

국방연구개발 사례 연구를 통한 통합성숙도평가 절차 연구

우 순* · 이종호** · 임재성***

* 국방기술품질원

** 삼성탈레스

*** 아주대학교

A Study on the System Readiness Assessment Procedure Development through a case study in Defense R&D Programs

Soon Woo* · Jong Ho Lee** · Jae Sung Lim***

* DTaQ(Defense Agency for Technology and Quality)

** Samsung Thales

*** Ajou university

ABSTRACT

Purpose: Simple part or equipment is necessary TRA(Technology Readiness Assessment) or MRA(Manufacturing Readiness Assessment). But sole maturity like TRA, MRA has limit complex systems or SoS(System of System). Especially complex weapon system need from the System Maturity Point of view. This research shows necessity of SRA(System Readiness Assessment).

Methods: In case of complex systems, it is essential to SRA(System Readiness Assessment). For the purpose of calculating SRL(System Readiness Level), TRL and IRL must be calculated. And then SRL can obtain know from equation of TRL and IRL. To prove SRA effectiveness, it is calculated SRL of JTDLS(Joint Tactical DataLink System) programs.

Results: SRA procedure is proposed and case study shows as examples of JTDLS programs. Although result of TRA is TRL6, result of SRA is not 0.6. From this research, we can know necessity of SRA. Especially complex systems or SoS(System of System) is essential to SRA.

Conclusion: SRA(System Readiness Assessment) is required to overcome limitation of sole maturity and to achieve a successful acquisition of high quality weapon system. This research intended to suggest SRA procedure and case study in complex defense system.

Key Words: SRL, SRA Procedure, SRA Case Study, JTDLS, TRA, MRA, IRA

• Received 21 February 2014, revised 21 February 2014, accepted 7 March 2014

† Corresponding Author(woos21@nate.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

국방연구개발을 통한 무기체계 획득사업의 기본 목표는 요구성능을 충족시키는 무기체계를 계획된 비용과 정해진 일정 내에 군에 배치하여 전력화 시키는 것이다. 그러나 무기체계 획득 과정에서 요구사항의 진화, 비현실적인 기대 성능, 비용 및 일정, 예산의 불안정 등 다양한 위험 요인으로 인해 기본 목표를 달성하는데 한계가 있다(Woo 2013). 미 회계감사원(GAO : Government Accountability Office)에서는 미국의 주요 무기체계에 대한 획득사업을 조사 분석한 결과를 바탕으로 위험의 주요 요인이 핵심 기술 및 제조 기술 등과 같은 미성숙된 기술임을 지적하고 획득 단계별 기술 성숙도 및 제조 성숙도에 대한 평가 필요성을 제시하였다(GAO 2005-2012; GAO 2010). 특히 미성숙 기술 및 미성숙 제조 능력으로 인해 유발되는 문제점의 심각성은 무기체계의 복잡화에 따라 점점 더 커지고 있다.

미국에서 볼 수 있는 사례와 문제점은 국내 국방 무기체계의 복잡화 및 제한된 국방 예산의 제한성 등을 고려 시 우리나라에서 더욱 심각한 상황이다. 또한 북한과의 대치 상황 등 우리나라의 특수성을 고려 할 때 성숙도에 대한 평가와 미성숙 요소에 대한 점진적인 보완을 통해 예정된 전력화 기간에 우수한 품질의 무기체계를 개발 완료하는 것은 더욱 더 절실하다는 것을 알 수 있다.

미 회계감사원(GAO)에서 미 국방부의 무기체계 획득사업에서 성숙도 평가 방법 부재의 문제점을 언급함에 따라 미 국방부에서는 미 항공우주국(NASA : National Aeronautics and Space Administration)에서 개발하여 사용하고 있던 기술성숙도(TRL : Technology Readiness Level)를 국방획득사업의 성숙도평가 방법으로 채택하였으며, 이어 제조성숙도(MRL : Manufacturing Readiness Level), 연동성숙도(IRL : Integration Readiness Level) 등의 새로운 평가 방법이 개발되었다. 하지만 이러한 성숙도평가는 단일 성숙도 평가 방법으로 전체적인 관점에서 시스템의 성숙도를 평가할 수 없다는 한계점을 갖고 있다.

무기체계 획득 과정에서 위험 요인을 최소화하여 성공적인 무기체계 획득목표 달성을 위해서는 다각적인 측면에서 시스템의 성숙도를 종합적으로 평가하는 것이 필요하다. 이에 따라 본 논문에서는 국내 국방분야 무기체계 획득 수명주기에서 복합시스템의 통합성숙도평가에 대한 절차를 제안하고 제안된 절차에 따른 사례연구를 수행하였다.

2. 성숙도수준 및 절차

2.1 성숙도평가 필요성

최근 미국에서는 차세대 전투기 F-35 사업의 막대한 비용 증가와 일정 지연이 큰 이슈가 되었다. 미 회계감사원의 자료 분석 결과에 따르면 기술성숙도 측면에서 8개 핵심기술 중 6개 기술이 미성숙되었으며, 제조성숙도의 경우 핵심 제조공정의 76%가 미성숙 되었다(GAO 2005-2012). 또한 주요 6개 계약업체에 대해 AS9100에 따른 평가 결과 363개의 부적합 사항이 발견되었으며 그 결과, 본격 양산 이전단계인 LRIP(Low Rate Initial Production) 단계에서 품질 결함이 다수 발생하였으며 양산 단계인 FRP(Full Rate Production)가 7년 지연 되고 비용이 2배 상승되었음을 알 수 있다.

<Figure 1>에서 알 수 있는 바와 같이 기술(Technology) 및 설계(Design), 제조생산(Production)이 요구되는 성숙도 수준에 도달되어야 하나 F-35 사업의 경우 각 단계별로 요구수준에 미치지 못했음을 알 수 있다(GAO 2012).

무기체계 획득사업에서 품질 및 성능 저하, 그리고 이로 인해 발생하는 비용 상승과 일정 지연의 문제점을 예방하기 위해서는 획득단계의 주요 의사 결정이 정확한 정보를 기반으로 이루어져야 한다. 획득단계에서 발생하는 위험요

인의 식별 및 관리를 위한 성숙도평가는 개발자나 사업관리자의 주요 의사 결정시 중요한 정보를 제공한다. 미국의 경우 기술성숙도(TRL)를 국방획득사업의 성숙도평가 방법으로 채택하였으며, 이어 제조성숙도(MRL), 연동성숙도(IRL) 등의 제도를 도입하여 활용하고 있다. 각 평가 방법은 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 연동 부분이 전체시스템의 개발에 미치는 영향이 크기 때문에 이의 정확한 평가를 위해서 개발된 것이며, SRL은 시스템의 전체적인 성숙도 수준을 나타내기 위해 도입된 개념이다(Kim et al. 2013).

