

국토교통 R&D 유형별 기술성숙도

□ 국토교통 R&D 유형별 기술성숙도* (Technology Readiness Level, TRL) 정의

국가R&D사업 조사·분석 (국가과학기술위원회)		국토교통 R&D 사업			
단계	정의 (OECD)	TRL 단계		단계별 정의	
기초 연구	특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구	기초 연구	1	【기초실험】 기본원리발견	• 기초이론 정립 단계
			2	【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립	• 기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계
응용 연구	기초연구의 결과 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 아래 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구	실험	3	【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증	• 실험실 환경에서 실험 또는 전산 시뮬레이션을 통해 기본 성능이 검증될 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
개발 연구	기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적인 연구	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 샘플은 1~수개 미만인 단계 • 경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심성능으로만 볼 때, 실제로 판매가 될 수 있는 정도로 목표 성능을 달성한 단계
			6	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발	• 파일럿 규모(복수 개 ~ 양산규모의 1/10 정도)의 시제품 제작 및 평가가 완료된 단계 • 파일럿 규모 생산품에 대해 생산량, 생산용량, 생산수율, 불량률 등 제시 • 파일럿 생산을 위한 대규모 투자가 동반되는 단계 • 생산기업이 수요기업 적용환경에 유사하게 자체 현장테스트를 실시하여 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 현장 평가(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
-	실용화/기술이전사업	양산	9	【사업화】 상용제품생산	• 본격적인 양산 및 사업화 단계

* 기술성숙도(Technology Readiness Level, TRL) : 이종기술간 성숙도 비교를 위한 미터법

① 시스템 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	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	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 1 단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨.
TRL 3	해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	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	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	거의 모든 측면에서 최종 환경과 유사한 상태에서 개발 시스템의 기술 구성 요소가 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	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 이루어 짐.
TRL 7	시범운영을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계	제한된 실제 현장에서 시스템 프로토타입의 시연이 이루어 짐. 유사환경과 실험실 환경에서의 테스트 결과 차이점에 대한 분석이 수행되어야 하며, 시험결과가 최종 결과물에 어떤 의미를 갖는 지에 대한 분석이 요구 됨
TRL 8	시스템 완제품의 제한된 실제 환경에서 사용 가능성 증명단계	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 것 인지를 시험하고, 검증
TRL 9	시스템 완제품의 실제 환경 사용적합성 증명 단계	기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨.

② 장비·장치 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	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	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 1 단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨.
TRL 3	해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	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	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	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	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 출현이 이루어 짐.
TRL 7	장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	개발하는 장비/장치의 최종설계가 거의 완성되는 단계 실제현장에서 장비/장치 모델 또는 시제품의 시연이 이루어 짐. 유사환경과 실험실 환경 테스트 결과의 차이점에 대한 분석이 수행되어야 하며, 시험결과가 최종 결과물에 어떤 의미를 갖는 지에 대한 분석이 요구 됨.
TRL 8	장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	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 것 인지를 시험하고, 검증
TRL 9	장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨.

③ 공법·기법 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	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	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 1 단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨.
TRL 3	해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	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	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	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	개발 기술이 실제 현장에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계 공법/기법 프로토타입 모델(예비실험을 위한 중간 규모의 모델)은 운영 시스템에 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	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	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	공법/기법 완제품이 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨.

④ 재료·자재 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	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	순수 아이디어에서 응용연구로 나아가는 단계 가능성이 확인되지 않은 공법/기법을 새로운 형태의 기술 개념으로 정의하고 제한함. 연구의 대부분은 관련 기술을 응용하기 위한 보다 구체적인 문헌 및 자료 분석으로 이루어지며 TRL 1 단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨.
TRL 3	해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능 및 특성 정립 단계	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	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	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	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 실제 사용 환경과 유사한 환경에서 검증 해당 재료/자재에 대한 특허 출현이 이루어 짐.
TRL 7	재료/자재 프로토타입의 실제 현장 사용 가능성 증명 단계	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	해당 기술이 완제품의 형태로서 제한된 실제 환경 또는 예상되는 조건 하에서 작동하는 지를 입증되는 단계로 사실상의 기술개발 종료 단계 개발된 재료/자재의 인증항목(공인 인증기관에서 정하고 있는 시험항목) 및 환경성, 신뢰성, 양산성 측면에서 현장 적용 시 반드시 충족해야 할 사항에 대하여 성능을 입증
TRL 9	재료/자재 완제품의 실제현장 사용 적합성 증명 단계	기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨.

⑤ 소프트웨어 유형

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	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	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	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	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	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	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 출현이 이루어 짐.
TRL 7	실제 환경과 조건에서 통합된 S/W 프로토타입 모델의 적용 및 사용가능성 증명단계	최종 S/W의 설계가 거의 완성되는 단계 완전히 통합된 S/W 프로토타입의 테스트가 성공적으로 수행 됨. 실제 환경에서 S/W의 알고리즘이 모두 수행 가능한 단계
TRL 8	S/W 완제품의 제한 된 실제현장에서 사용가능성 증명단계	개발 된 S/W가 실제 사용현장에서 목적을 달성하는 지 시험하고 검증하는 단계로 사실상의 기술개발 종료 단계 S/W의 핵심기능을 중심으로 사용자의 관점에서 사용 가능한지를 점검하며, 실제 환경에서 발생하는 오류를 도출하고, 이를 수정 베타테스트가 이 단계에 해당 됨.
TRL 9	S/W 완제품의 실제 현장에서 사용적합성 증명 단계	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.