

## 부품·소재개발사업의 TRL 적용에 관한 연구

A Study on TRL Application to the Materials and Components Development Program

서정하(Jung Ha Seo)\*, 전기영(Gi Young Jeon)\*\*, 전한수(Han Su Jeon)\*\*\*

### 목 차

- |                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| I. 서론                 | IV. TRA 평가대상 및 분석결과 |
| II. 국내외 TRL의 현황       | V. 결론               |
| III. 부품소재사업의 TRL 적용방안 |                     |

### 국 문 요 약

기술준비수준(TRL)은 미항공우주국(NASA)에서 1995년 처음 제안되었다. TRL의 정의는 하드웨어 및 소프트웨어 제품에 적합하도록 변형되어 사용되었다. 많은 국가 연구개발사업은 이와 유사한 평가기준을 가지고 있으나, 전문가의 개인적 역량에 따라 평가결과가 많은 영향을 받게 되며, 상대적으로 개발기술의 성능과 시작품의 신뢰성도 낮은 편이다.

본 연구의 목적은 부품소재사업에 TRL을 적용하는 것이다. 이를 위해서 부품소재사업에 적합한 TRL 개념을 정의하고, 기술 분야별로 세 가지로 나누어 구체적으로 다시 정의해 보았다. 이렇게 정의된 TRL 개념의 적용 가능성을 검토하기 위하여 2007년도 신규 제안서의 TRL을 평가하여 보았다.

이로부터, 부품소재사업 신청 과제들에 대한 TRL 특성을 알 수 있었으며, TRL과 같은 객관적인 R&D 사업 관리 요소 도입의 필요성을 인식할 수 있었다. 이를 위하여, 향후 기술 분류의 세분화를 통한 구체적인 TRL 판단기준을 개발하는 것이 중요한 요소이다.

핵심어 : 기술준비수준, 기술성숙도, 기술성숙도 평가, 부품소재개발사업

\* 한국산업기술평가원 선임연구원, juneho2@itep.re.kr, 02-6009-8193

\*\* 한국산업기술평가원 수석연구원, gyjeon@itep.re.kr, 02-6009-8190

\*\*\* 한국산업기술평가원 본부장, hsjeon@itep.re.kr, 02-6009-8005

## ABSTRACT

---

Technology Readiness Levels were initially proposed by NASA in 1995. TRL's definition and range were modified within adopted fields such as hardware and software products. Many national R&D programs have similar evaluation conditions. However, they are influenced by the experts' ability. Relatively, they have shown the little reliance and the low performance of the developed prototype and technology.

The purpose of this study is to apply the TRL to the materials and components development program. We defined TRLs for the program and divided them in three technology fields. Proposals, which were submitted for the program in 2007, were assessed with our TRL definitions for the study on the applicability.

As a result, we could understand the characteristic TRLs of the technical proposals to the materials and components development program. This shows that the objective tools such as TRLs are required as the R&D program management factors. For the sake, it is the important factor that the detail directives to assess TRL should be developed according to the branches of industrial technology fields.

Key Words : TRL, Technology Maturity, TRA, Materials and Components Development Program

---

## 1. 서 론

우리나라에서 정부 주도로 산업기술개발을 지원하는 최초의 사업은 공업기반기술개발사업으로 1989년부터 시작되었다. 그 당시 공업기술개발사업은 기업에서 공통적으로 겪고 있는 현장에로 기술을 개발지원 함으로서 다수의 중소기업의 기술적인 어려움을 해소하는 차원에서 기술개발을 지원하는 사업을 시작하였다. 초기에는 정책적인 지원목표는 분명히 명시되어 있었으나 그 목적을 달성하기 위한 지원과정이나 방법 등은 체계화 되지 못하였다. 그러나 점진적으로 사업수행을 통하면서 발전에 발전을 거듭하여 오늘날의 체계화된 관련 규정과 지침 등 제도적인 기반이 마련되게 되었다(산업자원부, 2007).

아울러 다양한 목적하의 기술개발사업이 신규로 만들어져 사업별 정책적인 특성을 가지는 지원사업이 운영되어 왔다. 하지만 이런 과정에서 변화지 않는 것이 있다면, 사업계획 서상의 연구목표와 주요 개발내용 및 시작품에 대한 성능지표라 할 수 있다. 각 사업에 따라 다소의 차이는 있지만 큰 관점에서 보면 유사한 지표 내에서 사업별로 운영되어 왔다.

현재까지 기술개발사업의 결과에 대한 평가기준은 계획대비 달성실적을 중심으로 점수제로 운영되어 왔으며, 세부적으로는 개발된 시작품의 평가지표에 대한 달성도를 기준으로 개발결과의 성공여부를 판단하여 왔다. 이런 평가기준이 해를 거듭하면서 나름대로 정교해지고 명확해져 왔으나, 객관적인 시각으로 볼 때 평가요소를 중심으로 객관적인 데이터에 의한 정량적인 평가보다는 보다는 기술을 기반으로 한 정성적인 평가에 가깝다. 특히 제3자가 특정 과제나 기술에 대한 평가결과를 언급할 때, 기술적인 세부사항을 서술하지 않고는 달성결과를 한마디로 설명하기는 용이하지 않는 것이 현실이다.

기술개발 결과에 대한 시작과 종료시점에서의 기술적인 목표달성 정도를 보다 효과적으로 표현하고 평가할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하게 됨에 따라, 본 연구에서는 선진국의 사례로 미국의 NASA(National Aeronautics and Space Administration), DoD(Department of Defence) 등에서 국방 관련 개발과제에 적용하고 있는 'TRL(기술준비수준: Technology Readiness Level)에 대한 개념을 산업자원부에서 시행하는 국가연구개발사업 중 부품소재기술개발사업(이하 '부품소재사업' 이라 한다)에 적용하였다.