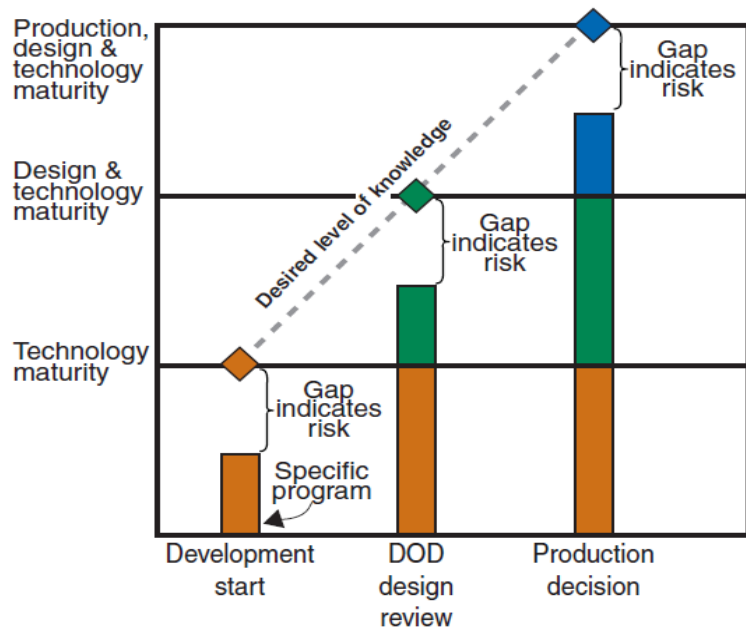


Figure 1. F-35 maturity level(GAO 2012)

성숙도평가(Readiness Assessment)는 성숙도를 기반으로 하여 시스템의 성숙 수준을 확인하는 프로세스이다. 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 대해 성숙도를 평가할 수 있는 방법이 필요하며, 무기체계 획득단계별 요구되는 TRL, MRL, IRL, SRL 수준은 <Table 1>과 같다(Kim et al. 2013).

Table 1. TRL/MRL/IRL/SRL with defense acquisition lifecycle

Material Solution Analysis				Technology Development		System Development			Production / Operation		
TRL				TRL		TRL7			TRL		
1	2	3	4	5	6				8	9	
MRL				MRL		MRL		MRL			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
IRL				IRL		IRL			IRL		
1	2	3	4	5	6	7	8	9			
SRL				SRL		SRL			SRL		
0.1				0.4		0.6			0.8		1.0

2.2 성숙도수준

성숙도평가 개념이 최초로 도입된 경우는 기술성숙도(TRL : Technology Readiness Level)이다. 기술성숙도(TRL)란 해당 기술이 실제로 응용되어 쓰일 수 있기까지 어느 정도 준비가 되었는지를 확인하는 정량적인 수준으로 <Table 2>와 같이 TRL1~TRL9로 분류된다(DoD 2009).

Table 2. Definition of TRL(Technology Readiness Level)

Level	Definition
TRL 1	Basic principles observed and follows
TRL 2	Technology concept and/or application formulated
TRL 3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept
TRL 4	Component and/or breadboard validation in a laboratory environment
TRL 5	Component and/or breadboard validation in a relevant environment
TRL 6	System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment
TRL 7	System prototype demonstration in an operational environment
TRL 8	Actual system completed and qualified through test and demonstration
TRL 9	Actual system proven through successful mission operations

기술성숙도평가(TRA : Technology Readiness Assessment)는 CTE(Critical Technology Elements)라 불리는 시스템을 구성하는 핵심기술요소에 대한 성숙도를 체계적으로 평가하는 방법으로 1980년대 미 항공우주국(NASA)에서 우주기술의 성숙도평가를 위해 개발되었으며 이후 미 국방부(DoD : Department of Defense) 및 산업계에서 표준 성숙도평가 방법으로 사용되고 있다(DoD 2009). 우리나라는 2012년부터 방위사업청에서 기술성숙도평가 제도를 도입해서 적용하고 있다(DAPA 2013).

기술성숙도평가(TRA)는 평가기관에 의해 도출된 핵심기술요소(CTE : Critical Technology Element)에 대하여 기술성숙도 수준별 체크리스트를 기반으로 하여 해당 CTE에 대한 기술성숙도를 측정하게 되고 무기체계 연구개발 단계에 따른 적정 기술성숙도 만족 여부를 판단하게 된다. 선행연구(Material Solution Analysis) TRL1~TRL4, 탐색개발(Technology Development) TRL5~TRL6, 체계개발(System Development) TRL7, 양산/운영(Production/Operation) 단계에서는 TRL8~TRL9가 성공적인 무기체계 획득을 위해 요구되는 기술성숙도 수준이다.

기술성숙도평가(TRA)는 기술성숙도(TRL) 지표를 통해 개발자 및 사업관리자로 하여금 기술 위험을 식별하고 감소시킬 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 그러나 개발 기술의 양산을 위한 제조성, 비용, 공정, 설비, 자재 등을 고려하지 않았으며 또한 복잡 시스템의 기술간 및 서브 시스템 간 통합에 대한 성숙도 평가의 한계를 안고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 먼저 제조성숙도(MRL)에 대한 개념이 도입되었다(Woo 2013; Kim et al. 2013).

제조성숙도평가(MRA : Manufacturing Readiness Assessment)는 기술성숙도평가(TRA)에서 고려되지 않은 미성숙된 제조성으로 인한 사업상의 일정 지연, 비용 상승, 품질 저하를 방지하기 위하여 획득 단계 전환시 양산 가능성의 성숙도를 확인하는 평가를 의미한다. 2002년 미 회계감사원에서 무기체계 획득사업에 대한 제조능력의 영향성 조사 후 양산단계 진입전에 충분한 제조능력의 확보를 미 국방부에 권고하였으며 이후 정부기관 및 Raytheon, Lockheed Martin 등 주요 방산업체에서 도입해서 사용하고 있다. 특히 DoD JDMTP(Joint Defense Manufacturing Technology Panel)에서 국방 제조관련 전문가 연구그룹을 구성하여 제조성숙도(MRL)를 개발 및 정교화하였으며 <Table 3>과 같이 MRL1 ~ MRL10으로 분류된다(DoD 2012). 우리나라는 2012년부터 방위사업청에서 제조성숙도평가 제도를 도입해서 국방분야에 적용하고 있다(DAPA 2013). 또한 민수분야에서는 일반 실험계획법 및 다구찌 기법 적용 방안 등 다양한 제조성숙도 관련 연구 및 노력이 진행되고 있다.(Ree 2009; Ree 2013).

Table 3. Definition of MRL(Manufacturing Readiness Level)

Level	Definition
MRL 1	Basic Manufacturing Implications Identified
MRL 2	Manufacturing Concepts Identified
MRL 3	Manufacturing Proof of Concept Developed
MRL 4	Capability to produce the technology in a laboratory environment
MRL 5	Capability to produce prototype components in a production relevant environment
MRL 6	Capability to produce a prototype system or subsystem in a production relevant environment
MRL 7	Capability to produce a prototype systems, subsystems, or components in a production representative environment
MRL 8	Pilot line capability demonstrated; Ready to begin Low Rate Initial Production
MRL 9	Low Rate Production demonstrated; Capability in place to begin Full Rate Production
MRL 10	Full Rate Production demonstrated and lean Production practices in place

Mosher는 국방획득에서 요소 기술들을 하나의 시스템으로 통합하는 부분이 가장 어려운 문제라고 주장하였다

(Kim et al. 2013; 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 and Forbes 2009).

