

<붙임 3>

기술유형별 기술성숙도(TRL) 단계정의

○ 기술성숙도(TRL:Technology Readiness Level) 평가

- 개발기술의 성숙도 또는 이행단계를 평가하기 위한 정량화된 측정지표로, 연구개발환경(실험실, 유사환경, 실제환경), 연구개발결과물(시제품, 완제품), 기술수준(개념, 시현, 성능검증)에 따라 기술성숙도를 분류



TRL 단계		단계별 정의	
기초연구	1	【기초실험】 기본원리발견	• 기초이론 정립 단계
	2	【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립	• 기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계
실험	3	【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증	• 실험실 환경에서 실험 또는 전산 시뮬레이션을 통해 기본 성능이 검증 될 수 있는 단계 • 개발하려는 부품 또는 시스템의 기본 설계도면을 확보하는 단계 등
	4	【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발	• 시험샘플을 제작하여 핵심성능에 대한 평가가 완료된 단계 • 3단계에서 도출된 다양한 결과 중에서 최적의 결과를 선택하는 단계 • 컴퓨터 모사가 가능한 경우 최적화를 완료하는 단계
시제품	5	【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증	• 확정된 공법/재료/시스템의 실험실 시제품 제작 및 성능 평가가 완료된 단계 • 개발 대상의 생산을 고려하여 설계하나 실제 제작한 시제품 샘플 은 1~수개 미만인 단계 • 경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심성능으로만 볼 때, 실제로 판 매가 될 수 있는 정도로 목표 성능을 달성한 단계
	6	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발	• 파일럿 규모(수개~양산규모의 1/10 정도)의 시제품 제작 및 평가가 완 료된 단계 • 파일럿 규모 생산품에 대해 생산량, 생산용량, 생산수율, 불량률 등 제시 • 파일럿 생산을 위한 대규모 투자가 동반되는 단계 • 생산기업이 수요기업 적용환경에 유사하게 자체 현장테스트를 실 시하여 목표성능을 만족시킨 단계 • 성능평가 결과에 대해 가능하면 공인인증 기관의 성적서 확보
실용화	7	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모	• 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계 • 장치 및 재료개발의 경우 수요업체에서 직접 파일럿 시제품을 현장평 가(성능뿐만 아니라 신뢰성에 대해서도 평가) • 가능하면 KOLAS 인증기관 등의 신뢰성 평가 결과 제출 등
	8	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증	• 표준화 및 인허가 취득 단계
양산	9	【사업화】 상용제품생산	• 본격적인 양산 및 사업화 단계

- 기초연구, 실험, 시제품, 실용화, 양산의 R&D 5단계와 9개의 세부단계로 분류하며, 기술유형(시스템, 공법·기법, 재료·자재, 소프트웨어, 장비·장치 등)에 따라 TRL 단계 정의가 다름