본 연구의 목적은 부품소재사업의 제안과제를 중심으로 개발시작 및 개발종료 시점에서 기술개발 대상 부품의 TRL 평가 즉, TRA(Tchnology Readiness Assessment) 절차를 신규평가에 시범적으로 적용해 보는데 있다. 이를 위하여 미국 DoD의 TRL 정의를 동 사업에 적합하게 재정립하여 2007년도 부품소재기술사업의 신규 제안서에 적용함으로써, 선정

된 과제에의 TRL 분석 및 기술개발 시작시점과 종료시점에서의 기술성숙도를 파악하여 보다 효과적인 기술개발 성과를 도출하는 도구로서의 활용 가능성을 검토하고자 한다.

## II. 국내외 TRL의 현황

### 1. TRL의 개요

TRL이란 특정 기술의 성숙도를 평가하거나, 서로 다른 유형의 기술 성숙도를 일관되게 비교할 수 있도록 도와주는 체계적인 측정 수단을 말한다(Mankins, 1995). 실험실에서의 성능지표가 실제 환경에서도 동일한 성능을 나타내는 것은 아니며, 육상에서 이상 없이 작동되었던 제품이 우주의 무중력 환경에서도 작동하리란 법은 없기 때문에, TRL은 이러한 환경적 요인 변화에 따른 기술의 성숙도에 대한 신뢰성 있는 평가기준이 될 수 있다.

TRL은 1989년 미국 NASA의 Sadin 등이 최초로 7단계로 정의한 후 1995년에는 <표1>에서와 같이 9단계로 확장하여 정의하였다(Mankins, 1995). 9단계로 다단계화 되면서 7단계에서 현실적인 평가요소가 부족한 실제 환경의 시작품 시연과 시스템의 시험평가, 인증 및 양산 등 현실적인 사항이 많이 고려되었다고 볼 수 있다.

미국에서 TRL의 사용배경에는 NASA 등 국방 관련 추진사업의 위험관리의 주요수단으로 사용하게 되었다. 대규모의 투자와 가시적인 결과예측이 용이하지 않는 군수사업의 특성상 미성숙 기술의 사용에 따른 사업의 위험도 관리의 한 방안으로서 TRL을 적용하게 되었다.

따라서, TRL은 미성숙 기술개발에 따른 위험도 관리, 기술의 현 위치에 대한 구성원간의 공통의 이해 수단 또는 기술투자나 기술이전시 최고 경영자의 의사결정의 수단으로서 활용될 수 있다. 기술성숙도 평가는 현 수준에서의 기술적 위치를 파악함으로써, 기업뿐만 아니라 정부기관의 연구개발사업 투자의사결정을 위한 판단과 위기관리를 할 수 있도록 도와주는 데에 그 의의가 있다.

〈표1〉 NASA의 TRL정의(Mankins, 1995)

TRL	정의
	- Level 1 : 관찰된 혹은 보고된 기초원리
	- Level 2 : 형성된 기술개념과 응용
	- Level 3 : 분석적인 혹은 실험적인 핵심 기능/특성 증명
	- Level 4 : 실험실 환경에서 구성요소나 전체 확인
	- Level 5 : 적절한 환경에서 구성요소나 전체 확인
	- Level 6 : 적절한 환경에서 시스템/하부시스템 모형이나 시작품 데모
	- Level 7 : 실제환경에서 시스템 시작품 데모
	- Level 8 : 실제시스템 완료 및 시험 데모를 통한 가능성 인증
	- Level 9 : 성공적인 작동을 통한 양산

## 2. 외국의 TRL 적용 사례

미국의 DoD는 2001년에 TRL의 사용을 의무화 하는 규정을 제정한 후 국방 획득 가이드북(DoD, 2004)에 기본 지침을 수록하였다. 2003년에는 Nolte 등이 TRL을 계량 측정할 목적으로 TRL 계산자(Calculator)를 개발하여 발표하였으며, 이 때 하드웨어(H/W)와 소프트웨어(S/W)로 구분하여 측정할 수 있는 엑셀 스프레드시트를 활용하여 도식화된 결과를 소개하였다(Nolte 등, 2003).

DoD에서는 NASA의 TRL 정의를 일부 수정하였으며, 이를 다시 하드웨어, 소프트웨어 및 제조기술(Manufacturing Technology) 중 하나로 분류하여 구체적으로 TRL을 설정하였다. 〈표2〉 및 〈표3〉은 DoD의 TRL 정의를 요약한 것이다(DoD, 2005)

영국의 MoD(Ministry of Defence)는 2001년에 맥킨지(Mckinsey)의 방위 관련 사업에 적용 권고를 받고 2005년에 NASA의 개념을 근간으로 하드웨어 및 소프트웨어에 적용한 바 있다.

TRL의 적용을 위한 TRL 평가를 TRA라고 하며, 2005년에 미국 DoD에서 발행한 TRA 데스크북(Deskbook)에서는 그 절차를 자세히 보여주고 있다. TRA 절차는 크게 두 단계로, 첫째 총괄책임자(Project Manager)는 핵심요소기술(Critical Technology Element)을 식별하고, 둘째 과학기술 담당관(Component S&T Executive)은 평가위원회 등을 구성하여 핵심요소기술의 TRL을 평가하는 방법을 취하고 있다.