연동성숙도평가(IRA : Interface Readiness Assessment)는 기술성숙도평가(TRA)에서 고려되지 않은 시스템 내부 기술 및 기술, 시스템 및 시스템의 성숙도를 평가함으로써 TRA의 한계점을 보완하여 다차원적인 성숙도 평가가 가능토록 하였다. 연동성숙도(IRL)는 기술성숙도 평가 시 도출된 핵심기술요소들이 상호 연관적인 관계에 있어서 어느 수준까지 통합수준을 보이는지 나타내는 것으로 <Table 4>에서와 같이 IRL1부터 IRL9까지 총 9단계로 구성되어 있다. 선행연구 IRL1~IRL3, 탐색개발 ILR4~IRL5, 체계개발 IRL6~IRL8, 양산/운용 단계에서는 IRL9가 각 획득 단계에서 요구되는 연동성숙도 수준이다.

IRA 수행 시 평가기관에서 대상 무기체계의 운용개념, 작전요구성능, 작업분할구조 등을 기반으로 CIE(Critical Interface Element)를 작성한다.

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 대두되었으며 2008년 Sauser 등은 전체 시스템의 성숙도를 평가할 수 있는 방법으로 통합성숙도 수준(SRL : System Readiness Level)을 제안하였다(Sauser et al. 2008; Tetlay and John 2009; Azizian et al. 2009).

통합성숙도평가(SRA)는 기술성숙도평가(TRA)와 연동성숙도평가(IRA)를 먼저 수행한 후 실시한다. 산출 방법은 기술성숙도 평가 결과로 획득한 핵심기술요소별 TRL 수준값과 연동성숙도 평가 결과로 획득한 핵심기술요소 간 IRL 수준값을 이용하여 계산한다.

Table 4. Definition of IRL(Integration Readiness Level)

Level	Definition
IRL 1	An interface between technologies has been identified with sufficient detail to allow characterization of the relationship
IRL 2	There is some level of specificity to characterize the Interaction (i.e. ability to influence) between technologies through their interface
IRL 3	There is Compatibility(i.e. common language) between technologies to orderly and efficiently integrate and interact
IRL 4	There is sufficient detail in th Quality and Assurance of the integration between technologies
IRL 5	There is sufficient Control between technologies necessary to establish, manage and terminate the integration
IRL 6	There is sufficient detail in th Quality and Assurance of the integration between technologies
IRL 7	The integration of technologies has been Verified and Validated with sufficient detail to be actionable
IRL 8	Actual integration completed and mission qualified through test and demonstration, in the system environment
IRL 9	Integration is Mission Proven through successful mission operations

Table 5. Definition of SRL(System Readiness Level)

Level	Definition
0.10 - 0.39	Concept Refinement
0.40 - 0.59	Technology Development
0.60 - 0.69	System Development & Demonstration
0.70 - 0.89	Production & Deployment
0.90 - 1.00	Operation & Support

<Figure 2>는 시스템에 대한 TRL, IRL 및 SRL의 관계를 보여준다. <Figure 2>의 시스템은 CTE1, CTE2, CTE3 세 개의 기술로 구성되어 있다. I12, I23, I13는 각각 CTE1과 CTE2, CTE2와 CTE3, CTE1과 CTE3 간의 인터페이스를 나타낸다. TRL은 CTE1, CTE2, CTE3의 기술성숙도를 평가하는 것이며, IRL은 I12, I23, I13의 연동성숙도를 평가한다(Kim 2013, Figure 3).

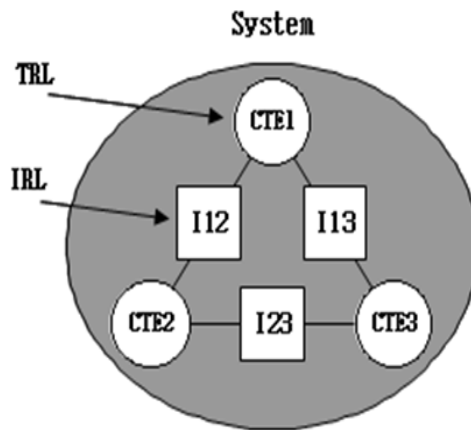


Figure 2. Relation between TRL, IRL and SRL

SRL은 CTE1, CTE2, CTE3, I12, I23, I13가 모두 포함된 전체 시스템의 성숙도를 평가하는 방법으로 TRL과 IRL의 함수로 결정되며 계산 방법은 다음과 같은 수학적 행렬식으로 계산한다.

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

여기서 n은 시스템을 구성하는 CTE의 개수이며, 전체 시스템의 통합성숙도는 (SRL)_{n×1}의 평균값이 된다. SRL의 평가는 TRL 평가 결과로 획득한 CTE별 TRL 수준값과 IRL 평가 결과로 획득한 CTE간 IRL 수준값을 이용하여 SRL을 계산한다(Sauser 2008). 먼저, CTE별 TRL값을 이용하여 다음과 같이 TRL 행렬을 산출한다.

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

다음으로, CTE간 통합 및 연동요소에 대한 IRL값을 이용하여 다음과 같이 IRL 행렬을 산출한다.

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

세 번째로, IRL 행렬과 TRL 행렬을 통합한 함수로 SRL을 결정하며 다음과 같은 수학적 행렬식으로 계산한다.

$$[SRL]_{n \times 1} = [IRL]_{n \times n} \times [TRL]_{n \times 1}$$

$$[SRL] = \begin{bmatrix} SRL_1 \\ SRL_2 \\ \dots \\ SRL_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IRL_{11}TRL_1 + IRL_{12}TRL_2 + \dots + IRL_{1n}TRL_n \\ IRL_{21}TRL_1 + IRL_{22}TRL_2 + \dots + IRL_{2n}TRL_n \\ \dots \\ IRL_{n1}TRL_1 + IRL_{n2}TRL_2 + \dots + IRL_{nn}TRL_n \end{bmatrix} \text{ where } IRL_{ij} = IRL_{ji}.$$

여기서 SRL scale을 0~1로 하기 위해 TRL 및 IRL 값을 기준값 9로 나눠서 표준화한다.

마지막으로, 계산된 SRL 행렬에서 체계성속도(SRL) 값을 도출한다. 이 때 각각의 통합성속도 수준을 종합하여 전체 CTE로 나눈 값이 최종 SRL 값이며 다음과 같다.

$$SRL = \frac{\frac{SRL_1}{n_1} + \frac{SRL_2}{n_2} + \dots + \frac{SRL_n}{n_n}}{n}$$

여기서 ni은 해당 기술요소(CTEi)와 연관된 기술요소 개수이다.

