

## 국방 연구개발사업의 의사결정 지원을 위한 시스템 성숙도 평가 모델 개발

### Development of the System Technical Maturity Assessment Model for Defense R&D Programs Decision Support

김 중 명\*      박 영 원\*  
Jung-Myong Kim      Young-Won Park

#### Abstract

This paper proposes a novel approach which can assess the system technical maturity for use in Defense R&D Program reviews. As the weapon systems become more complicated, the success and effectiveness of R&D outcome heavily depend on the application and tailoring of systems engineering process and methods. It is a difficult task to assess the system readiness level(SRL) of the system being developed. A system-focused approach for managing weapon systems development and making effective and efficient decisions during the development lifecycle is critical to ensure the success of the program. The proposed weighted average SRL can facilitate the system technical maturity assessment without expending heavy work load.

Keywords : System Engineering(시스템공학), Defense R&D Programs(국방 연구개발 프로그램), Decision(의사결정), SRL(시스템준비수준), System Maturity Assessment(시스템 성숙도 평가)

#### 1. 서 론

“2차 세계대전 이전의 삶은 단순하였으며, 그 이후에야 우리는 시스템들을 갖게 되었다”라고 미국의 컴퓨터 과학자이자 해군 제독이었던 Grace Hooper가 말하였듯이, 2차 세계대전 이후 지난 수십 년 동안 공적인 영역과 사적인 영역 모두에서 시스템을 획득하고 유지하는 프로세스와 방법들에서 많은 변화를 겪어 왔

다<sup>[1]</sup>. 21세기는 “시스템의 시대(The Age of Systems)”로 불린다. 점점 더 고도로 통합되는 과학기술의 세상에서, 공학 프로젝트의 시스템 설계와 이행의 특징도 또한 점점 더 복잡해지고 있다. 복잡한 시스템 제품들은 독립적으로 설계될 수 없으며, 의사 결정은 증가하는 복잡성, 불확실성과 빠른 변화 속에서 이루어진다. 시스템 생명주기에서 아주 중요한 목표는 실제 세상에서 사용하는데 성공적인 시스템을 성취하는 것이며, 시스템 개발에서 이루어진 의사 결정은 이러한 목표에 따라 되어야 한다<sup>[2]</sup>.

기술과 시스템 개발은 유사한 진화(성숙)과정을 따른다. 즉, 기술은 기능성, 환경적 준비성과 의도된 시

† 2010년 3월 2일 접수~2010년 8월 6일 게재승인

\* 아주대학교(Ajou University) 시스템공학과  
책임저자 : 김중명(kjm8545@hanmail.net)

시스템과의 상호운용 능력 등의 성숙도에 기반한 시스템으로 삽입되게 된다. 이러한 결정을 지원하는 시스템 엔지니어링 생명주기 동안 수행되어지는 평가를 언제나 효과적이고 효율적으로 잘 개발되어지도록 하는 노력이 끊임없이 지속되고 있다.

주요 획득대상 시스템의 핵심 소요기술에 대한 리스크 관리(Risk Management)를 위해 객관적이고 일관성 있게 기술성숙도를 측정할 수 있는 정량화된 지표가 필요하게 되었다. 미 항공우주국(NASA)은 1980년대에 기술의 성숙도를 측정하기 위한 유용한 지표로 7단계 개념의 기술준비수준(TRL)을 개발하여 개발기술자와 관리자간의 기술기획 및 기술개발을 위한 의사소통 수단으로 사용하다가, 1995년에 특별한 기술들의 성숙도를 평가하고 다른 유형의 기술들 사이의 성숙도의 일관된 비교를 하기 위한 체계적인 측정 기준/방법으로써 9단계의 측정 기준을 제정 사용하고 있다. 미국 정부 회계청(GAO : Government Accountability Office)의 권고에 따라 미국 국방부(DoD : Department of Defense)도 1999년에 유사한 개념의 TRL을 채택하여 사용 중이며, 영국 국방부(MOD : Ministry of Defense)도 2001년에 TRL의 사용을 채택했다<sup>2,3)</sup>.

하지만, 이러한 조직들에서 TRL을 유사하게 사용하는 동안 기술들의 통합을 통하여 얻어지는 시스템 기능 및 성능 요구사항의 만족도를 측정하는 것은 의도하지 않고, 주로 경쟁하는 기술들을 시스템에 결합하기에 앞서 성숙도를 평가하여 계약자를 결정 지원하는 수단으로 이용하여 왔다. 최근에는 시스템의 복잡성과 상호 운용성 결합의 증가에 따라 시스템 수준에서의 평가 도구로서의 TRL에 대한 활용도의 제한 인식으로 여러 가지 대안 연구 및 적용 활동이 이루어지고 있다. 즉, 영국 국방부(MOD)는 시스템 개발 생명주기간 시스템 성숙도 평가를 위한 시스템준비수준(SRL)을 규정에 반영하여 적용 중이고, 미국은 스티븐스 공대의 Sauser 박사를 중심으로 SRL에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다<sup>3,4)</sup>.

본 연구는 우리나라의 국방획득과정의 연구개발 프로세스에서 다음 단계로 전환할 때에 의사결정권자에게 정량적인 시스템 성숙도 정보를 제공하여 시스템 수준의 효과적인 의사결정 지원은 물론 리스크를 관리할 수 있는 시스템 성숙도 평가모델을 개발하고 제시하는 것이다.

## 2. 성숙도 평가와 시스템 엔지니어링

### 가. 성숙도 평가의 개념

일반적으로 성숙도(Maturity)와 준비(Readiness)란 단어는 서로 호환적으로 사용된다. 대부분의 경우에, 하나의 시스템에 대하여 기술의 평가에 관한 도구와 방법들의 적용성이 명확하지 않다<sup>5)</sup>. 준비수준(Readiness Level)들에 대한 정의는 다음과 같다.