(표2) DoD의 H/W TRL정의(DoD, 2005)

TRL	H/W TRL 정의	세부 내용	비고
1	관찰된 혹은 보고된 기초원리	과학적 연구가 응용기술개발로 발전 되기 시작함. 기술의 기본적인 특성에 대한 논문 연구	기술을 뒷받침 하는 논문 또는 연구 보고서. 연구자, 연구 일시 및 장소에 대한 인용 필요
2	개념기술 또는 공식화된 응용기술	개발 시작. 기본 원리 탐색 후 실용적 응용 개발 가능. 추론이므로 증명 또는 가정을 뒷받침하는 상세한 해석이 없을 수 있음.	개념을 지원하는 분석이 있는 문헌. 기술을 응용한 문헌.
3	이론 및 실험에 의한 핵심 기능 또는 개념 기술의 속성 입증	기술개발 착수. 해석적인 연구 또는 실험이 개별 기술의 이론적 가정에 대한 유효성을 제시함. 통합적이거나 대표적인 사례는 없음	실험실 테스트 결과로서 핵심 변수를 측정하여, 핵심 부품의 이론적 추정치와 비교
4	실험실 환경에서 구성요소/시작품 유효성 확인	개별 기술의 통합. 최종 목표와 비교할 때 다소 떨어지는 성능의 기술. 실험실 환경에서의 시작품 개발 완료.	실험실 규모의 시작품 시험 결과. 연구자 및 연구일시에 대한 인용 필요. 시작품의 테스트 결과가 목표 성과와 얼마나 다른지 비교
5	유사 환경에서 구성요소/시작품 유효성 확인	시작품 기술성능의 향상. 기술 구성 항목을 합리적, 현실적으로 뒷받침하는 요소기술의 통합으로서, 모사 환경에서 시험 완료.	모사 환경에서의 다양한 근거가 시작품 시스템의 시험 결과를 뒷받침함.
6	유사 환경에서 시스템/하부시스템 모형이나 시작품 검증	주요 성능 평가에 적절한 환경에서의 시작품. 성능 검증의 진일보. 고정밀 실험실 환경 또는 유사 환경에서의 시작품 시험 완료.	시작품의 시험결과는 성능, 중량, 부피 측면에서 실제 환경에 근접하여야 함.
7	실제환경에서 시스템 시작품 검증	실제 환경 또는 이와 근접한 환경에서의 시작품. 항공기, 자동차 또는 우주환경과 같은 실제 환경에서 시작품의 성능 검증을 함으로써 TRL 6에서 진일보함	조업 환경에서의 시작품 시험결과
8	실제시스템 완료 및 시험검증	최종 시제품으로서 기술 검증 완료. 대부분의 조건에서 실제 시스템 개발의 완료.	실제 조업 예상 조건 하에서의 시험 결과. 운전 요구사항을 만족시키는데 대한 평가 등
9	성공적인 작동, 양산 및 적용	최종 제품으로써 실제 적용 및 임무 수행. 시운전 및 평가.	시운전 및 평가 보고서

※ 주) DoD의 내용을 중심으로 부분적으로 재정리하였음

핵심요소기술의 식별은 채택하려는 기술이 어느 정도 가치를 가지는지 판단하는 것으로서 총 8개의 질의응답으로 이루어지는데, 4가지 '기술의 필요성' 평가항목과 4가지 '기술의 혁신성' 평가항목으로 나누어 각각 1가지 이상의 긍정적 답변이 기대될 때 이를 핵심요소 기술로 인식하는 것이다.

미국에서의 TRL의 적용은 우주기술개발계획(Space Technology Planning), 아음속항공기(Subsonic Aircraft) 및 저소음 엔진시스템(Engin System Noise Level II) 등 우주기술개발과 복합기술 분야로 확대 적용하는 추세이다.

〈표3〉 DoD의 제조기술 TRL정의(DoD, 2005)

TRL	제조기술 TRL 정의	세부 내용	비고
1	관찰 혹은 보고된 기초원리	해당 없음	
2	개념기술, 공식화된 응용기술	해당 없음	
3	이론·실험에 의한 핵심기능, 개념기술의 속성 입증	해당 없음	
4	실험실 환경에서 구성요소/시작품 유효성 확인	신기술이 개발 목표와 유사한 소재, 단순화된 설계사양의 부품을 이용하여, 실험실 수준에서 검증	생산을 위한 가장 낮은 단계. 부품 기술은 최소 TRL 4까지 확보. 요구사항이 거의 미 충족. 설계 변경 필요. 부품간의 물리적, 기능적 호환성이 미정의. 소재, 기계 및 공구가 실험실 환경에서 검증 완료. 검사 및 시험장비가 실험실 환경에서 검증 완료. 제조원가 식별. 생산가능성 평가 착수.
5	유사 환경에서 구성요소/시작품 유효성 확인	신기술이 개발 목표와 동일한 소재, 동일한 설계사양의 부품을 사용하여 실험실 수준에서 검증	부품 기술은 최소 TRL 5까지 확보. 요구사항이 모두 충족된 것은 아님. 주요 설계 변경 필요. 부품간의 물리적, 기능적 호환성이 미정의. 소재, 기자재 및 장비가 유사 제조 환경에서는 검증, 제조 공정은 개발중임. 검사 및 시험장비가 실험실 환경에서 검증 완료. 생산 비용 목표 분석. 시스템 수준에서의 원가 목표 확립. 생산가능성 평가 계속 수행.
6	유사 환경에서 시스템/하부시스템 모형이나 시작품 검증	신기술이 개발 목표와 동일한 소재, 동일한 설계사양의 부품을 사용하여 유사 제조 환경에서 검증. 적절한 품질수준을 확보	시작품 검증. 설계 변경 필요, 부품간의 물리적, 기능적 호환성이 아직 완전히 정의되지 않음. 부품기술은 최소 TRL 6까지 확보. 원재료는 유사 제조 환경에서 처음 검증됨. 비슷한 공정과 절차가 유사 제조 환경에서 검증됨. 주요 기자재 및 장비의 투자가 필요할 수 있음. 검사 및 시험장비는 개발중임. 생산가능성 평가는 계속진행중임. 제조원가 절감 계획. 생산 목표 확립.