전체 시스템의 통합성속도는 (SRL)n×1의 평균값이 된다.

2.3 성속도평가 절차 연구

기술성속도평가(TRA)에 대한 세부내용은 국내 국방분야 무기체계 연구개발 업무를 주관하는 방위사업청의 방위사업관리규정 및 기술성속도평가 업무 지침에 구체적으로 명시되어 있으며 <Figure 3>과 같이 크게 세 단계로 나눌 수 있다(DAPA 2012)

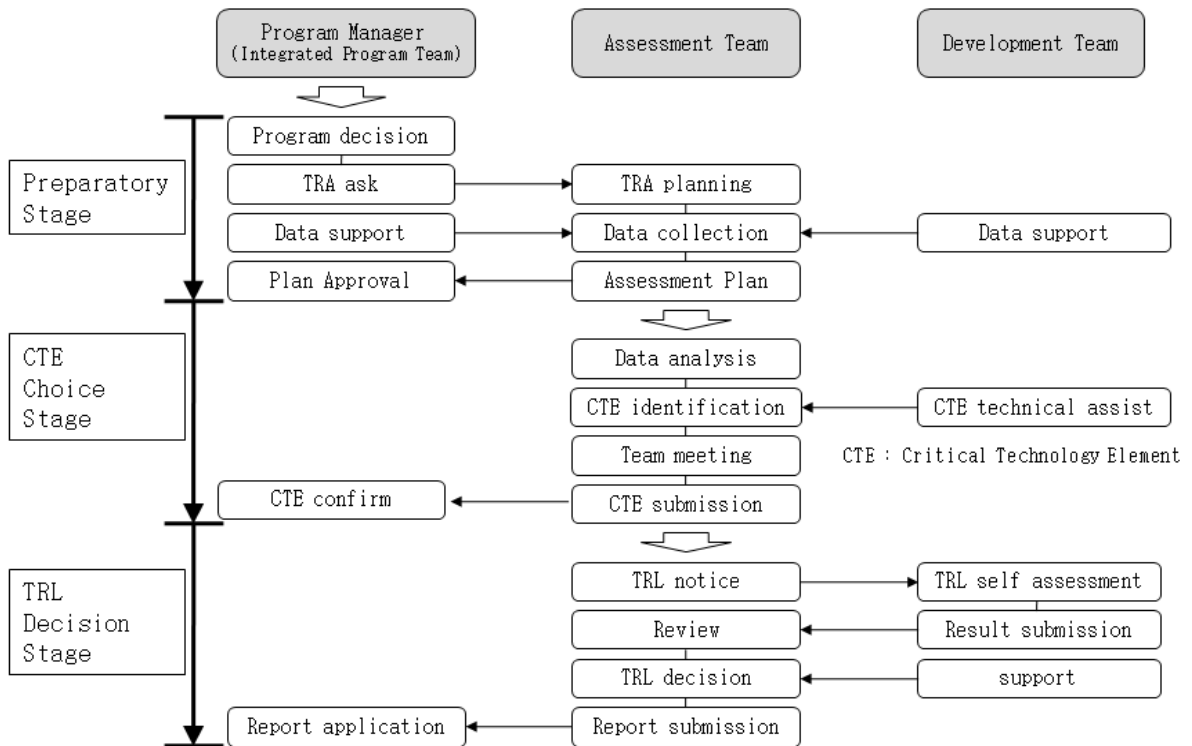


Figure 3. TRA(Technology Readiness Assessment) procedure

기술성숙도평가(TRA)의 첫 번째 단계는 평가준비 단계로써 방위사업청 통합사업관리팀에서 대상사업을 선정하여 평가기관에 기술성숙도평가를 의뢰하고 평가기관에서 통합사업팀 및 개발기관으로부터 제공 받은 기초자료를 바탕으로 수행계획서를 수립하는 단계이다. 두 번째 단계는 핵심기술요소(CTE)를 선정하는 단계이다. 대상 무기체계에 대한 기초 자료를 기반으로 후보 CTE 초안을 작성하여 평가기관에 제출한다. 평가기관에서는 개발기관으로부터 제공받은 후보 CTE 초안을 검토하여 후보 CTE 목록을 식별한다. 이후 CTE 선정회의를 통해 평가할 CTE를 확정한다. 마지막 단계는 기술성숙도수준(TRL)을 평가하는 단계이다. 평가팀 회의를 통해 도출된 TRL 평가 결과를 종합하여 TRA 결과보고서를 작성하여 통합사업팀으로 제출한다. 이 때 TRL 평가 결과보고서에는 사업 개요, 평가 절차, CTE 선정 결과, 개별 CTE에 대한 TRL 평가 결과, 평가결과 종합, 미성숙 기술 현황과 권고사항 등을 포함하여 작성한다.

제조성숙도평가(MRA)에 대한 세부내용 또한 방위사업청의 방위사업관리규정 및 제조성숙도평가 업무 지침에 구체적으로 명시되어 있으며 <Figure 4>와 같이 크게 세부분으로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 평가준비 단계로써 방위사업청 통합사업관리팀에서 대상사업을 선정하여 평가기관에 제조성숙도평가를 의뢰하고 평가기관에서 수행계획서를 수립하는 단계이다. 두 번째 단계는 평가항목을 검토 확정하는 단계이며 마지막 단계는 제조성숙도수준(MRL)을 평가하는 단계이다.