① 시스템 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<ul style="list-style-type: none"> 가장 낮은 기술개발단계로 과학적 연구결과가 응용연구개발로 전환되기 시작하는 단계 개발하고자 하는 공법/기법 관련 기술의 개념이 정립됨 관련 기술의 기본 속성에 관한 문헌연구나 물리적인 관찰을 토대로 한 실험적 연구 등이 포함됨.
TRL 2	기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<ul style="list-style-type: none"> 순수 아이디어에서 응용연구로 나아가는 단계 가능성이 확인되지 않은 공법/기법을 새로운 형태의 기술 개념으로 정의하고 제안함 연구의 대부분은 관련 기술을 응용하기 위한 보다 구체적인 문헌 및 자료 분석으로 이루어지며 TRL 1단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨
TRL 3	해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<ul style="list-style-type: none"> 관련기술의 연구개발이 본격적으로 활발하게 진행되는 단계 개념 증명 또는 가능성 확인을 위해 실험실 환경에서 단위 요소기술에 대한 기초기술을 확보하는 단계 기술의 개념 및 문헌 연구 수준을 넘어 관련 개념을 기술적으로 구현하기 위한 실험적 연구를 수행 중요한 하위 시스템을 분석하고 필요할 경우 물리적 실험을 보완하는데 모델링과 시뮬레이션을 사용
TRL 4	실험실 환경에서 구성 시스템의 성능평가 및 신뢰성 시험 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개념 증명 또는 타당성 확인을 위해 구성 시스템을 시험하여 성능을 검증하는 단계 최종 운영 시스템/환경과의 차이점을 고려하여 실험실 규모의 테스트 결과를 분석
TRL 5	유사환경에서 구성시스템의 성능평가 단계	<ul style="list-style-type: none"> 거의 모든 측면에서 최종 환경과 유사한 상태에서 개발 시스템의 기술 구성요소가 통합되고 기본적인 성능을 시험하는 단계 실험실 규모의 테스트 결과 및 실험실과 최종 운영 시스템/환경과의 차이점에 관한 분석을 포함 TRL 4단계, 즉 실험실 환경에 개발된 기술의 정확도와 신뢰도를 유사환경 하에서 향상시킴.
TRL 6	유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개발 기술이 실제 현장에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계 시스템 프로토타입은 실제 요구되는 모든 기능을 수행할 수 있어야 하며 적합한 신뢰도를 갖추었는지를 수요자 또는 고객의 실제사용 환경과 유사한 환경에서 검증 해당 시스템에 대한 특허 출원이 이루어짐
TRL 7	시범운영을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 제한된 실제 현장에서 시스템 프로토타입의 시연이 이루어짐 유사환경과 실험실 환경에서의 테스트 결과 차이점에 대한 분석이 수행되어야 하며, 시험결과가 최종 결과물에 어떤 의미를 갖는지에 대한 분석이 요구됨
TRL 8	시스템 완제품의 제한된 실제 환경에서 사용 가능성 증명단계	<ul style="list-style-type: none"> 해당 기술이 완제품의 형태로서 제한된 실제 환경 또는 예상되는 조건 하에서 작동하는 지를 입증되는 단계로 사실상의 기술개발 종료 단계 개발된 공법/기법이 실제 사용 현장에서 의도한 목적을 충실히 달성할 것인지를 시험하고, 검증
TRL 9	시스템 완제품의 실제 환경 사용적합성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨

