

표지 Page - 표지파일 별도 첨부

표지파일 양식에 맞춰서 제본 부탁드립니다.

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “건설교통 R&D 기술단계별 실용화 추진전략 수립에 관한 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2012. 06. 11

주관연구기관명 : 성균관대학교

주관연구책임자 : 김 예 상

연 구 원 : 김 성 아

연 구 원 보 : 최 준 호

연 구 원 보 : 안 병 호

연 구 원 보 : 최 재 홍

공동연구기관명 : 한미글로벌(주)

공동연구책임자 : 박 상 혁

연 구 원 : 전 영 준

연 구 원 : 이 경 원

연 구 원 : 박 진 웅

연 구 원 : 이 지 희

연 구 원 : 김 정 석

위탁연구기관명 : 세종대학교

위탁연구책임자 : 김 한 수

연 구 원 보 : 이 의 동

연 구 원 보 : 김 승 진

연 구 원 보 : 김 재 희

보고서 요약서

과제고유번호	11TRPI-C05 9464-01	해 당 단 계 연 구 기 간	8 개월	단 계 구 분	1차년도/ 1차년도
연 구 사 업 명	중 사 업 명	R&D 정책·인프라사업			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	건설교통 R&D 기술단계별 실용화 추진전략 수립에 관한 연구			
연 구 책 임 자	김 예 상	해당단계 참 여 연구원수	총 : 17명 내부 : 0명 외부 : 0명	해당단계 연 구 비	정부 : 150,000 천원 기업 : 0 천원 계 : 150,000 천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 17명 내부 : 0명 외부 : 0명	총연구비	정부 : 150,000 천원 기업 : 0 천원 계 : 150,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	성균관대학교 산학협력단/ 한미글로벌주식회사		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 세종대학교산학협력단		연구책임자 :		
요약				보고서면수	320
<p>본 연구에서는 TRL 및 TRA를 국내 국가 건설교통 R&D사업의 실용화 평가방법으로 도입하는 방안을 제안</p> <p>1. 건설교통 R&D 사업의 특성을 반영하여, 건설교통 R&D 사업 유형별 TRL 9단계를 재정의 함</p> <p>2. TRL 적용을 위한 R&D 참여주체들의 역할을 정의하였으며, ‘기술성숙도 기반의 건설교통 R&D 평가 지침서’를 제시</p> <p>3. 이를 통해 건설교통 R&D 기술 유형과 연구진행과정별로 성과관리 전략을 제시하고, 이를 위한 핵심 연구인력의 효율적 활용 방안을 제시</p> <p>4. 또한, 건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화의 현황과 문제점 진단을 통하여 지원체계의 다섯 가지 전략을 제시 함</p>					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	R&D, 기술성숙도(TRL), 성과관리, 기술이전, 실용화			
	영 어	Research and Development, Technology Readiness Level, Performance Management, Technology Transfer, commercialization			

요 약 문

I . 제목

“건설교통 R&D 기술단계별 실용화 추진전략 수립에 관한 연구”

II . 연구개발의 목적 및 필요성

최근 세계적으로 지식기반 경쟁시대가 도래함에 따라서 지식과 기술혁신이 국가경쟁력과 경제성장의 핵심요소로 부상하고 있다. 미국·영국 등 주요 선진국은 R&D 투자를 확대하고, R&D 성과의 활용을 촉진하기 위해 체계적이며, 전략적인 성과 확산 정책을 추진하고 있다.

우리나라 정부도 신 성장동력 창출을 목표로 매년 R&D 예산을 크게 확대하고 있다. 그러나 연구성과의 양적 수준 증가에도 불구하고, R&D 투자의 효율성은 OECD 평균수준으로 미국·일본 등 선진국보다 낮은 것이 현실이다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해, 정부는 「국가연구개발사업 등의 성과평가 및 성과관리에 관한 법률」을 제정하고 5개년 단위의 「연구성과 관리·활용 기본계획」을 수립하여, 성과중심의 R&D 평가를 통한 연구성과의 확산 및 실용화를 위해 노력하고 있다. 이러한 국내외 환경변화에 따라서, 건설교통 R&D 사업의 실용화 향상을 위한 객관적이고, 체계적인 성과관리 시스템의 필요성이 대두되고 있다.

건설교통 R&D사업은 공공기술 위주의 R&D로서, 목적·수요자·성격·주체 측면에서 타 분야의 R&D와 큰 차이가 있음에도 불구하고, 이러한 특성이 충분히 반영된 실용화 전략의 부재로 인해, R&D 성과물이 실용화되어 현장에 적용되는 건수는 점점 줄어들고 있는 추세이다. 그러므로 현재의 성과관리 체계의 문제를 해결하기 위해서는 개별 R&D 사업의 특성에 따른 연구단계별 평가체계의 확립이 필요하며, 이를 기반으로 하는 실용화 향상 방안이 수립되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 건설교통 R&D 사업의 단계별 성과관리 체계 확립을 위해, 현재 미 항공우주국(NASA)과 미국방부(DoD), 미에너지부(DoE) 등에서 활용하고 있는 기술성숙도(Technology Readiness Level: 이하 TRL) 및 기술성숙도 평가(Technology Readiness Assessment: 이하 TRA) 개념을 적용한 평가모델을 제시하고자 하며, 이를 바탕으로 건설교통 R&D 사업의 실용화 향상 방안을 모색하는데 그 목적이 있다.

III 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 건설교통 R&D 사업에 TRL 및 TRA를 기반으로 하는 평가 모델 수립 방안을 제시하고, 기술확산의 시스템과 프로세스의 혁신을 통한 건설교통 R&D 사업의 실용화 향상을 위한 것으로 연구의 범위와 방법은 다음과 같다.

- (1) 현행 건설교통 R&D 평가 체계를 조사하여, R&D 사업의 실용화를 저해하는 요인을 분석하였다.
- (2) TRL·TRA의 이론적 배경과 기본개념을 연구하고, TRL의 해외 적용사례를 분석하여 각 기관별 TRL 활용 특성을 정의 하였다.
- (3) 건설교통 R&D 사업의 유형에 따라 재정의 된, 9단계의 TRL 지표를 도출하여, 건설교통 R&D 사업에 특성을 반영한 ‘건설교통 R&D TRA 지침서’를 제시하였다.
- (4) 건설교통 R&D의 성과관리 현 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위한 TRL을 활용한 전략을 제시하고, 기술이전 및 기술사업화를 활성화하기 위한 전략을 제시하였다.
- (5) 본 연구에서 대상으로 하는 R&D사업은 국가 건설교통 R&D사업으로 한정하며, 건설교통 R&D 종합관리기관(이하 전문기관)이 활용할 수 있는 모델 제시를 목적으로 한다.

IV. 연구개발 결과

본 연구에서는 TRL 및 TRA를 국내 국가 건설교통 R&D사업의 실용화 평가방법으로 도입하는 방안을 제안하였다.

건설교통 R&D 사업의 특성을 반영하여, 건설교통 R&D 사업 유형별 TRL 9단계를 재정의하고, TRL 적용을 위한 R&D 참여주체들의 역할을 정의하였으며, ‘기술성숙도 기반의 건설교통 R&D 평가 지침서’를 제시하였다.

이를 통해 건설교통 R&D 기술 유형과 연구진행과정별로 성과관리 전략을 제시하고, 이를 위한 핵심 연구인력의 효율적 활용 방안을 제시하였다. 또한, 건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화의 현황과 문제점 진단을 통하여 지원체계의 다섯 가지 전략을 제시하였다.

각 단계 별 연구 목표와 연구내용은 다음과 같다.

- (1) [Module 1] R&D 성과물의 기술성숙도 관리체계 적용 현황 분석
- (2) [Module 2] 건설교통 R&D 사업 기술성숙도 평가 적용방안 제안
- (3) [Module 3] 건설교통 R&D 기술 실용화를 위한 성과관리 전략 수립
- (4) [Module 4] 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화 지원체계 제안

