계 연구개발사업의 성패는 주로 기술적 요인에서 비롯되고 있다. 무기체계 연구개발사업의 효율적인 사업관리를 위해서는 단순히 미성숙한 기술을 식별하여 알려주는 TRL 이외에 다양한 정보들이 요구된다. 본 논문에서는 TRL 지표가 가지는 한계에 대해 살펴보고 이를 개선하기 위해 제시된 다양한 지표들에 대해서 조사하였다. 이러한 지표들 중에서 TRL과 함께 활용 가능한 기술적 위험지표를 식별하였으며 실제 국내 무기체계 연구개발사업 사례에 적용하여 그 적용 가능성을 분석하였다.

본 논문의 2장에서는 국내·외 TRA 적용 현황과 함께 TRL 지표의 제한사항과 이를 개선하기 위해 제시된 다양한 지표들을 조사하고 설명하였다. 3장에서는 TRL과는 다른 기술적 측면에서의 위험지표를 식별하고 국내 사례에 적용하여 그 활용 가능성을 분석하였고 마지막 4장에서 연구내용을 요약 및 정리하였다.

2. 관련연구

2.1 TRA 적용 현황

미 국방부(DoD, Department of Defense)는 2000년대 들어서부터 무기체계 연구개발사업에 대해 주요 단계

전환 의사결정 시점에서 TRA를 수행하고 그 결과를 참고하여 단계전환 여부를 판단하도록 하고 있다. Fig. 2는 미 국방부의 국방획득체계로 TRA는 각 단계에서 수행되고 다음 단계로의 전환을 위한 의사결정 시점인 마일스톤 A, B, C에서 그 결과를 참고하여 단계전환 여부를 결정하고 있다. 기술개발이 종료되는 마일스톤 B에서는 Engineering & Manufacturing Development 단계(국내 체계개발 단계에 해당)로 전환하기 위한 조건으로 TRL 6 이상을 요구하고 있으며 마일스톤 C에서는 Production & Deployment 단계(국내 양산 단계에 해당)로 전환하기 위한 조건으로 TRL 7 이상을 요구하고 있다.

미국 이외에 영국과 호주 등에서도 2000년대 초반부터 무기체계 연구개발사업의 단계전환 의사결정 및 기술적 위험관리를 위해 TRL 지표를 이용한 평가를 수행하고 있다.

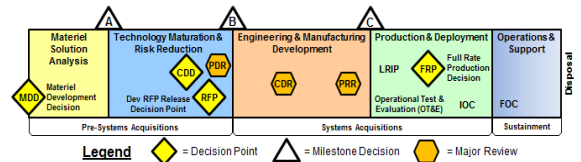


Fig. 2. DoD acquisition process
(출처 : <http://acqnotes.com>)

2012년도 방위사업청 규정으로 TRA 업무지침이 제정되면서 국내 무기체계 연구개발사업에서도 TRA를 수행하기 시작하였다. 현재 국내 TRA는 무기체계 연구개발사업에 대해서는 선행연구, 탐색개발 단계에서 수행하고 있으며, 시험개발 단계의 핵심기술 연구개발사업과 군사적실용성평가가 완료된 신개념기술시범(ACTD, Advanced Concept Technology Demonstration) 사업을 대상으로 하고 있다. 국내에서 사용하는 TRA의 주요 평가기준은 미 국방부에서 정의한 CTE 체크리스트와 TRL 단계별 정의 등을 한글화하여 활용하고 있다^{2,3)}.

2.2 TRL 지표의 한계

미 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration)에서 사업관리자와 연구개발자 간의 의사소통 도구로 개발된 TRL 지표는 주요 기술들이 체계에 적용할 수 있는 수준까지 성숙되어 있는지를 판단하기 위한 목적으로 유용하게 활용되었으며 미 국

방부 주도로 무기체계 연구개발사업에 적용되고 있다. 하지만 첨단 무기체계에 대한 수요가 늘어나고 무기체계의 복잡도가 증가하면서 단순히 TRL 지표만을 이용해서 무기체계 연구개발사업의 추진 여부나 단계 전환 등을 결정하기에는 제한요소가 많다는 주장들이 제기되었다.

