

무기체계개발에서 작전운용성능을 만족시키기 위한 개선된 시스템성숙도 평가방법

권일호¹, 이재천^{2*}

¹방위사업청 정보화기획담당관실, ²아주대학교 시스템공학과

On an Improved Method for System Readiness Assessment to Meet Required Operational Capability in Weapon Systems Development

Il-Ho Kwon¹ and Jae-Chon Lee^{2*}

¹Information Planning Division, DAPA

²Dept. of Systems Engineering, Ajou University

요 약 현대 무기체계는 첨단화와 복잡성의 증가로 시스템개발 실패 사례가 빈번하게 발생하고 있다. 사례분석결과 원인은 원래의 시스템 운용개념을 충족시키지 못하거나 미성숙 기술의 적용 등으로 파악되었다. 이에 방위사업청에서는 무기체계개발시 핵심요구성능으로서 작전운용성능의 충족을 요구하고 있다. 한편 시스템개발시의 위험관리 방법중의 하나로서 기술성숙도 평가가 사용되어 왔는데, 이것은 개별기술에 대한 평가방법이므로, 시스템 수준에서의 기술간 통합에 대해서는 미흡하다. 이를 보완하기 위해 시스템 성숙도 평가 모델이 제시되었고, 이와는 별도로 시스템개발의 난이도의 도입을 통한 리스크 관리 모델이 제시되었다. 하지만 기술간 통합의 효과와 시스템개발 난이도를 동시에 고려한 모델은 제시되지 않았다. 또한 무기체계개발의 궁극적인 목표인 작전운용성능 충족의 관점에서 도출된 평가모델은 제시되지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 무기체계개발에서 작전운용성능을 충족시키면서 리스크 관리를 수행하기 위한 방법으로, 요소기술간 통합과 시스템개발 난이도를 동시에 고려한 시스템 성숙도 평가 모델을 구축하였다. 또한 무기체계 연구개발단계에서 개선된 시스템 성숙도 평가모델을 적용할 수 있는 방법을 제시하였다.

Abstract The risk of failure in the development of modern weapon systems has been increasing as the demand on the capability and the resulting complexity of the weapons on the war fields are increasing drastically. The analysis of failure has indicated that the main causes can be the following: one is attributed to the unsatisfaction of the system operation concept; and the other is the use of premature technology. As such, DAPA in Korea is urging that the weapons systems development should meet the required operational capability (ROC) as a critical performance requirement. On the other hand, an approach to risk management is to use the technology readiness level (TRL) assessed for each individual technology alone. However, the method of TRL cannot assess the effect of integration between technologies and cannot be performed at system level, which is crucial to systems development. In order to improve the shortfalls, a concept of system readiness level (SRL) has been studied by introducing the technologies integration and also some forms of analysis of advanced degree of difficulty studied separately, but no model considering both of two reported yet. In this paper, under the framework of meeting the ROC, an improved SRL assessment model is presented, which is also considering the advanced degree of difficulty simultaneously. The application of the improved assessment method is discussed in connection with the life cycle of the weapon systems development in conformance with the ROC of DAPA.

Key Words : AD2, ROC, SRL

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

Tel: +82-31-219-3941 email: jaelee@ajou.ac.kr

Received May 16, 2013

Revised June 18, 2013

Accepted August 7, 2013

1. 서론

무기체계 연구개발은 기간과 비용이 많이 소요되고, 실패는 곧바로 군방전력의 약화로 이어진다. 이러한 특성은 강건한 무기체계 연구개발 절차를 요구하게 되었고 최근에는 시스템공학을 적용한 연구개발 절차가 많이 활용되고 있다. 우리나라의 방위사업청이나 미 국방성의 경우도 시스템공학 기반의 무기체계 연구개발 프로세스를 적용하고 있다. 특히 연구개발 실패의 위험을 줄이기 위하여 연구개발 초기단계 부터 시스템공학 활동을 강조하고 있다[1,2].

하지만 무기체계의 첨단화와 복잡성의 증가로 체계개발 실패사례가 지속적으로 발생한다. 방위사업청의 연구개발 실패사례 연구보고서나 미국의 실패사례 분석 결과를 살펴보면 체계운영개념의 미 충족이나 기술적인 문제가 주요 실패 원인임을 알 수 있다[3,4]. 이러한 문제로부터 체계운영개념을 충족하면서 전체 시스템 관점에서 기술적인 문제에 대한 해결방안을 도출해야 할 필요성을 인식할 수 있게 되었다.

이러한 측면에서 우리나라 방위사업청의 무기체계 연구개발사업에서도 체계운영개념에 맞는 군의 핵심 요구사항인 작전운용성능(ROC : Required Operational Capability) 에 대해 전체시스템 관점에서 기술성속도(TRL : Technology Readiness Level) 평가가 수행된다면 체계개발의 실패의 위험을 줄일 수 있을 것이다[5,6].