연구목표	주요 연구내용
<p>[Module 1]</p> <p>R&D 성과물의 기술성숙도 관리체계 적용 현황</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술성숙도(TRL)의 정의 및 개념 <ul style="list-style-type: none"> － TRL의 정의 및 목적 연구 － TRL의 특징 파악 ○ TRL 적용 프로세스 <ul style="list-style-type: none"> － 기술성숙도 평가(TRA)의 기본 개념 및 목적 － TRA 프로세스 분석 ○ 국내·외 적용사례 조사 및 시사점 도출 <ul style="list-style-type: none"> － 국외 사례 (미국국방성, NCHRP) － 국내 사례 (국방연구개발분야, 부품소재기술개발사업 분야)
<p>[Module 2]</p> <p>건설·교통 R&D사업 기술성숙도 평가 적용방안 제안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건설·교통 R&D사업 TRL/TRA 적용 기반 구축 <ul style="list-style-type: none"> － 건설교통 R&D사업 유형(공법/기법, 재료/자재, 소프트웨어, 장비/장치, 시스템) 분류 － 유형별 TRL 정의 및 체크리스트 제시 － 건설교통 R&D의 주요 분기점(Milestone) 설정 ○ TRL, TRA에 의한 건설교통 R&D 관리체계 및 프로세스 구축 ○ TRA 적용을 위한 건설교통 R&D 프로세스 제시 <ul style="list-style-type: none"> － 사업 참여 주체들의 각 주체별, 단계별 역할 구분 － 기타 평가방법 및 미성숙 기술에 대한 조치방안 제시 ○ Case Study를 통한 추가 검토사항 제시 <ul style="list-style-type: none"> － 종료과제 대상 TRA 적용 － 건설교통 R&D 대상 TRA 적용 시, 추가 고려사항 도출
<p>[Module 3]</p> <p>건설교통 R&D 기술 실용화를 위한 성과관리 전략 수립</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건설교통 R&D의 성과관리 기본 구조 파악 ○ 건설교통 R&D의 연구 단계별 성과관리 현황 분석 <ul style="list-style-type: none"> － 건설교통기술평가원 성과관리 매뉴얼 사례 － 기획단계, 운영단계, 사후단계별 성과관리 현황 파악 ○ 기존 건설교통 R&D 성과관리 문제점 진단 <ul style="list-style-type: none"> － 기획단계, 운영단계, 사후단계별 성과관리 문제점 진단 ○ TRL 기반 성과관리 전략 제시 <ul style="list-style-type: none"> － CTE 기술 유형별 분류에 따른 성과관리 － 사전관리, 중간관리, 사후관리 단계의 성과관리 전략 제시 ○ 올바른 성과관리를 위한 핵심 연구인력의 효율적 활용방안 제시
<p>[Module 4]</p> <p>건설교통 R&D 기술 사업화 지원체계 제안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화 현황 정리 ○ 국내 건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화 문제점 파악 <ul style="list-style-type: none"> － 시장실패와 시스템 실패 － 예산, 구조, 법률상의 문제 등 ○ 건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화 문제점 해결을 위한 지원체계 5가지 전략 제시

V. 연구개발 결과의 의의

(1) 건설교통 R&D 사업 기술성숙도평가 기반 R&D 평가 모델 수립

본 연구에서는 국가 건설교통 R&D 사업의 실용화 향상을 위한 방법으로, TRA 기반의 R&D 평가모델을 수립하였다.

건설교통 R&D 사업을 5가지 유형으로 분류하고, 각각의 유형별 TRL 9단계를 정의하였으며, 건설교통 R&D 사업의 성패를 좌우하는 핵심요소기술을 하드웨어, 소프트웨어, 시스템으로 분류하여 각각의 유형에 따르는 TRL 체크리스트를 작성하였다. 또한 건설교통 R&D 사업에의 TRL 및 TRA 개념 적용의 적정성 여부를 판단하기 위해, 기 종료 된, 연구단 규모의 건설교통 R&D 사업을 대상으로 Case study를 진행한 후, 건설교통 R&D 사업의 특성을 반영한 ‘기술성숙도 기반의 건설교통 R&D 평가 지침서’를 작성하였다. 또한, 건설교통 R&D의 핵심요소기술을 기술유형별로 분류하였으며, 이에 대한 진행단계를 3가지로 나누어 각 단계별 성과관리 전략을 제시하였으며, 국내 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화의 문제점 해결 방안으로 5가지 전략을 제시하였다.

건설교통 R&D 사업에 TRL 및 TRA 개념 적용하는 것은 실용화 수준과 거리가 먼 성과지표에 의해 평가가 수행되던 기존 R&D 사업 평가체계의 패러다임을 본질적으로 변화시키고 실용화 달성율을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

I . Title

“The strategy for Technology-commercialization by TRL : Focused on R&D about Construction and Transportation parts”

II . Purpose and Necessity

Recently, knowledge and technology innovation is critical for economy improvement because knowledge based competition is world trend nowadays. Main developed countries such as the U.S and the U.K are pushing ahead strategic result diffusion policies to enlarge R&D investment and use of R&D results.

Korea, too, is enlarging R&D budget every year but the efficiency is OECD average and lower than main developed countries such as the U.S or Japan. To solve this problems, Korean government enacted 「National R&D performance estimation and management act」 and R&D performance usage plan, which is 5-year period. For this environment change, objective and systematic performance management system is necessary for commercialization of construction and transportation R&D business.

Construction and transportation R&D is different with other industry R&D in purpose, consumer, characteristics because of its public biased technology. R&D commercialization and field application is decreasing because of lack of strategy. Therefore, estimation system of research stage according to wach R&D characteristics to solve performance management problems.

Thus, this research suggests the estimation model which is applied TRL(Technology Readiness Level) and TRA(Technology Readiness Assessment), NASA, DoD and DoE are using for establishment of performance management system. And this research finds the way of construction and transportation R&D commercialization improvement.

III . Contents and Scope

This research suggests construction and transportation R&D estimation model based on TRL and TRA. This research aims the improvement of construction and

transportation R&D commercialization through innovation of technology diffusion system and process.

- (1) Present construction and transportation R&D estimation system is surveyed and commercialization obstacles are analyzed.
- (2) TRL and TRA background and basic concept are researched. TRL usage characteristics are defined through the analysis of TRL overseas use examples.
- (3) 9 TRLs according to construction and transportation R&D categories are redefined and construction and transportation R&D TRA manual is suggested which applied construction and transportation R&D characteristics.
- (4) Problems of construction and transportation R&D performance management are analyzed and TRL based strategies are suggested to solve the problems. The strategies, vitalize technology transfer and commercialization are suggested.
- (5) Objects of this research are limited only in national construction and transportation R&D businesses. This research aims the suggestion of model which can be used in construction and transportation R&D management organization.

IV. Results

This research suggested TRL and TRA as commercialization estimation ways of construction and transportation R&D. 9 TRL are redefined for each construction and transportation R&D category and characteristics. Roles of R&D participants are defined to apply TRL. 'The guide of construction and transportation R&D estimation based on TRL' is suggested.

Performance management strategies are suggested for each construction and transportation R&D technologies categories research stages. Five strategies are suggested through the analysis of technology transfer and commercialization of construction and transportation R&D status and problems

Objectives and contents for each research modules are below

- (1) [Module 1] The analysis of construction and transportation R&D status and performance management system.
- (2) [Module 2] The suggestion of construction and transportation R&D TRA application way
- (3) [Module 3] The establishment of performance management for construction and transportation R&D technology commercialization
- (4) [Module 4] The suggestion support system of construction and transportation R&D technology transfer and commercialization

V. Meanings and Effects

In this research, the TRA based R&D estimation model is established as the way of construction and transportation R&D commercialization improvement.

Construction and transportation R&D was categorized in 5 types and 9 TRLs were defined for each type. The critical technologies which determine success or failure of construction and transportation R&D were categorized in hardware, software and system, and TRL checklist was made for each types. The case study was progressed for finished construction and transportation R&D to analyze validity of TRL and TRA application. And 'The guide of construction and transportation R&D estimation based on TRL' is suggested. The critical technologies of construction and transportation R&D were categorized and performance management strategies were suggested in 3 stages of research process. Five strategies to solve the problems of construction and transportation R&D technology transfer and commercialization.

TRL and TRA application in construction and transportation R&D will be a enormous innovation for present R&D estimation which was conducted with commercializationless performance indicators. And commercialization achievement is expected to be increased.

Contents

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Background and necessity	1
Section 2. Purpose and direction	3
Section 3. Scope and methodology	4
 Chapter 2. Performance management of R&D based on TRL	 7
Section 1. Definition and concepts of TRL	8
1. Definition and purpose of TRL	8
2. History of TRL	11
3. Characteristics of TRL	11
4. Other RLs(Readiness Levels)	14
Section 2. TRL application process	18
1. Technology Readiness Assessment(TRA)	18
2. TRA process	20
Section 3. TRL application - internal & overseas examples	29
1. TRL of Department of Defense(DoD) in the U.S.	29
2. TRL of NCHRP(the National Cooperative Highway Research Program)	32
3. TRL of defense R&D supervised by DAPA(Defense Acquisition Program Administration)	36
4. TRL of material technology R&D supervised by MKE	45
5. Other TRL examples	53
Section 4. Implications	54
 Chapter 3. Performance management and commercialization of R&D based on TRL	 59
Section 1. Necessity of TRL in construction and transportation R&D	59
1. Evaluation system of construction and transportation R&D	59
2. Necessity of TRL in construction and transportation R&D in Aspect of commercialization	62
Section 2. TRA in construction and transportation R&D	64
1. Pre-requisite of TRA in construction and transportation R&D	64
2. TRA application setting in construction and transportation R&D	67
3. TRL definition by categories of construction and transportation R&D ..	74
4. TRA management process in construction and transportation R&D	91

