

고품질 무기체계 획득을 위한 성숙도평가 방안 소개

김현우*† · 우 순* · 장봉기*

* 국방기술품질원

A Study on Readiness Assessment for The Acquisition of High Quality Weapon System

Hyun Woo Kim*† · Soon Woo* · Bong Ki Jang*

* Defense Agency for Technology and Quality

Abstract

Purpose: Technology readiness assessment(TRA) used as a standard readiness assessment tool in the acquisition program of weapon system has some limitations in the comprehensive understanding of the complex system. Therefore, this research is intended to suggest a holistic maturity assessment method for the acquisition of high quality weapon system.

Methods: Technology readiness level(TRL), manufacturing readiness level(MRL), integration readiness level(IRL) and system readiness level(SRL) developed to assess system maturities in the various aspects are compared and analyzed to draw an improvement avenue for the current readiness assessment method.

Results: TRL, MRL, IRL and SRL have large differences in their maturity targets during the acquisition life cycle: technological performance, manufacturing capability, interface between components and total system, respectively. They complement one another's shortcomings

Conclusion: To achieve a successful acquisition of high quality weapon system, multi-dimensional readiness assessment is required. Therefore, comprehensive readiness assessment using TRL, MRL, IRL and SRL will contribute to the acquisition of high quality weapon system through the accurate maturity information of overall system.

Key Words: Technology Readiness, Manufacturing Readiness, Integration Readiness, System Readiness

• Received 26 July 2013, 1st revised 21 August 2013, 2nd revised 25 August 2013, accepted 25 August 2013

† Corresponding Author(khwshg@naver.com)

© 2013, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

무기체계 획득사업의 기본목표는 요구성능을 충족시키는 무기체계를 계획된 비용과 일정 내에 군에 배치하여 전력화 시키는 것이다. 그러나 대부분의 무기체계 획득사업은 목표 대비해서 품질/성능 저하, 비용증가 및 일정지연 문제를 겪고 있다. 미 회계감사원(GAO)에서는 이러한 문제의 주요 요인으로 미성숙한 기술과 제조능력을 지적하였다. 많은 무기체계 획득사업에서 기술이 충분히 성숙되지 않은 상태에서 양산결정이 이루어진 것이다. 미성숙 기술과 제조능력으로 인해 유발되는 문제의 심각성은 무기체계의 첨단화에 따른 시스템 복잡성의 증가로 점점 더 커지고 있다. 최근 미국에서 큰 이슈가 되고 있는 차세대 전투기 F-35 사업의 막대한 비용증가와 일정지연은 이러한 문제를 잘 보여주고 있다. 국내 상황을 살펴보면, 과학기술의 발전에 따라 첨단 무기체계의 국내개발 비중이 크게 증가하고 있다. 그러나 최근 K21 장갑차, K9 자주포 및 대잠미사일 홍상어 등 국내개발 무기체계에서 많은 품질문제가 발생하고 있어 이에 대한 대책이 시급한 상황이다(Yoon 2012, Chung 2012, Choi 2012).