TRL 평가는 체계개발에 적용할 기술에 대한 성속도 평가를 통해 위험을 관리하는 방법으로 미국항공우주국(NASA)에서 처음 개발하여 현재 광범위하게 사용되고 있다[7]. 이러한 TRL 평가는 개별기술에 대한 동일한 기준을 제공하여 새로운 기술에 대한 성속도 평가가 용이하다. 하지만 기술과 서브시스템의 통합과 성속도 진행의 불확실성에 대한 표현을 고려하지는 못했다. 이에 따라 기술간의 통합을 고려한 통합성속도(IRL : Integrated Readiness Level)를 반영하여 시스템성속도(SRL : System Readiness Level)를 측정하는 평가 방법이 제시되었다. 이 방법은 기술간 통합을 고려한 시스템성속도 평가는 가능하나 여전히 기술성속도 진행에 대한 불확실성이나 체계개발의 난이도(DD : Degree of Difficulty)를 반영하지는 못했다[8,9].

체계개발난이도는 기술달성에 대한 실패의 확률로써 예상되는 리스크의 척도로 고려될 수 있다. 이러한 난이도를 고려한 기술성속도 평가 모델로 통합기술분석방법(ITAM : Integrated Technology Analysis Methodology), 기술성속도와 리스크평가(TRRA : Technology Readiness and Risk Assessment)나 기술적 성능 리스크측정 모델(

TPRM : Technology Performance Risk Measure)을 예로 들 수 있다. 이러한 모델들은 체계개발의 난이도를 고려한 평가는 수행하였지만 기술간의 통합의 효과를 고려하지는 못하였다[10,11,12].

또한 시스템 성속도 평가방법의 확대개념으로 전체시스템 수준-기능수준-능력수준의 SRL로 구분하여 다수의 기능과 다수의 능력을 가지고 있는 시스템에 대한 SRL을 평가하는 방법도 제시되었다[13].

하지만 현대의 무기체계는 복잡도가 더욱 증가하여 개별 기술간의 통합이 중요시되고 첨단기술을 적용하는 무기체계의 경우 체계개발 난이도가 체계개발 성공에 많은 영향을 미친다. 따라서 무기체계의 기술성속도 평가는 기술간의 통합과 체계개발 난이도를 동시에 고려하여 전체 시스템 차원에서 평가가 이루어 져야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 방위사업청 무기체계 연구개발에서 기술통합성속도와 체계개발 난이도를 고려한 시스템 성속도 평가모델을 제시하고 체계개발 성공의 핵심 기준 요소인 군 ROC 평가에 적용할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 기존 연구

2.1 TRL(Technology Readiness Level)

1980년대 미국 NASA(National Aeronautics and Space Administration)에서 새로운 기술 개발에 대한 위험평가를 위해 7단계의 TRL을 처음 제시하였고, Mankins(1989)의해 9단계로 확장되어 현재까지 널리 사용되고 있다[14].

1999년 미국 국방성(Department of Defense)에서 이러한 TRL 개념을 받아들였고, 2009년부터는 기술 성속도 평가(TRA : Technology Readiness Assessment)를 위한 시스템적 방법으로 TRL을 적용하고 있다. 이러한 TRL Scale은 시스템 운영 관점에서 개별기술에 대한 성속도 평가 개념이다[15].

2.2 IRL(Integration Readiness Level)

기술간의 통합에 대한 연구는 Mankins(2002)에 의해 처음 시도 되었다. Mankins는 통합기술분석방법(ITAM : Integrated Technology Analysis Methodology)에서 통합기술기준(ITI : Integrated Technology Index)을 제안하였다.

ITI는 TRL 진행에서 예상되는 어려움을 고려하여 기술들 간의 상대적 우선순위를 적용하여 대안을 선택하기 위해 사용된다[9].

$$ITI = \frac{\sum_{\text{subsystem technologies}} (\Delta TRL \times RD^3 \times TNV)}{\text{Total No. of Subsystem Technologies}}$$

- Delta TRL(ΔTRL) : 현TRL과 기대TRL과 차이
- RD^3 : Research & Development Degree of Difficulty
- TNV(Technology Need Values) : 특정개념에 적용해야할 기술들의 중요한 기능적 특성

하지만 ITI는 시스템 개발의 통합관점을 적절하게 표현하지는 못했다. 그리고 영국의 국방성에서 시스템에 기술을 성공적으로 반영하기 위해 기술통합메트릭스(TIM : Technology Insertion Metrics)를 개발하였고 TIM에서 통합성숙도수준(IML : Integration Maturity Level)을 적용하였다. 그리고 통합측정 방법을 개선하기 위해 Sauser, Verma, Ramirez-Marquez(2006)에 의해 7단계의 IRL이 제시되었고 나중에 Gove(2007) 의해 9단계로 확대 되었다[7,10,16].

2.3 SRL(System Readiness Level)

SRL은 시스템 수준의 성숙도에 대한 index이다. 주어진 시스템의 SRL은 개별 기술간의 연관성에 대한 성숙도를 나타내는 TRL과 IRL의 함수이다. 처음 Sauser는 TRL과 IRL index를 고려하여 5단계의 SRL Index를 제시하였다[17].

