

국방시스템 기술전이지원을 위한 기술성숙도 도출에 관한 연구

†배윤호* · 최석철*

Calculation TRL using Integration Readiness Between Technologies for Supporting Technology-transition of Defense Technologies to the Defense Weapons System

†Yoon-Ho Bae* · Seok-Cheol Choi*

■ Abstract ■

Technology transition from defense technology to weapon system is an important process for defense acquisition program. Many countries such as USA, UK, Australia and Republic of Korea use technology readiness level (TRL) as a tool for technology transition by identifying critical technology elements (CTEs) and assessing the technology maturity.

In this paper we review a transition process for the defense acquisition. Then we suggest a method to evaluate system's TRL using each component TRL and integration readiness level (IRL) between each technologies. We apply the method to an ACTD project. A result show that technology maturity is influenced by integration between technologies.

Keywords : Technology Readiness Level (TRL), Integration Readiness Level (IRL), Defense Acquisition, Advanced Concept Technology Demonstration (ACTD), Risk Management

1. 서론

국방연구개발은 군 전력화 지원을 위한 무기체계 획득방법 중의 하나로 우리 군이 보유하지 못한 기술을 국내 단독 또는 외국과 협력하여 공동으로 연구하고, 연구된 기술을 실용화하여 필요한 무기체계를 생산하고 획득하는 활동이다.

우리 군은 과거 미 군원을 통한 무기체계 획득 또는 선진국의 무기체계를 모방하여 생산하는 상황에서 출발하여, 이제는 자체적인 기술력을 통해 첨단 무기체계를 획득할 수 있는 단계로 발전하였다. 또한 우리 군은 선진 강군을 목표로 하고 저비용 고효율의 무기체계 획득을 위한 획득개혁을 지속적으로 추진해왔다. 2006년 방위사업법 제정을 통해 산학연이 국방연구개발에 참여할 수 있는 길이 확대되었으며, 국제 공동협력 활성화를 통한 첨단 무기체계 획득, 전력화 노력을 가속화하고 있다.

무기체계 획득을 위해 근간이 되는 우리군의 국방과학기술 연구범주는 기초연구과제·특화연구센터과제, 응용연구 및 시험개발 과제, 민군겸용기술과제, 신개념기술시범과제 등으로, 다양한 과학기술 연구개발 사업 등을 통해 체계적이고 첨단화된 무기체계 획득을 지원하고 있다. 또한 개발된 기술결과의 무기체계 획득단계로의 진입을 위해서는 목표 무기체계와의 연계성을 고려한 기술요소 분석을 실시하고 기술개발 결과의 목표충족 및 위험관리 요소로 기술이전 의사결정시 기술성숙도(TRL: Technology Readiness Level) 제시를 규정화하였다.

국방과학기술의 획득체계로의 기술전이(Technology Transition)라 함은 전투원에게 기술을 제공하는 매우 중요한 프로세스의 한 측면으로, '주어진 임무를 수행하기 위해 전투원에게 필요한 양과 질적으로' 효과적인 무기체계와 지원체계를 제공하기 위해 핵심기술을 군사적 시스템으로 통합시키는 프로세스[13, 15]로 국방 및 민수분야에 개발된 기술에 대해 국방 무기체계로의 기술확산(Technology Transfer) 활동을 의미한다.

TRL은 1990년대 미 항공우주국(NASA: National

Aeronautics and Space Administration)에서 기술간의 수준을 평가하기 위한 도구로 사용하기 시작하여, 현재 미 국방부(DoD: Department of Defense) 및 육·해·공군의 산하기관·연구소, 미 에너지부(DoE: Department of Energy), 영국·호주 국방부 및 산하 연구소에서 기술의 성숙도 평가를 위한 도구로 규정하여 적용해 오고 있다. 최근 우리군도 방위사업청의 개청과 함께 무기체계 연구개발의 탐색개발 완료시 기술성숙도를 포함토록 하여 기술전이에 따른 기술적 위험관리 요소로 적용하고 있다.

본 연구에서는 기술간의 통합관계와 개별 하부 기술의 TRL 측정을 통해 개발기술의 무기체계로의 기술전이 가능성을 판단하고 기술개발간의 위험관리를 위한 TRL중심의 관리방안을 제시하고자 한다. TRL을 통한 기술전이 결정을 위해 개별기술간의 통합관계를 측정하고, 측정된 통합성을 마코프 프로세스 절차를 통해 개별기술이 가지는 가중치를 산출하고, 산출된 가중치를 기준으로 한 기술관리 및 전이관리 방안을 제시하였다.