Cornford는 TRL 지표를 이용한 기술성숙도 평가방법의 5가지 한계를 지적하였다. 첫 번째로 TRL 단계별 정의가 평가하는 사람에 따라 주관적일 수 있다는 점이다. 두 번째는 하나의 기술에 집중한 나머지 전체 체계 관점에서의 평가가 부족하며, 세 번째는 소프트웨어보다는 하드웨어에 치우쳐 있다는 점을 지적하였다. 네 번째는 비용이나 위험관리 지표와의 통합이 어려우며, 다섯 번째로 다양한 용어를 사용하고 있으나 용어에 대한 정의가 추상적임을 지적하였다⁴⁾.

이후에도 다양한 연구를 통해 TRA는 체계를 구성하는 개별 기술에 대한 성숙 여부를 평가할 수 있으나 일차원적인 정보만을 제공하므로 체계 구조나 설계, 통합과 관계된 다차원적인 정보를 제공하는데 한계가 있다는 문제점이 제기되었다. 또한 현재 시점에서의 TRL을 평가할 수 있으나 더 높은 수준으로 기술을 성숙시킬 수 있는 가능성 또는 난이도 등 실질적인 연구개발사업의 위험관리에 도움이 되는 정보를 제공하지 못한다는 한계도 제기되었다.

이러한 TRL 지표를 이용한 평가방법의 한계와 문제점을 개선하여 비용증가, 일정지연, 성능저하 등과 같은 위험요소들에 대한 다차원적인 정보를 제공할 수 있는 지표나 모델에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 이러한 연구들은 개별 기술에 대한 성숙도를 평가하는 것에서 탈피하여 체계 관점에서의 연동이나 통합, 제조 측면에서의 성숙도를 평가하거나 복수의 평가 지표를 통합하는 방식으로 확장하거나 기술개발의 난이도나 사업에 미치는 영향 등 사업관리에 필요한 다차원적인 정보를 제공할 수 있는 방법들을 제시하고 있다.

2.3 다양한 기술적 위험지표

Cundiff가 제안한 MRL(Manufacturing Readiness Level)은 기술적 측면을 중시하는 TRL의 한계를 보완하기 위한 것으로 시스템의 제조 측면에서 개발기술들의 양산을 위한 제조 능력이 얼마나 성숙되어 있는지를 총 10단계로 정의한 지표이다⁵⁾. MRL 지표를 통해 사업기반의 역량, 비용/예산, 자재, 설계, 설비, 제조 인

력, 생산계획 등 기술의 양산 가능성을 평가함으로써 양산시의 품질저하, 납기지연, 비용상승 문제 등을 예방하기 위한 평가수단으로 활용 가능하며, 국내에서도 2012년부터 체계개발 종료시 MRL 평가를 시행하고 있다.

Gove가 제안한 IRL(Integration Readiness Level)은 체계 관점에서 주요 기술 간의 연동에 관한 성숙 여부를 측정하는 지표로 연구개발 추진간 체계 통합이 요구되는 시점에서의 성숙도를 총 9단계로 정의하였다⁶⁾. 이를 통해 체계에 적용되는 주요 기술들을 통합하는 과정에서의 불확실성을 줄이는 방법론을 제시하였다.

영국 국방부는 무기체계 연구개발사업에 TRA 제도를 도입하는 과정에서 TRL 지표만으로는 Cornford가 제기한 두 번째 한계인 체계 통합 관점에서의 위험 관리가 부족함을 인식하고 체계 관점에서의 체계성숙도(SRL, System Readiness Level) 지표를 정의하여 활용하고 있다⁷⁾.

기술 관점에서 정의된 TRL 지표를 제조 관점이나 연동, 체계 관점에서 확장하거나 특정 분야를 고려하여 기존 지표를 재정의하는 연구뿐만 아니라 기존에 제시된 복수의 지표를 결합하여 체계 관점에서의 추가 정보를 제공하기 위한 연구들도 수행되었다. Sauser는 체계 통합의 성숙도를 표현하는 지표로 SRL을 제안하였으며 이는 기존 TRL 지표와 IRL 지표를 결합하여 체계 통합을 위한 성숙도를 정량적으로 제시하는 지표이다. 영국 국방부에서 활용하는 9단계 SRL 지표와 달리 Sauser가 제안한 SRL은 총 5단계 지표로 정의되어 있다⁸⁾.