#### 1) TRL(Technical Readiness Level)

특정한 기술들의 성숙도를 평가하고, 다른 유형의 기술들 사이의 성숙도를 일관된 비교를 하기 위하여 체계적인 측정 기준으로 미국 항공우주국(NASA)에 의해 1980년대에 7단계로 개발하여 사용되다, 1995년에 9단계의 측정기준을 제정하였으며, Table 1과 같다<sup>2)</sup>.

Table 1. Technclal Readiness Level(TRL)

TRL	단계 정의
1	기본적인 원리 이해 단계
2	기술개념 형성 및 응용분야 식별 단계
3	주요 기능에 대한 분석/실험 또는 특성에 대한 개념 입증 단계
4	실험실 환경에서 구성품 또는 회로판 수준의 성능 입증 단계
5	유사 운용 환경에서 구성품 및 회로판 수준의 성능입증 단계
6	유사 운용 환경에서 체계/부체계 모델 또는 시제품 성능시현 단계
7	운용환경에서 체계 시제품의 성능시현 단계
8	실제 시스템 완성과 시험과 시현을 통한 보증 단계
9	성공적 임무 운영을 통한 실제 시스템 입증 단계

#### 2) SRL(System Readiness Level)

영국 국방부(MOD)는 시스템 통합 리스크 판단을 위해서는 TRL이 미흡하다고 판단하여 시스템 성숙도에 대한 평가와 의사소통 수단으로 시스템엔지니어링 단계에 따라 Table 2와 같이 9단계로 개발하여 사용 중이다<sup>6)</sup>.

Table 2. 영국 국방부(MOD)의 SRL

SRL	단계 정의
1	기본적인 원리의 관찰 및 보고 단계
2	시스템 개념과 적용이 공식화된 단계
3	시스템 요소에 대한 분석적 연구와 실험이 수행되는 단계
4	하부시스템의 구성품이 연구실 환경에서 통합된 단계
5	시스템 모의시험 환경 하에서 시험된 단계
6	외부시스템 모의시험과의 상호작용을 포함하는 모의 운용시험 환경 하에서 시스템이 시험된 단계
7	외부시스템과의 상호작용을 포함하여 운용 환경 하에서 시스템 시제가 시험된 단계
8	해당 시스템이 외부시스템과의 통합을 포함한 운용환경에서의 작동 증명 단계
9	작전임무상태에서 시스템의 적용 단계

미국 스티븐스 공대의 Sauser 박사를 중심으로 기술 간의 통합관계를 고려하여 체계의 성숙도를 판단하기 위한 연구가 수행되었으며, 시스템의 현재 또는 미래의 성숙도를 판단하기 위한 기법으로 TRL과 IRL(Integration Readiness Level)의 상호작용을 통해 시스템준비수준(SRL)을 측정하는 방법을 Table 3과 같이 발표하였다<sup>[3]</sup>.

Table 3. Sauser 박사의 SRL

SRL	단계 정의
0.10-0.39	개념 정제
0.40-0.59	기술 개발
0.60-0.69	체계개발 및 시연
0.70-0.89	양산
0.90-1.00	운용 및 지원

3) IRL(Integration Readiness Level)

다양한 기술들의 적합한 상호작용 및 연동관계의 체계적 측정법으로 통합지점간의 성숙도에 관한 일관된 비교를 나타낸 것으로 Table 4와 같다.

Table 4. Gove의 IRL<sup>[18]</sup>

IRL	단계 정의
1	기술들 사이의 인터페이스(Interface) 관계의 특성 묘사가 가능하게 충분한 상세화로 식별된 단계
2	인터페이스를 통하여 기술들 간의 상호작용(Interaction) 특성을 나타내기 위한 특수성의 어떤 수준이 있는 단계
3	순차적이고 효율적으로 통합, 연동하기 위하여 기술들 간에 적합한(Compatibility) 단계
4	기술들 간의 통합에 따른 품질보증(Quality & Assurance)에 충분하게 상세화된 단계
5	통합을 수립, 관리 및 종료하는데 필요한 기술들을 충분히 통제할 수 있는(Control) 단계
6	통합하는 기술이 의도되는 적용을 위한 정보를 수용하고, 해석하고, 구조화할 수 있는(Accept, Translate, Structure Information) 단계
7	기술 통합이 실행하는데 충분히 상세화 된 여건에서 검증 & 확인된(Verified & Validated) 단계
8	체계 통합은 완료되고, 시스템 환경에서 시험·실연을 통해 임무에 적합한(Mission Qualified) 단계
9	성공적인 임무 운용을 통하여 통합 임무가 입증된(Mission Proven) 단계

영국 크랜필드 대학의 Tetlay와 John에 의하면 하나의 시스템 성숙도(Maturity)의 중요한 관점은 개발과 운용에 관계되는 리스크를 결정하는 열쇠이며, 이런 의미는 모든 시스템 수준(SoS 등)에서 적용된다. 현행 준비수준(Readiness Level)은 성숙도(Maturity)를 평가, 결정하기 위한 것으로 정의되며, 시스템 성숙도(System Maturity)는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 시스템 개발 생명주기의 반복적 프로세스에서 검증(Verification)이며, 시스템 준비(System Readiness)는 시스템 성숙도 뒤에 발생하는 시스템 개발과 전체 생명주기 측면에서 확인(Validation)이라고 주장했다<sup>[2]</sup>.