2. 기술성숙도에 대한 고찰

2.1 기술성숙도(Technology Readiness Level)

과학기술의 개발은 개발자, 사용자 및 관리자 간의 협력관계를 바탕으로 지속적인 기술의 발견 및 개발과정으로 이해할 수 있으며, 기술전이는 기술확산의 부분적 측면으로 국방분야에서의 목표 무기체계를 획득하기 위한 기술의 확산 및 통합 절차로 본다. 미국을 포함한 군 관련 연구기관에서는 개발된 기술의 전이를 결정하기 위해 다양한 도구를 활용해 왔으며, 기술성숙도(TRL)는 공통적인 의사소통 도구로 인식되고 있다.

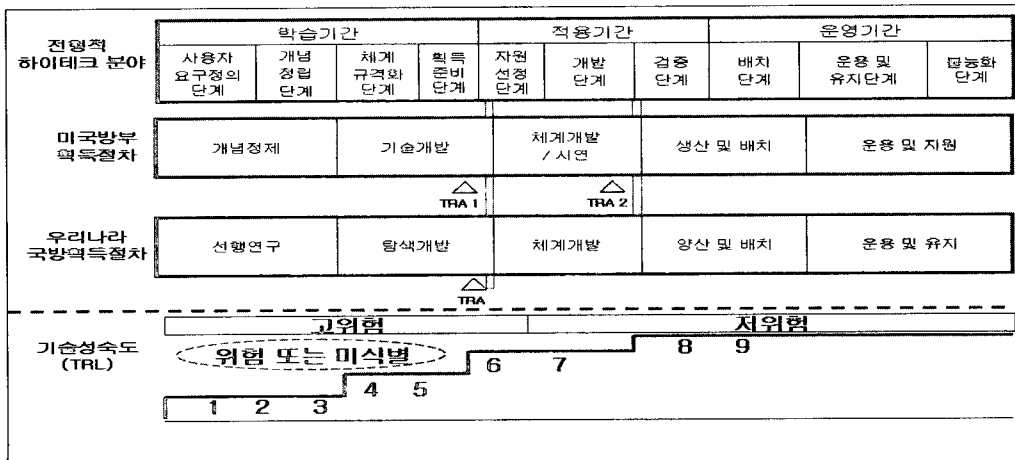
TRL은 주어진 시점을 기준으로 주어진 기술의 성숙도에 대한 평가기준으로, 미 항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration)에서 특정기술의 성숙도 평가 및 다른 형태의 기술간에 일치하는 성숙도 비교평가를 위해 개발되었

<표 1> 미국방부 TRL의 정의 및 분류

TRL	단계정의	무기체계 획득단계에 따른 분류					
		기초 기술 연구	실행 가능 조사	기술 개발	기술 시현	시스템 개발	시험 및 운용
9	임무 상황하에서 기술이 최종적으로 적용된 것을 시현한 단계						○
8	최종 형상과 조건에서 작동함이 증명된 기술단계					○	○
7	시제작된 시스템이 실제 운용환경에서 시현되는 단계					○	
6	시제작된 시스템이 실제와 연관 있는 환경에서 시현되는 단계				○	○	
5	기본 기술 요소들이 통합되어 함께 작동하는 것을 모사된 환경이나 실제 환경과 유사한 수준에서 시현되는 단계			○	○		
4	기술 기본 요소들이 통합되어 함께 작동하는 것을 연구실 환경 수준에서 시현하는 단계			○			
3	해석적 연구와 이의 물리적 검증을 위해 연구실 기반의 연구 수행 단계		○	○			
2	관찰되어진 원리와 성질로 인해 실제적인 개념과 응용 기술이 발명되는 단계	○	○				
1	기본적인 원리가 관찰되고 보고되는 단계	○					

다[15]. 이후 미 국방부에서 NASA의 TRL을 벤치 마킹하여 <표 1>의 무기체계 획득분야에 적용하기 위한 TRL을 재정의하여 사용하고 있다. 미 국방부의 TRL 확대적용과 함께 미 에너지부(DOE : Department of Energy)에서도 사업의 위험관리 도구로서 최근 TRL 개념을 도입하여 적용중이다[10].

<그림 1>은 무기체계 획득 또는 상업분야의 제품 개발에 있어서의 요구되는 기술성숙도(TRL)와 TRL을 이용한 기술성숙도평가(TRA : Technology Readiness Assessment) 시기를 나타낸 것으로, 목표 무기체계 및 제품을 개발하기 위한 요소기술이 미성숙되었다면 그만큼 제품의 개발에 따른 위험이



<그림 1> 무기체계 획득단계와 기술성숙도/평가(TRL/TRA)의 관계도

높으며, 기술개발에 따른 위험은 일정 및 비용의 상승 또는 지연을 발생시킨다. 미 국방부 사업에 대한 회계감사원(GAO : Government Accountability Officer)의 보고서에서는 2006년 기준 미 국방 획득 사업 52개에 대한 분석결과, 미성숙 기술의 적용이 개발비용 및 일정 증가의 가장 큰 원인으로 지적하고 있다. 미 국방부는 이러한 사업관리상의 위험부담을 최소화하기 위해 TRL 6이상에 도달한 성숙된 기술에 한해 체계개발로의 전이가 가능토록 하고 있다[7, 13]. 또한 TRL은 무기체계 획득이 다음단계로 전환되기 위한 주요시점의 평가요소로서, 기술성숙도평가(TRA)활동의 주요지표임과 동시에 국방과학기술의 무기체계로의 기술전이를 결정하기 위한 검토요소(TTA : Technology Transition Agreement)의 중요 지표로서 활용되고 있다[8].