Section 3. Performance management in construction and transportation R&D Based on TRL	102
1. Planning stage	102
2. Operational stage	106
3. Phase of TRL in construction and transportation R&D	111
Section 4. Case study – pilot application on finished project	117
1. Selection of the target project	117
2. TRA of the target project	118
3. Review and implications	125
 Chapter 4. Establishment of performance management strategy in construction and transportation R&D technologies	127
Section 1. Introduction of performance management in construction and transportation R&D	127
1. Concept structure of performance management in construction and transportation R&D	127
2. Performance management steps in construction and transportation R&D	128
Section 2. Problems of existing performance management in construction and transportation R&D	132
1. Problems of performance management in construction and transportation R&D at planning level	132
2. Problems of performance management in construction and transportation R&D at operation level	132
3. Problems of performance management in construction and transportation R&D at post level	133
Section 3. TRL based performance management strategies by construction and transportation R&D categories	135
1. TRL based performance management strategies at preliminary management level	137
2. TRL based performance management strategies at interim management level	138
3. TRL based performance management strategies at post management level	137
4. Application of Gate Review	142
5. Performance estimation criteria of TRL based construction and transportation R&D	148
6. The expected effects of the TRL according to the applicable performance management strategy	149

Section 4. Effective use of core R&D human resources	151
1. Necessity of effective use of core R&D human resources	151
2. Cultivation of core R&D human resources and problems	151
3. Effective management of core R&D human resources	160
4. Implications	167
 Chapter 5. Technology transfer and commercialization in construction and transportation R&D	169
Section 1. Internal status of Technology transfer and commercialization in construction and transportation R&D	169
1. Definition of technology commercialization	169
2. Internal status of Technology transfer and commercialization in construction and transportation R&D	172
Section 2. Problems in existing technology transfer and commercialization in construction and transportation R&D	176
1. Fail Factors for technology commercialization	176
2. Problems in existing technology transfer and commercialization	178
Section 3. Support system proposal of technology commercialization in construction and transportation R&D	181
1. Support on market enter of technology product	189
2. Technology diffusion system and process innovation	190
3. Smooth supply of technology finance	192
4. Establishment of technology value assessment system	194
5. Development and discovery of highly profitable technology	197
 Chapter 6. Conclusion	199
 Chapter 7. References	204

[Appendix]

- [Appendix I] Construction and transportation R&D TRA guide
- [Appendix II] Case Study – TRL survey result
- [Appendix III] NASA TRL checklist

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경 및 필요성	1
제2절 연구의 목적 및 추진방향	3
제3절 연구의 범위 및 방법	4
제2장 R&D 성과물의 기술성숙도 관리체계	7
제1절 기술성숙도(TRL)의 정의 및 개념	8
1. TRL의 정의 및 목적	8
2. TRL의 역사	11
3. TRL의 특징	11
4. 기타 성숙도(RL : Readiness Level)의 개념	14
제2절 TRL 적용 프로세스	18
1. 기술성숙도 평가(Technology Readiness Assessment : TRA)	18
2. TRA 프로세스	20
제3절 국내·외 TRL 적용 사례	29
1. 미국 국방부(DoD)의 TRL	29
2. NCHRP의 TRL 적용	32
3. 방위사업청 주관 ‘국방연구개발’ 분야의 TRL	36
4. 지식경제부 주관 ‘부품소재기술개발사업’ 분야의 TRL	45
5. 기타 분야 TRL 적용 사례	53
제4절 TRL 적용 사례 연구 관련 시사점	54
제3장 건설교통 R&D 사업의 기술성숙도(TRL) 기반 평가체계	59
제1절 TRL 기반의 평가체계 도입의 필요성	59
1. 건설교통 R&D 사업의 현행 평가 체계	59
2. 실용화 관점에서 본 TRL 기반의 평가체계 도입의 필요성	62
제2절 건설교통 R&D 사업 기술성숙도 평가 적용방안	64
1. 건설교통 R&D 사업에의 TRA 적용을 위한 기본 개념 및 방향	64
2. 건설교통 R&D 사업에의 TRA 적용 방침	67
3. 건설교통 R&D 사업 유형별 기술성숙도의 정의	74
4. 건설교통 R&D 사업 TRA 수행 주요 관리 체계	91
제3절 TRL 기반의 건설교통 R&D 평가 모델	102
1. 기획단계	102
2. 운영단계	106

3. 건설교통 R&D 분야 전문기관의 단계별 TRL 적용 방안	111
제4절 CASE STUDY (종료 Project 대상 시범 적용)	117
1. 대상 Project 선정	117
2. 대상 Project 기술성숙도 평가	118
3. 결과 검토 및 시사점	125
제4장 건설교통 R&D 기술의 실용화를 위한 성과관리 전략수립	127
제1절 건설교통 R&D 성과관리의 개요	127
1. 건설교통 R&D 성과 관리의 기본 구조	127
2. 건설교통 R&D의 각 단계별 성과 관리	128
제2절 기존 건설교통 R&D 성과관리의 문제점	132
1. 기획단계에서의 건설교통 R&D 성과 관리제도의 문제점	132
2. 운영단계에서의 건설교통 R&D 성과 관리제도의 문제점	132
3. 사후단계에서의 건설교통 R&D 성과 관리제도의 문제점	133
제3절 건설교통 R&D TRL 기반의 성과관리 전략	135
1. 사전관리단계에서의 TRL 기반의 성과관리 전략	135
2. 중간관리단계에서의 TRL 기반의 성과관리 전략	138
3. 사후관리단계에서의 TRL 기반의 성과관리 전략	140
4. Gateway Review의 활용	142
5. TRL 기반의 건설교통 R&D 성과지표	148
6. TRL 적용에 따른 성과관리 전략의 기대효과	149
제4절 핵심 연구인력의 효율적 활용방안	151
1. 핵심 연구개발인력 효율적 활용의 필요성	151
2. 핵심 연구인력 육성 요소 및 문제점	151
3. 효율적인 핵심 연구인력 관리방안 제안	160
4. 핵심 연구인력의 효율적인 활용에 따른 기대효과	167
제5장 건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화 체계	169
제1절 국내 R&D 기술이전 및 기술사업화 현황	169
1. 기술사업화의 정의	169
2. 국내 R&D 기술이전 및 기술사업화 현황	172
제2절 기존 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화 체계의 문제점	176
1. 일반적인 기술사업화의 실패요인	176
2. 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화 체계의 문제점	178
제3절 TRL기반의 건설교통 R&D 기술이전 및 사업화 지원체계 구축방안	181
1. 건설기술상품의 시장진출 지원	189
2. 기술 확산 시스템 및 프로세스 혁신	190

3. 건설기술금융의 원활한 공급	192
4. 기술가치평가 시스템의 구축	194
5. 사업성 높은 기술의 개발 및 발굴	197
제6장 결론	199
제7장 참고 문헌	204

[별 첨]

- [별첨 Ⅰ] 기술성숙도 기반의 건설교통 R&D 평가 지침
- [별첨 Ⅱ] CASE STUDY 기술성숙도 설문결과
- [별첨 Ⅲ] NASA TRL Checklist

표 목차

표 1-1. 건설교통 분야 R&D사업 투자실적	1
표 1-2. 건설R&D사업별 정부투자 연구비 대비 비용절감액(직접효과)	2
표 1-3. 연구의 목표 및 주요 연구내용	4
표 2-1. NASA의 TRL 9단계 정의 및 세부내용	10
표 2-2. 방위사업청의 MRL 10단계 정의 및 세부내용	15
표 2-3. IRL의 9단계 정의	16
표 2-4. SRL의 단계 정의 및 내용	17
표 2-5. PRL의 9단계 정의	17
표 2-6. TRL 체계 구축을 위한 카테고리의 구성과 TRL 단계 정의의 개념	23
표 2-7. CTE 도출을 위한 체크리스트	25
표 2-8. TRL 평가 체크리스트 예	26
표 2-9. 미국 국방부의 TRL 관련 규정 : DoD Directive 5000.01	29
표 2-10. DoD의 TRL 9단계 정의 및 세부내용	30
표 2-11. DoD의 TRA 관련 주체 및 역할	31
표 2-12. ‘급속 내진 교량시공 공법’에 대한 기술성숙도 정의	33
표 2-13. ‘급속 내진 교량시공 공법’에 대한 기술성숙도 평가표	34
표 2-14. 바 커플러(bar coupler)’ 접합 방법의 TRL 평가결과	34
표 2-15. TRL 및 TRA 관련 방위사업관리규정 (2010. 3. 30)	37
표 2-16. 국방기술품질원의 TRL 9단계 정의 및 세부내용	38
표 2-17. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제의 WBS를 통한 CTE 식별	40
표 2-18. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제의 CTE 체크리스트	40
표 2-19. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제 최종 CTE 선정결과	41
표 2-20. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제 CTE 레벨 평가표	42
표 2-21. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제 전문가별 TRL 평가표	42
표 2-22. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제 TRL 결과 종합표	42
표 2-23. 과제 제안서의 TRL 관련 필수 제시 항목	43
표 2-24. WBS 레벨 설정 및 CTE 관련 정보	44
표 2-25. 개별 CTE의 TRL 판단 사유 및 근거	44
표 2-26. 부품소재 사업의 산업분야별 TRL 정의	46
표 2-27. 기술기획위원회 세부 일정	47
표 2-28. TRL 자체평가 서식	48
표 2-29. 부품소재사업분야 TRL 평가서식	49
표 2-30. 기술분야별 TRL 현황 중 금속분야 사례	50
표 2-31. 기술분야별 용어사용의 통일	50