② 공법·기법 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<ul style="list-style-type: none"> 가장 낮은 기술개발단계로 과학적 연구결과가 응용연구개발로 전환되기 시작하는 단계 개발하고자 하는 공법/기법 관련 기술의 개념이 정립됨 관련 기술의 기본 속성에 관한 문헌연구나 물리적인 관찰을 토대로 한 실험적 연구 등이 포함됨
TRL 2	기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<ul style="list-style-type: none"> 순수 아이디어에서 응용연구로 나아가는 단계 가능성이 확인되지 않은 공법/기법을 새로운 형태의 기술 개념으로 정의하고 제안함 연구의 대부분은 관련 기술을 응용하기 위한 보다 구체적인 문헌 및 자료 분석으로 이루어지며 TRL 1단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨
TRL 3	해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<ul style="list-style-type: none"> 관련기술의 연구개발이 본격적으로 활발하게 진행되는 단계 개념 증명 또는 가능성 확인을 위해 실험실 환경에서 단위 요소기술에 대한 기초기술을 확보하는 단계 기술의 개념 및 문헌 연구 수준을 넘어 관련 개념을 기술적으로 구현하기 위한 실험적 연구를 수행
TRL 4	실험실 환경에서 Bench scale 규모의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개념 증명 또는 타당성 확인을 위해 Bench scale (실험실용 크기, 소규모) 모델을 시험 제작하여 성능을 검증하는 단계 최종 운영 시스템/환경과의 차이점을 고려하여 실험실 규모의 테스트 결과를 분석
TRL 5	유사 환경에서 Bench scale 규모의 성능 평가 및 신뢰성을 시험 단계	<ul style="list-style-type: none"> 거의 모든 측면에서 최종 환경과 유사한 상태에서 기본적인 Bench scale 모델의 성능을 시험하는 단계 실험실 규모의 테스트 결과 및 실험실과 최종 운영 시스템/환경과의 차이점에 관한 분석을 포함 TRL 4단계, 즉 실험실 환경에 개발된 기술의 정확도와 신뢰도를 유사환경 하에서 향상시킴
TRL 6	유사 환경에서 공법/기법 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개발 기술이 실제 현장에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계 공법/기법 프로토타입 모델(예비실험을 위한 중간 규모의 모델)은 운영시스템에 요구되는 모든 기능을 수행할 수 있어야 하며, 적합한 신뢰도를 갖추었는지를 수요자 또는 고객의 실제사용 환경과 유사한 환경에서 검증 해당 공법/기법에 대한 특허 출원이 이루어짐.
TRL 7	공법/기법 프로토타입이 실제현장 사용가능성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 제한된 실제 현장에서 프로토타입이 실제 적용 및 사용 가능한지를 증명하는 단계 유사환경과 실험실 환경 테스트 결과의 차이점에 대한 분석이 수행되어야 하며, 시험결과가 최종 결과물에 어떤 의미를 갖는 지에 대한 분석이 요구됨
TRL 8	공법/기법 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 공법/기법이 실제 사용 현장에서 의도한 목적을 충실히 달성할 것인지를 시험하고, 검증
TRL 9	공법/기법 완제품이 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨.

③ 재료·자재 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<ul style="list-style-type: none"> 가장 낮은 기술개발단계로 과학적 연구결과가 응용연구개발로 전환되기 시작하는 단계 개발하고자 하는 공법/기법 관련 기술의 개념이 정립됨 관련 기술의 기본 속성에 관한 문헌연구나 물리적인 관찰을 토대로 한 실험적 연구 등이 포함됨
TRL 2	기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<ul style="list-style-type: none"> 순수 아이디어에서 응용연구로 나아가는 단계 가능성이 확인되지 않은 공법/기법을 새로운 형태의 기술 개념으로 정의하고 제안함 연구의 대부분은 관련 기술을 응용하기 위한 보다 구체적인 문헌 및 자료 분석으로 이루어지며 TRL 1단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨
TRL 3	해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능 및 특성 정립 단계	<ul style="list-style-type: none"> 관련기술의 연구개발이 본격적으로 활발하게 진행되는 단계 개념 증명 또는 가능성 확인을 위해 실험실 환경에서 단위 요소기술에 대한 기초기술을 확보하는 단계 기술의 개념 및 문헌 연구 수준을 넘어 관련 개념을 기술적으로 구현하기 위한 실험적 연구를 수행
TRL 4	실험실 환경에서 테스트용 샘플의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개념 증명 또는 타당성 확인을 위해 테스트용 샘플을 시험 제작하여 성능을 검증하는 단계 최종 운영 시스템/환경과의 차이점을 고려하여 실험실 규모의 테스트 결과를 분석
TRL 5	유사 환경에서 테스트용 샘플의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<ul style="list-style-type: none"> 거의 모든 측면에서 최종 환경과 유사한 상태에서 기본적인 테스트용 샘플의 성능을 시험하는 단계 실험실 규모의 테스트 결과 및 실험실과 최종 운영 시스템/환경과의 차이점에 관한 분석을 포함 TRL 4단계, 즉 실험실 환경에 개발된 기술의 정확도와 신뢰도를 유사환경 하에서 향상시킴
TRL 6	유사 환경에서 재료/자재 프로토타입 모델의 신뢰성 평가 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개발 기술이 실제 현장에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계 재료/자재의 프로토타입 모델은 운영시스템에 요구되는 모든 기능을 수행할 수 있어야 하며, 적합한 신뢰도를 갖추었는지를 수요자 또는 고객의 실제사용 환경과 유사한 환경에서 검증 해당 재료/자재에 대한 특허 출원이 이루어짐
TRL 7	재료/자재 프로토타입의 실제 현장 사용 가능성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 제한된 실제 현장에서 프로토타입이 실제 적용 및 사용 가능한지를 증명하는 단계 유사환경과 실험실 환경 테스트 결과의 차이점에 대한 분석이 수행되어야 하며, 시험결과가 최종 결과물에 어떤 의미를 갖는 지에 대한 분석이 요구 됨.
TRL 8	재료/자재 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 해당 기술이 완제품의 형태로서 제한된 실제 환경 또는 예상되는 조건 하에서 작동하는 지를 입증되는 단계로 사실상의 기술개발 종료 단계 개발 된 재료/자재의 인증항목(공인 인증기관에서 정하고 있는 시험항목) 및 환경성, 신뢰성, 양산성 측면에서 현장 적용시 반드시 충족해야 할 사항에 대하여 성능을 입증
TRL 9	재료/자재 완제품의 실제현장 사용 적합성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨.