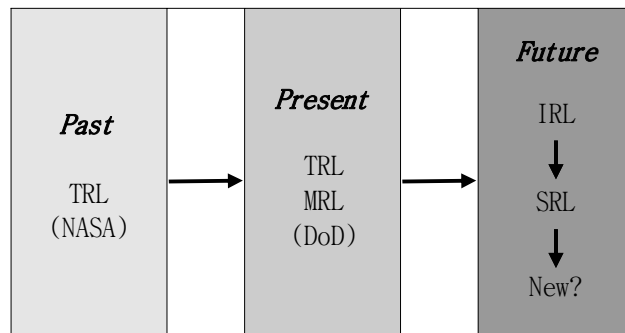


Figure 1. Development history of readiness assessment

무기체계 획득사업에서 품질 및 성능저하, 그리고 이로 인해 발생하는 비용상승과 일정지연 문제의 예방을 위해서는 획득단계의 주요 의사결정이 정확한 정보에 기반해서 이루어져야 한다. 획득단계에서 발생하는 위험요인의 식별 및 관리를 위한 성숙도평가는 개발자나 사업관리자의 주요 의사결정 시 중요한 정보를 제공한다. 1999년 미 회계감사원에서는 미 국방부의 무기체계 획득사업에서 성숙도평가 방법 부재의 문제점에 대해 언급하였다. 이에 따라 미 국방부에서는 미 항공우주국에서 개발하여 사용되고 있던 기술성숙도(TRL)를 국방획득사업의 성숙도평가 방법으로 채택하였으며, 이어 제조성숙도(MRL), 통합성숙도(IRL), 체계성숙도(SRL) 등의 새로운 평가방법이 개발되었다. <Figure 1>은 성숙도평가 방법의 발전이력을 보여준다. 각 평가방법은 앞서 개발된 평가방법에서 다루어지지 않지만 시스템 개발목표 달성에 큰 영향을 미치는 요소의 성숙도평가를 위한 목적으로 개발되었다. 즉, MRL은 TRL에서 다루어지지 않는 개발기술의 양산을 위한 제조기술의 성숙도평가를 위해 개발되었다. 또한 IRL은 TRL과 MRL에서 다루어지지 않지만 시스템을 구성하는 기술간의 통합 부분이 전체시스템의 개발에 미치는 영향이 크기 때문에 이의 정확한 평가를 위해서 개발된 것이며, SRL은 시스템의 전체적인 성숙도 수준을 나타나기 위해 도입된 개념이다. 이들 방법들은 각각 시스템의 한가지 측면에 대해서만 성숙도를 측정하기 때문에 단일 성숙도평가 방법만으로는 전체적인 관점에서 시스템의 성숙도를 평가할 수 없는 한계점을 갖고 있다. 따라서 무기체계 획득과정에서 위험요인을 최소화하여 성공적인 무기체계 획득목표 달성을 위해서는 다각적인 측면에서 시스템의 성숙도를 종합적으로 평가하는 것이 필요하다. 이에 따라 본 논문에서는 무기체계 획득 수명주기에서 시스템의 성숙도에 대한 종합적인 평가 방안에 대해 연구하였다.

2. 성숙도평가 방법

2.1 성숙도평가 방법 소개

Tetlay는 제품의 복잡성 증가와 고집적화로 인해 21세기를 “시스템의 세기”로 불렀다. 이들은 시스템 개발 수명 주기에서 성숙도평가는 반드시 필요하다고 주장하였다(Tetlay 2009). “측정할 수 없으면 개선할 수 없다”는 말처럼 시스템 개발에서 위험의 식별 및 관리를 위해서는 복잡한 시스템의 성숙도를 정확하게 측정할 수 있는 방법이 필요로 된다. 이를 위해서 다양한 성숙도평가 방법들이 개발되었으며 <Table 1>은 주요 방법들을 보여준다(Azizian 2009). 여기서 성숙도(Readiness Level)는 시스템의 성숙수준을 체계적으로 나타내는 지표이며, 성숙도평가(Readiness Assessment)는 성숙도를 기반으로 하여 시스템의 성숙수준을 확인하는 프로세스를 의미한다. 무기체계는 다수의 기술이 체계적으로 통합되어 이루어진다. 따라서 무기체계의 완성도는 구성 기술의 성숙도와 서로 통합되는 기술간 인터페이스의 성숙도에 의해 결정된다. 또한 개발기술의 양산을 위한 제조능력은 무기체계의 품질에 큰 영향을 미친다. 따라서 이러한 부분에 대한 성숙도를 평가할 수 있는 방법이 필요하며, <Table 1>의 성숙도 중 기술 성숙도(TRL), 제조성숙도(MRL), 통합성숙도(IRL) 및 체계성숙도(SRL)가 이를 위한 가장 적합한 평가방법이다.


Table 1. Readiness levels related with technology

Qualitative Method	Quantitative Method
<ul style="list-style-type: none"> · Technology Readiness Level · Manufacturing Readiness Level · Integration Readiness Level · Missile Defense Agency Checklist · Advancement Degree of Difficulty · Research and Development Degree of Difficulty 	<ul style="list-style-type: none"> · System Readiness Level · Integrated Technology Analysis Methodology · Technology Insertion Metric · Technology Readiness and Risk Assessment

TRL은 1980년대 미 항공우주국(NASA)에서 우주기술의 성숙도평가를 위해 개발되었다. TRL은 CTE(Critical Technology Elements)라 불리는 시스템을 구성하는 핵심기술의 성숙도를 체계적으로 평가하는 방법이다. TRL은 TRL1부터 TRL9까지 총 9단계로 이루어져 있다. <Table 2>는 무기체계 획득단계별 요구되는 TRL, MRL, IRL, SRL 수준을 나타낸다. 선행연구(Material Solution Analysis) TRL1~TRL4, 탐색개발(Technology Development) TRL5~TRL6, 체계개발(System Development) TRL7, 양산/운용(Production/Operation) 단계에서는 TRL8~TRL9가 성공적인 무기체계 획득을 위해 요구되는 기술성숙도 수준이다. 미 국방부 획득 규정에서는 탐색개발 완료시점과 체계개발 완료시점에서 TRA를 반드시 시행하도록 하고 있다(DoD 2009). TRA 절차는 <Figure 2(a)>에서 보여주듯이 사업관리자가 평가계획을 수립하고, 관련 기술분야 전문가로 평가팀을 구성한다. 평가팀은 평가대상 무기체계의 CTE를 식별하고, TRL을 기반으로 평가를 수행한 후 평가보고서를 작성한다. 이 평가보고서 결과는 획득단계의 주요 의사결정 시점에서 사업의 다음단계 진입 여부를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 미 국방부는 1999년부터 국방획득사업에서 기술의 성숙도를 평가하는 방법으로 TRL을 도입하여 사용하기 시작했다. TRA는 현재 미 국방부의 모든 획득사업에서 수행되도록 규정화되어 있다. 한국에서는 2012년 방위 사업청에서 TRA 지침을 제정하여 주요 국내개발 무기체계 획득사업에 대해 적용하고 있다(DAPA 2013).