표 2-32. 연구개발특구 육성사업 전략 R&D 사업의 TRL 9단계 정의	51
표 2-33. 국가과학기술위원회의 지식경제 R&D 사업 TRL 9단계 정의	52
표 2-34. 서울시정개발연구원의 R&D 사업 기술성 분석을 위한 TRL 적용	53
표 2-35. 의약 및 바이오분야의 TRL 9단계 정의	53
표 2-36. 방위사업청의 TRL과 지식경제부의 TRL의 비교	55
표 3-1. 사업단규모 R&D 세세부과제 단계평가 항목 사례	60
표 3-2. 정량평가의 목표달성도 평가표	61
표 3-3. 단계평가 등급 결정 기준	61
표 3-4. 정성평가 기준(5등급 척도) 사례	62
표 3-5. 연구개발단계의 구분	69
표 3-6. R&D 사업 추진 방법 및 TRA 적용 방침 개요	72
표 3-7. 건설교통 R&D 유형 분류	76
표 3-8. 건설교통 R&D 프로세스의 Key activity	79
표 3-9. 건설교통 R&D 공법/기법 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명	80
표 3-10. 건설교통 R&D 재료/자재 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명	81
표 3-11. 건설교통 R&D 소프트웨어 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명	82
표 3-12. 건설교통 R&D 장비/장치 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명	83
표 3-13. 건설교통 R&D 시스템 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명	84
표 3-14. TRL 체크리스트 예시	86
표 3-15. TRA 적용 R&D 사업 유형별 관련주체의 역할	92
표 3-16. 건설교통 R&D 사업의 단계별 목표 TRL 기준	95
표 3-17. CTE 체크리스트	97
표 3-18. 기초평가 실시	98
표 3-19. 장비/장치 유형 건설교통 R&D 사업 TRL 8단계 체크리스트	99
표 3-20. 장비/장치 유형 건설교통 R&D 사업 TRL 7단계 체크리스트	99
표 3-21. 후보 CTE선정 및 평가표 예시	104
표 3-22. 프레임워크 설정 및 TRA 마일스톤 계획	105
표 3-23. TRL 및 TRA 수행계획서 평가 기준	105
표 3-24. Gateway Review 1 체크리스트	106
표 3-25. 연구기관의 TRL 자체 평가표 예시	107
표 3-26. 마일스톤 TRL 평가표 예시	108
표 3-27. CTE 적합 판정 비율에 따른 판정 예시	108
표 3-28. Performance Gap 분석을 통한 보완계획서 필수 포함 내용	109
표 3-29. 평가위원회의 TRL 최종 평가 판단 기준	110
표 3-30. Gateway Review 2	110
표 3-31. 자유공모과제 단기적 적용 방안	114
표 3-32. 종료과제 단기적 적용 방안	115

표 3-33. 연구단/사업단 과제 중장기적 적용 방안	116
표 3-34. CTE 별 기초평가 결과	120
표 3-35. TRL 상세평가 결과 예시	121
표 3-36. TRL 기초평가와 상세평가 비교	123
표 4-1. 건설교통 R&D 연구 단계별 문제점	134
표 4-2. 각 연구진행단계별 성과관리 목적	137
표 4-3. 연구주체 간 성과관리 역할 및 적용 방안	141
표 4-4. PGA에 따른 보완계획	144
표 4-5. 각 연구진행단계별 성과관리 역할 및 업무 Flow Chart	145
표 4-6. Gateway Review 1	146
표 4-7. Gateway Review 2	147
표 4-8. 민간연구기관 유형	156
표 5-1. 기술이전의 다양한 정의	170
표 5-2. 기술이전촉진법 상에 정의된 공공연구기관 현황	172
표 5-3. 누적/신규 기술보유 현황(단위: 건)	173
표 5-4. 기술사업화의 유형과 주요 내용	175
표 5-5. 성과운영확산센터의 기술사업성 분석	187
표 5-6. 건설교통 R&D 기술사업화 지원 전략	189

그림 목차

그림 1-1. 우리나라 연구개발비 및 GDP 대비 연구개발비 비중 추이	1
그림 1-2. 건설R&D사업의 현장적용 건수 추이 (1994년~2007년 기준)	3
그림 1-3. 연구 흐름도	6
그림 2-1. 미국 의회 예산회계국의 주요 국가 R&D 사업 분석 결과	7
그림 2-2. TRL의 9단계 정의	8
그림 2-3. 국내·외 TRL 적용 연혁	11
그림 2-4. 기술성숙도의 의미	12
그림 2-5. TRL의 적용 범위	13
그림 3-6. 제품 개발의 Bottom-Up 방식과 Top-Down 방식의 비교	13
그림 2-7. TRL과 기타 성숙도 평가 지표	14
그림 2-8. SRL 개념도	16
그림 2-9. TRA 목적의 개념	19
그림 2-10. DoD의 TRA 프로세스	20
그림 2-11. TRL의 적용 프로세스	20
그림 2-12. TRA 프레임워크 및 마일스톤	21
그림 2-13. DoD의 TRL 단계 정의 예	23
그림 2-14. CTE 도출 프로세스	24
그림 2-15. TRL Decision Process Flowchart	27
그림 2-16. DoD의 TRA 프로세스	31
그림 2-17. 무기체계 획득 프레임워크에 따른 TRA 수행 시점	36
그림 2-18. 방위사업청의 TRA 수행 절차	39
그림 2-19. 산업기술 분야별 핵심부품소재	46
그림 2-20. TRL 평가 절차	47
그림 2-21. 방위사업청 및 DoD의 TRL과 지식경제부의 TRL의 위계 비교	56
그림 2-22. 국방분야의 TRL 정의의 3요소(결과물, 환경, 구현)에 의한 TRL 평가지표	57
그림 2-23. 부품소재개발사업 분야의 4W 1H에 의한 TRL정의	57
그림 3-1. 건설교통 R&D 사업 평가 유형	59
그림 3-2. 단계평가 절차	60
그림 3-3. TRA 개념 정의	65
그림 3-4. 건설교통 R&D 사업 체계	67
그림 3-5. 건설교통 R&D 사업 TRA 수행 시점	95
그림 3-6. 건설교통 R&D 사업 마일스톤 및 기준 TRL	95
그림 3-7. TRL 기반의 건설교통 R&D 평가 모델	102
그림 3-8. Performance Gap 분석 예시	109

그림 3-9. NASA의 비행기 제트엔진 소음 저감장치 R&D 사업 TRL 적용 사례	111
그림 3-10. 연구개발 프로젝트의 핵심기술	118
그림 3-11. Case Study 연구과제의 WBS의 구성 및 최종 CTE	119
그림 3-12. Real-time Color coded readiness level	124
그림 4-1. 건설교통 R&D 성과관리 구조	127
그림 4-2. 국토해양부의 R&D 성과관리 개념	128
그림 4-3. 기획단계에서의 성과 관리 및 분석 프로세스(국토부)	129
그림 4-4. 운영단계에서의 성과관리 수행체계(국토부)	130
그림 4-5. 사후단계에서의 성과확산 절차(국토부)	131
그림 4-6. 성과관리 체계의 문제점에 대한 기관별 응답 비중	133
그림 4-7. TRL을 활용한 건설교통 R&D 성과관리 프로세스	136
그림 4-8. 연구 진행의 3단계	137
그림 4-9. TRL기반 운영단계에서의 성과관리 프로세스 변화	139
그림 4-10. 건설교통 R&D 성과관리를 위한 기술유형분류 프로세스	142
그림 4-11. PGA(Performance Gap Analysis)를 통한 성과보완	144
그림 4-12. 건설교통 R&D 성과관리 프로세스	146
그림 4-13. 건설교통 R&D의 성과지표 구성체계	148
그림 4-14. TRL 기반 성과관리에 따른 성과지표의 변화	149
그림 4-15. 건설교통 R&D 핵심 연구인력 육성 요소	152
그림 4-16. 건설교통 R&D 예산 조정 단계	161
그림 4-17. 실용화에 대한 연구자와 관리자의 인식의 갭(GAP)	162
그림 4-18. 건설교통 R&D 생애주기에 따른 전문인력 활용	163
그림 4-19. 건설교통 R&D대학 특성화 추진 목표	164
그림 4-20. 건설교통 R&D 교육 내용 정리	167
그림 4-21. 핵심 연구인력의 효율적인 활용에 따른 기대효과	168
그림 5-1. 줄리의 기술사업화 프로세스	171
그림 5-2. 시장실패의 발생원인	176
그림 5-3. R&D 형태 및 전략계획	181
그림 5-4. 성과운영확산센터 운영주체	182
그림 5-5. 성과운영확산센터 운영 프로세스	185
그림 5-6. 성과운영확산센터의 역할 및 업무	186
그림 5-7. 기술사업성 분석을 통한 기술사업화 전략방향 설정	188
그림 5-8. 기술상품의 시장진출 지원	190
그림 5-9. 기술확산 시스템 및 프로세스 혁신	192
그림 5-10. 기술금융의 원활한 공급	194
그림 5-11. 기술가치평가 시스템의 구축	196
그림 5-12. 사업성 높은 기술의 개발 및 발굴	198

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 필요성

최근 세계적으로 지식기반 경쟁시대가 도래함에 따라서 지식과 기술혁신이 국가경쟁력과 경제성장의 핵심요소로 부상하고 있다. 이와 더불어 미국·영국 등 주요 선진국은 전 산업분야에 걸쳐 R&D 투자를 확대하고, R&D 성과의 활용을 촉진하기 위해 체계적이며, 전략적인 성과 확산 정책을 추진하고 있다.