그리고 개발단계에서 전체시스템의 성숙도에 대한 정량적 평가를 위해 SRL을 TRL과 IRL의 함수로 정의하여 수학적으로 식(1)과 같이 계산하였다[13,17,18].

$$SRL = F(TRL, IRL) = [IRL] \times [TRL] \quad \text{식(1)}$$

이 경우 SRL Scale은 실제 시스템 구성을 반영한 TRL과 IRL의 정규화 메트릭스를 사용하여 계산한다. 우선 각각의 기술에 대한 9단계 TRL과 IRL을 [0, 1]로 정규화하면 식(2), 식(3)과 같다.

$$[TRL] = \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ \dots \\ TRL_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} TRL'_1 \\ TRL'_2 \\ \dots \\ TRL'_n \end{bmatrix}, \quad TRL' = \frac{TRL}{9} \quad \text{식(2)}$$

$$IRL = \begin{bmatrix} IRL_{11} & IRL_{12} & \dots & IRL_{1n} \\ IRL_{21} & IRL_{22} & \dots & IRL_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRL_{n1} & IRL_{n2} & \dots & IRL_{nn} \end{bmatrix}, \quad IRL' = \frac{IRL}{9}$$

$$= \begin{bmatrix} IRL'_{11} & IRL'_{12} & \dots & IRL'_{1n} \\ IRL'_{21} & IRL'_{22} & \dots & IRL'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRL'_{n1} & IRL'_{n2} & \dots & IRL'_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{식(3)}$$

단, $IRL_{ij} = IRL_{ji}$ 이고, 통합이 없는 경우 0, $IRL_{ii} = 9$ 이다. 그리고 TRL과 IRL 메트릭스의 곱을 ITRL이라 정의하면 식(4)와 같이 표현된다.

$$ITRL = Norm \times IRL' \times TRL'$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{m_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{m_2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{m_n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} IRL'_{11} & IRL'_{12} & \dots & IRL'_{1n} \\ IRL'_{21} & IRL'_{22} & \dots & IRL'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRL'_{n1} & IRL'_{n2} & \dots & IRL'_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} TRL'_1 \\ TRL'_2 \\ \dots \\ TRL'_n \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{IRL'_{11} TRL'_1 + IRL'_{12} TRL'_2 + \dots + IRL'_{1n} TRL'_n}{m_1} \\ \frac{IRL'_{21} TRL'_1 + IRL'_{22} TRL'_2 + \dots + IRL'_{2n} TRL'_n}{m_2} \\ \dots \\ \frac{IRL'_{n1} TRL'_1 + IRL'_{n2} TRL'_2 + \dots + IRL'_{nn} TRL'_n}{m_n} \end{bmatrix} \quad \text{식(4)}$$

여기에서 Norm은 식(5)에서 SRL에 대해 [0, 1]로 정규화하기 위한 메트릭스이다.

단, m_i 는 i번째 기술의 통합수(자신포함)이다.

그리고 각각의 기술에 대한 ITRL의 평균값을 시스템 성숙도로 식(5)와 같이 계산하였다.

$$SRL = \frac{ITRL_1 + \dots + ITRL_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n ITRL_i}{n} \quad \text{식(5)}$$

그리고 다수기능 및 능력에 대한 SRL 평가를 위해 System - Function - Capability 수준으로 구분하고 Top-Down으로 구조화하여 Capability 수준의 SRL을 구하고 Capability 수준의 SRL중 최대값을 Function수준의 SRL로 산정하며 전체 시스템에 대한 SRL은 Function 수

준의 SRL값들의 평균으로 산정하는 방법을 제시하였다 [13].

2.4 체계개발 난이도(Advanced Degree of Difficult)

체계개발의 난이도는 시스템, 서브시스템 및 컴포넌트 TRL의 변경에 대한 예측을 반영한 것이다. 이러한 개념은 Mankins(2002)가 TRL을 적용하기 위하여 특정기술의 성숙에 예상되는 어려움을 나타내는 개념으로 $R\&D_3$ (Research and Development Degree of Difficulty)를 최초로 제시하였다. 그리고 Bilbro(2007)가 $R\&D_3$ 와 비슷한 개념인 9단계의 AD_2 (Advanced Degree of Difficulty)를 제시하였다. 또한 Sherry(2006)가 기술적 성능에 대한 리스크를 측정하는 방법으로 기술성능리스크측정(TPRM : Technology Performance Risk Measure) 방법을 식(6)과 같이 제시하였다.

$$TPRM = \frac{1 - P}{1 - (P \times DD)} \quad \text{식(6)}$$

P : 성능달성, DD : 체계개발의 난이도

TPRM에서는 DD가 0으로 갈수록 리스크는 성능미달 성률(1-P)로 근접하고 DD가 1로 근접할수록 리스크는 1에 근접하게 된다[12].