④ 소프트웨어 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<ul style="list-style-type: none"> 가장 낮은 기술개발단계로 과학적 연구결과가 응용연구개발로 전환되기 시작하는 단계 신규 S/W 기술의 개념정립을 위해 수행되는 단계
TRL 2	기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<ul style="list-style-type: none"> 순수 아이디어에서 응용연구로 나아가는 단계 가능성이 확인되지 않은 S/W기술을 새로운 제품/서비스로 제공할 수 있도록 개념을 정의하고 제안함
TRL 3	분석적 연구를 통해 개념/아이디어의 실현 가능성을 입증 및 연구실에서 환경에서 알고리즘 단계	<ul style="list-style-type: none"> 관련기술의 연구개발이 본격적으로 활발하게 진행되는 단계 개념 증명 또는 가능성 확인을 위해 S/W 시스템의 구조 및 구성요소를 규명하고 구성요소들 간의 관계를 정의하며 연구실에서 알고리즘을 수행 기술의 개념 및 문헌 연구 수준을 넘어 관련 개념을 기술적으로 구현하기 위한 실험적 연구를 수행
TRL 4	테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈 실험 단계	<ul style="list-style-type: none"> 제한적으로 핵심적인 기능 또는 모듈에 대한 체계 구성이 완료된 상태 최종 운영 시스템/환경/데이터 등의 차이점을 고려하여 실험실 환경에서 개발된 기술 또는 모듈의 테스트 결과를 분석
TRL 5	테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈의 통합 가능성 검증 단계	<ul style="list-style-type: none"> 거의 모든 측면에서 최종 환경과 유사한 상태에서 기본적인 S/W의 성능을 시험하는 단계 핵심적인 기능 및 모듈을 중심으로 전체적인 S/W가 의도된 목적을 충족하는지 시험하고 검증 실험실 환경에 개발된 기술의 정확도와 신뢰도를 통합 성능 측면에서 향상시킴
TRL 6	S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계	<ul style="list-style-type: none"> 개발 기술이 실제 환경에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계 실제 운용환경과 유사한 환경에서 S/W 프로토타입 모델의 테스트를 완료 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하고 적합한 신뢰도를 갖추었는지를 수요자 또는 고객의 실제사용 환경과 유사한 환경에서 검증 해당 S/W에 대한 특허 출원이 이루어짐
TRL 7	실제 환경과 조건에서 통합된 S/W 프로토타입 모델의 적용 및 사용가능성 증명단계	<ul style="list-style-type: none"> 최종 S/W의 설계가 거의 완성되는 단계 완전히 통합된 S/W 프로토타입의 테스트가 성공적으로 수행됨 실제 환경에서 S/W의 알고리즘이 모두 수행 가능한 단계
TRL 8	S/W 완제품의 제한된 실제현장에서 사용가능성 증명단계	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 S/W가 실제 사용현장에서 목적을 달성하는 지 시험하고 검증하는 단계로 사실상 기술개발 종료 단계 S/W의 핵심기능을 중심으로 사용자의 관점에서 사용 가능한지를 점검하며, 실제 환경에서 발생하는 오류를 도출하고 이를 수정 베타테스트가 이 단계에 해당됨
TRL 9	S/W 완제품의 실제 현장에서 사용적합성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 S/W의 모든 기능과 성능, 사용 가능성을 사용자의 관점 및 실제 환경에서 검증하며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨

⑤ 장비·장치 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<ul style="list-style-type: none"> 가장 낮은 기술개발단계로 과학적 연구결과가 응용연구개발로 전환되기 시작하는 단계 개발하고자 하는 공법/기법 관련 기술의 개념이 정립됨 관련 기술의 기본 속성에 관한 문헌연구나 물리적인 관찰을 토대로 한 실험적 연구 등이 포함됨
TRL 2	기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<ul style="list-style-type: none"> 순수 아이디어에서 응용연구로 나아가는 단계 가능성이 확인되지 않은 공법/기법을 새로운 형태의 기술 개념으로 정의하고 제안함 연구의 대부분은 관련 기술을 응용하기 위한 보다 구체적인 문헌 및 자료 분석으로 이루어지며 TRL 1단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨
TRL 3	해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<ul style="list-style-type: none"> 관련기술의 연구개발이 본격적으로 활발하게 진행되는 단계 개념 증명 또는 가능성 확인을 위해 실험실 환경에서 단위 요소기술에 대한 기초기술을 확보하는 단계 기술의 개념 및 문헌 연구 수준을 넘어 관련 개념을 기술적으로 구현하기 위한 실험적 연구를 수행 필요할 경우 물리적 실험을 보완하는데 모델링과 시뮬레이션을 사용
TRL 4	실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시제품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개념 증명 또는 타당성 확인을 위해 생산 또는 가공방법을 고려하지 않은 실험실 규모의 시제품을 제작, 시험하여 성능을 검증하는 단계 최종 운영 시스템/환경과의 차이점을 고려하여 실험실 규모의 테스트 결과를 분석
TRL 5	유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시제품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<ul style="list-style-type: none"> 거의 모든 측면에서 최종 환경과 유사한 상태에서 장비/장치 모델 또는 시제품의 기본적인 성능을 시험하는 단계 실험실 규모의 테스트 결과, 실험실과 최종 운영 시스템/환경과의 차이점에 관한 분석을 포함 TRL 4단계, 즉 실험실 환경에 개발된 기술의 정확도와 신뢰도를 유사환경 하에서 향상시킴
TRL 6	유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개발 기술이 실제 현장에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계 장비/장치의 프로토타입 모델은 실제 환경에 요구되는 모든 기능을 수행할 수 있어야 하며 적합한 신뢰도를 갖추었는지를 수요자 또는 고객의 실제사용 환경과 유사한 환경에서 검증 해당 장비/장치에 대한 특허 출원이 이루어짐
TRL 7	장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 개발하는 장비/장치의 최종설계가 거의 완성되는 단계 실제현장에서 장비/장치 모델 또는 시제품의 시연이 이루어짐 유사환경과 실험실 환경 테스트 결과의 차이점에 대한 분석이 수행되어야 하며, 시험결과가 최종 결과물에 어떤 의미를 갖는지에 대한 분석이 요구됨
TRL 8	장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 해당 기술이 완제품의 형태로서 제한된 실제 환경 또는 예상되는 조건 하에서 작동하는 지를 입증되는 단계로 사실상의 기술개발 종료 단계
TRL 9	장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<ul style="list-style-type: none"> 기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