Cornford가 제기한 네 번째 한계를 극복하기 위해 기존 TRL 지표를 확장하는 방법이 아닌 주요 기술의 성숙도 뿐만 아니라 기술개발의 난이도, 사업에 미치는 영향 등 추가 정보를 제공함으로써 무기체계 연구개발사업의 기술적 위험관리를 지원하기 위한 방안들이 연구되었다. TRL 지표를 정의한 Mankins가 제시한 ITAM(Integrated Technology Analysis Methodology)은 최신 기술을 적용하는 우주항공사업을 효과적으로 관리하기 위한 목적으로 개발되었다⁹⁾. ITAM은 기존 TRL 지표를 활용하여 목표로 하는 TRL과 현재 시점에서의 TRL 차이인 Δ TRL, 기술개발의 난이도를 의미하는 R&D³(Research and Development Degree of Difficulty), 그리고 해당 기술의 가치(사업에 미치는 영향)를 의미하는 TNV(Technology Need Values)를 통합한 지표인 ITI(Integrated Technology Index)를 구하고 이를 활용하

여 연구개발 로드맵을 수립하기 위해 제안되었다. ITI는 수식 (1), (2)와 같이 체계에 적용되는 주요 기술별 ΔTRL 과 $R\&D^3$, TNV 를 곱하여 TI (Technology Index)를 계산하고 이에 대한 평균값으로 구해진다. 즉, ITAM은 개별 기술들의 위험지표를 의미하는 TI 로부터 무기체계의 통합 위험지표인 ITI 를 도출한다.

$$TI = \Delta TRL \times RD^3 \times TNV \quad (1)$$

$$ITI = \frac{\sum(\Delta TRL \times RD^3 \times TNV)}{\text{Total Numbers of Technologies}} \quad (2)$$

Dubos가 제안한 TRL Schedule Risk Curve는 통계적 분석결과를 활용한 연구개발사업에 대한 일정관리모델로 설명할 수 있다^[10]. 이는 특정 시점에서 TRL 을 평가하는 목적은 아니며 평가된 TRL 을 활용하여 적정 연구개발 기간을 설정하는데 활용하기 위한 모델이다. 이를 위해 NASA의 28개 사업결과를 분석하여 최초 사업기간 예측값(IDE, Initial schedule Duration Estimate)과 최종 사업기간(FTD, Final Total schedule Duration)간의 차이를 측정하여 상대적인 일정지연(RSS, Relative Schedule Slippage)을 구하고 TRL 에 따른 일정지연을 지수함수로 구한 일정 위험곡선을 제시하였다. 즉, 주어진 TRL 수준에 따라 Schedule Risk를 높게 설정할수록 사업의 일정지연 발생 가능성은 낮아지게 된다.

Bilbro가 제안한 AD2(Advanced Degree of Difficulty)는 Mankins가 제안한 $R\&D^3$ 의 개념을 도입하여 현재의 TRL 수준에서 목표하는 TRL 수준까지 성숙시키기 위한 기술개발 난이도를 정의한 것으로 기술개발의 위험관리를 위한 모델이다^[11]. 이를 위해 기술개발 단계별 평가항목을 체계, 부체계, 구성품 수준으로 구분하여 체계를 구성하는 구성품에 대한 TRL 평가와 함께 위험관리를 위한 AD2 평가가 병행하여 수행된다.

Mankins가 제안한 TRRA(Technology Readiness and Risk Assessment)는 TRL 지표와 위험관리를 위한 지표를 결합하여 연구개발사업의 추진간 주요 의사결정 시점에서 기술별 위험관리를 위한 모델이다^[12]. 위험도 매트릭스(Risk Matrix)는 2차원 평면의 가로축과 세로축을 ITAM에서 제시된 ΔTRL , $R\&D^3$, TNV 지표로 하여 주요 기술들을 배치함으로써 무기체계 연구개발사업의 기술적 위험도를 종합적으로 판단할 수 있도록 하였다. 이를 통해 무기체계 연구개발사업 추진 간에 사업관리자와 개발자 간의 의사소통을 돕고 기술

적 측면에서의 위험관리를 지원할 수 있도록 하였다.

국내에서도 TRL 지표와 관련된 연구들이 수행되고 있으나 대부분 TRL 지표를 국내 무기체계나 핵심기술 연구개발 사업에 적용하기 위한 방법론에 관한 연구^[13,14] 이거나 특정 무기체계 연구개발사업에 대해 TRL 평가를 적용한 사례 또는 SRL 지표 적용에 관한 연구^[15-17]로 제한되고 있다.