성숙도 평가에 대한 용어는 사용하는 기관이나 학자에 따라 상이하게 사용하고 있으나, 시스템엔지니어링의 궁극적인 목표는 성능, 비용, 일정 목표 달성의 리스크 부담간의 절충 속에서 최적의 시스템을 개발하는

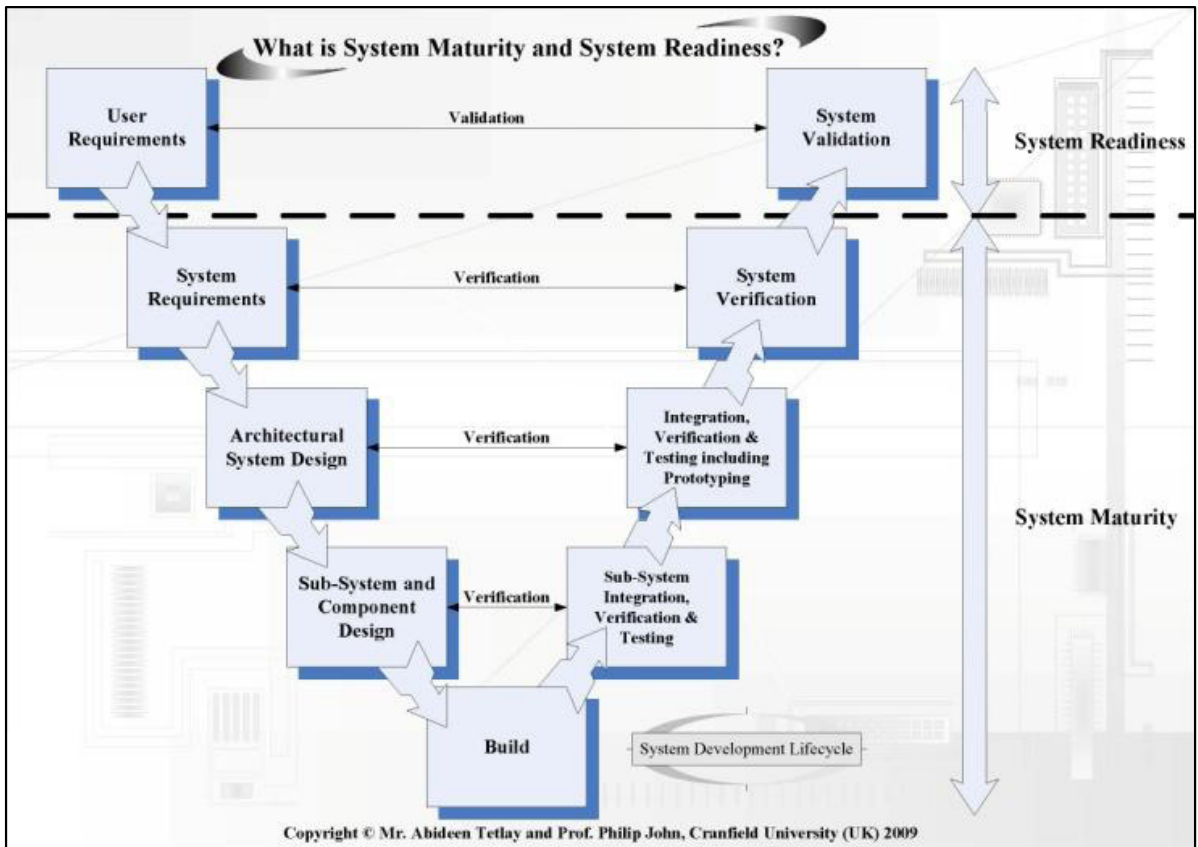


Fig. 1. System Maturity와 System Readiness

것이며, 시스템은 개발 생명주기 동안 많은 기술과 이들 간에 통합의 반복적인 수행(V모델 활동)으로 이루어진다는 사실을 볼 때, 시스템 수준의 요구사항 달성 정도를 평가하는 시스템 성숙도 평가(System Maturity Assessment)가 적절하다고 볼 수 있다.

나. 시스템엔지니어링과 성숙도 평가

미 국방획득대학에서는 무기체계 획득업무의 기본이 시스템엔지니어링이고 기술적인 지식 영역과 시스템엔지니어링 관리 영역의 주요한 두 영역으로 이루어진다고 보았으며<sup>[7]</sup>, 미 국방성에서 발간한 국방획득 가이드북에서는 시스템엔지니어링 활동은 요구사항 분석부터 설계조립까지의 기술 프로세스와 성능, 비용, 일정 최적화를 위한 의사결정 분석, 기술 평가, 위험 관리, 인터페이스 관리 등의 제 활동과 해법 등의 기술관리 프로세스로 분류하여 다음 Table 5와 같이 제시하고 있다<sup>[8]</sup>.

Table 5. 기술관리 공정과 기술 공정 분류

Technical Management Process	Technical Process
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 의사결정 분석(Decision Analysis)</li> <li>• 기술 계획(Technical Planning)</li> <li>• 기술 평가(Technical Assessment)</li> <li>• 요구사항 관리(Requirement Management)</li> <li>• 위험 관리(Risk Management)</li> <li>• 형상 관리 (Configuration Management)</li> <li>• 기술자료 관리 (Technical Data Management)</li> <li>• 인터페이스 관리 (Interface Management)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 요구사항 개발(Requirement Development)</li> <li>• 논리적 분석(Logical Analysis)</li> <li>• 설계 해결(Design Solution)</li> <li>• 적용(Implementation)</li> <li>• 통합(Integration)</li> <li>• 검증(Verification)</li> <li>• 확인(Validation)</li> <li>• 전환(Transition)</li> </ul>