우리나라 정부도 이와 같은 움직임에 따라 신성장동력 창출을 목표로 매년 R&D 예산을 확대하고 있다. <그림 1-1>¹⁾, <표 1-1>²⁾ 에서 볼 수 있듯이, 2009년도 국가 R&D 사업의 총 투자액은 12조 4,145억 원으로 전년 대비 12.9% 증가하는 등 지속적인 성장세를 나타내고 있으며, R&D 건당 투자액도 증가 추세에 있다.

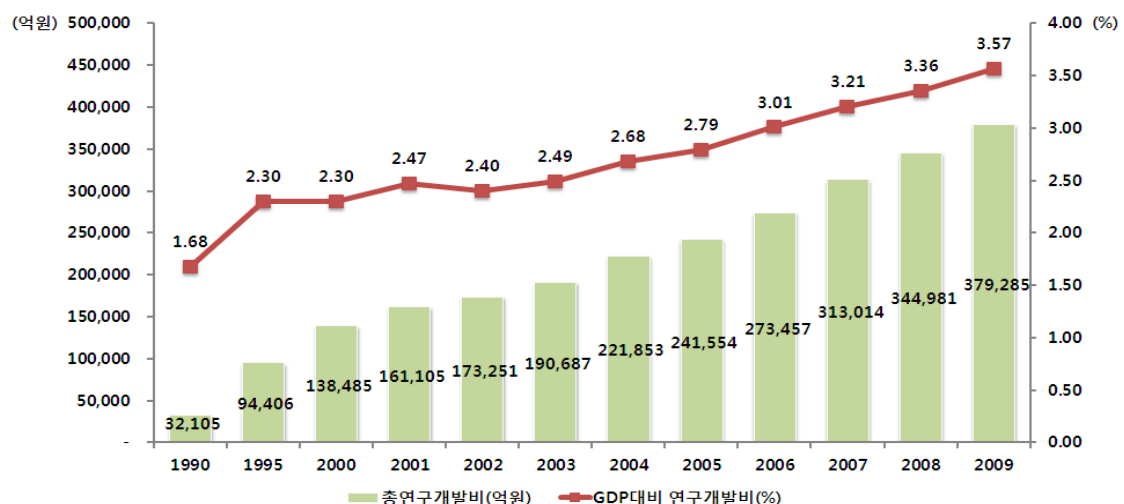


그림 1-1. 우리나라 연구개발비 및 GDP 대비 연구개발비 비중 추이

(단위: 억 원, 건)

표 1-1. 건설교통 분야 R&D사업 투자실적

구분	~'05	'06	'07	'08	'09	'10	계
R&D	4,006	2,280	3,277	3,459	3,924	4,092	21,038
투자현황	(1,181)	(194)	(156)	(116)	(129)	(166)	(1,942)

1) 한국과학기술기획평가원, 연구개발활동 조사보고서, 2010

2) 한국건설교통기술평가원, 한국해양과학기술진흥원, 국토해양기술 연구개발사업 시행계획, 2011

건설분야도 국가적인 R&D 투자확대에 예외는 아니어서 국토해양부(구 건설교통부)는 한국건설교통기술평가원을 설립하여 체계적인 R&D 사업 관리를 위한 기반을 마련한 바 있다. 그러나 R&D 투자 증가에 따른 연구성과의 양적 수준 증가에도 불구하고 R&D 투자의 효율성은 OECD 평균 수준으로 미국·일본 등의 선진국보다 낮은 것이 현실이다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해, 정부는 「국가 연구개발사업 등의 성과평가 및 성과관리에 관한 법률」을 제정하고 5개년 단위의 「연구성과 관리·활용 기본계획」을 수립하여, 성과중심의 R&D 평가를 통한 연구성과의 확산 및 실용화를 위해 노력하고 있다. <표 1-2>³⁾는 건설 R&D 사업에 있어서 정부투자 연구비 대비 비용절감 효과를 나타낸 것이다.

건설 산업이 국가산업의 근간을 이루고 있기 때문에 건설교통 분야의 R&D 성과가 실용화되어 현장에 적용되었을 경우, 투자 대비 경제적 파급효과가 매우 크고 기술경쟁력을 좌우할 것으로 예상되기 때문에 국가 건설교통 R&D 투자실적의 증가는 매우 바람직한 현상일 뿐만 아니라, 이를 통한 실용적 성과확산 역시 매우 중요성이 크다.

표 1-2. 건설R&D사업별 정부투자 연구비 대비 비용절감액(직접효과)

사업명	정부투자연구비 (억 원)	비용절감액 (억 원)	현장적용 과제 수(개)	적용현장 수 (개소)	ROI
건설교통R&D 정책인프라사업	928	-	3	6	-
건설기술혁신사업	2,660	17,865	117	528	6.72
지역기술혁신사업	140	0.05	2	7	0.00
첨단도시개발사업	1,650	962	28	82	0.58
플랜트기술고도화사업	241	-	-	-	-
계	5,619	18,827	150	623	3.35

그러나 건설교통 분야의 R&D 성과는 기술의 활용 및 운용에 있어 보급과 공유를 목적으로 하는 공공성이 크다는 특징을 가지며, 기술 가치발현 속도가 타 산업에 비해 늦을 뿐만 아니라 하나의 기술이 개별적으로 성과를 발현하는 것이 아니라 여러 개의 기술이 합쳐져 설계나 시공과정에 반영되는 특징을 가지고 있다. 또한 건설교통 R&D 분야는 공공기술 위주의 R&D로서 목적·수요자·성격·주체 측면에서 타 분야와 큰 차이가 있으므로 이러한 특성이 충분히 반영된 실용화 전략이 부재할 경우, 기대했던 효과를 충분히 거둘 수 없다는 문제점을 안고 있다. 이와 같은

3) 박환표, 건설 R&D 성과의 경제적 파급효과 분석, 한국건축시공학회 논문집 제10권 3호, 2010

특성을 반영하듯 <그림 1-2>⁴⁾의 건설 R&D 사업의 현장적용 건수 추이를 살펴보면, R&D 투자 규모에 확대에 따라 증가하던 현장적용 건수는 2003년을 정점으로 최근에는 점점 줄어들고 있는 실정이다.

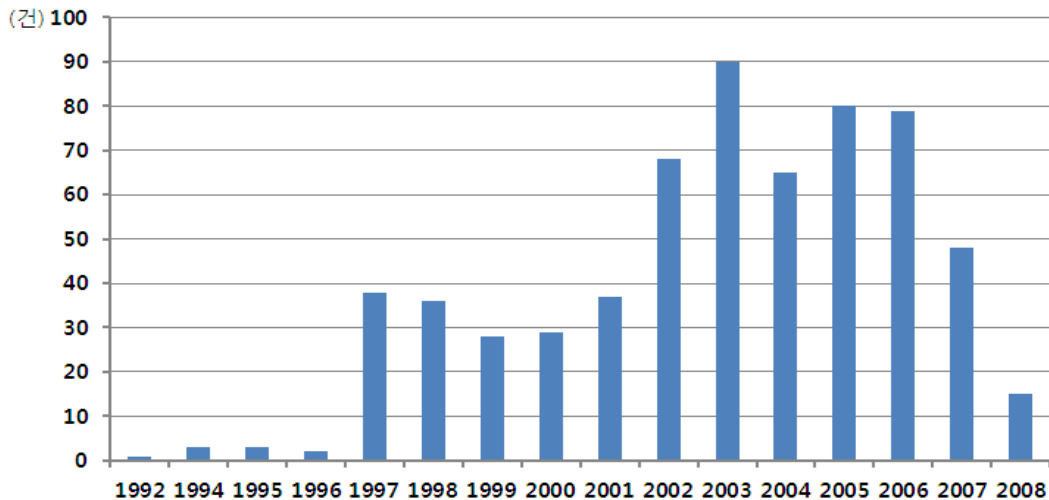


그림 1-2. 건설R&D사업의 현장적용 건수 추이 (1994년~2007년 기준)

그러므로 건설교통 분야의 국가 R&D 사업의 효율성을 높이기 위해서는 현재의 성과관리 체계의 문제를 해결하고 국가 R&D 사업 및 건설교통 분야의 산업적 특성과 R&D 사업이 진행되는 각 단계별 특성을 고려하여, 이에 따른 연구단계별 평가체계의 확립이 필요하며, 이를 기반으로 하는 실용화 추진 전략이 수립되어야 한다.