7	실제환경에서 시스템 시제품 검증	신기술이 개발 목표와 동일한 소재, 양산 설계 수준의 부품을 사용하여 생산에 적합한 환경에서 검증됨. 적절한 품질 수준 및 생산가능성을 확보	부품 기술은 최소 TRL 7까지 확보. 설계 변경은 감소. 물리적, 기능적 호환성이 정의됨. 모든 원재료가 생산증이거나 시운전까지 확보 가능. 파일럿 라인 제조 공정 및 절차가 수립 되어 시험중이나, 아직 미검증 단계. 최초의 생산가능성 향상 작업 진행됨. 추정비용은 목표 원가의 125% 이하. 상세 생산 계획 수립.
8	실제시스템 완료 및 테스트와 검증	신기술이 개발 목표와 동일한 소재, 동일한 설계사양의 부품을 사용하여 파일럿 생산 환경에서 검증. 적절한 품질 수준 및 생산가능성을 확보. 공정 검증 및 저속 시운전 준비.	부품 기술은 최소 TRL 8까지 확보. 설계 변경은 감소. 물리적, 기능적 호환성이 명백히 정의됨. 모든 원재료가 생산증이거나 시운전까지 확보 가능. 파일럿 라인에서 제조 공정 및 절차의 검증 완료. 저속 시운전 준비 및 생산가능성 위험도 평가 완료. 생산비용 추정값은 원가 설계 목표 만족.
9	성공적인 작동을 통한 양산 및 적용	신기술이 개발 목표와 동일한 소재, 동일한 설계사양의 부품을 사용하여 시운전 환경에서 검증됨. 적절한 품질 수준 및 생산성을 확보함. 공정 검증 및 양산.	저속 시제품 생산으로서, 모든 시스템 설계 사양이 충족, 설계변경은 최소화. 모든 기술은 TRL 9까지 확보. 원재료는 생산 증이거나, 생산 일정에 맞추어 공급가능. 제조 공정·절차가 확립, 3-시그마 또는 그에 준하는 품질로 제어 가능함. 기자재, 장비 및 검사, 시험장비는 3-시그마 또는 그에 준하는 수준으로 공급 가능. 생산 위험도 모니터링은 계속 수행. 저속 시제품의 실제 원가는 추정치를 만족함.

※ 주) DoD의 내용을 중심으로 부분적으로 재정리하였음

### 3. 국내의 TRL 적용 사례

국내의 TRL에 대한 도입은 2006년 방위사업청에서 방위력개선사업관련규정(방위사업청, 2006)을 제정함에 따라 기술성숙도의 개념을 도입하기 시작하였다. 국방 획득 과정에 있어 TRA를 수행하게 되며 선행연구, 탐색개발, 체계개발 등 단계에 따라 제안서 접수 및 기술 개발 과정 등에 기술성숙도를 고려하도록 규정하고 있다. 한편, 국방과학연구소에서 발행한 보고서(류영진 등, 2006)에 따르면, 획득 과정을 위한 TRA 수행을 위한 선결 사항으로서 다음과 같이 4가지를 제시하고 있다.

첫째, 획득 관련기관의 TRL/TRA 개념 공유 및 공감대를 형성하여, TRA 추진체계를 제도적으로 확립하고, 둘째, TRL 판단기준의 구체적 설정과 완료기준의 명확한 제시와, 셋째,



TRA 결과에 따른 사업의 계속진행 여부 등의 후속조치를 규정화, 넷째, 미성숙 기술에 대한 기술개발 일정 및 방법을 제시한 기술성숙계획의 심의 절차 확립 등을 제안하고 있다.

상기와 같이 국내에서도 방위산업 관련 적용을 시도하고 있는 단계로 민간이나 그 외의 기술 분야에 실제로 TRL을 적용한 연구사례는 현재까지 보고된 바 없다.

### III. 부품소재사업의 TRL 적용방안

#### 1. 부품소재사업에 적용을 위한 TRL 정의

미국의 NASA나 DoD의 TRL 적용은 미사일, 공격용 헬기 등 주로 방위산업 관련 부품이나 시스템 개발에 적용하였다. 반면에 부품소재사업에는 전 산업을 대상으로 하고 있어 첫째로 적용 분야 및 범위가 광범위하며, 둘째로 대상기술의 구성면에 있어서 하드웨어와 소프트웨어 기술 등이 복합화된 형태이며, 셋째로는 수행주체가 기업체 중심으로 추진되고 있다는 차이점이 있다. 이러한 차이점으로 인하여 TRL 적용을 위해서는 기술 용어나 서술 방법 등을 부품소재사업의 특성에 맞게 재정립할 필요가 있다.

부품소재사업의 TRL 정의는 부품소재사업의 기술개발 전후 단계의 핵심요소 기술 또는 요소기술의 복합으로 구성된 시스템의 기술적 성숙도를 측정하는 기준으로 정의한다. <표 4>는 부품소재사업의 TRL의 각 단계별 개념을 정의 하였다.

〈표4〉 부품소재기술개발사업의 TRL 정의

구분	TRL	DoD의 TRL 정의(H/W)	부품소재기술개발사업 TRL 정의
기초연구 단계	1	관찰된 혹은 보고된 기초원리	기초 이론/실험
	2	개념기술 또는 공식화된 응용기술	실용 목적의 아이디어, 특허 등 개념 정립
실험 단계	3	이론 및 실험에 의한 핵심 기능 또는 개념기술의 속성 입증	연구실 규모의 기본 성능 검증
	4	실험실 환경에서 구성요소/시작품 유효성 확인	연구실 규모의 부품/시스템 성능 평가
시작품 단계	5	유사 환경에서 구성요소/시작품 유효성 확인	부품/시스템의 시작품 제작
	6	유사 환경에서 시스템/하부시스템 모형이나 시작품 검증	시작품의 성능 평가
제품화 단계	7	실제 환경에서 시스템 시작품 검증	시제품의 신뢰성 평가
	8	실체시스템 완료 및 시험과 검증	시제품의 인증 및 표준화
사업화 단계	9	성공적인 작동을 통한 양산 및 적용	사업화