Table 2. TRL/MRL/IRL/SRL with defense acquisition lifecycle

Material Solution Analysis				Technology Development		System Development			Production/ Operation	
TRL1	TRL2	TRL3	TRL4	TRL5	TRL6	TRL7		TRL8	TRL9	
MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10	
IRL1		IRL2	IRL3	IRL4	IRL5	IRL6	IRL7	IRL8	IRL9	
0.1 SRL				0.4	0.6	0.8			1.0	



2000년대 초 미 회계감사원은 미 국방부 획득사업의 대부분이 품질저하, 비용증가 및 일정지연 등의 문제를 겪고 있으며, 이러한 문제의 주요 요인으로 개발기술의 양산단계 진입 시 제조능력이 충분히 성숙되지 않은 점을 지적하였다(GAO 2005-2012). 이에 따라 미 국방부에서는 군, 산업계 및 학계의 전문가 그룹을 조직하여 MRL을 개발하였다. MRL은 무기체계 획득 수명주기에서 제조관련 위험을 개발단계부터 체계적으로 식별 및 관리하기 위한 평가방법이다. MRL은 thread라고 하는 양산 제조능력과 관련된 9개 분야(산업기반, 설계, 비용, 자재, 공정능력, 품질관리, 인력, 설비, 제조관리)의 성숙도평가를 통해서 개발기술의 제조위험을 식별한다. MRL은 <Table 2>에서 보듯이 무기체계 획득단계에 따라 MRL1부터 MRL10까지 총 10단계로 구성된다. 선행연구 단계 MRL1~MRL4, 탐색개발 MRL5~MRL6, 체계개발 MRL7~MRL8, 양산/운용 단계에서는 MRL9~MRL10이 획득단계별로 요구되는 제조성숙도 수준이다. <Figure 2(b)>는 MRA 수행 절차를 보여준다. 먼저 정부 사업담당 부서에서 평가대상 사업선정 및 평가일정 등 평가계획을 수립하고, 관련 분야에 대한 경험과 지식을 갖춘 전문가들로 평가팀을 구성한다. TRA와 MRA 절차의 가장 큰 차이점은 MRA에서는 평가대상 계약자의 자체평가가 평가팀의 평가 전에 수행된다는 점이다. 평가팀의 현장평가 완료 후 평가결과에 대한 보고서가 작성된다. 평가 보고서에는 요구되는 MRL 수준의 도달여부 뿐만 아니라 식별된 위험요인의 관리 및 개선계획이 포함되어야 한다(DoD 2012). MRA는 아직 미 국방부 획득사업에서 TRA처럼 반드시 시행되도록 규정화되어 있지는 않지만, 제조관련 위험 및 성숙도 평가를 위한 표준화된 방법으로 첨단 무기체계 획득사업에서 적용 범위가 점차 확대되고 있다(GAO 2010). 국내에서는 2012년 방위사업청에서 MRA 지침을 제정하여 TRA와 함께 고품질 무기체계 획득을 위한 방안으로 시행하고 있다(DAPA 2013).