2.5 기존연구 분석

TRL 평가는 개별기술에 대한 평가를 근간으로 하고 있다. 그리고 개별 기술간의 통합을 고려한 IRL 개념을 적용하여 SRL 평가개념으로 확장되었다. 또한 기술이 체계개발에 적용되어 성숙이 진행되는 어려움의 정도를 나타내는 DD를 고려한 연구가 있었다. 하지만 현대 무기체계의 경우 복잡성이 증대하고 첨단기술의 적용에 따라 체계개발의 어려움이 가중되고 있다. 따라서 무기체계연구개발의 위험 관리도구로 시스템성속도 평가를 활용하기 위해서는 기술의 통합과 개발난이도를 고려한 SRL 모델이 좀 더 적합할 것이다.

3. ROC에 대해 SRL 평가의 필요성

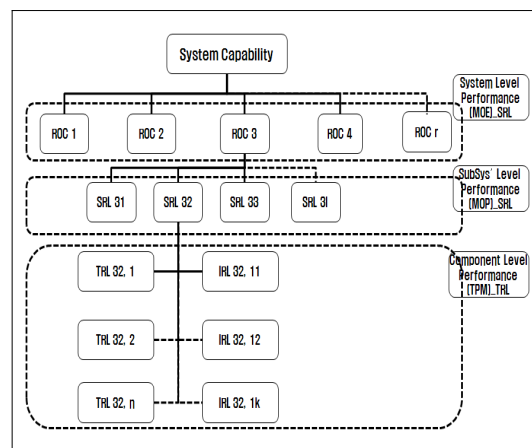
방위사업청의 무기체계 연구개발 실패의 주요요인은 핵심기술의 부족에 기인한다. 이 같은 실패를 예방하기 위해 개별 핵심기술에 대해 TRL 평가를 수행하여 핵심기술에 대한 위험 관리를 수행하고 있다. 하지만 체계 개

발과정에서 연구개발 실패의 원인을 분석해 보면 개별 핵심기술 문제보다는 운용개념의 부적절이나 전체 시스템 관점에서의 목표성능 미 충족이 주요 요인이다[3].

이는 무기체계 운용자인 군의 핵심요구사항인 ROC의 미 충족과 동일 시 된다. 이에 따라 무기체계 사용자의 운용개념에 적합하고 목표성능의 충족가능성에 대한 평가를 수행하기 위해 ROC에 대한 시스템 성속도 평가가 필요하다. 비록 시스템 성속도가 체계개발 성공의 절대적 척도는 아니지만 체계개발 과정에서 전체 시스템에 대한 위험 관리의 도구로 활용한다면 무기체계 연구개발의 실패 요인을 줄이는데 기여할 것이다.

4. 무기체계 연구개발에서 ROC에 대해 개발난이도를 고려한 SRL 평가

무기체계 연구개발 단계에서 ROC는 전체 시스템 측면에서의 요구사항과 하위 구성요소에 대한 요구사항으로 구성되어있다. 이러한 ROC에 대한 SRL 평가를 위해서는 시스템 Capability에 대한 구조화가 필요하다. 그리고 무기체계 ROC의 기술적 측정 파라미터 구조를 살펴 보면 MOE(Measure Of Effectiveness) - MOP(Measure Of Performance - TPM(Technical Performance Measure)로 계층구조화 할 수 있고, WBS의 시스템 수준의 성능-서브시스템 수준의 성능-컴포넌트 수준의 성능으로 구조화 할 수 있다. 이러한 계층구조를 SRL, TRL 및 IRL의 계층구조로 표현하면 Fig. 1과 같이 표현 할 수 있다.



[Fig. 1] System Capability Hierarchy Structure

이러한 ROC 계층구조에서 ROC에 대해 DD를 고려한

개선된 SRL 평가모델 적용방법을 개발하기 위해 우선 DD를 고려한 기술성속도 평가개념을 설정하고 DD를 고려한 SRL 모델과 활용성 분석을 통해 제한사항과 유용성을 다음과 같이 제시한다.

4.1 DD를 고려한 기술성속도

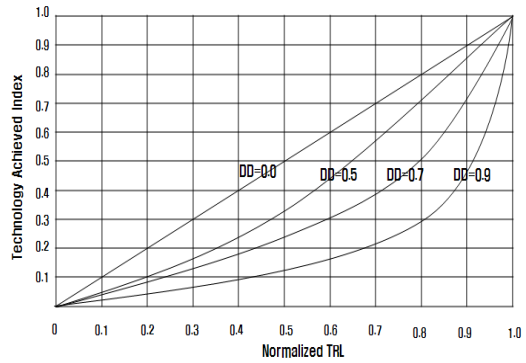
체계개발 난이도는 체감온도 효과와 비슷한 의미로 현재의 기술성속도 수준과 체계개발진행 과정에서 느끼는 기술성속도 수준은 다르다는 개념으로 별도의 평가지표를 통해 측정된다. 이러한 DD를 고려한 기술성속도 적용은 개별 TRL 수준이 체계개발 진행 간 난이도에 따라 달라짐을 반영한 것이다.