3. 기술적 위험지표 적용 가능성 분석

3.1 분석 방법

본 논문에서 적용하고자 하는 기술적 위험지표는 현재 무기체계 연구개발사업의 단계전환 판단을 위한 주요 근거로 활용되고 있는 TRL 지표를 이용한다. 또한 본 논문의 2장에서 조사된 다양한 지표들 중에서 ITAM에서 활용한 주요 지표인 ΔTRL 과 $R\&D^3$, 그리고 TNV 를 활용하여 국내 무기체계 연구개발사업으로의 적용 가능성을 분석하고자 하였다.

Table 1. $R\&D^3$ level definitions

Level	정 의	성공확률
1	연구개발 목표 달성에 예상되는 난이도가 매우 낮음	99 %
2	연구개발 목표 달성에 예상되는 난이도가 보통 수준임	90 %
3	연구개발 목표 달성에 예상되는 난이도가 높음	80 %
4	연구개발 목표 달성에 예상되는 난이도가 매우 높음	50 %
5	연구개발 목표 달성에 예상되는 난이도가 매우 높으며 물리 또는 화학 등의 기초연구 분야에서 비약적인 기술 진보가 요구됨	20 %

MRL 이나 IRL , SRL 등은 기술적 측면에서의 위험 분석 및 사업 관리를 위한 지표로 활용하기에는 제한되므로 고려대상에서 제외하였다. 반면 ITAM에서 사

용한 주요 지표들은 연구개발사업의 핵심 기술들에 대한 기술개발의 난이도와 사업에 미치는 영향을 의미하며 TRL 지표와 함께 기술적 측면에서의 위험도를 분석하는데 가장 적절하다고 할 수 있다. 이러한 사유로 인해 2장에서 설명한 AD2와 TRRA 등에서도 이와 유사하거나 동일한 지표를 활용하고 있으며 미회계감사원의 보고서에서도 TRA 이후의 위험관리에 활용될 수 있는 지표로 언급하고 있다¹⁸⁾.

Table 2. TNV level definitions

Level	가중치	정의
1	40 %	사업의 목표 달성을 위해 현 시점에서 기술적 노력은 필요하지 않음(not critical)
2	60 %	사업의 목표 달성을 위해 기술적 노력이 유용함(useful)
3	80 %	사업의 목표 달성을 위해 기술적 노력이 중요함(important)
4	100 %	사업의 목표 달성을 위해 기술적 노력이 매우 중요함(very important)
5	120 %	사업의 목표 달성을 위해 현 시점에서 기술적 노력이 매우 필요함(critically important)

기술적 위험도 분석은 무기체계 연구개발사업의 CTE들에 대해서 TRL을 비롯하여 ΔTRL, R&D³, TNV로부터 개별 기술의 위험지표인 TI를 산출하고 해당 사업의 통합위험지표인 ITI와의 비교를 통해 기술별 위험도를 고위험군(기술의 TI가 사업의 ITI보다 큰 경우)과 저위험군(기술의 TI가 사업의 ITI보다 작은 경우)으로 분류한다. 이를 통해 무기체계 연구개발사업의 단계전환 판단을 위한 추가 정보를 제공함과 동시에 단계전환 이후에도 위험군 분류에 따라 상대적으로 차별화된 기술별 위험관리 계획을 수립할 수 있다는 장점을 갖는다. 또한, 통합위험지표(ITI)를 활용하여 동일 계열이나 이종 계열 사업 간의 상대적인 위험도를 분석하는 목적으로도 활용이 가능할 것으로 예상된다.

Table 3. Risk classification of technology

구분	조건
고위험군	TI ≥ ITI
저위험군	TI < ITI

3.2 기술적 위험지표의 적용

대상 무기체계 연구개발사업은 방위사업청의 TRA 업무지침에 따라 과거 TRA를 수행하였던 A-대공포 사업과 B-장갑차 사업으로 선정하였다. 무기체계 특성이 상이한 2개 사업을 선택한 첫 번째 이유는 미성숙 기술의 개수나 비율에 상관없이 독립된 정보를 산출할 수 있는지 확인하기 위함이며 두 번째 이유는 무기체계 분류가 다른 사업 간에도 기술적 측면에서의 상대적 위험도 구분이 가능함을 확인하기 위함이다.