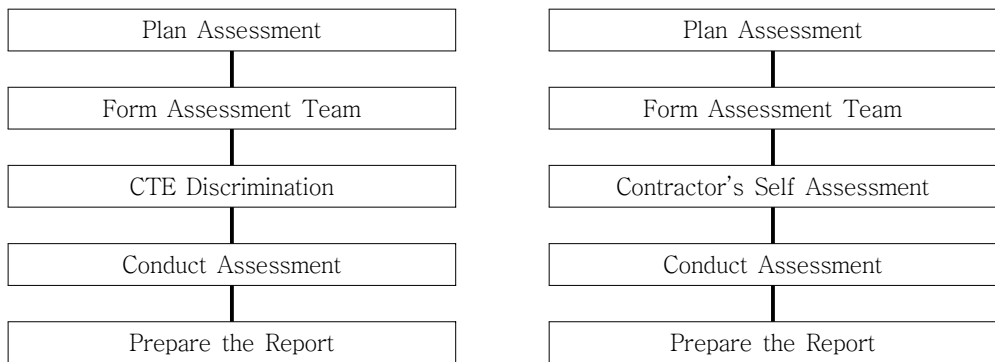


Figure 2. (a)Technology readiness assessment process

(b)Manufacturing readiness assessment process

Mosher는 국방획득에서 요소 기술들을 하나의 시스템으로 통합하는 부분이 가장 어려운 문제라고 주장하였으며, 이외에도 많은 연구자들이 이 부분의 중요성에 대해 언급하였다(Mosher 2000). 미 국방부와 산업계에서는 시스템 내 기술간의 상호운용성 상태를 체계적으로 평가할 수 있는 방법을 필요로 하였다. 이에 따라 2006년 Sauser 등은 시스템을 구성하는 기술들이 서로 통합될 때 두 기술 간 인터페이스의 성숙도를 평가하는 방법으로 IRL을 개발하였다(Sauser 2009). IRL은 <Table 2>에서와 같이 IRL1부터 IRL9까지 총 9단계로 구성되어 있다. 선행연구 IRL1~IRL3, 탐색개발 ILR4~IRL5, 체계개발 IRL6~IRL8, 양산/운용 단계에서는 IRL9가 각 획득단계에서 요구되는 통합성숙도 수준이다. IRL은 아직 TRL이나 MRL 만큼 이론적인 완성도가 높지는 않지만, 향후 무기체계 획득사업에서 위험 감소를 위한 새로운 성숙도평가 방법으로 큰 잠재성을 갖고 있다.

TRL이 기술과 관련된 위험을 평가하기 위해 사용되는 것과 같이 IRL은 기술의 통합과 관련된 위험을 평가하기 위해 개발되었다. 이에 따라 다음 단계로, 개발 중에 있는 전체 시스템의 성숙도를 측정할 수 있는 방법의 필요성이 대두되었다. 2008년 Sauser 등은 전체 시스템의 성숙도를 평가할 수 있는 방법으로 SRL을 제안하였다(Sauser 2008). SRL은 <Table 2>가 보여주는 것과 같이 무기체계 획득 수명주기에서 0~1 사이의 값을 갖는다. 선행연구 0.1~0.4, 탐색개발 0.4~0.6, 체계개발 0.6~0.8, 양산/운용 단계에서 0.8~1.0이 무기체계 획득단계별로 요구되는 체계성숙도 수준이다. <Figure 3>은 시스템에 대한 TRL, IRL 및 SRL의 관계를 보여준다. <Figure 3>의 시스템은 CTE1, CTE2, CTE3 세 개의 기술로 구성되어 있다. I12, I23, I13는 각각 CTE1과 CTE2, CTE2와 CTE3, CTE1과 CTE3 간의 인터페이스를 나타낸다. TRL은 바로 CTE1, CTE2, CTE3의 성숙도를 평가하는 것이며, IRL은 I12, I23, I13의 성숙도를 평가한다. SRL은 CTE1, CTE2, CTE3, I12, I23, I13가 모두 포함된 전체 시스템의 성숙도를 평가하는 방법이다. SRL은 TRL과 IRL의 함수로 결정되며 수학적으로는 다음과 같이 행렬식으로 표현된다.

$$(SRL)_{n \times 1} = (IRL)_{n \times n} \times (TRL)_{n \times 1} \tag{1}$$

여기서 n은 시스템을 구성하는 CTE의 개수이며, 전체 시스템의 체계성숙도는 $(SRL)_{n \times 1}$ 의 평균값이 된다. TRL, MRL, IRL은 각각 9~10개의 단계로 이루어져 있으며 각 단계의 의미가 매우 서술적으로 표현되어 있어 정성적인 평가방법으로 분류되는 반면, SRL은 0~1의 연속적인 값을 갖기 때문에 정량적인 평가방법으로 분류된다.