현재 통용되고 있는 TRL 수준인 9단계 Scale을 [0, 1]로 정규화 하면 TRL 달성률을 계산할 수 있다. 그리고 TRL 수준이 높을수록 체계개발의 성공률이 높아지므로 TRL 달성률과 체계개발 성공률은 비례 한다고 가정할 수 있다. 즉 TRL 수준이 9이면 TRL 달성률이 1로써 체계개발 성공을 의미한다. 하지만 체계개발 진행과정에서 TRL 달성률이 선형으로만 변한다고 가정할 수 없다. 따라서 체계개발단계에서 TRL 달성률은 체계개발 난이도 (DD : Degree of Difficulty)에 따라 비선형으로 변한다고 가정하였다. 이러한 가정을 바탕으로 DD를 고려하여 기술성능 리스크 인덱스를 도출한 기존연구 식(6)의 개념에서 기술성능달성도 식을 도출하였다. 식(6)의 기술성능달성 리스크는 DD를 고려한 성능미달성률에 대한 DD를 미고려한 성능미달성률의 비율로 산정하였다. 이와 같은 개념에서 기술적성능달성률이 1인값 즉 리스크가 0인 경우에서 성능미달성률을 뺀값을 기술적성능달성률로 정의할 수 있다. 이에 따라 DD를 고려한 TRL 달성률을 TAI(Technology Achievement Index)로 정의하면 다음의 식(7)로 표현할 수 있다.

$$TAI = 1 - \frac{1 - TRL}{1 - (TRL \times DD)} \quad \text{식(7)}$$

식(7)에서 DD가 0 인 경우는 DD를 고려하지 않은 경우로써 TRL과 TAI가 동일하다. TRL이 9인 경우 즉 정규화 TRL값이 1인 경우는 체계개발 성공을 의미하고 DD에 관계없이 모두 달성된 경우를 나타낸다.

TRL 달성도는 DD에 따라 변하고 TRL수준을 [0, 1]로 정규화 하여 TAI를 개념적으로 표현하면 아래 Fig. 2과 같다.



[Fig. 2] Technology Achievement Index

4.2 DD를 고려한 시스템성속도(SRL) 모델

기존연구에서 Sauser가 제시한 시스템성속도(SRL) 모델은 $SRL = F(IRL, TRL)$ 개념으로 각각의 기술에 대한 시스템성속도 매트릭스를 작성하여 계산한다. 매트릭스 계산시 [0, 1]로 정규화된 IRL 및 TRL값을 IRL'와 TRL'라 하면 식(3)과 식(4)에서와 같이 SRL을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$[SRL] = \frac{[Norm] \times [IRL'] \times [TRL']}{n} \quad \text{식(8)}$$

식(8)에서 식(7)과 같이 DD를 고려한 TRL 달성률인 TAI(Technology Achieved Index)를 적용하여 개선된 SRL'를 구하면 식(9)와 같다.

$$[SRL'] = [IRL'] \times [TAI] \\ = [Norm] \times [IRL'] \times \left[1 - \frac{1 - TRL'}{1 - (TRL' \times DD)} \right] \quad \text{식(9)}$$

식(9)에서 DD가 0인 경우는 DD를 고려하지 않은 경우로 TRL과 TAI가 같아 Sauser가 제시한 SRL 모델과 동일하다. TRL이 9인 경우 역시 최종 체계개발 성공을 의미하므로 DD와 상관없이 TRL과 TAI는 동일함을 알 수 있다.

4.3 ROC에 대한 DD를 고려한 SRL평가 방법

4.3.1 대상 시스템 정의

시스템은 총 n개의 핵심기술을 가지고 있고 각각의 기술에 대한 성속도를 가지고 있다고 가정하면 총 기술 $T = \{TRL_i, i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ 로 정의된다.

시스템은 r개의 ROC로 구성된다고 가정하면 $ROC_{system} = \{ROC_r, r = 1, 2, \dots, k\}$ 로 정의된다. 여기

에서 ROC_r 는 l 개의 서브시스템의 성능으로 구성되어 있고 서브시스템 성능은 n 개의 핵심기술을 포함한 컴포넌트로 구성된다고 가정하면 서브시스템 성속도 $SRL_{rc} = \{SRL_{rc}, c = 1, 2, \dots, n\}$ 로 정의된다.

SRL_{rc} 은 컴포넌트 수준의 각각의 TRL과 IRL로 구성되므로 컴포넌트 수준의 시스템성속도 $SRL_{rc(i)} = \{TRL_{rc(i)}, IRL_{rc(i,j)}, i, j = 1, 2, \dots, n_{rc(i)}\}$ 로 정의된다.

4.3.2 적용방법

4.3.2.1 시스템 분석을 통하여 핵심기술을 포함한 컴포넌트를 식별하고 ROC 달성에 필요한 서브시스템 및 컴포넌트에 대한 계층구조를 작성한다.

4.3.2.2 핵심기술이 포함된 컴포넌트에 대한 기술간의 통합관계를 포함한 네트워크 다이어그램을 작성한다.

4.3.2.3 컴포넌트 수준의 개별 기술에 대한 TRL, IRL 및 DD를 평가지표에 따라 평가한다.