우리나라의 경우 위험관리 도구로서의 기술성숙도(TRL) 적용은 방위사업청의 개청과 함께 명문화되었으며, 무기체계 탐색개발(기술개발 단계) 및 신개념기술시범과제(ACTD : Advanced Concept Technology Demonstration) 추진시 이를 평가 및 반영하도록 규정하고 있다. 또한 평가기준으로서 TRL은 미 국방부의 TRL 기준을 준용하여 적용하고 있다.

2.2 기술성숙도평가(Technology Readiness Assessment)

미국의 GAO에서는 무기체계 획득사업을 포함한 주요 사업에 대한 검토보고서에서는 기술에 대한 성숙도 평가가 최종 사용자에게 보다 나은 능력을 가진 제품을 제공할 수 있다고 지적하고 있다[13]. 특히 국방분야의 무기체계 획득절차에서 핵심기술(CTE : Critical Technology Elements)를 식별하고 식별된 핵심기술에 대해 체계개발단계로의 기술전이시 기술성숙도평가(TRA)활동을 통해 평가, 분석 및 결정하도록 권고하고 있다[9].

TRA의 절차는 먼저 핵심기술(CTE : Critical Technology Elements)를 식별한 후, TRL 매트릭

스를 이용하여 기술의 성숙도를 평가한다. CTE는 사업관리자가 관리사업의 성과, 제조절차 또는 자원, 측정기법, 설비, 정보구조 등의 요소들을 고려하여 선정한다.

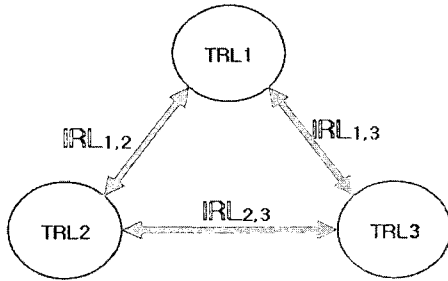
미 국방부 무기체계 획득수명주기 간에 2회에 걸친 TRA를 실시하는데 첫 번째는 개발기술의 체계개발단계로의 전이시에 이루어지며, 두 번째는 개발 및 시연된 시제품을 대상으로 생산단계로 전환하기 위해 이루어진다[9]. 기술성숙도(TRL)개념을 도입한 방위사업청에서도 일반 무기체계 연구개발 기본절차로서 TRA 수행을 명시하고 있으며, 기술개발활동을 포함하는 탐색개발단계에서 기술성숙도를 측정하고, 결과보고서에 포함하여 제출토록 하고 있다[1].

기술성숙도평가 도구로 TRL 매트릭스가 활용되며, TRL 측정기준을 구체화하기 위한 대안으로 2002년 3월 미 공군연구소(AFRL : Air force Research Laboratory)의 William L. Nolte에 의해 TRL calculator가 개발되었다. 2004년 5월 버전 2.2로 업그레이되어 현재까지 활용되고 있는데 TRL calculator는 하드웨어 및 소프트웨어의 TRL 및 MRL(Manufacturing Readiness Level, 제조성숙도)를 측정하는 도구로 활용되고 있다.

3. 기술간의 통합관계를 이용한 기술성숙도 측정

3.1 통합 및 체계준비수준

제품 또는 목표로 하는 시스템의 핵심기술, 구성품 제조기술이 만족할 만큼 성숙되었다고 해서 목표 시스템 차원의 기술수준이 성숙되었다고 단언할 수 없다. TRL에 대한 측정 및 평가는 기술에 대한 필터링 역할을 수행하나[11] 전체 시스템 차원에서의 성숙도를 평가하기 위해서는 구성기술·구성품간의 통합 및 성능 효과가 검증되어야 한다. 이러한 사업관리상의 제한사항을 해결하기 위해 미국 스티븐스 공대에서는 기술간의 통합관계



〈그림 2〉 TRL, IRL간의 관계도

$$IRL_{ij} = \begin{pmatrix} IRL_{11} & \dots & IRL_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ IRL_{n1} & \dots & IRL_{nn} \end{pmatrix}$$

SRL은 구성기술·구성품의 성숙도 측정값(TRL_i)와 구성기술간의 관계성지표(IRL_{i,j})를 통해 도출한 평균 값이다. 즉 $SRL_i = IRL_{i,j} * TRL_i$ 로 최종 SRL은 SRL_i에 대한 평균을 통해 도출할 수 있다[4]. 단 n은 시스템의 기술수, n_i는 해당기술을 포함한 통합관계가 이루어지는 기술수를 말한다.

$$SRL(1-9 \text{ Scale}) = \sum(SRL_i/n_i) \times (1/n) \\ = [SRL_1/n_1 + SRL_2/n_2 + \dots + SRL_n/n_n] / n$$

도출된 SRL값은 최종 목표체계 또는 제품 수준의 성숙도를 나타낸 지표로 다음과 같이 구분하였다. SRL 또한 TRL과 유사한 환경에서의 지표로 시스템 차원에서의 성숙도로 적용할 수 있다.