부품소재사업에서는 총 9단계의 TRL을 크게 5개로 구분하였는데, 기초연구단계, 실험단계, 시작품 단계, 제품화 단계, 사업화 단계로 표시하였다. TRL 4까지는 DoD의 설명과 큰 차이가 없지만, TRL 5부터는 표현을 달리하였다. DoD에서는 특성상 항공우주산업 등 군수산업에 적용 목적으로 추진하기 때문에 실제 환경을 적절하게 구현할 수 있는가에 그 목적을 두고 있으므로, 유사 환경(Relevant Environment)이란 용어를 주로 사용하였으나, 본 연구에서는 이를 기술개발사업에서 자주 사용하는 시작품(Prototype)이라는 용어를 중심으로 표현하였다. 즉, TRL 5에서는 부품이나 구성요소기술의 완성을 전제로 시작품의 제작을 확인하는 단계이고, TRL 6에서는 제작된 시작품 성능을 평가하는 단계로 정의하였다. TRL 7은 실제 환경이라는 전제가 필요하며, 부품소재사업에서는 시제품의 신뢰성 평가로 이를 대체할 수 있다. TRL 8은 TRL 7과 큰 차이가 없으나, 성능평가보다는 시제품의 생산 또는 판매가능성 평가가 주요 요소로서, 본 연구에서는 시제품의 인증 및 표준화라는 표현을 사용하였다.

## 2. 부품소재사업의 산업분야별 TRL 정의

앞에서 언급한 바와 같이 DoD의 경우 H/W, S/W. 제조기술로 분류하여 TRL을 정의하였으나, 핵심 요소 기술의 TRL을 목적에 맞게 평가하기 위하여, 다차원의 판단기준을 제시할 필요성을 언급하였다. 첫째는 개발하려는 대상이 장치, 부품, 하부시스템, 시스템, 또는 시스템의 조합인지 구분하는 것, 둘째는 검증 환경을 기준으로 실험실, 수학적 모델, 물리적 모사, 현장 시험용 또는 실제 조업용인지 구분하는 것이다. 이 중 몇몇은 TRL 정의에 명시적으로 설명되어 있지만, 몇몇은 그렇지 않다. 결과적으로 TRL 정의는 이러한 다차원 판단기준의 조합으로 결정된다.

부품소재사업 제안과제의 TRL을 평가하기 위해서도, 해당기술이 부품, 소재, 완제품 또는 생산 장비인지에 따라 이에 적절한 TRL 판단기준을 제시할 필요가 있다. 본 연구에서는 부품소재사업 TRL 평가를 용이하게 하기 위하여, 산업 분류별로 TRL 정의를 세분하여 <표5>에 제시하였다. 개발 대상의 성격을 기준으로 기계, 전기, 전자산업을 묶어 부품 또는 생산 장비 분야로 분류하고, 금속, 세라믹, 고분자, 화학산업은 소재 분야로, 식품, 의약품, 화장품 산업 분야는 완제품 분야로 분류하여 TRL을 정의하였다. 금속, 세라믹, 고분자, 화학 산업으로 분류한 소재분야는 주조, 단조, 압출, 사출 같은 성형 단계를 거치지 않은 순수한 원재료 개발로 가정하여 TRL을 정의하였다. 개발대상이 온전한 S/W산업인 경우 부품소재사업의 지원 분야가 아니므로 이를 제외하였다.

<표5>의 산업분야별 TRL 정의를 단계별로 설명하면 다음과 같다. TRL 1 및 TRL 2는 부품소재사업의 지원대상 범위에서 벗어나는 기초연구 단계로 별도로 정의하지 않았다. TRL 3은 연구실 규모의 환경에서 성능이 검증될 수 있는 단계로서, 다양한 소재를 합성 또는 배합하여 성능을 시험해 보거나, 개발하려는 부품의 기본 설계도면을 확보하는 단계이다. TRL 4는 TRL 3에서 도출된 다양한 결과 중에서 최적의 결과를 선택하려는 단계로서, 컴퓨터 모사가 가능한 경우 최적화를 완료하는 단계이다. 의약품 등 바이오 분야의 경우 목표 물질이 도출된 것을 의미한다. TRL 5는 개발 대상의 규모면에서 한 단계 상승된 것으로서, 생산가능성을 고려한 단계라고 볼 수 있다. 소재분야의 경우 파일럿 설비를 구축하였어야 하는데, 경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심 성능으로만 볼 때, 실제로 판매가 될 수 있는 정도의 것이어야 한다. 부품개발의 경우 개발목표와 동일한 소재와 설계사양의 시제품 금형을 제작하여야 한다. 의약품은 GMP(제조품질관리기준: Good Manufacturing Practice) 파일럿 설비를 구축하여야 한다.

〈표5〉 산업분야별 TRL 정의

구분	TRL 단계	TRL 정의	산업분야별 TRL 정의			비고
			금속/세라믹/섬유/화학	기계/전기/전자	식품/의약품/화학제품	
기초 연구 단계	1	기초 이론/실험	-	-	-	
	2	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념 정립	-	-	-	
실험 단계	3	연구실 규모의 기본 성능 검증	다양한 소재 합성 및 배합	모델링/설계기술 확보	다양한 소재 실험	
	4	연구실 규모의 부품/시스템 성능 평가	최적의 소재합성 및 배합비 구성	실용화를 위한 핵심요소기술 확보	핵심가능소재 선별	과제 제안서 제출 및 1차년도 개발 내용
시작품 단계	5	확정된 부품/시스템의 시작품 제작	공정 최적화 조건	제작기술, 시스템 통합기술 확보	분리 및 수율향상	생산가능성 검증, 테스트 급형
	6	시작품 성능 평가	시작품 성능평가	시작품 성능평가	전임상시험, 독성/안정성 평가	시작품 평가, 공인 인증 기관 성적서
제품화 단계	7	시작품의 신뢰성평가	신뢰성 평가	시작품의 신뢰성 평가	임상시험 (1상-3상)	품질제어, 수요기업의 성능 평가 보고서
	8	시제품의 인증 및 표준화	KS, ISO인증	한국선급인증, KS, ISO인증	식약청 허가	
사업화 단계	9	사업화	-	-	-	3-시그마 6-시그마