복합 시스템(Complex Systems)은 다수의 기술들과 그들의 통합으로 이루어진다. 개발 생명주기 동안에 시스템 성숙도를 평가하는 것은 시스템의 전체적인 개발 성공에 필수적이다. 또한, 기술 성숙도를 정확히 평가하고, 비용 초과, 일정 지연, 성능 미달을 유발하는

리스크(Risk)에 대한 통찰력을 제공할 수 있는 객관적이고 강건한 방법들은 개발사업 정황에 정통한 획득 의사결정을 위해서 필수적이다. 하지만, 국방 시스템들의 복잡성이 증가하고 도구의 객관성이 부족하여, TRL 측정 기준은 기술 성숙도에 대한 포괄적인 통찰력을 제공하는데 부족하다. 이에 최근에는 시스템과 기술의 성숙도를 측정하기 위한 수단으로서 TRL(Technical Readiness Level), SRL(System Readiness Level), MRL(Manufacturing Readiness Level), IRL(Integration Readiness Level) 등의 다양한 측정기준들에 높은 관심들을 가지고 있다. 이런 측정기준들은 기술들과 시스템들 간의 개발과 운용에 관계되는 리스크(Risk)를 평가하기 위하여 사용된다<sup>2)</sup>.

체계적으로 기술과 시스템의 성숙도를 측정하는 것은 일차원적인 측정 기준으로는 광범위하게 수행될 수 없는 다차원적인 프로세스이다. TRL 측정기준은 미 정부와 많은 산업계에서 사용되고 있지만, 의사결정 지원을 위해 이해관계자가 필요한 정보의 아주 작은 일부만 표현한다<sup>5)</sup>.

따라서, 시스템 개발 생명주기 간에 수행되는 성숙도 평가는 시스템 요구사항 각각을 달성해 주는 구성 기술들과 이들의 인터페이스를 포함하는 통합성에 대한 성숙도를 평가하고, 리스크에 대한 통찰력을 제공하여, 효과적이고 효율적인 의사결정을 지원 가능하게 함으로써, 위 Table 5에서의 시스템엔지니어링 활동의 한 축인 기술관리 공정을 실현 가능하도록 하는 것이 올바른 방법이라 할 수 있다.

### 3. 국가별 국방 R&D에서의 성숙도 평가제도 분석

#### 가. 미국 국방부의 기술 준비수준 평가(TRA)

미국 정부회계청(GAO)은 국방부(DoD)의 획득 프로그램들 중의 대부분이 개발의 착수 전에 수행되었어야 했던 기술성숙도의 입증 없이 설계 검토회의를 하거나 생산 결정을 하고 있어 비용 초과, 일정 지연 발생이 증가함을 지적하며, 민간기업의 성공적 사례에 대한 연구결과를 바탕으로 획득과정의 리스크 관리를 위한 유용한 수단의 하나로 TRL 적용을 권장하였다. 미국 방부(DoD)는 GAO의 권고를 받아들여 미국 항공우주국(NASA)에 의해 개발, 운용중인 TRL과 유사한 개념을 1999년에 채택하여 시행 중이다.

기술 성숙도는 제안된 핵심 기술들이 사업목적을 만

족하는 정도에 대한 측정치이며, 사업 리스크의 원천 요소이다. 기술 준비태세 평가는 기술 성숙도를 결정하기 위하여 사업 개념, 기술 요구사항 및 시범된 기술 능력을 심사한다. WBS(Work Breakdown Structure)를 통해 핵심요소기술(Critical Technology Element)를 식별 평가하며, TRL의 사용으로 다른 유형의 기술들 간에 기술 성숙도의 일관되고 간결한 논의를 가능하게 한다<sup>9)</sup>.

하지만, TRL 기술 성숙도 평가방법은 다음과 같은 제한점으로 인하여 많은 연구 활동 및 대안 제시가 필요한 여건이다<sup>5),10)</sup>.

- TRL 값은 기술 개발자에 의해 배정되므로 사람의 성향에 따라 편견이 작용되어 주관적인 평가가 될 수 있다.
- TRL은 개별 기술의 성숙도에 대한 측정이므로, 복합 시스템의 통합 관점에서의 평가에는 부족하다.
- NASA에서 TRL을 개발 시 하드웨어(H/W)를 소프트웨어(S/W)보다 훨씬 중시하였다.
- 각 TRL 수준의 정의가 용어의 명료함 부족으로 개인적 판단에 따라 모호하고 상대적일 수 있다.
- TRL의 평균값과 산출 방법이 모호하다.
- 비용과 리스크 모델링 도구에서 통합이 잘 되지 않는다.

#### 나. 영국 국방부의 기술 성숙도 평가

영국 국방부(MOD)는 Mckinsey의 TRL 적용을 권고받아 2001년부터 NASA에서 개발한 TRL과 유사 개념을 채택 사용 중이다. 획득 생명주기중 개발 및 제조 단계에서 기술의 미성숙으로 사업의 지연 가능성이나 사업의 전체적인 리스크 감소를 지원하는 기술관리 도구로 사용하고 있다.

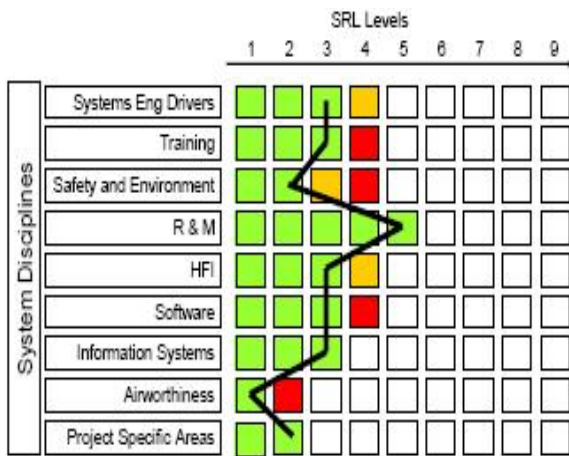
하지만, 해당 시스템의 구성 기술에 대한 기술수준을 측정함으로써 전체 시스템에서의 기술수준이 시스템 구현을 위한 수준에 도달했다고 판단할 수는 없다.