SRL은 개별 구성기술 간의 통합 및 적합도 등의 관계성을 TRL과의 함수관계를 통해 잠재적 시스템의 성숙도를 평가하기 위해 정량화하는 기능을 수행한다. Sauser 등은 최초, 미 국방부의 획득 단계와 연계하여 5단계의 SRL을 제시하였으며, 이후 국방 및 민간분야의 확대적용을 위해 0-1 scale

를 고려한 체계 도달수준 평가방법을 제안하였으며, 이를 지원하기 위한 통합준비수준(IRL : Integration Readiness Level), 체계준비수준(SRL : System Readiness Level)이라는 측정지표를 발표하였다[5, 6].

IRL은 구성기술간의 인터페이스, 상호작용 및 체계통합 등의 관계성을 측정하는 지표로 기존의 TRL의 성숙지표를 참고로 유사한 개발단계를 나타내고 있다. 미국 스티븐스 공대에서는 TRL간의 통합관계를 측정하기 위해 다음과 같은 IRL 매트릭스를 제안하였다.

구성기술간의 통합·상호관계를 나타내는 IRL은 TRL_i와 TRL_j 간의 통합관계에서 기술 상호간의 연관성 지표로 $IRL_{i,j} = IRL_{j,i}$ 의 관계를 가지며, 기술간의 통합관계는 $n \times n$ 형태의 정방행렬로 나타낼 수 있다.

〈표 2〉 통합준비수준(IRL)의 구분 및 정의

IRL	정의
9	성공적인 임무작전을 통한 통합 증명 단계
8	체계통합 완료 및 시스템 환경에서의 시험·평가를 통한 임무 검증 단계
7	기술통합이 작동하기 위해 인증·인정 단계
6	통합하는 기술이 의도된 적용을 위한 정보를 수락, 해석 및 구조화할 수 있는 단계
5	통합을 수립, 관리 및 제거를 위한 기술통제가 가능한 단계
4	기술간 통합에 따른 품질보증이 충분히 세부적으로 이루어지는 단계
3	기술간 효율적인 통합 및 연동이 적합한 단계
2	인터페이스를 통해 기술간의 상호작용을 특성지을 수 있는 단계
1	기술간의 인터페이스가 관계성을 특정지을 수 있는 단계

〈표 3〉 체계준비수준(SRL) 구분 및 정의

SRL	정의
9	작전임무상태에서 시스템의 적용 단계
8	해당 시스템이 외부시스템과의 통합을 포함한 운용환경에서의 작동이 증명된 단계
7	외부시스템과의 상호작용을 포함하여 운용환경 하에서 시스템 시제가 시험된 단계
6	외부시스템 모의시험과의 상호작용을 포함하여 모의운용시험 환경 하에서 시스템이 시험된 단계
5	시스템 모의시험 환경하에서 시험된 단계
4	하부시스템의 구성품이 연구실환경에서 통합된 단계
3	시스템 요소에 대한 분석적 연구와 실험이 수행되는 단계
2	시스템 개념 또는 적용이 공식화된 단계
1	기초적인 원리가 관찰 및 보고된 단계

의 SRL을 제시하였다[4, 5, 6].

3.2 마코프 체인의 안전상태 확률

마코프 체인은 미래의 상태에 대해 과거의 상태와는 독립적이고 현재의 상태에만 의존하는 특성을 가진 확률과정으로 확률과정 $\{X_t\}$ 가 $t=0, 1, \dots$ 와

모든 $i, j, k_0, k_1, \dots, k_{t-1}$ 에 대하여 $P\{X_{t+1}=j|X_0=k_0, X_1=k_1, \dots, X_{t-1}=k_{t-1}, X_t=i\} = P\{X_{t+1}=j|X_t=i\}$ 을 만족하는 마코비안 성질(Markovian property)을 가진다. 마코프체인에 대한 조건부확률 $P\{X_{t+1}=j|X_t=i\}$ 을 전이확률(transition probability)이라고 하며, $P\{X_{t+1}=j|X_t=i\} = P\{X_1=j|X_0=i\}$, for all $t=0, 1, 2, \dots$ 이 성립하는 전이확률을 정상적(stationary)이라고 한다.