TRL 6은 5단계에서 구축된 생산 설비 또는 시작품의 성능을 평가하되, 가능한 경우 공인인증 기관의 성적서를 확보하는 단계이다. 의약품의 경우 비임상 시험기준인 GLP(동물 실험규범: Good Laboratory Practice)기관에서 전임상시험을 완료하는 단계이다. 소재 분야의 경우 TRL 6에서 기술개발의 목표를 대부분 완료하였다고 볼 수 있다. TRL 7에서는 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계이다. 부품 및 소재개발의 경우 수요업체에서 신뢰성 평가를 하고, 의약품의 경우 임상시험을 수행하여야 한다. TRL 7에서 기술개발사업의 목표는 달성하였다고 볼 수 있다. TRL 8에서는 시제품 생산을 위한 추가적인 투자가 이루어지고, 인허가가 필요한 경우 이를 득하여야 하는 단계이다. 한 예로서 조선 기자재는 선급기관의 인증을 받고, 의약품은 식약청의 품목허가를 받아야 한다. 미국 NASA의 경우는 정부에서 지원은 TRL 6 까지 지원하고 이후는 민간에서 수행하는 것으로 되어 있다. 하지만 부품소재의 경우는 수행주체나 사업의 목적 등이 상이하여 정부에서 지원할 수 있는 기술개발 지원 한도는 산업의 특성을 반영하여 최대 TRL 8 까지라고 볼 수 있다.

〈표6〉 CTE 식별을 위한 평가항목(DoD, 2005)

항목	내용
1	이 기술이 운용 요구조건에 직접적으로 영향을 미치는가?
2	이 기술이 개선된 납품일정에 중요한 영향을 미치는가?
3	이 기술이 시스템의 입수 가능성(가용비용 등)에 중요한 영향을 미치는가?
4	만일 이것이 나선형 개발이라면, 이 기술이 나선형 목표를 달성하는데 필수적인가?
5	이 기술이 새롭거나 참신한 기술인가?
6	이 기술이 변화되어 왔는가?
7	이 기술이 새로운 유사환경이 실현되도록 재개발되었는가?
8	이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?

### 3. 부품소재사업의 TRA 과정

앞에서 언급한 바와 같이 TRL 평가를 TRA라고 하며, DoD의 TRA 절차는 CTE(핵심요소기술: Critical Technology Element) 식별 및 핵심요소기술에 대한 TRL 평가로 이루어진다. 핵심요소기술 식별은 총괄책임자가 제안서로써 제출하게 되고 그 내용에 대한 판단은 전문가의 자문을 거쳐 독립적으로 하게 된다. 핵심요소기술 식별을 위해 사용하는 4가지 '기술의 필요성' 평가항목과 4가지 '기술의 혁신성' 평가항목은 〈표6〉과 같다. 항목(1~4) 중 하나에 해당하고, 항목(5~8) 중 하나에 해당하면 그 기술은 핵심요소기술로 식별된다.

부품소재사업의 경우 DoD의 핵심요소기술 식별 항목과는 달리 부품소재사업 관리지침(산업자원부, 2006)에 신규 제안서의 기술성 평가를 위한 기준을 제시하고 있다. 기술성 평가 항목은 '목표의 적정성 및 명확성', '계획의 구체성 및 타당성' 등으로 구성되는데, 평가위원회에서는 각각의 평가항목별로 점수를 산정하여 위원들의 평균점수가 일정 점수 이상일 때 지원 대상 과제로 선정한다. DoD의 핵심요소기술 식별 항목과는 다르지만, 핵심요소기술을 개발하기 위한 기술의 선정 목적이라는 점은 같다고 할 수 있다.

핵심요소기술이 식별되었으면, TRL 평가를 수행하게 된다. 본 연구에서는 2007년 산업자원부에서 공고한 부품소재사업의 신규 지원과제를 대상으로 TRA를 수행하였다. TRL 평가방법은 정성적인 자체 평가 방식과 전문가의 의견을 참조하여 검증하는 과정으로 구분하여 이루어졌으며, 총괄책임자가 〈표5〉를 참조하여 〈그림1〉에 제시한 서식에 따라 제안과제의 연차별 TRL 단계를 기재하면 검증을 통해 분석하는 절차를 수행하였다.

〈그림1〉 TRL 평가표 서식

기술준비수준(TRL) 평가표						
과제명	핵심 부품·소재 또는 기술	연차별 TRL				
		신청시	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도말
총괄과제명 ( )						
세부과제명1 ( )						
세부과제명2 ( )						
세부과제명3 ( )						
세부과제명4 ( )						

  

작성요령
○ TRL(Technology Readiness Level)은 산업분야별 TRL 정의를 참고하여 세부과제별 개발대상인 핵심 부품·소재 또는 기술이 연차별로 TRL 몇 단계인지 그 번호를 기재

총괄책임자는 기술개발을 제안하기 전에 제안과제의 사전 준비 수준 TRL 몇 단계인지를 표시하고, 개발이 시작된 후 연차별로 TRL 몇 단계인지를 차례로 기재하게 된다. 개발하려는 부품·소재의 성격상 부품개발과 소재개발이 각각 세부과제를 구성하여 컨소시엄을 구성하거나, 여러 가지 부품개발이 조합된 모듈을 개발하기 위하여, 여러 개의 세부과제가 하나의 총괄과제를 구성할 수도 있다. 이와 같이 세부과제가 존재하는 경우 각각에 대하여 TRL이 몇 단계인지 표시하게 된다. 여기서, 각 세부과제 및 총괄과제는 핵심요소기술(CTE)에 대응하는 것으로 볼 수 있다.