4.3.2.4 시스템에서 컴포넌트 수준의 개별 기술별로 평가된 TRL 및 IRL의 [0, 9] 값을 정규화 하여 [0, 1] 값으로 변환한 TRL'_{rc} 와 IRL'_{rc} 를 구한다.

4.3.2.5 체계개발난이도(DD)를 고려한 TRL 달성도(TAI)를 식(10)과 같이 구한다.

$$TAI_{rc} = 1 - \frac{1 - TRL'_{rc}}{1 - (TRL'_{rc} \times DD)} \quad \text{식(10)}$$

이때 DD값은 Mankins가 제시한 DD값을 일부 변형하여 Table 1과 같이 적용한다[11].

[Table 1] DD Scale

DD	Risk Level	DD
Level 0	No Risk	0.0
Level 1	Very low Risk	0.1
Level 2	Moderate	0.3
Level 3	High	0.5
Level 4	Very High	0.7
Level 5	Extremely High Risk	0.9
Level 6	Guaranteed Failure	1.0

4.3.2.6 TRL과 IRL의 곱인 $ITRL_{rc}$ 를 구한다.

$$ITRL_{rc} = Norm_{rc} \times IRL'_{rc} \times TAI_{rc} \quad \text{식(11)}$$

식(11)에서 $Norm_{rc}$ 는 SRL_{rc} 를 [0, 1]로 정규화한 값으로 m_{rcn} 은 자신을 포함한 기술간의 통합수이다.

4.3.2.7 서브시스템 수준의 SRL_{rc} 값은 식(12)와 같이 평균값으로 구한다.

$$SRL_{rc} = \frac{ITRL_{rc1} + ITRL_{rc2} + \dots + ITRL_{rcn}}{n_{rc}} = \frac{\sum_{i=1}^n ITRL_{rci}}{n_{rc}} \quad \text{식(12)}$$

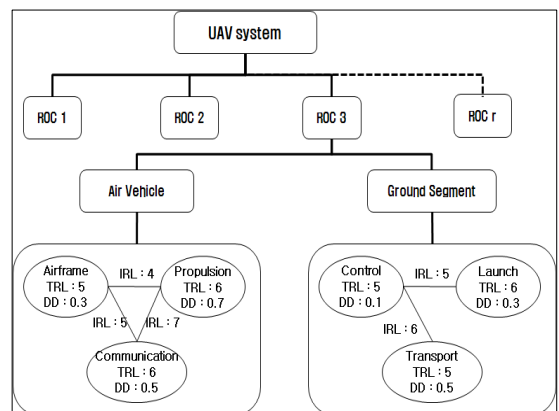
4.3.2.8 시스템 수준인 ROC에 대한 SRL_r 은 서브시스템 성속도 값중 최소값으로 정한다.

$$SRL_r = \min(SRL_{rc})$$

이는 ROC가 기술적 성능목표 요구시 설계 목표값과 최소 달성기준으로 요구하고 최소달성 기준은 반드시 충족해야 한다. 이에 따라 ROC의 경우 반드시 달성해야할 최소 요건을 충족해야 하므로 서브시스템 구성품 각각의 시스템성속도 값중 최소값을 선택하여 ROC에 대한 시스템 성속도 값으로 결정한다.

4.4 적용예시

Fig. 3은 계산사례를 보여주기 위해 임의로 선정한 기술 성속도 측정값이다. 이를 대상으로 계산 절차를 예시로 살펴보면 다음과 같다.



[Fig. 3] ROC SRL Assessment Structure(Example)

4.4.1 Air vehicle의 TRL 및 IRL 메트릭스를 구하고 정규화 하면 다음과 같다.

$$[TRL_{Air\ Vehicle}] = \begin{bmatrix} Airframe \\ Propulsion \\ Communication \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5/9 \\ 6/9 \\ 6/9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.56 \\ 0.67 \\ 0.67 \end{bmatrix}$$

$$[IRL_{Air\ vehicle}] = \begin{bmatrix} 9/9 & 4/9 & 5/9 \\ 4/9 & 9/9 & 7/9 \\ 5/9 & 7/9 & 9/9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.44 & 0.56 \\ 0.44 & 1.00 & 0.78 \\ 0.56 & 0.78 & 1.00 \end{bmatrix}$$

4.4.2 DD를 고려한 TRL 달성률 TAI를 구하면 다음과 같다.

$$[TAI_{Air\ Vehicle}] = 1 - \frac{1 - TRL_{Air\ Vehicle}}{1 - (TRL_{Air\ Vehicle} \times DD)} = \begin{bmatrix} 0.47 \\ 0.38 \\ 0.50 \end{bmatrix}$$

4.4.3 $[ITRL_{Air\ Vehicle}] = Norm \times IRL \times TAI$

$$= \begin{bmatrix} 0.33 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.33 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.33 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1.00 & 0.44 & 0.56 \\ 0.44 & 1.00 & 0.78 \\ 0.56 & 0.78 & 1.00 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.47 \\ 0.38 \\ 0.50 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 \\ 0.32 \\ 0.35 \end{bmatrix}$$