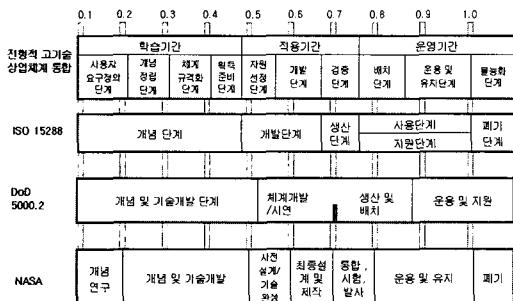
또한 $P\{X_{t+n}=j|X_t=i\} = P\{X_n=j|X_0=i\}$ 의 조건부 확률을 n-단계 전이확률(n-step transition probabilities)이라고 하며, 다음과 같이 단순화시킬 수 있다.

$$P_{ij} = P\{X_{t+1}=j|X_t=i\}$$

$$P_{ij}^{(n)} = P\{X_{t+n}=j|X_t=i\}$$

〈표 4〉 SRL과 개발단계별 관계

SRL Scale		무기체계 획득단계
0~1	1~9	
0.9~1.0	8.1~9	운용 및 지원
0.7~0.89	6.3~8.09	양산 및 개발
0.6~0.69	5.4~6.29	체계개발 및 시험
0.4~0.59	3.6~5.39	기술개발
0.1~0.39	1.0~3.59	개념 정제



〈그림 3〉 0-1 scale의 SRL과 체계개발과의 관계

그러므로 n-단계 전이확률 $P_{ij}^{(n)}$ 는 임의의 시점 (t)의 상태 i에서 출발한 시스템이 n-단계 전이 후 상태 j에 있을 조건부 확률이다. n-단계 전이확률의 모든 확률값($P_{ij}^{(n)}$)은 음수가 아니어야 하며, 확률의 합($\sum P_{ij}^{(n)} = 1$)의 성질을 만족하여야 한다. 여기서 M은 상태의 전이횟수를 말한다.

이러한 절차를 통해 n-단계 전이행렬을 다음과 같이 도출할 수 있다[12].

$$P^{(n)} = \begin{matrix} \text{상태} & 0 & 1 & \dots & M \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ M \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{00}^{(n)} & P_{01}^{(n)} & \dots & P_{0M}^{(n)} \\ P_{10}^{(n)} & P_{11}^{(n)} & \dots & P_{1M}^{(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{M0}^{(n)} & P_{M1}^{(n)} & \dots & P_{MM}^{(n)} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

3.3 기술통합관계 및 마코프 프로세스를 적용한 TRL 가중치 산출

Sausser가 제안한 IRL에서는 기술간의 통합관계과 관련된 통합대상 기술수 및 통합성숙도를 확인할 수 있다. 그러나 IRL 매트릭스를 통해 실제 구성기술이 측정하고자 하는 TRL에 미치는 영향을 파악할 수 없다. IRL, TRL 매트릭스를 기준으로 측정된 값을 통해서서는 최종 시스템 또는 제품의 개발을 위한 성숙도만을 도출할 수 있다. 그러므로 최종적인 제품개발을 위한 지원도구로서 본 연구에서는 측정된 IRL을 이용해 최종 제품의 성숙도를 도출함에 함께, 구성기술에 대한 가중치를 도출하고 도출된 가중치를 통해 해당 구성기술에 대한 관리지원도구로 활용할 수 있다.

기술에 대한 가중치를 도출하기 위해서는 먼저 IRL 매트릭스를 이용하여 구성기술 간의 통합관계에 대한 평가를 실시한다. 1-9 scale로 평가된 $n \times n$ 정방행렬의 IRL에 대해 $\sum IRL_{n,i} = 1$ 을 만족하도록 모든 $IRL_{n,i}$ 를 $\sum IRL_{n,i}$ 로 나눈다. 이러한 절차를 통해 $\sum (IRL_{n,i} / \sum IRL_{n,i}) = 1$ 을 만족하며, 마코프 체인의 조건부 확률을 만족하는 행렬을 구한다. 구해진 행렬을 가지고 n-단계의 전이확률을 구하게 되면, TRL에 대한 안정상태인 구성기술의 TRL 가중치를 도출할 수 있다. 도출된 TRL 가중치에 최초 측정된 개별구성기술의 TRL을 곱하여 합산하면, 최종 목표시스템의 TRL을 얻을 수 있다.