이에 따라, 영국 국방부(MOD)는 TRL이 개별 기술의 성숙도를 평가하는 데에는 대단히 유용한 도구이나 전체적인 체계통합 리스크 판단을 위해서는 미흡한 점이 있다고 판단하여 사업관리 측면에서의 성숙도 평가를 위한 9단계의 SRL(시스템준비수준)을 개발하여 적용하고 있다.

SRL 평가는 엑셀기반의 도구를 이용하며, 평가자는 시스템공학 드라이버, 훈련, 안전 및 환경, 신뢰성 및

유지보수, 인간요인통합, 소프트웨어, 정보시스템, 내항성, 프로젝트 특성영역 등 9개 영역에 대해 평가한다. 시스템 영역별로 평가자가 평가하면, Fig. 2에서 보는 바와 같이 도구에서 분야별로 녹색, 주황색, 적색으로 구분 표현한다<sup>[3]</sup>.

영국 국방부에서의 SRL을 이용한 시스템 성숙도 평가는 시스템 차원의 종합적이고 정량적인 평가를 하는 것이 아니라 시스템의 전문영역 분야의 전력화 성숙도를 평가하는 것이며, 평가하는 사람의 주관적 판단에 의한 도구의 한계를 갖고 있다고 볼 수 있다.



(녹색: 충족, 황색: 경미 결함, 적색: 중대 결함)

Fig. 2. SRL 평가 도구의 사용 Example

#### 다. 우리나라 국방획득의 기술 성숙도 평가

국방 획득의 혁신을 위해 출범한 방위사업청은 2006년에 제정한 방위력개선사업관리규정에 기술성숙도평가에 대한 개념을 처음으로 도입하였다.

규정에 나타난 획득 프로세스 상의 기술성숙도평가 수행에 관한 내용을 구체적으로 살펴보면, 단계 전환 의사결정, 제안서상의 업체개발능력 평가, 개발 단계 내의 검토회의(Review)시에 제 의사결정 지원 자료로 수행 및 제공하도록 규정하고 있다<sup>[11]</sup>.

하지만, 성숙도 평가 수행을 위한 구체적인 프로세스의 정립과 지침이 마련되어 있지 못하여 실질적인 시행이 되지 않고 있는 실정이다. 또한, 미국과 영국의 기술성숙도 평가 제도는 위에서 살펴봤듯이 시스템 수준의 평가가 아닌 개별 기술에 대한 평가이며, 산출방법에 모호함이 있어 우리가 적용하기에는 적합하지 않다.

우리의 수행을 위해서는 기술성숙도 평가의 개념과 목적에 대한 공감대 형성이 우선되고, 기술 성숙도 평가의 프로세스와 세부 방법의 정립이 필요하다.

## 4. 시스템 성숙도 평가(SMA) 모델 개발

### 가. 시스템 성숙도 평가 절차

시스템엔지니어링 기반위에서 국방 연구개발 사업을 효과적이고 효율적으로 수행하기 위한 주요 기술 관리 활동 중의 하나는 연구개발 착수 및 단계 전환 의사결정을 할 때 간결하고 정량적인 개발 시스템 성숙도 평가(SMA : System Maturity Assessment) 결과를 의사결정자에게 지원하는 것이다. 시스템 개발 간에 발생하는 일정 지연과 비용 초과 관련 리스크도 대부분 기술 성숙도의 부족에 기인하기 때문이다.

연구개발의 궁극적 목표는 사용자의 요구사항을 충족하는 시스템을 구현하는 것이므로, 단위 기술의 성숙도만으로 개발 성숙도를 제시하는 것은 현실적인 방법이라 하기 어렵다. 예를 들어, 특정 제품에 적용된 Level 8의 기술이라고 하더라도 계획 중인 프로젝트에서는 Level 4이하일 수도 있다. 따라서, 기술 간의 통합성을 포함하는 시스템 수준의 성숙도를 평가하는 것이 효과적이다.

하지만, 우리나라는 기술성숙도 평가 수행에 대하여 규정하고 있지만, 이에 대한 구체화한 프로세스 및 방법을 제시하는 지침이 없어 실효적인 평가 수행이 어려운 여건이다.

본 논문에서는 국방 연구개발 프로세스 상의 단계 전환 의사결정을 지원하기 위한 시스템 성숙도 평가를 수행함에 있어, 시스템엔지니어링의 기본을 충족하고 기존에 적용중인 기술 성숙도 평가(TRA)의 제한점을 보완할 수 있는 평가 프로세스 모델을 제시한다. 이의 구체적인 절차는 다음과 같다.

우선 사용자가 제시한 운용요구서(ORD) 문서에 근거하여 품질기능전개(QFD) 등을 활용하여 기술요소가 누락됨이 없도록 WBS를 도출하고, 각 WBS 항목별로 만족해야 하는 시스템 또는 하부시스템 요구사항들을 식별하고, 연구개발 프로세스를 고려한 성숙도 평가계획을 수립한다. 수립된 계획에 따라 시스템성숙도를 평가하는 것은 먼저 단위 기술들의 성숙도와 기술들 간의 상호작용 및 연동성을 포함하는 통합 성숙도를 평가표에 의거하여 채점한다.