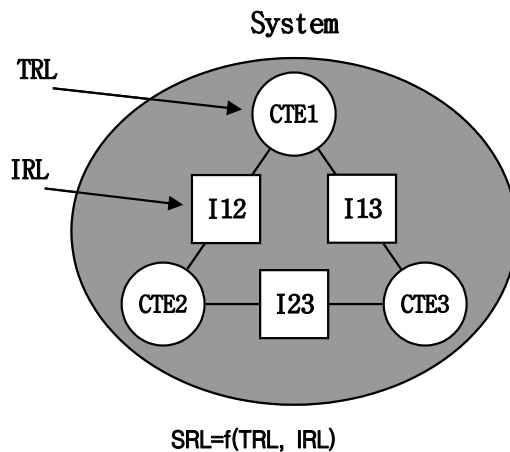


Figure 3. Relation between TRL, IRL and SRL

2.2 성숙도평가 선행연구

1999년 미 회계감사원은 미 국방부 기술과 상업분야의 기술에 대해 TRA를 수행하여 시스템 개발에서 TRL의 효과성에 대한 연구를 수행하였다. 먼저 미 국방부의 기술 중 코만치 헬리콥터와 대장갑차 폭탄에 대해 TRL을 평가하였다. 코만치 헬리콥터의 경우 탐색개발 완료 단계에서 핵심기술들이 TRL3~TRL5 수준으로 기술이 충분히 성숙되지 않은 상태에서 체계개발 단계로 진입하였다. 이로 인해 목표대비 비용은 101 %, 일정은 120 % 증가하는 문제가 발생하였다. 또한 대장갑차 폭탄은 탐색개발 완료 단계에서 TRL3 수준으로 요구되는 TRL6 수준에 크게 미흡한 상태에서 체계개발 단계로 진입함으로써 목표대비 비용은 88 %, 일정은 62 % 증가하였다. 반면에 민간분야의 Hughes HS-720 위성용 태양전지 모듈과 포드사의 재규어 자동차는 탐색개발 완료단계에서 각각 TRL6과 TRL8을 달성함으로써 비용과 일정 목표 내에서 사업을 완료할 수 있었다. 이러한 연구결과로부터 미 회계감사원은 무기체계 획득사업에서 TRL의 효과성을 확인한 후 미 국방부의 획득사업에 TRL을 도입하도록 권고하게 되었다.

2002년 미 회계감사원은 미 국방부의 무기체계 획득사업에서 제조능력의 영향성에 대한 연구를 수행하였다. AIM-9X 공대공 미사일은 양산단계에서 제조공정의 95 %가 제어상태에 있었다. 이 사업은 목표대비 단지 4 %의 비용상승과 1 개월의 일정지연이 발생했다. 또한 FA-18 전투기는 78 %의 제조 공정이 제어상태에 있었는데 비용증가 없이 일정만 3개월 지연되었다. 그러나 F-22 전투기와 패트리엇 미사일은 양산단계에서 각각 제조공정의 44 %와 35 %만이 제어상태에 있었으며, 이는 각각 비용의 23 %, 159 % 증가와 18 개월, 39 개월의 일정지연을 발생시켰다. 이러한 결과로부터 미 회계감사원은 양산단계 진입 전에 충분한 제조능력을 확보할 것을 미 국방부에 권고하였으며, 이는 MRL의 개발로 이어졌다.

3. 성숙도평가 방법의 획득단계별 목표

TRL, MRL, IRL, SRL은 각 단계별로 표준 체크리스트를 가지고 있으며, 이를 이용하여 시스템의 성숙도평가를 수행한다. 여기서는 획득단계별 TRL, MRL, IRL, SRL의 정의와 체크리스트를 활용해서 각 평가방법이 목표로 하는 성숙도에 대해 분석하였다. 이를 통해 무기체계 획득사업에서 각 성숙도평가 방법의 역할과 상호 관계를 세부적으로 밝혔다.

3.1 선행연구 단계

선행연구 단계에서 TRL은 TRL1~TRL4가 해당된다. 개발하려는 기술의 기저를 이루는 과학원리의 확인에서부터 시작하여 이 과학원리의 응용연구가 진행된다. 이를 통해 실험실 환경에서 구성품 또는 실험용 조립품 수준의 성능이 입증된다. 즉 이 단계에서 TRL은 실험실이라는 제한적인 조건에서 최종 제품에 비해 성능은 불완전 하지만 종합적인 성능이 발휘되는 시스템까지 만들어지는 것을 목표로 한다. MRL은 MRL1~MRL4가 해당된다. 사업목표 달성을 위한 제조상의 문제점이 파악되고, 새로운 제조개념의 식별 및 분석이 진행된다. 이후 제한된 실험실 환경에서 제조개념이 입증되고 생산능력이 확보된다. 따라서 선행연구 단계에서 MRL은 개발기술에 대한 실제 제조 가능성을 확인하는 것을 목표로 한다. IRL은 IRL1~IRL3이 이 단계에 해당된다. 먼저 통합되는 기술 간의 인터페이스가 정의되고, 이 인터페이스를 통한 기술 간의 상호 작용이 파악된다. 그리고 체계적이고 효율적으로 통합되기 위한 기술 간의 호환성(예: 공통 언어)이 확보된다. 선행연구 단계의 IRL은 통합되는 두 기술이 서로 영향을 줄 수 있고 정상적인 소통이 가능해짐으로서 성공적인 통합을 위한 최소한의 요건이 달성되는 것을 목표로 한다. SRL은 0.1~0.4가

해당되며, 무기체계 획득사업에서 목표로 하는 전체 시스템의 기술적인 가능성이 확인되는 것을 목표로 한다.

이상으로부터 선행연구 단계에서의 TRL, MRL, IRL, SRL은 무기체계 획득을 위한 기본조건의 확보를 목표로 하는 것을 알 수 있다.