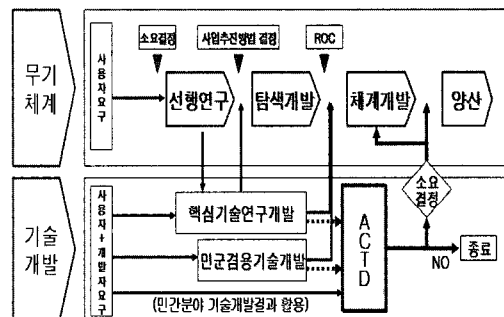
$$TRL_{total} = \sum [\sum TRL_i \times w_i (TRL\text{가중치})]$$

4. 통합관계를 이용한 기술성숙도 도출 실증분석

4.1 대상과제 선정

우리군은 기술의 진부화를 최소화하고 산학연의 국방분야 기술참여 확대 및 신속한 소요능력을 군에 제공하기 위해 핵심기술연구개발사업, 민군겸용 기술개발사업 및 신개념기술시범(ACTD)를 제도화하여 추진 중에 있다. 이중 핵심기술연구개발사업은 무기체계 연구개발을 위해 식별된 소요기술로 기초연구, 응용연구 및 시험개발과제로 구분하여 무기체계의 획득시기를 고려한 개발계획에 포함되며, 민군겸용기술개발사업은 정부부처간의 공동개발을 통해 개발된 기술을 군 적용 시험평가 등을 통해 적용 가부를 결정한다. 신개념기술시범과제는 산학연에서 개발중이거나 개발된 우수기술을 군사적 실용성 평가만을 통해 단기간내에 군에 접목시키는 과제이다[3].

본 연구에서는 군으로의 기술확산을 단기간내에 수행함과 동시에 시제품을 통한 최종 사용자인 군이 직접적인 참여가 가능한 신개념기술시범과제를 실사례로 하여 분석하였다. 신개념기술시범과제는 다른 기술개발사업들과 달리 소요제기시부터 기술성숙도 6이상에 도달한 기술을 대상으로 하여 추진하는 만큼, 기술개발에 따른 위험발생 가능성이 상대적으로 적은 상태에서 출발한다는 특징을 가지고 있다.



〈그림 4〉 국방 무기체계 획득 및 기술개발 절차

<표 5> TRL 및 IRL 측정 결과

IRL	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	TRL
A1	9	4	4	4	4	0	0	6	6	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
A2	4	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
A3	4	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
A4	4	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
A5	4	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
B1	0	0	0	0	0	9	5	5	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6
B2	0	0	0	0	0	5	9	5	7	7	7	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	7
B3	6	0	0	0	0	5	5	9	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	6
C1	6	0	0	0	0	0	7	0	9	0	0	0	0	6	6	0	6	0	0	0	0	7
C2	0	0	0	0	0	0	7	0	0	9	0	7	0	6	0	0	0	0	0	0	0	7
C3	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	7	0	6	0	0	0	0	0	0	0	7
C4	0	0	0	0	0	0	7	0	0	7	7	9	0	6	0	0	0	0	0	0	0	7
C5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	3	0	0	0	0	0	6
C6	0	0	0	0	0	0	7	0	6	6	6	6	0	9	0	0	0	0	0	0	0	7
D1	0	0	0	0	0	6	0	0	6	0	0	0	0	0	9	4	5	0	6	0	0	5
D2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	3	0	4	9	0	4	0	0	0	6
D3	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	5	0	9	0	0	0	0	6
D4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	9	0	0	0	6
E1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	9	7	0	7
E2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	7	7
E3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	7

<표 6> 구성기술별 통합관계 빈도

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	
A1	0.21	0.10	0.10	0.10	0.10	0	0	0.14	0.14	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	0.31	0.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0.31	0	0.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	0.31	0	0	0.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	0.31	0	0	0	0.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B1	0	0	0	0	0	0.36	0.20	0.20	0	0	0	0	0	0	0.24	0	0	0	0	0	0	0
B2	0	0	0	0	0	0.09	0.17	0.09	0.13	0.13	0.13	0.13	0	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0
B3	0.21	0	0	0	0	0.17	0.17	0.31	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0	0
C1	0.15	0	0	0	0	0	0.18	0	0.23	0	0	0	0	0.15	0.15	0	0.15	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0	0.24	0	0	0.31	0	0.24	0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0.24	0	0	0	0.31	0.24	0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0.19	0	0	0.19	0.19	0.25	0	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.53	0	0	0.18	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0.15	0.15	0.15	0.15	0	0.23	0	0	0	0	0	0	0	0
D1	0	0	0	0	0	0.17	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0.25	0.11	0.14	0	0.17	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0	0	0	0	0.13	0	0.17	0.38	0	0.17	0	0	0	0
D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30	0	0	0	0	0	0.25	0	0.45	0	0	0	0	0
D4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31	0	0.69	0	0	0	0
E1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.27	0	0	0	0	0.41	0.32	0
E2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30	0.39	0.30
E3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44	0.56

분석대상과제는 2007년 군산학연으로부터 소요를 접수받아 군 전력화를 위한 관련 기관의 검토, 분석을 통해 선정되어, 2008년 전반기 사업착수, 2009년 실제 배치, 운용을 목표로 추진중인 과제로, TRL, IRL 측정은 2008년 상반기 과제담당자 및 연구개발주관책임자의 도움을 받아 수행하였다.