제2절 연구의 목적 및 추진방향

본 연구에서는 건설교통 R&D 사업의 단계별 성과관리 체계 확립을 위해, 현재 미 항공우주국(NASA)과 미국방부(DoD), 미에너지부(DoE) 등에서 활용하고 있는 기술성숙도(또는 기술이행단계, Technology Readiness Level: 이하 TRL)⁵⁾ 및 기술성숙도 평가(Technology Readiness Assessment: 이하 TRA) 개념을 적용한 평가모델을 제시하고자 하며, 이를 바탕으로 건설교통 R&D 사업의 실용화 향상을 위한 추진 전략을 수립하는데 그 목적이 있다. 연구의 목표 및 주요 연구내용은 <표 1-3>과 같다.

4) 박환표, 건설 R&D 성과의 경제적 파급효과 분석, 한국건축시공학회 논문집 제10권 3호, 2010

5) Technology Readiness Level(TRL)은 여러 가지 의미로 해석될 수 있지만, 본 연구에서는 TRL의 개발 배경 및 연구의 특성에 맞추어 '기술성숙도'라 칭하였음.

표 1-3. 연구의 목표 및 주요 연구내용

순서	연구목표	주요 연구내용 및 추진방향
1	건설교통 R&D 현황 및 성과 활용 관리체계 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 건설교통 R&D 현황 분석 • 건설교통 R&D 성과관리 제도 분석 및 문제점 도출 • 국내/외 R&D 실용화 관리체계 사례 분석
2	건설교통 R&D 성과물의 기술 성숙도 적용 체계 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 기술성숙도 및 기술성숙도 평가(TRL/TRA)의 정의 및 개념 확립 • 건설교통 R&D 사업 유형 분류 및 유형별 기술성숙도 적용방안 수립 • 기술성숙도 및 기술성숙도 평가(TRL/TRA)에 의한 건설교통 R&D 관리체계 수립
3	건설교통 R&D 기술실용화를 위한 성과관리 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 성과 관리의 정의 • 기존 건설교통 R&D 성과관리 문제점 파악 및 개선점 도출 • 국내/외 사례분석 및 TRL/TRA에 의한 건설교통 R&D 유형별 성과관리 전략
4	건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화 체계 제안	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화 현황 파악 • 기존 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화 체계의 문제점 분석 • 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화 지원 체계 제안

제3절 연구의 범위 및 방법

본 연구의 목표는, 실용화를 목적으로 하는 건설교통 R&D 사업에 TRL 기반의 평가 모델 수립 방안을 제시하여 실용화 달성을 향상을 위한 전략을 수립하는 것으로, 연구의 범위와 방법은 다음과 같다.

(1) 건설교통 R&D 평가 체계를 조사하여, R&D 사업의 실용화를 저해하는 요인을 분석한다.

- 국가 건설교통 R&D 사업의 이해와 문제점 분석
- 국가 건설교통 R&D 단계별 평가 체계 및 평가 방법에 대한 분석
- 성과물의 유형을 고려한 기술의 실용화 수준정도를 정의하는 새로운 평가지표 ‘기술성숙도: TRL’의 개념 도입

(2) TRL·TRA의 이론적 배경과 기본개념을 연구하고, TRL의 국내·외 적용 사례를 조사 및 분석한다.

- 국내·외 사례에 대한 TRL·TRA 적용 프로세스 분석
- 적용사례의 시사점 도출 및 건설교통 R&D 특성에 맞춘 TRL·TRA 적용방안 수립

(3) 건설교통 R&D 사업의 특성에 따라 재정의 된, 9단계의 TRL 지표를 도출한다.

- 건설교통 R&D 특성을 반영한 TRL 9단계 정의
- 건설교통 R&D 사업의 특성을 고려하여 TRL 평가를 할 수 있는 체크리스트 개발

(4) 국가 건설교통 R&D 사업에 대해, 전문기관이 주체가 되어 활용할 수 있는 TRL을 통한 성과관리 체계를 제안한다.

(5) 기술이전 및 기술사업화의 특성에 맞추어 ‘건설기술제품의 확산’ 측면에 초점을 맞춘 성과관리 전략을 제시한다.

- 국가 건설교통 R&D 후속 연구 및 기술사업화 등의 효율적 지원 추진방안 수립
- 핵심과제 및 인력의 효율적 활용방안 제안
- 국가 건설교통 R&D 개발기술의 기술이전 및 실용화 추진 전략 체계 수립

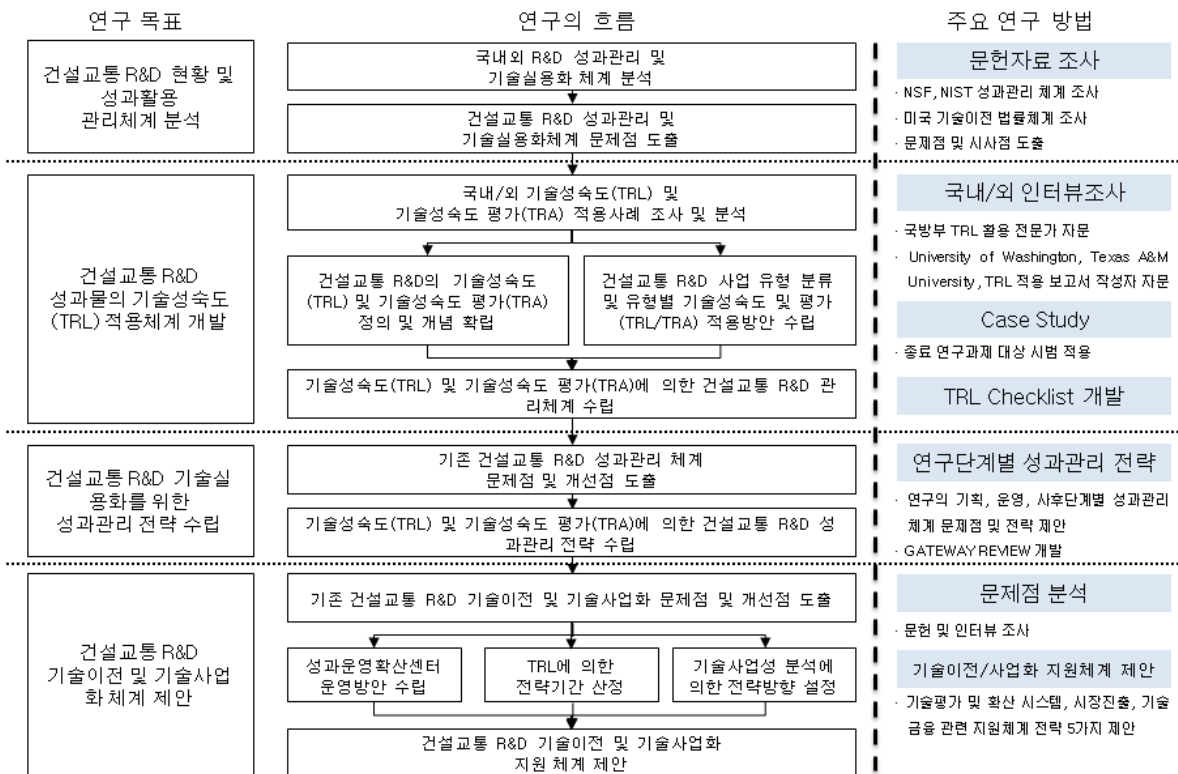


그림 1-3. 연구 흐름도

제2장 R&D 성과물의 기술성숙도 관리체계

1993년 미국 의회 예산회계국(General Accounting Office, 이하 GAO)이 실시한 주요 R&D 사업 분석 결과, 미국 국방부의 무기체계 R&D 사업의 실패 원인의 대부분은 해당 R&D 사업의 목표가 되는 성과물의 수준에 대한 정의와 검증이 명확하지 않은 상태에서 연구가 진행되었기 때문으로 나타났다.(그림 2-1. 참조)⁶⁾ 이에 미국 국방부(Department of Defense, 이하 DoD) 및 에너지부(Department of Energy, 이하 DoE) 등의 주요 기관들에서는 국가 R&D 사업을 체계적으로 관리하고, 성과물의 확산을 촉진하기 위한 방안으로 기술성숙도(Technology Readiness Level, 이하 TRL) 및 기술성숙도평가(Technology Readiness Assessment, 이하 TRA)를 도입하여 적용하고 있다.