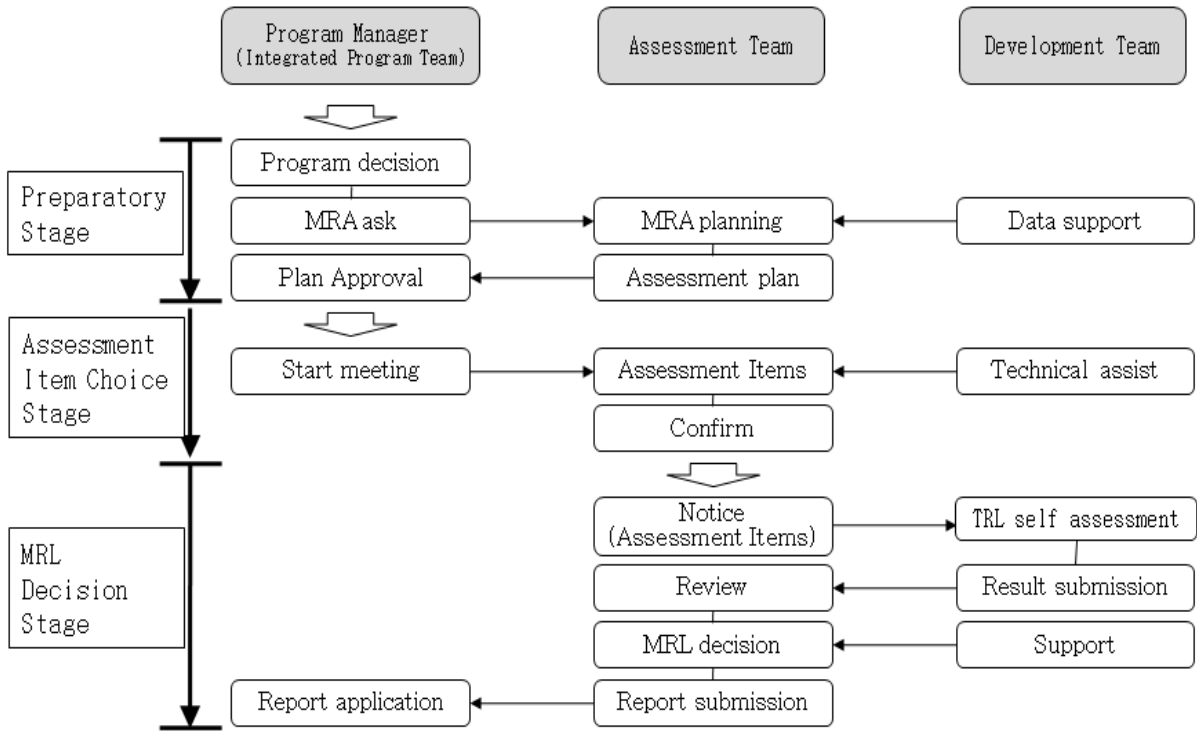


Figure 4. MRA(Manufacturing Readiness Assessment) procedure

연동성속도평가(IRA) 및 통합성속도평가(SRA)는 현재 국내에서 적용하고 있지 않기 때문에 각각에 대한 절차는 존재하지 않는다. 이에 대해 본 논문에서는 다음과 같이 연동성속도평가(IRA) 절차 및 통합성속도평가(SRA) 절차를 제안하고자 한다.

연동성속도평가(IRA) 절차는 <Figure 5>에 나타난 바와 같이 크게 세부분으로 제안한다. 첫 번째 단계는 평가준비 단계로써 방위사업청 통합사업관리팀에서 대상사업을 선정하여 평가기관에 연동성속도평가를 의뢰하고 평가기관에서 통합사업팀 및 개발기관으로부터 제공 받은 기초자료를 바탕으로 수행계획서를 수립하는 단계이다. 이 때 대상사업의 IRA 수행시기에 대해 평가기관과 사전 협의하며, 평가에 필요한 기초자료를 평가기관에 제공하고 필요시, 개발기관에서 제공받을 수 있도록 협조 및 지원한다. 이 때 기초자료는 대상사업에 대한 분석평가 자료, 사업관련 문서, 사업관련 산출물, 시험평가 산출물, TRA 결과 등을 포함한다.

연동성속도평가의 두 번째 단계는 핵심연동요소(CIE)를 선정하는 단계이다. 대상 무기체계의 운용개념, 작전요구 성능, 작업분할구조를 기반으로 후보 CIE 초안을 작성하여 평가기관에 제출하며, 이 때 CIE 식별을 위한 주요 기술 문서로는 IRS(Interface Requirement Specification), ICD(Interface Control Document), IDD(Interface Design Document) 등이다. 평가기관에서는 개발기관으로부터 제공받은 후보 CIE 초안을 검토하여 후보 CIE 목록을 식별한다. 이후 CIE 선정회의를 통해 평가할 CIE를 확정한다.

연동성속도평가의 마지막 단계는 연동성속도수준(IRL)을 평가하는 단계이다. 평가팀 회의를 통해 도출된 IRL 평가 결과를 종합하여 IRA 결과보고서를 작성하여 통합사업팀으로 제출한다. 연동성속도수준(IRL) 판정기준은 핵심연동요소(CIE)들 중에서 가장 낮은 IRL로 결정한다. IRL 평가 결과보고서에는 사업 개요, 평가 절차, CIE 선정 결과, 개별 CIE에 대한 IRL 평가 결과, 평가결과 종합, 미성숙기술 현황과 권고사항 등을 포함하여 작성한다.