4.2 구성기술 TRL 및 IRL 측정

대상과제에 대한 분할은 시스템엔지니어링 관점의 작업분해구조(WBS : Work Breakdown Structure)를 이용하였다. 시스템의 분류 및 통합관계에 대해 최종 시스템을 WBS 1 Level로 하여, 5개의 하부시스템(WBS 2 Level)과 21개의 구성품(WBS 3 Level)으로 분할하였다. 분할기준 및 기술간의 통합관계는 사업계획서를 기준으로 과제참여 연구기관이 제안한 분류기준을 적용하였다. 본 연구에서는 5개의 하부시스템 A, B, C, D, E로 구분하고, 하부시스템내의 개별 구성품은 A1, ..., A5, B1, ..., B3, ..., E1, ..., E3로 표기하였다.

<표 5>는 TRL 분류기준에 따른 구성기술의 기술성숙도 측정결과로 평균 6.5로 무기체계 개발로의 기술전이를 위한 성숙도를 대부분의 구성기술에서 만족하고 있는 것을 확인할 수 있으며, A1, D1의 기술은 미성숙된 상태로 무기체계 획득시 집중적인 기술개발관리 노력이 필요한 기술이라고 할 수 있다[2]. 또한 IRL 측정값은 기술간의 통합관계를 나타낸 것으로 기술통제가 되지 않는 기술(TRL 5이하)이 상당히 많다는 것을 확인할 수 있다. IRL기준에 따른 통합관계 빈도는 <표 6>과 같다.

4.3 기술성숙도 측정결과 분석

먼저 구성기술을 산술평균하여 최종 시스템의 평균 TRL을 산출하고, 조사된 IRL의 안정상태확률을 적용한 TRL을 도출하였다. 평균 TRL 결과는 6.48로, IRL을 통한 가중치를 적용 TRL 결과인 6.46과 매우 근소한 것을 확인하였다. 참고적으로 TRL과 IRL을 통한 체계통합성숙도(SRL)는 4.62로 기

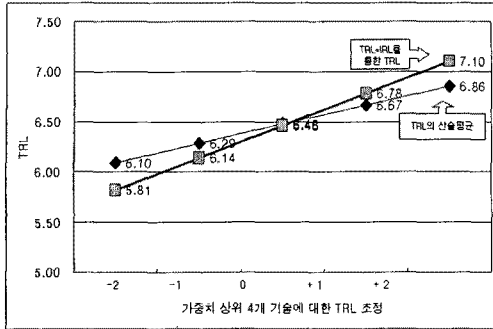
술전이시의 체계통합성숙도 5.4에 미달되어 무기체계 통합을 위한 추가적인 기술개발, 관리가 필요함을 알 수 있다. SRL이 기술이전단계의 수준에 미치지 못하는 것은 구성기술간의 통합이 충분히 이루어지지 않고 있는 이유로, 최종 시스템 차원의 종합적인 기술통합, 평가절차가 이루어져야 한다.

개별 기술요소의 TRL, IRL 측정결과 A1, B2, D1이 다른 기술과의 통합이 가장 많이 발생하며, IRL을 이용한 통합가중치에서는 A1, B2, C1, C6가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

통합관계를 이용한 TRL의 측정결과는 구성기술에 대한 단순 TRL 산술평균, 통합관계를 이용한 TRL결과 값과 함께 개별 구성기술의 여타 기술과의 통합관계성을 잘 보여준다. 구성기술이 타 기술과의 통합성에 대해 A1, B2 모두 8개의 통합관계

<표 7> 통합관계를 이용한 TRL 측정결과

구성 기술	통합수	TRL 가중치 (w_i)	TRL	TRL* w_i
A1	8	0.0768	5	0.384
A2	2	0.0238	7	0.167
A3	2	0.0238	6	0.143
A4	2	0.0238	7	0.167
A5	2	0.0238	7	0.167
B1	4	0.0457	6	0.274
B2	8	0.0987	7	0.691
B3	4	0.0530	6	0.318
C1	5	0.0731	7	0.512
C2	4	0.0530	7	0.371
C3	4	0.0530	7	0.371
C4	5	0.0658	7	0.461
C5	3	0.0311	6	0.187
C6	5	0.0731	7	0.512
D1	7	0.0658	5	0.329
D2	4	0.0439	6	0.263
D3	3	0.0366	6	0.220
D4	2	0.0238	6	0.143
E1	4	0.0402	7	0.281
E2	3	0.0421	7	0.295
E3	2	0.0293	7	0.205
성숙도			6.48	6.46



〈그림 5〉 상위 가중치 구성기술의 TRL 증가율

를 가진다. 그러나 측정된 가중치(w_i)는 0.0768과 0.0987로 많은 차를 보인다. 즉 B2가 최종 시스템의 TRL에 미치는 영향이 A1보다 1.29배로 개별 통합관계의 성숙도에 비례적으로 증가한다는 것을 알 수 있다. 기술통합관계가 5인 C1, C4, C6에 있어서도 C4가 C1, C6보다 작은 가중치를 가진다는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 C4에 대한 추가적인 관리노력이 필요하다는 것을 추정할 수 있다.