4.4.4 $SRL_{Air\ Vehicle}$ 을 구하면

$$= \frac{\sum_{i=1}^3 ITRL_i}{3} = \frac{0.30 + 0.32 + 0.35}{3} = 0.33$$

4.4.5 $SRL_{Ground\ Segment}$ 에 대해서도 위의 4.4.1~4.4.4와 동일한 절차로 구하면 다음과 같다.

$$[TRL_{Ground\ Seg'}] = \begin{bmatrix} Control \\ Launch \\ Transport \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5/9 \\ 6/9 \\ 5/9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.56 \\ 0.67 \\ 0.56 \end{bmatrix}$$

$$[IRL_{Ground\ Seg'}] = \begin{bmatrix} 9/9 & 5/9 & 6/9 \\ 5/9 & 9/9 & 0/9 \\ 6/9 & 0/9 & 9/9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.56 & 0.67 \\ 0.56 & 1.00 & 0.00 \\ 0.67 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$[TAI_{Ground\ Seg'}] = 1 - \frac{1 - TRL_{Ground\ Seg'}}{1 - (TRL_{Ground\ Seg'} \times DD)} = \begin{bmatrix} 0.53 \\ 0.58 \\ 0.38 \end{bmatrix}$$

$[ITRL_{Ground\ Seg'}] = Norm \times IRL \times TAI$

$$= \begin{bmatrix} 0.33 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.50 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.50 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1.00 & 0.56 & 0.67 \\ 0.56 & 1.00 & 0.00 \\ 0.67 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.53 \\ 0.58 \\ 0.38 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.37 \\ 0.44 \\ 0.37 \end{bmatrix}$$

$$SRL_{Ground\ Segment} = \frac{\sum_{i=1}^3 ITRL_i}{3} = \frac{0.37 + 0.44 + 0.37}{3} = 0.39$$

4.4.6 예시에서 ROC3에 대한 SRL를 구하면 다음과 같다

$$SRL_{ROC3} = Min(SRL_{Air\ Vehicle}, SRL_{Ground\ Segment}) = Min(0.33, 0.39) = 0.33$$

따라서 예시로 주어진 ROC3의 시스템 성숙도는 0.33이다.

4.5 ROC에 대한 SRL 평가 활용

위 예시에서 DD를 고려한 경우와 DD를 고려하지 않은 경우를 비교해 보면 Table 2와 같다.

결과표에서 개별TRL 수준은 Air Vehicle이 높다.

하지만 DD를 고려하지 않은 경우 Subsystem의 SRL값은 동일한 수준으로 측정되었다. 이는 통합성속도(IRL)가 반영된 효과이다. 또한 DD를 고려한 경우는 TRL 수준이 낮고 DD가 낮은 Ground Seg'의 SRL 수준이 높게 측정되었다. 이는 체계개발난이도가 체계수준에 반영된 결과 이

[Table 2] The result of SRL_{ROC} Assessment

Section		TRL	DD	$SRL_{comp'}$		SRL_{Subsys}		SRL_{ROC}	
				No DD	DD Adopt	No DD	DD Adopt	No DD	DD Adopt
Air Vehicle	Airframe	5	0.3	0.41	0.30	0.46	0.33	0.46	0.33
	Propulsion	6	0.7	0.48	0.32				
	Communi'	6	0.5	0.50	0.35				
Ground Seg'	Control	5	0.1	0.43	0.37	0.46	0.39	0.46	0.33
	Launch	6	0.3	0.49	0.44				
	Transport	5	0.5	0.46	0.37				

다. 이와 같은 결과에서 시스템 성속도는 IRL과 DD 수준의 조합에 따라 변화됨을 알 수 있다. 특히 DD가 높은 경우는 시스템 성속도에 영향성이 커짐을 알 수 있다.

여기에서 SRL평가 결과 값은 절대적인 값을 의미하기는 어렵다. 이는 기존연구에서와 같이 SRL의 근본적인 제약 사항중의 하나인 기술성 속도의 가중 평균값에 대한 타당성이 여전히 논란의 대상이고 TRL Scale을 정규한 값이 절대기준값이 되기는 어렵기 때문이다. 이 때문에 DD를 고려한 SRL값을 체계개발 과정에서 절대적인 기준값으로 적용하는데는 한계가 있다. 하지만 Table 2에서와 같이 ROC에 대하여 개별기술의 성속도, 통합성속도, 체계개발의 난이도를 종합적으로 고려하여 리스크 관리를 수행한다면 더 많은 의미 있는 정보를 제공하여 의사결정에 도움이 될 것이다. 특히 ROC에 대한 시스템 성속도 평가는 사용자의 운용개념과 핵심성능 목표에 대한 평가로써 전체시스템 수준의 위험관리 기준지표로 제공된다면 ROC에 대한 위험관리에 도움이 될 것이다.