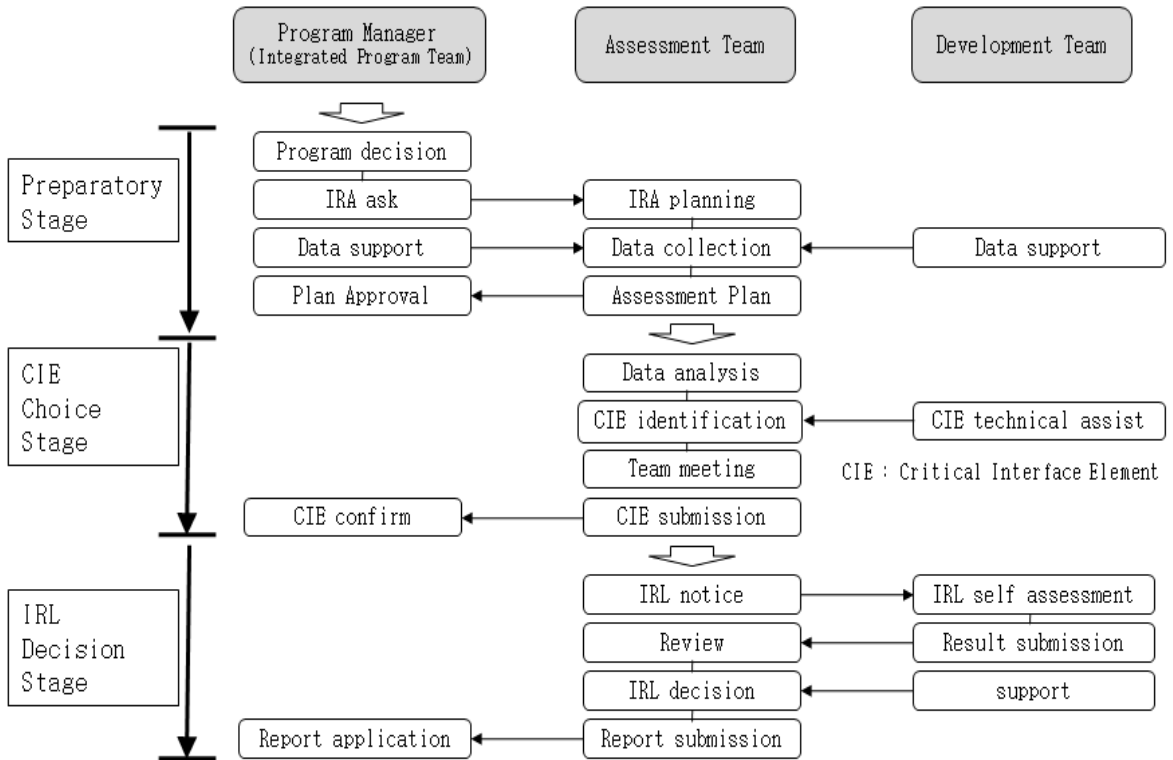


Figure 5. IRA(Interface Readiness Assessment) process proposal

통합성숙도평가(SRA) 수행을 위한 절차는 TRA 및 IRA를 포함하여 <Figure 6>에 나타난 바와 같이 크게 세부분으로 제안한다. 통합성숙도평가(SRA) 절차 첫 번째 단계는 평가준비 단계로써 방위사업청 통합사업관리팀에서 대상 사업을 선정하여 평가기관에 연동성숙도평가를 의뢰하고 평가기관에서 통합사업팀 및 개발기관으로부터 제공 받은 기초자료를 바탕으로 수행계획서를 수립하는 단계이다. 두 번째 단계는 핵심기술요소(CTE) 및 핵심연동요소(CIE)를 선정하는 단계이며 마지막 단계는 통합성숙도수준(SRL)을 평가하는 단계이다. SRL은 TRL과 IRL 결과를 바탕으로 계산해서 산출한다. SRL 평가 결과보고서에는 사업 개요, 평가 절차, CTE 및 CIE 선정 결과, 개별 CTE 및 CIE에 대한 평가 결과, 평가 결과 종합, 미성숙 기술 현황과 권고사항 등을 포함하여 작성한다.

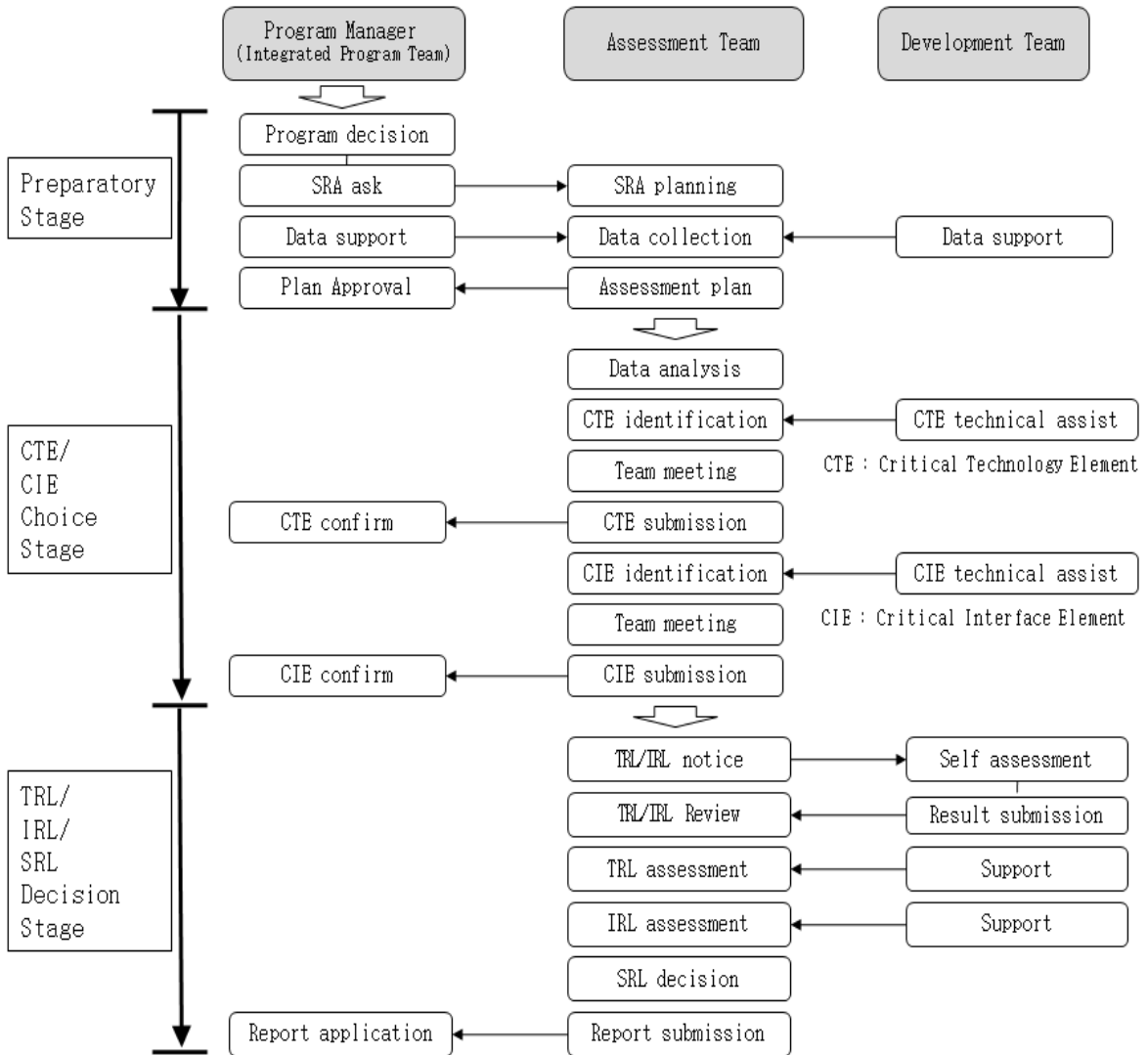
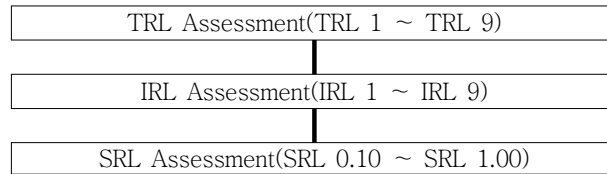


Figure 6. SRA(System Readiness Assessment) process proposal

3. 통합성속도평가 사례 연구

국방무기체계의 System of Systems으로 분류되는 합동전술데이터링크체계(JTDLs :Joint Tactical DataLink System) 사업에 대해, 본 논문에서 제안한 절차에 따라 <Table 6>에 제시한 순서에 의해 통합성속도평가(SRA)를 실시하였다.

Table 6. Procedure TRL, IRL and SRL



첫째, 기초 준비자료 수집을 통해 후보 CTE(핵심기술요소)를 식별하였으며 전문가 그룹 토의를 통해 CTE에 대한 수정, 추가, 삭제 후 최종 CTE를 선정하였으며 각 CTE에 대한 항목별 기술성숙도(TRL) 수준을 평가한다.

둘째, 핵심기술요소와 연동대상체계에 대한 CIE(핵심연동요소)를 바탕으로 연동성숙도(IRL) 수준을 평가한다.

셋째, 앞에서 평가한 TRL 및 IRL 결과에 대한 수학적 계산을 통해 최종적인 통합성숙도(SRL) 수준을 산출한다.

상기 순서에 따라 평가를 진행하였으나 본 논문에서는 사례연구 대상 무기체계인 JTDLS 사업에 대한 구체적인 연동 체계 및 체계 요건, 구성 정보는 국방분야의 보안 특성상 제시가 불가한 여건이므로 세부 구성기술 명칭은 일부 제외 및 의도적인 용어 변경 처리후 TRL, IRL, SRL 평가 결과를 제시하였다.