방공 무기체계에 해당하는 A-대공포 사업은 '13년도에 TRA를 수행하였으며 총 9개의 CTE가 선정되었고 그 중 미성숙기술로 2개 기술이 식별되었다. 2개 미성숙기술은 동일한 TRL 수준으로 평가되었으며 전체적으로 기술개발의 위험도가 높지 않은 사업에 해당한다. 기동 무기체계에 해당하는 B-장갑차 사업은 '15년도에 TRA를 수행하였으며 총 11개의 CTE가 선정되었고 그 중 미성숙기술로 9개 기술이 식별되었다. 9개 미성숙기술 중에서 4개 기술은 TRL 4, 5개 기술은 TRL 5로 평가되었으며 전체적으로 기술개발의 위험도가 높은 사업에 해당한다. Table 4와 Table 5는 2개 사업에 대한 CTE 선정 결과이다.

Table 4. Anti-aircraft guns's CTE

CTE	기술명
1	사격통제 및 탄도/추적/관리알고리즘 기술
2	C2A 및 비행기지 사통체계 연동기술
3	포신/포탑 전기식 구동기술
4	30mm 철갑고폭소이자폭탄 기술
5	냉각형 적외선 검출기 기술
6	가시광선신호 감지 및 처리 기술
7	영상기반 표적 탐지/추적 기술
8	고반복 레이저거리측정(LRF) 기술
9	고안정 현수장치 기술

Table 5. Armoured car's CTE

CTE	기술명
1	해상운행 체계 MTM 기술
2	고속 해상운행 차체변환 기술
3	장갑 경량화 기술
4	고출력 엔진 기술
5	고출력 변속기 기술
6	동력 전환/분배 기술
7	육/해상 통합 냉각장치 기술
8	대용량 경량화 워터제트 기술
9	가변형 현수장치 기술
10	중구경 CTWS 무장 기술
11	중구경 CTA 탄약 기술

A-대공포 사업과 B-장갑차 사업에 대해서 기술적 위험지표의 적용 가능성을 분석하기 위해 TRL과 ΔTRL, R&D³, TNV를 전문가 설문조사 방법으로 조사하였다. 전문가 설문조사는 2개 사업에 대한 TRA 수행시 평가팀에 참여한 평가위원과 간사를 포함하여 총 10명을 대상으로 개별 사업별로 진행하였다. 소수의 전문가를 대상으로 한 설문조사 결과에 대한 객관성 문제가 제기될 수 있으나 과거 해당 사업의 TRA 평가팀에 참여하여 대상 사업 및 기술에 대한 배경지식과 전문성을 충분히 보유하고 있고 TRL 지표에 대한 이해가 높은 전문가만을 대상으로 설문조사를 수행함으로써 설문결과의 신뢰성 및 정확성을 높이하고자 하였다. 기술적 위험지표로 활용되는 4개 지표에서 TRL은 2개 사업에 대한 공식적인 TRA 결과를 활용하였으며 ΔTRL에서 목표 TRL은 체계개발의 최종 목표 수준인 TRL 7로 설정하였다.

3.3 적용 결과 분석

Table 6과 Table 7에 A-대공포와 B-장갑차 사업에 대한 R&D³와 TNV 설문조사 결과와 기술별 위험지표(TI) 산출 결과를 정리하였다. A-대공포 사업의 경우, TRA 결과 미성숙기술로 식별된 기술에 대해서만 높은 기술 난이도와 가중치를 가진 것으로 조사되었으며, B-장갑차 사업의 경우, 대부분의 기술들이 높은 기술난이도와 가중치를 가진 것으로 조사되었다. 전문

가 간의 설문조사 결과의 표준편차는 최소 0.447에서 최대 1.095로 전문가별 의견 차이는 크지 않은 것으로 분석되었다.

Table 6. Anti-aircraft guns's survey results

	R&D ³	TNV	TI
CTE 1	1.4	0.60	0.84
CTE 2	1.4	0.64	0.90
CTE 3	1.4	0.60	0.84
CTE 4	3.6	1.08	7.78
CTE 5	1.6	0.68	1.09
CTE 6	1.8	0.68	1.22
CTE 7	1.2	0.52	0.62
CTE 8	1.4	0.56	0.78
CTE 9	2.8	0.80	4.48

Table 7. Armoured car's survey results

	R&D ³	TNV	TI
CTE 1	3.2	0.96	9.22
CTE 2	3.8	1.04	15.81
CTE 3	2.8	0.80	6.72
CTE 4	3.6	1.04	14.98
CTE 5	3.0	0.88	10.56
CTE 6	3.2	0.96	12.29
CTE 7	3.0	0.88	7.92
CTE 8	3.4	0.92	9.38
CTE 9	2.8	0.80	6.72
CTE 10	2.0	0.64	3.84
CTE 11	2.0	0.64	3.84