본 장에서는 TRL과 TRA의 정의 및 개념과 적용 프로세스에 대하여 설명하고, 국·내외 기관들의 적용사례 연구를 통해서 국내 건설교통 R&D 사업의 실용화 실패를 방지하고, 체계적인 성과관리 프로세스를 구축하기 위한 도구로서의 TRL 및 TRA의 효과적인 적용을 위한 시사점을 도출하였다.

Product development and associated technologies	TRL at program launch	Product development	
		Cost growth	Schedule slippage
Comanche helicopter		101 percent ^a	120 percent ^a
Engine	5		
Rotor	5		
Forward looking infrared	3		
Helmet mounted display	3		
Integrated avionics	3		
BAT		88 percent	62 percent
Acoustic sensor	2		
Infrared seeker	3		
Warhead	3		
Inertial measurement unit	3		
Data processors	3		
Hughes HS-702 satellite		None	None
Solar cell array	6		
Ford Jaguar		None	None
Adaptive cruise control	8		
Voice activated controls	8		

^aThe Comanche, in particular, has experienced a great deal of cost growth and schedule slippage for many reasons, of which technology immaturity is only one. Other factors, such as changing the scope, funding, and pace of the program for affordability reasons, have also contributed.

그림 2-1. 미국 의회 예산회계국의 주요 국가 R&D 사업 분석 결과

6) US General Accounting Office, "Better Management of Technology Development Can Improve Weapon System Outcomes", GAO/NSIAD-99-162, 1999

제1절 기술성숙도(TRL)의 정의 및 개념

1. TRL의 정의 및 목적

과학기술 개발과정에는 연구자와 관리자의 정확한 판단과 결정이 필요한 여러 중요한 시점이 있으며, 이때의 결정은 개발비용, 기간 및 사업의 성패 등에 지대한 영향을 미치게 된다.

이러한 관점에서 ‘기술성숙도(TRL)’는, 주요 의사결정시점(milestone)에서 해당 Project의 계속 진행여부나 투자 등과 같은 의사결정에 도움을 주기 위해 9단계로 정의된 지표로써, R&D 사업 이해 당사자들에게 기초연구부터 사업화에 이르기까지 각 단계별로 기술수준을 판단할 수 있는 정량화된 측정 지표를 제공하고, 프로젝트의 위험성 및 실용화 성공 잠재력을 측정할 수 있게 한다. 이와 같은 ‘기술성숙도’는 ‘기술이행단계’ 또는 ‘기술준비수준’이라고도 하며, <그림 2-2>7)는 미국 항공우주국 (National Aeronautics and Space Administration, 이하 NASA)과 DoD에서 적용하고 있는 TRL 9단계의 기본 정의이다.

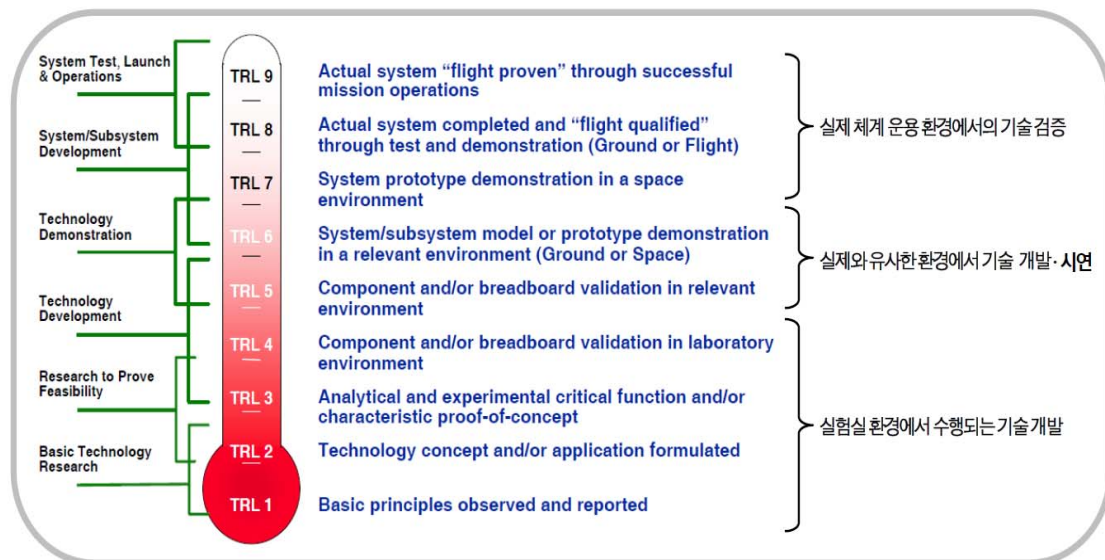


그림 2-2. TRL의 9단계 정의

7) 박준수 외, 기술성숙도평가(TRA) 방법론 및 적용방안 연구, 국방기술품질원, 2009

NASA에서 설명하고 있는 TRL의 핵심적인 기본 개념은 다음과 같으며⁸⁾, <표 2-1>⁹⁾은 NASA의 TRL 9단계의 단계별 정의와 세부내용이다.

- “In the research and development world, ideas are like schoolchildren. All new technologies must pass through a number of grades before they are declared ready for graduation.”
 - － 졸업을 하기 위해 모든 학년을 마쳐야 하는 학생과 같이, R&D분야에서 연구되는 모든 새로운 기술들은 반드시 거쳐야 하는 여러 단계를 통해 개발된다.
- “At NASA, these grades are called technology readiness levels, or TRLs. Each TRL represents the evolution of an idea from a thought, perhaps written on a cocktail napkin or the back of an envelope, to the full deployment of a product in the marketplace.”
 - － NASA에서는 이러한 단계를 TRL이라고 한다. 각각의 TRL은 아이디어에서 시작된 R&D 결과물이 제품화되고, 상용화되기까지의 일련의 과정을 단계별로 나타낸 것이다.
- “NASA acknowledges the system as a useful, commonly understood method for explaining to collaborators and stakeholders just how mature a particular technology is.”
 - － TRL은 공동 연구자들과 이해 당사자들에게 ‘특정 기술이 얼마나 성숙해 있는가’를 설명하는 유용한 의사소통 도구이다.

8) US NASA, “Technology Readiness Levels Demystified”, www.nasa.gov

9) 국방과학연구소, 지식기반 획득을 위한 기술성숙도 평가, ADD 국방과학기술 플러스, 2007

표 2-1. NASA의 TRL 9단계 정의 및 세부내용

구 분	정 의		
	Level	NASA	세부내용
기술 개발	1	• 관찰된 혹은 보고된 기초원리	• 기술 성숙이 가장 낮은 단계. 과학적 연구가 응용기술개발로 발전되기 시작함.
	2	• 형성된 기술개념과 응용	• 기초적 원리가 정립되어 실제적 응용이 시도되나, 응용은 추론적인 상태로서 가정을 확증할만한 구체적 해석이나 증거가 없는 상태
	3	• 분석적인 혹은 실험적인 핵심기능/특성 증명	• 적극적인 연구개발 활동이 시작되어 해석적 연구와 실험실적 연구를 통해, 기술을 구성하는 개별 요소들에 대한 해석적 예측을 물리적으로 확인하는 단계
	4	• 실험실 환경에서 구성요소나 전체 확인	• 기본적 기술 구성품들이 조립되어 작동되는 단계, "저 충실도(Low Fidelity)" 상태
개발된 기술의 체계 적용성 확인	5	• 적절한 환경에서 구성요소나 전체 확인	• 기본적 기술 구성품들이 실제에 가까운 주변 요소와 조립되어 유사환경에서 시험되는 단계, "고 충실도(High Fidelity)" 상태.
	6	• 적절한 환경에서 시스템/하부시스템 모형이나 시작품 데모	• 공학모델 또는 시제품이 유사환경에서 시험되는, 기술시범 준비가 본격화된 단계, 5단계보다 현저하게 높은 수준
체계 개발	7	• 실제 환경에서 시스템 시작품 데모	• 실제 체계와 동등 수준의 시제품이 운용환경(예: 우주)에서 시범되는 단계.
	8	• 실제시스템 완료 및 시험데모를 통한 가능성 인증	• 기술이 최종 형상으로 요구조건에서 입증된 상태로서 대부분의 경우 실 체계 개발의 완료 수준을 의미.
	9	• 성공적인 작동을 통한 양상	• 기술이 최종형상으로 임무조건에서 실제 적용되는 수준, 운용시험평가(OT&E) 수행

2. TRL의 역사

1980년대, NASA에서는 R&D 사업의 위험도를 평가하고, 미성숙 기술에 대한 후속조치를 시행하기 위하여 ‘7단계 TRL’ 개념을 도입하였으며 시작품 시연과 시스템의 시험평가 등 현실적인 사항을 추가로 보완하여, 기술의 수준을 ‘기술 개발 / 개발된 개별 기술의 목적물 적용성 확인 / 목적물 개발’의 3개 카테고리과 ‘관찰 혹은 보고된 기초 원리’의 단계부터 ‘성공적인 작동을 통한 양산’까지의 9개 단계로 수정하여, 현재의 TRL 개념을 완성하였다.