3.2 탐색개발 단계

탐색개발 단계에서 TRL은 운용환경과 유사한 조건에서 기술 안정성이 향상된 구성품 또는 실험용 조립품의 성능이 시험을 통해 입증되는 TRL5와, 유사 운용환경에서 체계/부체계 모델 또는 시제품의 시연이 이루어지는 TRL6이 해당된다. 따라서 탐색개발 단계에서 TRL은 운용환경에 가깝게 시뮬레이션된 조건에서 구성품 또는 실험용 조립품의 성능이 입증되고, 시제품의 시연까지 수행되는 것을 목표로 한다. MRL은 MRL5와 MRL6이 탐색개발 단계에 해당된다. MRL5는 양산공정의 일부를 고려한 환경에서 시제 구성품의 생산능력이 확보되는 단계이며, MRL6은 시제 체계/부체계의 생산능력이 확보되는 단계이다. 선행연구 단계에서 기술 간 통합이 가능하기 위한 최소한의 IRL이 달성되었다면, 탐색개발 단계에서 IRL4는 통합되는 기술 간 상호작용 및 호환성 등에 대한 품질보증 능력이 확보되는 것을 의미한다. IRL5는 통합되는 기술 간 인터페이스의 제어능력이 확보되는 단계이다. 따라서 탐색개발 단계의 IRL은 인터페이스에서 발생 가능한 위험요인에 대한 제어능력 확보를 목표로 한다. 탐색개발 단계에서 SRL은 기술 및 기술간 인터페이스의 위험을 감소시켜 안정적인 전체 시스템으로의 통합이 가능하도록 하는 것을 목표로 한다.

무기체계 획득단계에서 탐색개발은 본격적인 개발이 시작되는 단계이다. TRL5, MRL5, IRL4를 보면, TRL5에서 체계 구성품의 성능 입증에 이루어지고 MRL5에서는 체계 구성품의 제조능력이 확보되며 IRL4에서는 체계 구성품 간 인터페이스에 대한 품질보증 능력이 확보되는 것과 같이 TRL, MRL, IRL, SRL이 서로 명확하게 대응되는 것을 볼 수 있다. 이것으로부터 TRL, MRL, IRL, SRL은 서로 중복되는 평가 방법이 아니라 각각의 평가방법에서 다루지 못하는 부분을 서로 보완해 주는 것을 알 수 있다. 이는 무기체계 획득 수명주기에서 이들 평가방법을 종합적으로 사용할 경우 획득단계에서 발생할 수 있는 위험요소들을 최소화함으로써 획득사업을 성공적으로 추진 하는데 큰 기여가 될 수 있음을 보여준다.

3.3 체계개발 단계

체계개발 단계에서 TRL은 운용환경에서 체계 시제품의 성능이 시연되는 TRL7이 해당된다. 이 단계에서 TRL은 예상되는 조건하에서 최종 완성된 형태로 기술의 성능이 입증된다. 체계개발 단계에서 MRL은 MRL7과 MRL8이 해당된다. 양산인력, 설비, 공정, 원자재 등이 양산공정에 가깝게 구현된 조건에서 체계, 부체계, 구성품의 생산능력을 구비하는 MRL7과 양산조건의 모든 주요 생산요소가 모두 갖추어진 파일럿 환경에서 양산성의 검증이 이루어지는 MRL8이 해당된다. MRL에서는 최종 완성된 기술의 생산능력이 갖추어지는 것이다. IRL은 IRL6~IRL8이 체계개발 단계에 해당된다. IRL6에서는 규모가 크고 복잡한 전체 시스템에 대한 시험평가의 어려움 완화를 위해 몇 개의 기술이 통합된 모듈 단위에서 기술들의 기능에 대해 입증이 이루어진다. IRL7은 전체 통합시스템의 end-to-end 기능에 대한 성공적인 시연이 완료되는 단계이다. IRL8에서는 전체 통합 시스템의 인터페이스에 대해 운용환경에서 시험 및 시연을 통해 성능이 입증된다. 체계개발 단계에서 SRL은 요구되는 임무를 충족시키는 시스템의 개발완료 의미를 의미한다.

체계개발 단계는 탐색개발 단계와 함께 무기체계 획득사업의 핵심을 이루는 단계이다. 따라서 체계적이고 정확한 성숙도평가를 통해 위험을 최소화해야만 고품질의 무기체계를 목표 비용과 일정 내에서 획득하는 것이 가능하게 된

다. SRL의 목표와 같이 체계개발 단계는 시스템의 개발이 완료되는 단계로 TRL은 최종 시스템 단계에서 기술 성능이 검증되고, IRL도 최종 시스템 단계에서 인터페이스의 기능이 검증된다. 또한 MRL은 최종 시스템에 대한 양산 제조능력이 확보된다. 즉, TRL, MRL, IRL이 최종 시스템에 대해 기술, 제조, 인터페이스 측면에서 각각 성숙도를 검증하는 것이다. 따라서 체계개발 단계에서 각 성숙도평가 방법의 목표가 모두 달성되어야 시스템 개발과 이 시스템의 양산 준비가 모두 완료될 수 있음을 알 수 있다. 이를 통해서 체계개발 단계에서 TRL, MRL, IRL, SRL 네 가지 성숙도평가가 종합적으로 수행되어야 위험을 최소화하고 체계개발의 완성도를 높일 수 있음을 알 수 있다.