위 <그림 5>은 상위 가중치 4개 구성기술의 기술성숙도 증가에 따른 최종 시스템의 TRL 값으로 가중치가 높은 구성기술(A1, B2, C1, C6)에 대한 TRL의 증가에 따라 조정구간별 0.12의 차가 비례적으로 발생하였다. 이 결과는 IRL을 통해 도출된 가중치의 곱에 대한 당연한 결과이나, 기술간의 통합성 측면에서 기술의 통합수에 비례적인 기술개발관리 노력이 반드시 이루어져야 한다는 것을 나타낸다. 이는 최종 시스템을 도출하기 위한 개별구성기술 식별, 인적자원 및 예산, 일정의 투입에 대한 우선순위 선정과도 관련된다.

5. 결 론

이 연구에서 국방과학기술의 무기체계 시스템개발단계로의 기술전이 결정 및 수명주기 관점에서 국방과학기술 위험관리를 위한 지원도구로 TRL을 측정하는 방법을 다루고 있다. 기존의 TRL 평가는 최종 시스템에 비교적 많은 영향을 미치는 핵심기

술(CTE)을 중심으로 동일한 가중치를 적용한 구성기술별 개별적인 평가가 이루어졌다. 개별적인 TRL 결과는 이후단계에서의 기술의 통합에 따른 잠재적 위험을 배제하고 있다고 할 수 있으며, 동일한 가중치를 적용한 구성기술평가는 구성기술의 시스템에 대한 영향을 파악하는데 제한적인 결과를 제공한다.

본 연구에서는 개별 핵심기술에 대한 TRL과 기술간의 통합관계(IRL)를 측정하였다. 또한 측정된 결과를 이용하여 기술통합성을 고려한 가중치를 산출하고 개별 핵심기술의 TRL에 반영함으로써 기술전이 결정 및 기술개발 간 위험관리를 위한 방법을 제시하였다. 또한 최근 추진되고 있는 ACTD 연구과제를 대상으로 하여 측정, 분석하여 기존 CTE 중심의 TRL 결과와 비교함으로써 IRL을 적용한 TRL 도출방법의 잇점을 제시하였다. 또한 본 연구결과는 다양한 국방과학기술 개발결과의 시스템개발단계로의 기술전이를 위한 중요지표로서 고위험, 고비용의 무기체계 및 국방과학기술 연구개발시에 광범위하게 적용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 방위사업관리규정(방위사업청 훈령 제88호), 2009.
- [2] 배운호, 최석철, 문희승, "기술성숙도 측정을 통한 ACTD과제 전이결정에 관한 연구", 「한국군사과학기술학회지」, 제12권, 제1호(2009), p.66.
- [3] 최석철, 배운호, 송보명, "합동성 향상을 위한 ACTD 발전방안", 「군사과학연구」, 제2권, 제1호(2008), p.102.
- [4] Sauser, B.J., J.E. Ramirez-Marquez, Romulo Magnaye, Weiping Tan, A Systems Approach to Expanding the Technology Readiness Level within Defense Acquisition, *International Journal of Defense Acquisition Management*, Vol.1, 2008, p.47.
- [5] Sauser, B.J., D. Henry, and D. Dimarzio, "A

- System Maturity Index for the Systems Engineering Life Cycle," *international journal of industrial and systems engineering*, Vol.3, No.6(2008), pp.8-30.
- [6] Sauser, B.J., J.E. Ramirez-Marquez, "System Maturity indices for decision support in the defense acquisition process," *Proceedings of the fifth annual acquisition research symposium* (NPS-AM-08-030), 2008, p.130.
- [7] DAU, *Introduction to defense acquisition management 6th edition*, 2003, p.49.
- [8] DAU, *Best practices TTA template : Elements of a technology transition agreement* (STM 301), 2004.
- [9] DoD, *Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook*, 2005.
- [10] DOE-EM, *Technology Readiness Assessment (TRA)/Technology Maturation Plan(TMP) Process Guide*, 2008, pp.4-6.
- [11] DSTO, *technology readiness and technical risk assessment for the Australian defense organisation*, p.4.
- [12] Frederick. S. Hiller, Gerald J. Lieberman, *Introduction Operations Research*, McGraw-Hill, 2005.
- [13] GAO, *Better Management of Technology Development can improve weapon system outcomes*(GAO/NSID-99-162), 1999, p.13.
- [14] James H. Dobbins, *Planning for Technology Transition*, *Defense AT&L*, 2004, p.14.
- [15] John C. Mankins, *A White Paper(technology readiness levels)*, NASA, 1995, p.1.
- [16] Walter Ellis Espy, *Technology Transition : Guidance versus Practice*, 2006, p.1.