#### IV. TRA 평가대상 및 분석결과

##### 1. TRA 평가 대상

2007년도 제2차 부품·소재사업에 신청 접수된 37건의 제안서에 대하여 TRA를 수행하였다. 총괄책임자가 자체 평가한 TRL 단계는 선정 결과에는 반영되지 않았으며, 참고 자료로서

〈그림1〉의 서식에 따라 별도로 조사한 결과이다. 과제 제안서의 채택여부는 독립된 기술성 평가위원회에서 평가 기준(산업자원부, 2006)에 의거 평가된 점수를 반영하였다. 평가대상 제안서 중에서는 약 51.4%가 정부출연금 지원 대상으로 확정되었다.

〈표7〉 부품소재사업 과제 제안서의 신청 당시 TRL 현황

(단위 : 백분율)

과제수	TRL	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계
	신청과제		5.4	24.3	43.2	27
신규 지원대상 과제		0	42.1	31.6	26.3	0

〈표8〉 부품소재사업 과제 제안서의 개발 종료 시점의 TRL 현황

(단위 : 백분율)

과제수	TRL	6단계	7단계	8단계	9단계
	신청과제		19	48.6	24.3
신규 지원대상 과제		15.8	52.6	31.6	0

〈표9〉 8대 산업별 TRL 현황

(단위 : 건)

8대산업	조사 대상 제안서	TRL(단계)	
		개발시작 시점	개발종료 시점
금속	7	3.0	6.6
기계	3	3.7	7.3
로봇	3	3.3	6.7
섬유	1	4.0	8.0
자동차	6	2.5	7.5
전자	14	2.6	7.2
화학	3	3.3	7.3
합계	37	평균 2.9	평균 7.2

## 2. TRA 분석 결과

과제 제안서의 개발시작 시점 즉, 접수시점의 TRL 단계는 평균 2.9단계이고, 정부출연급 지원 대상으로 채택된 과제 제안서의 TRL 단계는 평균 2.8단계로서 유사하였다. 신청 과제 중에는 TRL 1인 과제도 5.4% 있었으나, TRL 3의 과제가 43.2%로서 가장 많이 신청하였다. 지원 대상 과제에서는 2단계 이상의 과제만 선정된 것으로 나타났으며, TRL 1의 과제가 지원 제외되었다는 것은 기초이론·실험 단계로서 아직 실용목적의 아이디어나 특허도 출원하지 않았다는 점이 기술성 평가에서 사전 준비성이 낮은 것으로 고려되었다고 볼 수 있다. <표7>은 과제 제안서의 신청 당시 TRL 단계 현황을 표시한 것이다.

개발 종료 시점의 TRL은 개발기간이 완료된 것을 가정하고 TRL이 어떤 수준까지 성숙될 것인지를 예측한 것이다. 신청 과제의 평균 TRL은 7.2로서 지원 대상으로 채택된 과제의 평균 7.2와 동일한 것으로 나타났다. 과제 제안서 중에서는 종료 시점의 TRL이 9인 과제도 있었으나, 지원대상 과제에서는 8 단계까지의 과제가 선정되었다. TRL 9의 경우 사업화 수준의 매출 발생 단계이므로 연구개발 과제로서는 부적절하다고 평가된 것으로 보인다.

부품소재사업에서는 기계, 로봇 및 전자산업 등 8대 산업으로 구분하여, 매년 다양한 통계를 내고 있다. 이러한 8대 산업 기준으로 TRL 현황을 조사한 결과를 <표9>에 표시하였다. 자동차산업의 경우 개발 시작 시점의 TRL 평균이 각각 2.5로서 낮은 것을 알 수 있는데, 그 사유로는 대상기술이 자동차 의장부품용 소재기술 분야로서 국내 기반이 취약한 점이 영향을 받은 것으로 보인다. 금속산업의 경우 반도체 장비용 소재기술 분야의 과제가 종료시점 TRL 6으로 타 분야보다 다소 낮게 나타났으며, 이러한 영향으로 종료시점 평균 TRL 6.6으로 낮아지는 원인이 되었다. 전체적으로, 소재산업은 원천기술로서 국내 기반 및 기업체의 기술역량이 타 분야에 비해 상대적으로 열세인 바, 개발 전후단계의 TRL이 낮게 나타남을 알 수 있다.

## V. 결 론

국가 기술개발사업의 연구 성과에 대한 관심이 높아지고 있는 시점에서, 동일한 자원 투입에 대한 효과적인 결과를 도출하기 위해서는 객관적인 평가과정의 도입이 중요하다. 그리고, 기술개발이라는 공통목적을 중심으로, 개발자인 기업, 평가자인 전문가 집단, 투자자



인 국가간의 삼각관계에서, 개발 결과물을 공통으로 이해할 수 있는 측정인자 중 하나로 TRL을 선택하는 것이 유효한 정책방안이 될 수 있다고 생각한다.

부품소재사업의 TRA를 시범적으로 수행한 결과 대부분의 과제에서 기술개발 시작시점에서는 TRL 3까지 완료된 상태에서 진행된 경우가 가장 많았고, 기술개발종료 시점에서는 TRL 7까지 완료하는 것을 목표로 하는 것을 알 수 있었다. 다만, 개발시작 시점에서 금속, 세라믹, 섬유, 화학산업과 같은 소재산업 분야에서는 2 단계까지만 완료된 경우에도 기술개발 제안서를 제출하는 경우도 볼 수 있었다.