3.4 양산/운용 단계

양산/운용 단계에서 TRL은 시험 및 시연을 통해서 실제계의 성능이 입증되는 TRL8과 임무조건 하에서 최종형태로 기술의 실제적인 응용이 완성되는 TRL9가 해당된다. MRL은 초도생산이 이루어지는 단계로 모든 생산요소가 생산계획을 충족시킬 수 있도록 가용가능하며 적절한 수준의 제품 품질을 충족시키는 MRL9와 양산수행 단계로 모든 생산요소가 양산요구사항을 충족시키며 지속적인 공정개선이 진행되는 MRL10이 해당된다. IRL은 시스템의 인터페이스 기능이 운용환경에서 성공적인 임무수행을 통해 입증된다. 양산/운용 단계에서 SRL은 시스템의 성공적인 임무수행이 이루어지는 것을 의미한다. 양산/운용 단계에서 성숙도평가는 시스템의 성공적인 임무수행을 확인하고 정상적인 생산이 이루어지는 것을 목표로 한다. <Table 3>은 위에서 분석한 TRL, MRL, IRL 및 SRL의 획득단계별 목표를 요약하여 보여준다.

Table 3. Targets of readiness levels according to acquisition lifecycle

Readiness Levels Lifecycle	TRL	MRL	IRL	SRL
Material Solution Analysis	Technology in laboratory	Manufacturing concept in laboratory	Compatibility between integration technologies	Develop system strategy
Technology Development	Technology in relevant environment	Prototype manufacturing in relevant environment	Control of interfaces	Develop system capability
System Development	Technology in operational environment	System manufacturing in pilot environment	Interface in operational environment	System operational capability achieved
Production/Operation	Technology mission proven	Full rate production	Interface mission proven	System mission proven

4. 성숙도평가 방법 한계점 분석 및 개선 방안

TRL은 미 국방부에서 국방획득사업의 성숙도평가 방법으로 도입한 후 다수의 미 정부기관과 민간 산업체에서 도입하였으며 현재 가장 널리 사용되고 있다. TRL은 기술 관련 위험을 체계적으로 식별 및 관리하여 기술을 성숙시킬

수 있도록 함으로써 시스템 개발에서 큰 기여를 해왔다. 그러나 최근 시스템의 복잡도가 증가함에 따라 TRL 한가지 성숙도평가 방법으로는 새로운 시스템 개발에 따르는 다양한 위험을 모두 식별하는 것이 불가능 하게 되었다. TRL 은 시스템을 구성하는 개개의 요소기술에 대한 성숙도 평가만을 수행한다. TRL에서는 개발기술이 균일한 품질로 대량 생산이 가능한지, 생산에 소요되는 비용은 얼마인지, 제조에서 어떤 인력이 필요로 되는지, 주요 원자재는 사용 가능한지 등의 제조와 관련된 준비사항에 대해서는 답을 할 수 없다. 또한 통합되는 기술간 인터페이스에서 기술간의 상호작용, 호환성 및 통합 기능 등도 TRL에서는 고려를 하지 않는다. MRL은 시스템 개발에서 제조관련 부분, IRL은 통합되는 기술간 인터페이스 부분에 대해서만 고려하는 한계를 갖고 있으므로 이들은 TRL과 함께 수행될 때 시너지 효과를 낼 수 있다. SRL은 다수의 기술이 통합된 복잡시스템의 경우 전체 시스템의 성숙도를 나타낼 수 있는 대표 지표로서 사용될 수 있다.

<Figure 4(a)>는 미국의 화성 기후탐사선(MCO)이 1999년 화성에 추락한 원인 분석을 위해 TRL과 IRL 평가를 수행한 결과를 보여준다. 지상 소프트웨어의 Small Force라 불리는 파일의 출력값이 Angular Momentum Desaturation(AMD)라 불리는 파일에 입력되어 AMD에서 탐사선의 추진력값을 계산하게 된다. 그러나 Small Force에서는 뉴턴 단위를 사용하고 AMD에서는 파운드 단위를 사용함으로써 인해 잘못된 추진력값을 계산하여 결국 MCO가 화성에 추락하게 되었다. 즉 <Figure 4(a)>에서 보듯이 Small Force와 AMD의 TRL은 매우 높으나 IRL이 낮음으로 인해 문제가 발생하게 된 것이다. <Figure 4(b)>는 유럽연합 ARIANE 발사체의 1996년 발사 실패에 대한 원인분석 결과를 보여준다. Inertial Reference System(SRI)의 고장 상태임에도 On-Board Computer(OBC)는 발사체 자체에 대한 데이터에 문제가 없는 것으로 판단함으로써 사고가 발생 하였다. 여기서도 SRI와 OBC 각각의 TRL은 매우 높은 수준에 도달되어 있으나 IRL이 낮은 수준에 머물러 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 실 사례로부터 시스템 개발 시 단편적인 성숙도평가 방법의 사용은 많은 위험요인을 놓칠 수 있음을 알 수 있다.