Table 8은 2개 사업에 대한 통합위험지표(ITI)를 산출한 결과이다. B-장갑차 사업이 A-대공포 사업보다 약 4.5배 높은 기술적 위험도를 가지는 것으로 분석되었다. 이는 B-장갑차 사업이 A-대공포 사업에 비해 기술적 측면에 있어 상대적으로 4.5배의 위험도를 포함

하고 있다고 해석할 수 있으며 TRA 결과와는 다른 관점에서 사업관리에 도움이 될 수 있는 추가 정보를 제공할 수 있음을 확인할 수 있다.

Table 8. Result of ITI by project

구 분	ITI
A-대공포 사업	2.06
B-장갑차 사업	9.21

설문조사를 통해 산출된 2개 사업에 대한 기술별 위험지표(TI)와 사업별 통합위험지표(ITI)를 활용하여 개별 기술에 대한 위험군을 분류한 결과는 Table 9, Table 10과 같다. A-대공포 사업의 통합위험지표(ITI)는 2.06이며 이보다 높은 위험지표(TI)를 갖는 고위험군 기술로 2개 기술이 식별되었다. B-장갑차 사업의 통합위험지표(ITI)는 9.21로 고위험군 기술로 6개 기술이 식별되었다. A-대공포 사업의 경우, TRA에서 미성숙기술로 식별된 2개 기술이 그대로 고위험군 기술로 분류되었으나 B-장갑차 사업의 경우, TRA에서 미성숙기술로 식별된 9개 기술 중에서 6개 기술만이 고위험군 기술로 분류되었다. 즉, 3개 기술은 TRA에서는 미성숙기술로 평가되었으나 고위험군 기술로는 분류되지 않아 기술개발의 위험도가 그리 높지 않은 것으로 평가되었다. 그리고 이러한 3개 기술 중에서는 가장 낮은 TRL 4로 평가된 기술도 1개 포함되어 있었다.

Table 9. Anti-aircraft guns's risk classification

	미성숙기술	TI	위험군
CTE 1		0.84	
CTE 2		0.90	
CTE 3		0.84	
CTE 4	√	7.78	고위험
CTE 5		1.09	
CTE 6		1.22	
CTE 7		0.62	
CTE 8		0.78	
CTE 9	√	4.48	고위험

Table 10. Armoured car's risk classification

	미성숙기술	TI	위험군
CTE 1	√	9.22	고위험
CTE 2	√	15.81	고위험
CTE 3	√	6.72	
CTE 4	√	14.98	고위험
CTE 5	√	10.56	고위험
CTE 6	√	12.29	고위험
CTE 7	√	7.92	
CTE 8	√	9.38	고위험
CTE 9	√	6.72	
CTE 10		3.84	
CTE 11		3.84	

무기체계 연구개발사업에 대해 TRL 지표와 함께 ΔTRL, R&D³, TNV 등의 지표를 활용한 기술적 위험도 분석을 통해 기존 TRL 지표만을 제시하는 TRA에 비해 좀 더 다양한 정보를 제공할 수 있음을 확인하였다. TRA 결과는 미성숙기술을 식별하여 제공할 뿐으로 무기체계 연구개발사업의 단계전환 여부를 판단하기가 제한되며 다음 단계로 전환을 하더라도 기술별로 차별화된 위험관리 계획을 수립하기가 어려웠다.

본 논문에서는 TRL 지표와 함께 기 제안된 R&D³, TNV 지표를 활용하여 기술별 위험지표(TI)와 사업의 통합위험지표(ITI)를 산출하였다. 과거 TRA를 수행하였던 2개 사업을 대상으로 기술적 측면에서의 위험분석을 수행하였으며 단일 사업 내에서 상대적으로 위험도가 높은 기술과 낮은 기술을 구분하여 차별화된 위험관리 계획을 수립할 수 있음을 확인하였다. 또한, 서로 다른 특성을 가지는 이종의 무기체계에 대한 위험분석을 통해 사업 간의 기술적 위험도를 비교할 수 있음을 확인하였다. 그 결과, 미성숙기술 식별 결과만을 제공하는 TRA에 비해 추가적인 정보를 제공함으로써 연구개발사업의 기술적 측면에서의 위험관리에 훨씬 유용하게 쓰일 수 있음을 확인하였다.