TRL 6에서는 생산가능성 및 성능목표의 달성이 가시화 된 것을 전제로 한다. 그러나, 단순히 성능목표만 달성되었음에도 생산가능성 검토 없이 개발이 완료된 것으로 최종평가가 이루어지는 것을 종종 볼 수 있는데 이는 앞으로 지양되어야 할 것이다. 부품소재사업의 경우도 제안서에 중간 및 최종평가 시점의 TRL 목표값을 제시하여 연차별 TRA 결과, 계획된 TRL 6을 달성하지 않은 과제에 대해서는 사업의 계속수행을 보류하는 것을 검토할 필요가 있다. 다만, 소재산업 분야는 생산 가능성이 검증되고 공인된 시험성적서를 도출하여 TRL 6까지 완료한 경우, 수요기업에 의해 수행되는 TRL 7의 신뢰성 평가가 타 산업 분야에 비하여 상대적으로 중요하지 않으므로 개발이 완료된 것으로 최종평가 하는 것도 필요하다.

〈표7〉에서 볼 수 있는 바와 같이 조사 대상 과제의 21.6%가 제안서 접수 시점에서 TRL 2의 미성숙 과제이지만, 산업별 특성을 고려하여 이러한 미성숙 기술도 지원해야 한다. 만약 개발 초기 TRL 3이상의 제안서만 지원한다면 미래 지향적인 좋은 기술과제가 조기 발굴을 통한 조기 지원의 기회상실로 더 큰 손실을 초래할 수 있다. 한편, TRL의 수준에 따른 연구개발사업을 특성화하여 운영하는 것도 TRL의 제도적 활용을 위한 방안이 될 수 있는데, 산업자원부에서 시행하는 바이오스타 프로젝트 사업은 TRL 6의 전임상 시험을 완료한 기술에 대하여 TRL 7 및 8의 임상시험을 지원하기 위한 특별프로그램으로 이해할 수 있다.

〈그림1〉에서 적용한 산업분야별 TRL 정의는 총괄책임자가 객관적으로 개발과제의 TRL을 표시하기 위한 참조 자료로는 다소 부족한 면이 있다. 즉, 부품소재사업의 지원 대상이 되는 다양한 기술 분야를 3가지 유형으로만 분류하도록 요구하는 것은 선택의 폭을 지나치게 제한한 측면이 많다. 총괄책임자가 제안서의 TRL을 객관적으로 인식하려면, 필요한 TRL 판단기준의 명확한 제시가 필요하다. 미국 DoD에서는 H/W 분야에 비행체, 지상차량, 미사일 및 유도무기, 선박 및 선박시스템, 정보통신기기 등 5가지, S/W 분야에 4가지, 제조기술 2가지의 핵심요소기술에 대한 TRL 평가 사례를 제시하였다(DoD, 2005). 부품

소재사업의 경우도 산업자원부에서 고시(산업자원부, 2007)한 산업기술분류체계의 44개 중 분류 이하 소분류 기준으로 소재, 부품, 생산장비, 바이오 제품 등으로 분류하여 TRL 판단에 필요한 구체적인 기준을 제공할 필요가 있다. 이로부터, 신규, 중간 최종평가를 위한 TRA 적용의 규정화도 가능할 수 있을 것이다.

향후에 부품소재사업 등 다양한 정부 기술개발사업에 TRL을 적용하기 위해서는 첫째로, TRL의 개념에 대한 상호 이해가 전제된 가운데에서, 둘째로, 산업별 부품·시스템에 대한 기술성숙도의 현 수준 파악과 개발목표 설정 방법론에 대한 연구가 이루어 지고, 셋째로 TRL의 평가방법인 TRA 절차의 체계화 및 과제관리 기법개발 등에 대한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- 류영진 외, 「연구개발을 위한 TRL/TRA 연구」, 국방과학연구소, EVAD-415- 061087, 2006.  
 방위사업청 훈령 제35호, 「방위력개선사업관리규정」, 2006.  
 산업자원부, 「부품·소재기술개발사업 관련 법령 및 규정」, 2006.  
 산업자원부, 「2007년 산업기술개발사업 관련 법령 및 규정」, 2007.  
 DoD, *Defense Acquisition Guidebook*, 2004.  
 DoD, *Technology Readiness Assessment(TRA) Deskbook*, 2005.  
 Mankins, John C., *Technology Readiness Levels: A White Paper*, NASA, 1995.  
 Nolte, William L., et. al., “Technology Readiness Level Calculator”, Air Force Research Laboratory, presented at the NDIA Systems Engineering Conference, 2003.  
 Smith, Jim, *An Alternative to Technology Readiness Levels for Non-Developmental Item Software*, CMU/SEI-2004-TR-013, 2004.

## 서정하

“서울대학교에서 화학공학 석사학위를 취득하였으며, 동대학원에서 “Measurement and Correlation of Vapor/Liquid Equilibria for the alkane+alkanol systems near the critical region” 으로 공학박사학위를 받았다. 현재 한국산업기술평가원에서 선임연구원으로 근무중이다. 주요 연구 분야는 지역산업기술정책, 부품소재기술기획, 섬유화학 분야 기술평가관리 등이다.”

### 전기영

“연세대학교에서 물리학 석사학위를 취득하였으며, 동대학원에서 “ $B_{10}H_{14}$  이온주입에 의한 Ultra-shallow  $p^+-n$  junction의 형성 및 특성”으로 이학박사학위를 받았다. 현재 한국산업기술평가원에서 수석연구원으로 근무중이다. 주요 연구 분야는 부품소재기술정책, 전기전자 분야 평가관리 등이다.”

### 전한수

“영남대학교에서 기계공학 석사학위를 취득하였으며, 중앙대학교 대학원에서 “로봇 구동용 하모닉 감속기의 플렉스플라인에 관한 연구”로 공학박사학위를 받았다. 현재 한국산업기술평가원에서 기반 기술본부장으로 근무중이다. 주요 연구 분야는 산업기술정책, 산업기술기획, 기계 분야 평가관리 등이다.”