5. 결론

방위사업청 무기체계 연구개발 성공의 핵심요소는 ROC의 달성이다. 이는 사용자의 적합한 운용개념과 핵심목표성능을 동시에 충족함을 의미하기 때문이다. 이에 따라 ROC의 달성가능성에 대하여 시스템 성속도 평가를 통해 체계개발의 위험관리가 요구된다. 기술성속도 평가에 대한 초기연구에서는 개별기술에 대한 평가수행으로 복잡한 무기체계의 기술간 통합이나 체계개발 진행간의 개발난이도를 고려하지는 못했다. 이를 개선하기 위해 기술간의 통합을 고려하여 시스템적 효과에 따른 시스템 성속도 평가 방법이 제시되었고, 체계개발 진행단계에서의 난이도를 고려하여 리스크 관리나 성능측정 방법이 연구되었다. 하지만 기술간의 통합을 통한 시스템적 효과와 체계개발 난이도를 동시에 고려한 모델은 제시되지 않았다. 이에 따라 본 연구에서 제시된 기술간의 통합과 체계개발난이도를 고려한 시스템 성속도 평가모델은 복잡하고 첨단기술을 적용한 현대 무기체계 연구개발에 적용하는 것이 좀 더 타당할 것이다. 그리고 방위사업청의 무기체계 연구개발 단계에서 사용자 핵심요구사항인 ROC에 대해 개선된 시스템 성속도 평가모델을 적용하기 위한 방법을 제시하였다. 제시된 방법이 방위사업청 무기체계 연구개발 시 위험관리 도구로 활용된다면 사업관리자나 의사결정자에게 유용한 정보를 제공하게 될 것이다.

References

- [1] DAPA, DAPA Anweisung No. 188, Defense Acquisition Regulation, 2012. 7.
- [2] US DOD Directive 5000. 2, 2005.
- [3] DAPA, On an Improved Method and Failure Case for Defense Research and Development, Korea Research Institute for Military Affairs, 2010. 8.
- [4] US General Accounting Office, Better Management of Technology Development Can improve weapon system out comes, pp. 4-5, 1999.
- [5] DAPA, TRA Instruction, Instruction NO 2012-8, 2012. 4.
- [6] Nazanin Azizian, Thomas Mazzuchi, Shahram Sarkani, David F. Rico, "A Framework for Evaluating Technology Readiness, System Quality, and Program Performance of U.S. DoD Acquisitions", Department of Engineering management and Systems Engineering, The George Washington University, Vol 12, No. 4. 2011,
- [7] Brian Sauser, Jose Ramirez-Marquez, Dinesh Verma, Ryan Gove, "From TRL to SRL : The Concept of Systems Readiness Levels", Stevens Institute of Technology, 2006.
- [8] John C. Mankins, "Technology readiness assessments : A retrospective", Artemis Innovation Management Solutions LLC, Ashburn, VA, USA, Mar. 2009.
- [9] Jonh C. Mankins, "Approaches to Strategic Research and Technology Analysis and Road Mapping", International Astronautical Federation, 2002.
- [10] Joseph A. Fernandez, "Contextual Role of TRLs and MRLs in Technology Management" Sandia National Lab, California, SAND2010-7595, Nov. 2010.
- [11] John C. Mankins, "Technology readiness and risk assessments : A new approach", Artemis Innovation Management Solutions LLC, Apr. 2009.
- [12] Sherry Mahafza, "Technology Performance Risk Measure", Airforce Research Laboratory Seminar, ADM002184, OBM No. 0704-0188, May. 2006.
- [13] Weiping Tan, Jose Emmanuel Ramirez -Marquez, "Analyzing component Importance in Multifunction Multicapability Systems Developmental Maturity Assessment", IEEE Transactions on Engineering Managment, Vol. 58, No2, May. 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TEM.2010.2071877>
- [14] Jonh C. Mankins, "Technology Readiness Levels," White paper, April. 1995.
- [15] US Department of Defense, *Technology Readiness Assessment Deskbook*, 2009.
- [16] Brian J. Sauser, Jose Ramirez-Marquez, Romulo

Magnaye, Weiping Tan, "A Systems Approach to Expanding the Technology Readiness Level within Defense Acquisition", Stevens Institute of Technology, Mar. 2009.

[17] Romulo B. Magnaye, Brian J. Sauser, Jose E. Ramirez-Marquez, "System Development Planning Using Readiness Levels in a Cost of Development Minimization Model", Systems Development & Maturity Lab, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ 07030, 2009.

[18] Brian J. Sauser, Ryan Bove, Jose Emmanuel Ramirez-Marquez, "Integration maturity metrics : Development of an integration readiness level", Systems Development & Maturity Lab, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ, Information Knowledge System Management 9(2010) 17-46 DOI 10.3233/IKS-2010-0133, 2010.

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, Modeling & Simulation, Systems Safety

권 일 호(Il-Ho Kwon)

[정회원]



- 1990년 3월 : 공군사관학교 항공공학과 (공학사)
- 1999년 3월 : 국방대학원 운영분석 (공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 공과대학원 시스템공학과 박사과정

<관심분야>

시스템공학, 시스템성숙도(SRL), 시험평가(T&E)