하지만 R&D³와 TNV 지표에 대해서는 일부 개선요소도 식별되었다. Fig. 3과 Fig. 4는 각각 A-대공포 사업과 B-장갑차 사업의 기술별 R&D³와 TNV를 비교한

것으로 대다수의 설문자가 두 지표를 유사한 의미로 해석하고 있음을 유추할 수 있다. 즉, 개별 기술에 대해서 좀 더 정교한 위험지표를 산출하기 위해서는 R&D³와 TNV 지표의 단계별 정의에 대한 구체화 및 차별화가 요구된다. 특히 TNV의 경우, 단계별 정의가 기술적 노력에 대한 가중치로 구분되어 있어 좀 더 명확하고 구체적인 정의 제시가 필요할 것으로 판단된다.

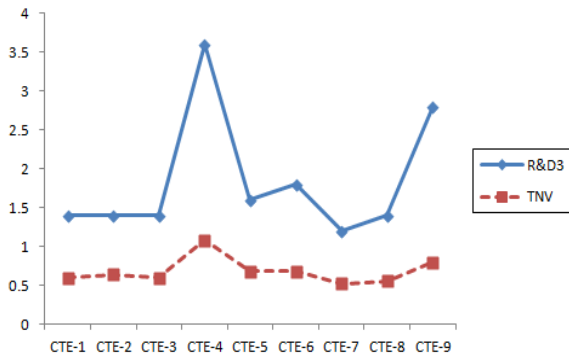


Fig. 3. Comparison of R&D³ and TNV of anti-aircraft guns project

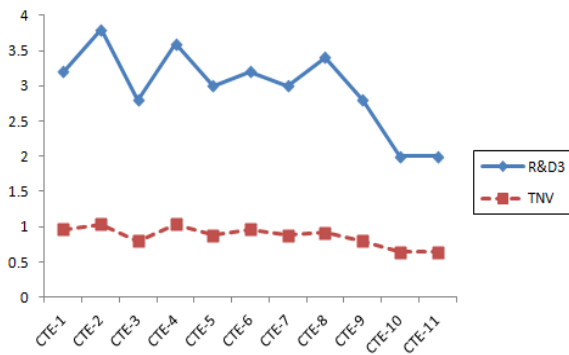


Fig. 4. Comparison of R&D³ and TNV of armoured car project

4. 결론

TRA는 무기체계 연구개발사업을 추진하는 과정에서 기술적인 문제로 발생할 수 있는 성능 저하, 사업 일정의 지연이나 비용 증가를 최소화하고 다음 단계로 넘어가기 위한 주요 의사결정 시점에서 합리적인

의사결정을 지원하기 위한 제도이다. 국내에서도 지난 2012년 이후로 무기체계 연구개발사업에 TRA를 도입하여 기술적 측면에서의 효율적인 사업관리를 지원하고 신뢰성 높은 무기체계를 획득할 수 있도록 활용하고 있다.

무기체계 개발에 필요한 핵심기술에 대한 기술성숙 여부를 객관적으로 평가하고 사업 추진간 발생 가능한 기술적 위험요소를 사전에 식별하여 위험관리계획을 수립할 수 있다는 TRA의 장점으로 인해 무기체계 연구개발사업의 의사결정 과정에서 그 중요성이 점차 증대되고 있다. 하지만 TRA 결과는 무기체계 연구개발사업의 단계전환 여부를 판단하는데 활용될 수 있으나 이후 연구개발사업을 추진하기 위한 기술별 위험관리 계획을 수립하는데 제한된다는 한계를 갖는다. 이를 개선하기 위해 보다 부가적인 정보를 제공하기 위한 다양한 지표들이 연구되었다.