많은 기술 콤포넌트들로 구성되는 시스템 특성상 각 기 수준이 다른 평가 자료들을 보고 시스템 개발 단계 전환 및 계속 진행여부를 의사 결정하는 것은 어렵다. 그러므로, 의사결정자에게 간결한 평가결과를 제시하는 것이 효과적이며, 이를 위하여 단위결과들에 가중치를 적용하여 합성함으로써 현실적인 결과를 얻을 수 있다. 간결하고 정량적인 시스템 성숙도 평가 결과를 의사결정자에게 보고하고, 결과에 따른 리스크 감소 등의 조치를 하도록 한다.



Fig. 3. 시스템 성숙도 평가 절차

나. 시스템 성숙도 평가 방법

시스템 개발은 구성 기술요소들 간의 상호작용 및 연동관계 속에서 의도하는 기능적 그리고 비기능적 창출성을 구현하는 것이다. 다시 말하면 시스템 또는 하부시스템의 기능적 요구사항들과 비 기능적 요구사항들을 만족하는 것이다. 그러므로, 구성 기술에 대한 기술수준을 측정하고 각 기술 간의 통합관계를 포함하는 시스템 또는 하부시스템 수준의 성숙도를 평가하는 것이 시스템엔지니어링 프로세스에도 적합하며, 결과 판정을 위한 시스템 준비수준(SRL)은 5단계로 구성된 무기체계 획득단계와 유사한 점 등을 고려하여 Sauser 박사 등이 제시한 시스템 준비수준(SRL)이 유용하다.

측정하고자 하는 시스템 또는 하부시스템의 주요 요구사항들이, 기능, 성능, 그리고 인터페이스, 정의되었는지 또 요구사항 만족이 n개의 기술로 구성되었다면, 미 국방부 등에서 적용하는 TRL으로 구성기술에 대한 기술수준을 측정하고 구성 기술 간의 통합, 상호작용 관계는 IRL Matrix로 표현된다.

$$[TRL]_{n \times 1} = \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ \dots \\ TRL_n \end{bmatrix}$$

$$[IRL]_{n \times n} = \begin{bmatrix} IRL_{11} & IRL_{12} & \dots & IRL_{1n} \\ IRL_{21} & IRL_{22} & \dots & IRL_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRL_{n1} & IRL_{n2} & \dots & IRL_{nn} \end{bmatrix}$$

$SRL = IRL \times TRL$ 로 표현할 수 있으며, 여기서  $IRL_{ij} = IRL_{ji}$ 의 관계를 가지며, 구해진 IRL 과 TRL 을 9로 분해하여 0~1 scale로 변환한다. 즉, 단위 기술의  $SRL_i = IRL_{ij}/9 \times TRL_i/9$ 로 나타낼 수 있다. 다시  $SRL_i$ 을 0~1 scale로 변환하기 위하여 기술 i의 통합기술 수  $m_i$ 으로 나누어진 값이 0~1 scale 단위 기술 SRL 값이다.

$$\begin{bmatrix} SRL_1 \\ SRL_2 \\ \dots \\ SRL_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/m_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/m_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1/m_n \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} IRL_{11} & IRL_{12} & \dots & IRL_{1n} \\ IRL_{21} & IRL_{22} & \dots & IRL_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRL_{n1} & IRL_{n2} & \dots & IRL_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ \dots \\ TRL_n \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (IRL_{11} TRL_1 + IRL_{12} TRL_2 + \dots + IRL_{1n} TRL_n)/m_1 \\ (IRL_{21} TRL_1 + IRL_{22} TRL_2 + \dots + IRL_{2n} TRL_n)/m_2 \\ \dots \\ (IRL_{n1} TRL_1 + IRL_{n2} TRL_2 + \dots + IRL_{nn} TRL_n)/m_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)로 나타낸 0~1 scale 단위기술의 SRL 값을 간결한 의사결정 자료로 지원하기 위해서는 합성하는 것이 필요하다. Sauser 박사는 이를 아래 식 (2)와 같이 단순하게 단위 SRL의 합을 구성품의 수로 나누어 구하도록 제시하였다.

$$SRL = \frac{SRL_1 + SRL_2 + \dots + SRL_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n SRL_i}{n} \quad (2)$$

하지만 SRL을 산정하는 근본적인 목적은 시스템 수준에서의 프로젝트에 대한 가장 근접한 리스크 정도를 의사 결정자에게 지원하는 것이다. 보다 더 현실에



근접한 자료를 지원하는 것이 의사결정에 효과적이다.

연구개발 프로젝트의 개발 예산 배분은 기술수준이 낮던지, 프로젝트에서의 비중이 큰 구성기술에 많이 할당하는 것이 일반적이다. 즉, 배분되는 사업 예산은 개발 리스크와 비례한다고 볼 수 있다<sup>[12]</sup>. 그러므로, 개발 예산 배분을 고려한 가중치를 계산하여 SRL 값을 합성하는데 적용하는 것이 더욱 현실적인 결과를 얻을 수 있다고 볼 수 있다.

결론적으로 구성 기술에 대한 개발비 배분율을 가중치(Weighted Value)로 산정하여 SRL 산정에 적용한다면, 합성 SRL은 식 (3)과 같이 얻을 수 있다.

$$SRL = \sum_{i=1}^n SRL_i \times w_i \quad (3)$$

여기서,  $w = \frac{cost_i}{cost_{program}}$

이렇게 산출된 SRL 결과를 단계전환 의사결정자 및 사업 관리자에게 지원하고, 단위 기술별 SRL에 따라 리스크 관리(Risk Management)에 활용토록 한다.