이상 각 성숙도평가 방법에 대한 분석결과로부터 성공적인 무기체계 획득사업 추진을 위해서는 TRL, MRL, IRL, SRL을 종합적으로 함께 사용하는 것이 필요함을 알 수 있다. 이 경우 각 평가 방법의 한계점에 대한 상호보완이 가능하여 정확한 위험요인 식별과 효율적인 위험관리가 가능할 것으로 예상된다.

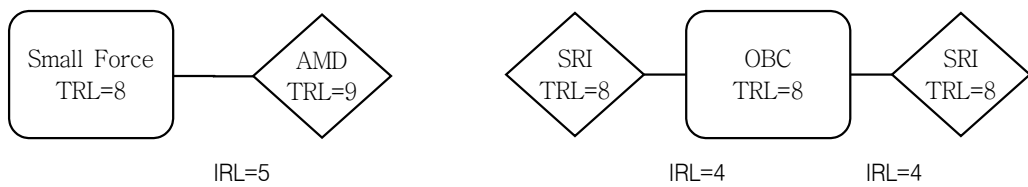


Figure 4. (a)MCO readiness assessment

(b)ARIANE 5 readiness assessment

5. 결 론

본 연구에서는 무기체계 획득사업에서 품질/성능 저하, 비용증가 및 일정지연 위험을 예방하기 위한 종합적인 성숙도평가 방법에 대해 제시하였다. 무기체계는 다수의 요소기술들이 통합되어 이루어지며, 무기체계 획득은 궁극적으로 개발된 기술의 양산제조에 의해 달성된다. 따라서 성공적인 무기체계 획득은 단순히 주요 요소기술의 성숙만으로는 달성될 수 없다. 본 연구에서는 기존의 다양한 성숙도평가 방법 중 무기체계 성숙도평가와 관련성이 높은 것으로 판단되는 TRL, MRL, IRL, SRL을 비교/분석하여, 현재 표준 성숙도평가 방법으로 사용되고 있는 TRL의 한계점

들에 대한 MRL, IRL, SRL의 보완 가능성을 제시하였다. TRL, MRL, IRL 및 SRL은 무기체계 획득에서 핵심을 이루는 요소기술, 제조, 기술통합, 전체시스템의 성숙도를 각각 정확하게 평가하기 때문에 상호 보완적인 성격을 갖는다. 따라서 주요 의사결정 단계에서 TRL, MRL, IRL, SRL을 모두 사용한 종합적인 성숙도평가는 의사결정의 정확성을 높임으로써 고품질 무기체계 획득을 가능하게 할 것이다. 그리고 향후 무기체계 획득사업에서 효율적인 성숙도평가를 위해 TRL, MRL, IRL, SRL을 통합한 단일 성숙도평가 모델에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것이다.

REFERENCES

- Azizian, N., Sarkani, S., and Mazzuchi, T. 2009. "A Comprehensive Review and Analysis of Maturity Assessment Approaches for Improved Decision Support to Achieve Efficient Defense Acquisition." Proceedings for the World Congress on Engineering and Computer Science.
- Chung, H. Y., Lee, H. Y., and Park, Y. I. 2012. "Reliability Evaluation of Weapon System using Field Data: Focusing on Case of K-series Weapon System." *Journal of the Korean Society of Quality Management* 40:278-285.
- DAPA. 2013. Defense Program Management Regulation.
- DAPA. 2013. Manufacturing Readiness Level Instruction.
- DAPA. 2013. Technology Readiness Level Instruction.
- DoD. 2009. Technology Readiness Assessment (TRA). Deskbook.
- DoD. 2012. Manufacturing Readiness Level (MRL). Deskbook.
- GAO. 2005-2012. "Assessments of Selected Weapon Programs." Report to Congressional Committees.
- GAO. 2010. "DoD Can Achieve Better Outcomes by Standardizing the Way Manufacturing Risks Are Managed." Report to Congressional Requesters.
- Mosher, D. E. 2000. "Understanding the Extraordinary Cost Growth of Missile Defense." *Arms Control Today* 9-15.
- Sauser, B., and Forbes, E. 2009. "Defining an Integration Readiness Level for Defense Acquisition." *International Symposium of the International Council on Systems Engineering*.
- Sauser, B., Marquez, R., Magnaye, R., and Tan, W. 2008. "A Systems Approach to Expanding the Technology Readiness Level within Defense Acquisition." *International Journal of Defense Acquisition Management* 1:39-58.
- Tetlay, A., and John, P. 2009. "Determining the Lines of System Maturity, System Readiness and Capability Readiness in the System Development Lifecycle." 7th Annual Conference on Systems Engineering Research.
- Yoon, K. S., and Lee, J. C. 2012. "A Case Study on the Reliability Assessment of Stockpile Ammunition." *Journal of the Korean Society of Quality Management* 40:259-269.