3.1 기술성숙도(TRL) 평가

JTDLS사업의 핵심기술요소(CTE) 및 기술성숙도 수준은 <Table 7>과 같다.

Table 7. CTE of JTDLS program

CTE	TRL
Channel coding technology	TRL 6
Real time description technology	TRL 6
Tactical data link message processing technology	TRL 6
Tactical data processing technology	TRL 6
ABCD interface design technology	TRL 6
Data interface technology	TRL 6
Standardization host interface technology	TRL 6
Data link network design technology	TRL 6
ABCD message coding technology	TRL 6

기술성숙도 충족 여부에 대한 판단은 개략 설계 시점의 설계검토 회의 발표자료, 응용연구 시연 결과, 요구사항 명세서, 시제통합결과 등을 종합하여 전문가 그룹에 의해 수행하였다. <Table 7>에서 알 수 있는 바와 같이 식별된 7개 핵심기술요소에 대해 모두 TRL 6를 달성한 것으로 분석되었다.

JTDLS사업은 응용연구 등으로 획득된 기술, 유사 데이터링크에 대한 기술자료, 이전 개발 사업으로 획득한 기술 등을 기반으로 기술적인 위험요소는 매우 낮은 것으로 분석되었다.

다음으로 JTDLS사업에 대한 연동성숙도를 평가하기 위해 Gove에 의해 제시된 연동성숙도 단계와 Sauser 등에 의해 제시된 연동성숙도 단계별 체크 리스트를 이용하여 사례 시스템의 핵심기술요소 간 연동성숙도를 평가하였다.

Sauser 등에 의해 제시된 연동성숙도는 기술성숙도 평가시 도출된 핵심기술요소만을 대상으로 하기 때문에 사례 시스템과 같이 타체계 통합 관련 내용을 평가할 수 없다. 따라서 TRL 평가시 식별된 핵심기술요소 뿐 아니라 연동 대상 외부체계도 하나의 기술요소로 식별하여 연동성숙도를 평가해야하며, 연동성숙도 평가의 목적상 개략설계 시

점의 운용 여부, 개발진행 단계를 고려하여 연동대상 체계의 연동성속도를 <Table 8>과 같이 식별하였다.

Table 8. Definition of IRL(Integration Readiness Level)

직접연동		간접연동	
항전 체계	TRL 9(운용 중)	Link-11	TRL 9(운용 중)
체계 III	TRL 9(운용 중)	Link-16	TRL 9(운용 중)
FFX 체계	TRL 6(개발 중)	ISDL-III	TRL 9(운용 중)
ISDL(KNTDS)	TRL 9(운용 중)	KNTDS-TADIL-ICS	TRL 9(운용 중)
TADIL-ICS	TRL 6(개발 중)	MCRC	TRL 9(운용 중)
전문체계	TRL 6(개발 중)	JICC	TRL 9(운용 중)
		Link-11-TADIL-ICS	TRL 9(운용 중)

앞서 식별한 7개 CTE 및 핵심기술요소와 연동대상체계에 13개 대한 기술성속도(TRL)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[TRL]_{20 \times 1} = \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ \vdots \\ TRL_{20} \end{bmatrix} = [66666669969769999999]^{-1}$$

3.2 연동성속도(IRL) 평가

도출된 연동 다이어그램과 연동성속도 단계별 체크리스트를 활용하여 핵심기술요소간 통합 수준, 핵심기술 요소와 연동대상 체계간 통합수준, 연동대상 체계간 통합수준을 측정된 결과는 <Figure 7>과 같다. 통합수준은 개략설계 시점의 설계검토 회의 발표자료, 응용연구 시연결과, 요구사항 명세서, 시제통합 결과 등을 종합하여 국방분야 획득, 사업관리, 연구개발 등의 분야에서 10년 이상의 경험을 지닌 전문가 그룹에 의해 도출되었다. 동일한 통합요소에 대해 서로 다른 IRL이 측정된 경우 가장 많은 빈도를 가진 IRL을 적용하였다.

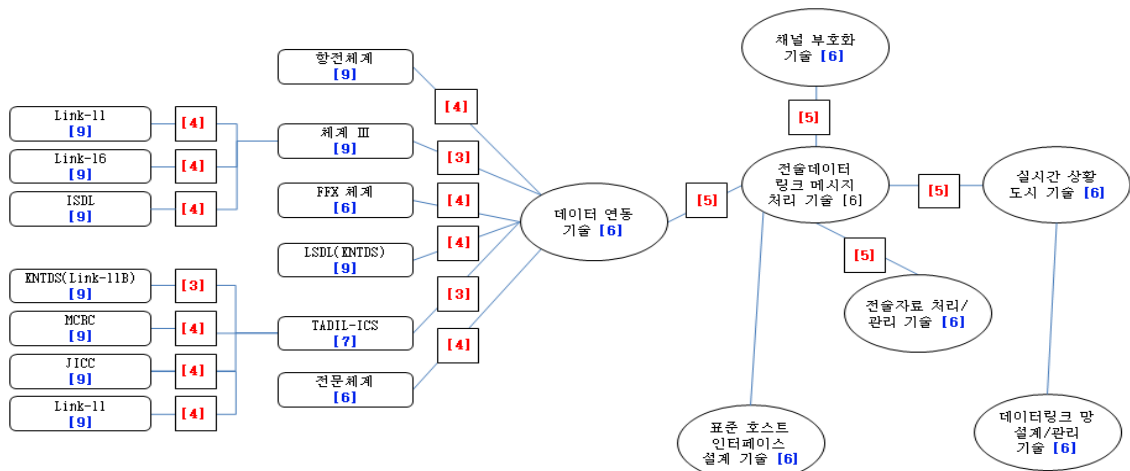


Figure 7. Relationship on the TRL, IRL, SRL

핵심기술요소 7개 및 연동대상체계 13개 등 총 20개에 대한 연동성속도(IRL)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20				
[[IRL]] _{20x20}	채널부호화 기술	T1	9	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	실시간 상황 도시 기술	T2	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	전술데이터링크 메시지 처리 기술	T3	5	5	9	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	전술자료처리/관리 기술	T4	0	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	데이터연동 기술	T5	0	0	5	0	9	0	0	4	3	4	4	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	표준 호스트 인터페이스 설계 기술	T6	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	데이터링크 망 설계/관리 기술	T7	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	항전체계	T8	0	0	0	0	4	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	체계III	T9	0	0	0	0	3	0	0	0	9	0	0	0	0	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0
	FFX 체계	T10	0	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ISDL(KNTDS)	T11	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TADIL-ICS	T12	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	3	4	4	4	4	4
	전문체계	T13	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Link-11	T14	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Link-16	T15	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
	ISDL(KNTDS)-KDX-III	T16	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
	KNTDS-TADIL-ICS	T17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0
	MCRC	T18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0
	JICC	T19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0
	Link-11-TADIL-ICS	T20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0