다. 실증적인 시스템 성숙도 평가 예제

시스템 성숙도 평가 프로세스 및 방법을 설명하기 위하여 다음 Fig. 4와 같이 5개의 기술요소들과 5개의 기술요소 간 통합 관계를 가진 간단한 시스템을 가지고 SRL 계산 단계를 설명한다.

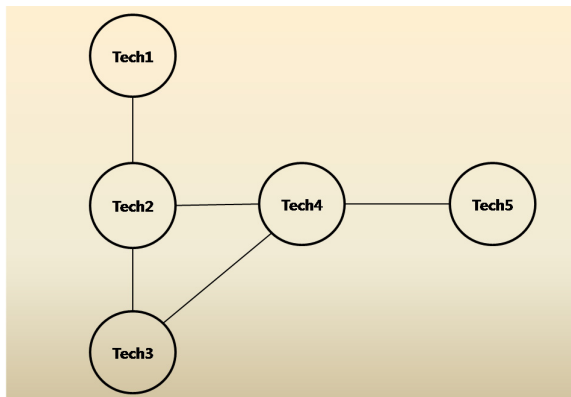


Fig. 4. 연구 대상 시스템

실제 여건에서는 사용자의 요구문서(ORD)에 따라 QFD 등을 이용한 WBS를 도출하고 그림과 같이 Architecture를 작성하여 기술 간의 관계를 보이지만,

이 부분은 주 논의대상이 아니므로 차후에 별도로 논의하기로 하고 그 과정은 생략한다.

먼저 독립적인 전문가 20명으로 하여금 대상 시스템의 TRL 및 기술 간의 IRL을 채점토록 하여 평균한 결과 다음 식과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이를 활용하여 우선 계산적인 방법으로 SRL을 산출하고, 기존의 단순하게 기술요소의 수로 나누어 합성 SRL을 구하면 다음과 같다.

$$[TRL] = \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ TRL_3 \\ TRL_4 \\ TRL_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9 \\ 9 \\ 9 \\ 5 \\ 6 \end{bmatrix} \quad 0 \sim 1 \text{ scale} \quad \begin{bmatrix} 1.00 \\ 1.00 \\ 1.00 \\ 0.56 \\ 0.67 \end{bmatrix}$$

$$[IRL] = \begin{bmatrix} IRL_{11} & IRL_{12} & IRL_{13} & IRL_{14} & IRL_{15} \\ IRL_{21} & IRL_{22} & IRL_{23} & IRL_{24} & IRL_{25} \\ IRL_{31} & IRL_{32} & IRL_{33} & IRL_{34} & IRL_{35} \\ IRL_{41} & IRL_{42} & IRL_{43} & IRL_{44} & IRL_{45} \\ IRL_{51} & IRL_{52} & IRL_{53} & IRL_{54} & IRL_{55} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 99000 \\ 99980 \\ 09960 \\ 08696 \\ 00069 \end{bmatrix} \quad 0 \sim 1 \text{ scale} \quad \begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.89 & 0 \\ 0 & 1.00 & 1.00 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0.89 & 0.67 & 1.00 & 0.67 \\ 0 & 0 & 0 & 0.67 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} SRL_1 \\ SRL_2 \\ SRL_3 \\ SRL_4 \\ SRL_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1+1)/2 \\ (1+1+1+0.50)/4 \\ (1+1+0.38)/3 \\ (0.89+0.67+0.56+0.45)/4 \\ (0.38+0.67)/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.88 \\ 0.79 \\ 0.64 \\ 0.53 \end{bmatrix}$$

$$SRL = \frac{1+0.88+0.79+0.64+0.53}{5} = 0.77$$

즉, 합성 SRL은 0.77로 무기체계 연구개발 프로세스 중 양산단계의 시스템 성숙도를 나타낸다.

다음은 본 논문이 제시하는 개발비용 배분 비(Table 6)를 가중치화 하고, 이를 적용한 합성 SRL 계산 결과는 다음과 같다.

Table 6. 기술요소별 개발비 배분비

기술 요소	Tech 1	Tech 2	Tech 3	Tech 4	Tech 5
개발 비용 배분비(w)	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4



$$SRL = \sum_{i=1}^5 SRL_i \times w_i$$

$$= 0.1 + 0.09 + 0.08 + 0.19 + 0.21 = 0.67$$

개발비용 배분비를 가중치화 하여 계산한 결과 합성 SRL은 0.67을 얻을 수 있으며, 이는 양산 단계의 성숙도에는 미치지 못하고, 체계개발 및 시연단계의 시스템 성숙도를 나타낼 수 있다.

이는 기술성숙도가 낮은 기술요소의 개발예산 비중이 크다면 시스템 수준에서의 리스크도 비례하여 크다는 이론에 근거하여, 예산배분 비율을 가중치화 하여 적용한 결과 단순히 각 기술요소의 수로 나누어 산출한 것과는 다른 보다 현실적인 결과를 보임을 알 수 있다.

따라서, 본 논문에서 제시한 시스템 성숙도 평가 모델은 시스템엔지니어링 기술관리 프로세스인 기술평가(Technical Assessment), 리스크 관리(Risk Management) 및 의사결정 분석(Decision Analysis) 활동을 충족하는 국방 연구개발 관리에 적용이 가능한 유용한 방안이다.

### 5. 국방 연구개발 프로세스에서의 SMA 적용

#### 가. 기술요소 및 통합성을 정의하는 WBS 작성

WBS는 하드웨어 및 소프트웨어를 포함하는 전체 시스템의 하부 구성품까지 세분화하여 작성해야 한다. 하부 구성품 단위로 분할시 모든 기술요소들이 누락없이 정의될 수 있도록 하고, 분할된 WBS에 대한 WBS 사전에는 다른 기술들 간의 통합 및 상호작용 관계 등을 포함하는 구체적인 설명을 기록한다.