본 논문에서는 TRL 지표와 함께 Δ TRL, R&D³, TNV 지표들을 실제 국내 무기체계 연구개발사업에 적용해 보았다. 과거 TRA를 수행한 실적이 있는 A-대공포 사업과 B-장갑차 사업에 대해 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하였으며 이를 통해 산출된 TRL, R&D³, TNV로부터 개별 기술에 대한 위험지표인 TI와 사업에 대한 통합위험지표인 ITI를 산출하였다. 무기체계 연구개발사업에 기술적 위험지표를 적용한 결과, 사업 내에서 상대적으로 위험도가 높은 기술과 낮은 기술을 구분하여 차별화된 위험관리 계획을 수립할 수 있으며 타 사업과의 상대적인 위험도를 비교할 수 있음을 확인하였다. 현재 국내 무기체계 획득절차상 TRA 결과는 연구개발사업으로의 추진 여부 및 탐색개발이나 체계개발로의 진입 여부를 판단하는 중요한 지표로 활용되고 있다. TRA 결과와 함께 기술별 위험도에 관한 정보를 제공할 경우, 탐색개발사업의 범위 설정이나 체계개발기본계획 및 실행계획의 수립은 물론 사업추진간 진도 점검 등에 활용되어 연구개발자와 사업관리자간의 효율적인 의사소통을 위한 도구로써 충분히 활용될 수 있을 것이다.

향후 R&D³와 TNV 지표에 대한 단계별 정의를 보다 직관적이고 구체적으로 구분할 필요가 있으며 전문가 설문조사 방식을 탈피하여 객관적 근거에 기반한 기술적 위험지표에 관한 추가 연구가 필요하다. 또한 무기체계 연구개발사업에 대한 상세한 위험관리계획 수립을 위해 기술별 위험도를 세분화시킬 수 있는 방안에 대한 연구도 필요할 것이다.

References

- [1] DoD, "TRA(Technology Readiness Assessment Deskbook)," USA, 2009.
- [2] DAPA, "Technology Readiness Assessment(TRA) Instruction," Republic of Korea, 2016.
- [3] DTaQ, "Technology Readiness Assessment(TRA) Guidebook," Republic of Korea, 2016.
- [4] S. Cornford and L. Sarsfield, "Quantitative Methods for Maturing and Infusing Advanced Spacecraft Technology," IEEE Aerospace Conference Proceedings, pp. 663-681, 2004.
- [5] D. Cundiff, "Manufacturing Readiness Levels(MRL)," White paper, 2003.
- [6] Gove, R., B. Sauser, and J. Ramirez-Marquez, "Integration Maturity Metrics: Development of an Integration Readiness Level," Stevens Institute of Technology, pp. 17-46, 2007.
- [7] MoD, "Technology Readiness Levels(Policy, Information and Guidance on the Technology Management aspects of UK MoD Defense Acquisition)," UK, 2010.
- [8] B. Sauser, J. Ramirez-Marquez, R. Magnaye, W. Tan, "Systems Approach to Expanding the Technology Readiness Level within Defense Acquisition," International Journal of Defense Acquisition Management, pp. 39-58, 2008.
- [9] J. Mankins, "Approaches to Strategic Research and Technology(R&T) Analysis and Road Mapping," ACTA Astronautica, pp. 3-21, 2002.
- [10] G. Dubos, J. Saleh, R. Braun, "Technology Readiness Level, Schedule Risk and Slippage in Spacecraft Design: Data Analysis and Modeling," AIAA Space 2007 Conference & Exposition, 2007.
- [11] J. Bilbro, "Advancement Degree of Difficulty(AD2) as an input to Risk Management," Technology Maturity Conference, 2008.
- [12] J. Mankins, "Technology Readiness and Risk Assessment : A new Approach," ACTA Astronautica, pp. 1208-1215, 2009.
- [13] C. Kim and K. Park, "Using the Technology Readiness Assessment to Support the National Defense Core Technology R&D Project Evaluation," Korean Operations Research and Management Society Conference Proceedings, pp. 889-895, 2009.
- [14] J. Lee and Y. Park, "A Study on the Application Way of Technology Readiness Assessment for the Enhancement of Reliability of Defense R&D Programs," Robotics and Systems Proceedings, pp. 345-357, 2011.
- [15] B. An, H. Song, G. Song and J. Yun, "Technology Readiness Evaluation Index for the Maturity of Weapon System," Korean Journal of Business Administration, Vol. 27, No. 9, pp. 1449-1464, 2014.
- [16] J. Kim, Y. Park, "Development of the System Technical Maturity Assessment Model for Defense R&D Programs Decision Support," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 13, No. 5, pp. 808-817, 2010.
- [17] K. Kim and J. Lee, "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," Journal of the Korea Safety Management & Science, Vol. 14, No. 3, pp. 151-158, 2012.
- [18] GAO, "GAO-16-410G : Technology Readiness Assessment Guide," USA, 2016.