3.3 통합성속도(SRL) 평가

식별된 TRL과 IRL을 각각 기준값으로 나누어 표준화 한 후 앞에서 제시한 계산 방법에 의해 JTDLS사업에 대한 통합성속도(SRL)를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 [SRL] &= \begin{bmatrix} SRL_1 \\ SRL_2 \\ \dots \\ SRL_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IRL_{11}TRL_1 + IRL_{12}TRL_2 + \dots + IRL_{1n}TRL_n \\ IRL_{21}TRL_1 + IRL_{22}TRL_2 + \dots + IRL_{2n}TRL_n \\ \dots \\ IRL_{n1}TRL_1 + IRL_{n2}TRL_2 + \dots + IRL_{nn}TRL_n \end{bmatrix} \\
 &= [1.037 \ 1.037 \ 2.148 \ 1.037 \ 3.111 \ 0.667 \ 0.667 \ 1.296 \ 2.556 \ 0.963 \\
 &\quad 1.296 \ 2.667 \ 0.963 \ 1.444 \ 1.444 \ 1.444 \ 1.259 \ 1.346 \ 1.346 \ 1.346]^{-1} \\
 SRL &= \frac{\frac{SRL_1}{n_1} + \frac{SRL_2}{n_2} + \dots + \frac{SRL_n}{n_n}}{n} \\
 &= \frac{\frac{1.037}{2} + \frac{1.037}{2} + \frac{2.148}{5} \dots \frac{1.346}{2}}{20} \\
 &= 0.5868
 \end{aligned}$$

JTDLS사업에 대한 기술성속도를 평가한 결과 기술성속도는 TRL 6을 만족하여 체계개발 진입은 적절한 것으로 판단된다. 그러나 기술성속도(TRL)와 연동성속도(IRL)를 이용하여 통합성속도(SRL)를 계산한 결과는 계산한 바와 같이 0.5868로 체계개발 단계로 진입하기 위한 통합성속도에는 부족한 것으로 분석되었다.

JTDLS사업의 다음 단계 진입 여부를 판정하는 의사결정시 본 성속도 결과를 적용하였다면 기술성속도(TRL)는 적정하나, 통합 체계의 관점에서는 성속도가 부족하기 때문에 통합성속도(SRL)를 확보한 후 체계개발 단계로 진입하도록 결정되어야 할 것이다.

본 사례는 단일 성속도평가만을 적용하여 무기체계 획득시 발생할 수 있는 문제점을 단적으로 보여주고 있다. 본 사례 사업의 기술성속도평가(TRA)는 전문가 그룹에 의해 수행하였다. 그 결과 체계 개발시 기술성속도의 부족으로 인한 문제가 발생하지는 않을 것으로 판단되었다. 즉, 무기체계 개발과 관련한 단일 핵심기술에 대해서는 적정 수준이 확보되었다고 판단된다. 그러나 통합성속도평가(SRA)를 수행한 결과 연동 및 통합에 대한 문제로 품질 및 성능 저하가 발생하고 이로 인한 비용 상승 및 일정 지연 문제가 발생할 것으로 나타남으로써 통합성속도평가(SRA)에 대한 필요성을 확인할 수 있었다. 다만, 본 논문에서는 연구목적으로 평가된 것이므로 CTE 및 CIE 식별 등 실제 평가 기관에 의한 공식적인 평가 결과와는 상이할 수 있을 수 있음을 고려해야 한다.

4. 결론

계획된 예산으로 요구 성능과 일정을 충족하는 고품질 무기체계 획득을 위해서는 무기체계 획득 전순기에 걸쳐 성속도 평가가 필수적이다. 그러나 현재 국방분야의 획득제도는 기술성속도평가(TRA)와 제조성속도평가(MRA) 등 단일 성속도평가만 수행토록 규정되어 있다. 이는 일부의 기술만으로 성공여부가 결정되는 단일 무기체계에 대해서는 타당할 수 있으나, 대규모 무기체계 및 타 체계와의 연동이 필수로 요구되는 복합무기체계 즉 System of Systems을 획득하는 경우에는 부족한 부분이 많이 있다.

이에 본 논문에서는 복합무기체계에서 체계간의 연동에 관련된 연동성속도(IRL)를 포함한 체계성속도(SRL) 평가 절차를 연구하여 제안하였고, 기술성속도(TRL) 및 연동성속도(IRL)를 통합한 체계성속도(SRL)를 평가하는 방안을 제시하였다. 제안한 절차의 유효성 입증을 위한 사례 연구로서 여러 가지 무기체계가 복합 연동되는 대표적인 System of Systems인 JTDLS 사업에 적용하여 유효성을 입증 하였다. JTDLS 사업은 시험평가단계에서 일부 항목에 대해 부적합 판정을 받은 바 있으며, 분석 결과 기술성속도는 각 단계별로 평가하여 성숙시킴으로서 평가 결과 모두 만족하였으나 미성숙된 대부분의 내용이 체계 간의 연동 문제로서 연동성속도와 체계 성속도를 개발 단계별로 평가하여 성숙시키지 못했음을 확인할 수 있었다. 현재 관련 개발기관에서는 연동성속도를 포함한 통합성속도를 향상시키기 위한 설계 보완 과정 중에 있다.

본 논문의 연구 결과를 종합하여 볼 때 복합 시스템에 대한 통합성속도평가(SRA)는 반드시 필요한 것으로 판단되며 효과적인 통합성속도평가를 위해 본 논문에서 제시한 평가 절차를 국내 국방 획득분야 관련 업무 지침에 반영하는 등 업무 정립이 필요하다고 판단된다. 특히 국내 무기체계의 점진적인 복합화를 고려시 관련 규정 및 지침 반영이 조속히 필요하다고 생각되며 본 논문에서 제안한 국방분야의 통합성속도평가 내용은 최근 고도화 및 복합화되는 민간분야의 시스템 장비 개발의 평가방법론으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

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 of the World Congress on Engineering and Computer Science.
- DAPA. 2013. Defense Program Management Regulation.
- DAPA. 2013. Manufacturing Readiness Assessment Instruction.
- DAPA. 2013. Technology Readiness Assessment Instruction.
- 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.
- Kim, H. W., Woo, S., and Jang, B. K. 2013. "A Study on Readiness Assessment for the Acquisition of high quality weapon system." Korean Society for Quality Management 41(3):395-404.
- Mosher, D. E. 2000. "Understanding the Extraordinary Cost Growth of Missile Defense." Arms Control Today.
- Ree, Sangbok. 2009. "Method determining level of Noise Factor of Taguchi Method under various probability distribution." Korean Society for Quality Management 37(4):10-15.
- Ree, Sangbok. 2013. "Study on the Result changes with the Size of the Variance in Taguchi Method and Factor Experimental." Korean Society for Quality Management 41(1):1-14.
- Sausser, B., and Forbes, E. 2009. "Defining an Integration Readiness Level for Defense Acquisition." International Symposium of the International Council on Systems Engineering.
- Sausser, 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.
- Woo, S. 2013. "Introduction to MRA in defense acquisition program." Defense and Technology