#### 나. 획득단계 전환 의사결정의 지원요소로 반영

현행 방위사업관리규정 상에는 연구개발 프로세스의 각 단계 전환 의사결정, 제안서 상의 업체개발능력 평가, 개발 단계내의 검토회의(Review)시에 의사결정 지원의 수단으로 기술 성숙도 평가를 실시하도록 하고 있다. 하지만 본 논문에서 제시한 바와 같이 예산 배분비를 가중치화 하여 얻어진 시스템 성숙도 평가(SMA) 결과가 보다 적절하고 현실적인 의사결정 지원 역할을 할 수 있다. 따라서, 보다 객관적으로 TRL, IRL을 산출하여 도출한 합성 SRL을 단계 전환을 위한 의사결정 지원요소로 반영이 필요하다.

#### 다. 리스크 관리에 활용

SRL은 최종적으로 구현하고자 하는 시스템의 잠재적 성숙도를 평가하기 위한 정량적 평가방법으로 개별 기술이 아닌 시스템 수준에서의 리스크 요소를 식별, 분석 및 해결이 가능할 것으로 기대된다.

### 6. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 무기체계 연구개발사업 수행에 있어 시스템엔지니어링 프로세스의 중요한 역할 중 하나인 정확한 기술 성숙도를 평가하여 리스크를 사전에 관리하고 의사결정에 정확한 정보를 지원 가능한 시스템 수준의 성숙도 평가 모델을 제시하였다. 우리나라의 방위사업관리규정에서는 기술성숙도 평가를 실시하도록 명시하였으나, 이의 세부 절차 및 방법이 정립되어있지 않아 실효적으로 적용되지 못하고 있다. 실질적으로 적용하기 위해 기술 선진국에서 기 적용중인 규정과 입증된 이론을 접목하여 시스템엔지니어링 표준에서 제시하는 기술관리 프로세스의 조건들을 포함하여 충족되도록 하였다. 이의 결과를 적용함으로써 방위사업관리규정에서 명시한 기술성숙도 평가를 실효적으로 수행이 가능하리라고 판단된다.

본 연구에서 제시한 시스템 성숙도 산출의 근간은 IRL과 TRL에 따라 구성 기술의 성숙도와 기술 간의 통합성에 대하여 해당분야 전문가에 의한 채점 결과에 따르므로, 평가자의 성향에 따른 편견과 평가 기준의 모호성으로 주관적인 평가가 되기 쉽다. 이러한 제한점을 감소시켜 보다 객관적인 의사결정이 가능하도록 하기 위한 방법으로 확률적 접근과 Monte-Carlo 시뮬레이션 접근등의 유용한 추가 연구가 필요하며, 이로서 시스템의 성숙도에 대한 더욱 유연하고 분명한 정보를 사업 관리자에게 제공할 수 있다.

또한, 추가적인 실 사업 적용 및 분석을 통하여 본 논문에서 제시한 평가 모델의 신뢰성 향상에 대한 연구가 필요하다고 판단한다.

### Reference

[1] Fomin, P., T. A. Mazzuchi, and S. A. Sarkani, "Incorporating Maturity Assessment into Quality Functional Deployment for Improved Decision

- Support Analysis, Risk Management, and Defense Acquisition”, ICSEEM, 2009. 10.
- [2] Abideen Tetlay and Philip John, “Determining the Lines of System Maturity, System Readiness and Capability Readiness in the System Development Lifecycle”, CSER, 2009. 4.
- [3] UK MOD, “Technical Readiness Level/System Readiness Level”, AOF-Technology Management ver1.0.2, 2009. 12.
- [4] Brian J. Sauser etc, “A System Maturity Index for the Systems Engineering Life Cycle”, JISE, 2008. 6.
- [5] Azizian, N., T. A. Mazzuchi, and S. A. Sarkani. “Comprehensive Review and Analysis of Maturity Assessment Approaches for Improved Decision Support to Achieve Successful Defense Acquisition”, ICSEEM, 2009. 10.
- [6] UK MOD, “System Readiness Level”, AOF-Technology Management ver1.0.2, 2009. 12.
- [7] DAU, System Engineering Fundamentals, DAU Press, pp. 11~132, 2001.
- [8] DoD, Defense Acquisition Guidebook, pp. 45~50.
- [9] DoD, “Technology Readiness Assessment(TRA) Deskbook”, DRD, pp.1-1~3-3, 2009. 7.
- [10] Brian J. Sauser etc, “Using a System Maturity Scale to Monitor and Evaluate the Development of Systems”, SSE, 2009. 4.
- [11] 방위사업청, 방위사업관리규정, 방위사업청, pp. 41~128, 2009.
- [12] Lee, T.,Thomas, L. D., “Cost Growth Models for NASA's Programs”, Journal of Probability and Statistical Science, Vol. 1, pp. 265~279, 2003.
- [13] DoD, Systems Engineering, MIL-STD-499B, 1993. 9.
- [14] IEEE, Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process, IEEE std 1220-2005, 2005. 9.
- [15] EIA, Processes for Engineering a system, EIA Standard 632, pp. 90~105, 1991. 1.
- [16] SEI, CMMI for Acquisition, Version 1.2, Carnegie Mellon, pp. 93~107, 2007. 11.
- [17] AIAA, Defense Finance and Accounting Service Operational Requirement Documents, ISBN 1-56347-411-5, 2002. 5. 17.
- [18] Gove, R. Development of an Integration Ontology for Systems Operational Effectiveness, Department of Systems Engineering and Engineering Management, Stevens Institute of Technology, Hoboken, 2007.