한편, DoD는 이를 다시 하드웨어, 소프트웨어 및 제조기술(Manufacturing Technology)로 세분화하여 TRL을 설정하였고, 그 후, DoE 등 여러 기관에서 각 기관의 특성에 맞게 변형하여 사용하고 있으며, 국내에서는 국방부와 지식경제부 등에서 TRL을 적용하여 R&D 성과관리에 활용하고 있다.(그림 2-3. 참조)

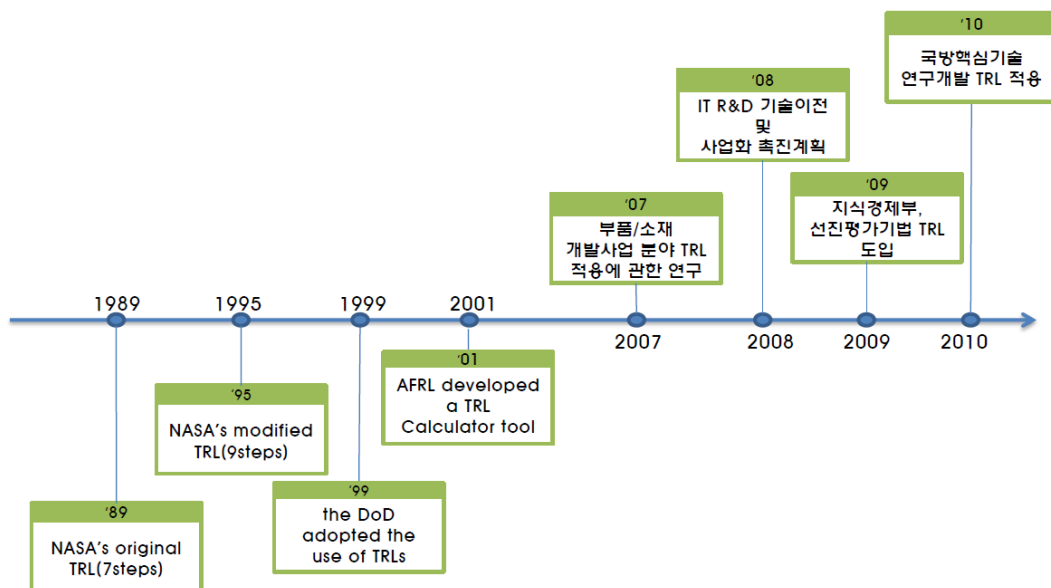


그림 2-3. 국내·외 TRL 적용 연혁

3. TRL의 특징

TRL의 특징은 크게 다음의 4가지로 정의 할 수 있다.

첫째, TRL은 개발자와 최종사용자간의 공통된 의사소통 수단이다. 즉 R&D

프로젝트의 성공적 수행을 위해서 지금까지 확인된 것은 무엇이고, 앞으로 무엇을 더 확인해야 하는지에 대해 개발자와 최종사용자가 공통된 상황인식을 가지도록 하는 기준이 되는 것이다.

둘째, 기술 성숙의 의미는 그 기술이 어느 만큼의 능력이 있는가 또는 뛰어난가를 의미하는 것이 아니고, 기술이 응용되어 쓰일 수 있기까지 어느 정도 준비가 되어 있는지를 의미하는 것이다. 즉, <그림 2-4>는 ‘수소 자동차의 상용화’ 프로젝트와 ‘초경량 자전거의 상용화’ 프로젝트를 비교하고 있는데, 교통수단으로서의 성능은 ‘수소 자동차’가 ‘초경량 자전거’보다 월등할지라도 이 두 프로젝트에서 TRL 수준은 ‘초경량 자전거’가 ‘수소 자동차’보다 앞서 있을 수 있다. 이것은 TRL이 기술 자체의 가치나 능력과는 근본적으로 관련이 없고, 해당 기술이 기술의 생명 주기의 어느 단계에 있는지를 판정하는 기준임을 보여주는 사례이다.

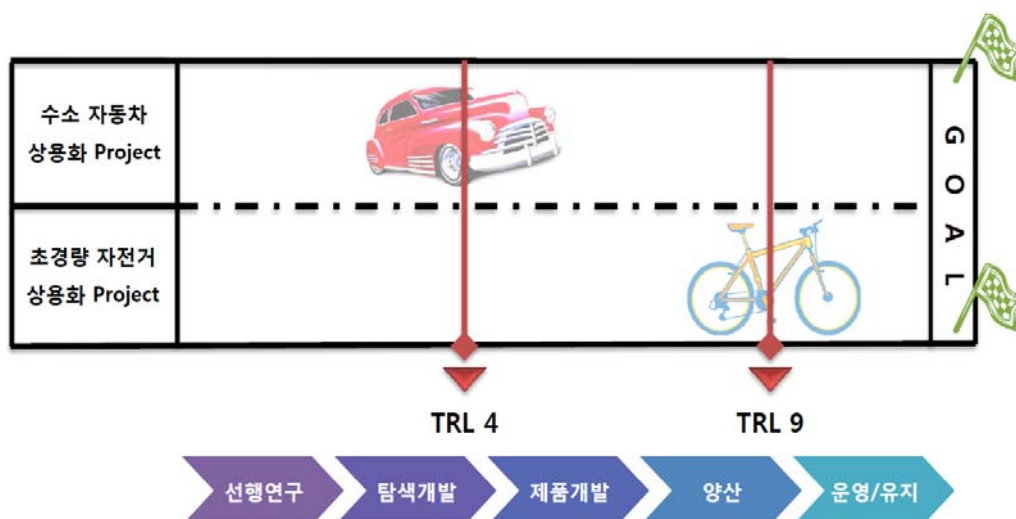


그림 2-4. 기술성숙도의 의미

셋째, TRL은 기술의 생애주기 전체에 걸쳐서 적용되는 것이 아니라, 해당 기술이 상용화에 이르기 전까지 R&D 단계에 적용되어, 평가 시점까지 연구된 결과의 수준을 단계별로 나타낸 것이다. 즉, <그림 2-5>는 특정 기술의 생애주기를 보여주는 그림으로, 개발되는 기술은 개발단계를 거쳐 실용, 또는 사용 측면에서 성숙단계와 쇠퇴단계를 거쳐 새로운 기술로 대체되는데, TRL의 개념은 기술이 상용화를 목적으로 개발되는 단계에만 국한하여 적용된다.

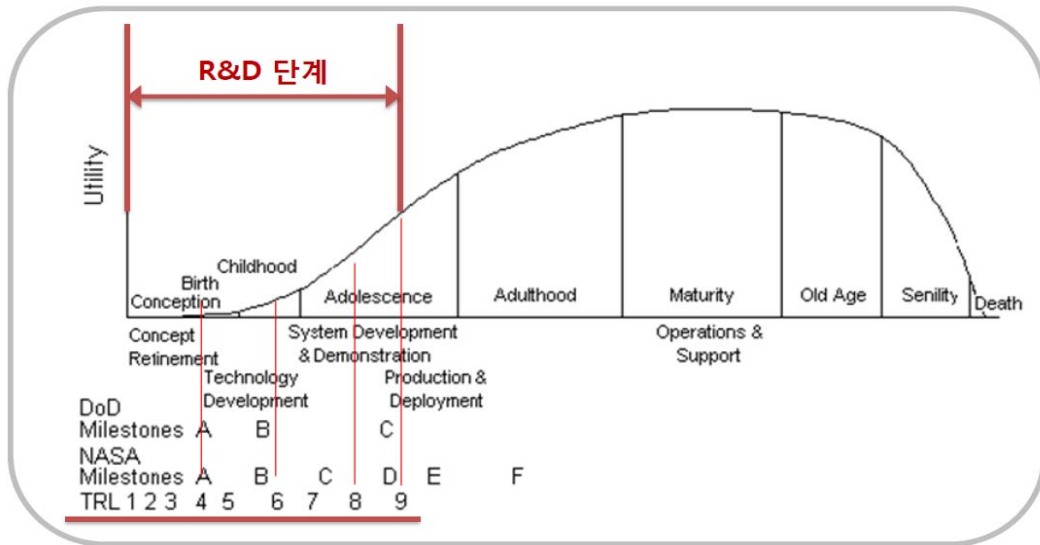


그림 2-5. TRL의 적용 범위

넷째, TRL은 주로 민간기업에서 특정 제품을 개발할 때 활용되는 ‘Bottom-up 기술 개발 방식’, 즉, 확인된 결과를 토대로 제품개발을 위한 구체적인 성능, 사양, 비용 등의 목표가 결정되는 방식과 달리 최종사용자(end user)의 요구사항을 기반으로 제품개발의 요구조건에 맞추어 기술개발 목표가 결정되는 ‘Top-Down 기술 개발 방식’에 맞추어 개발된 프로세스이다.(그림 2-6. 참조)

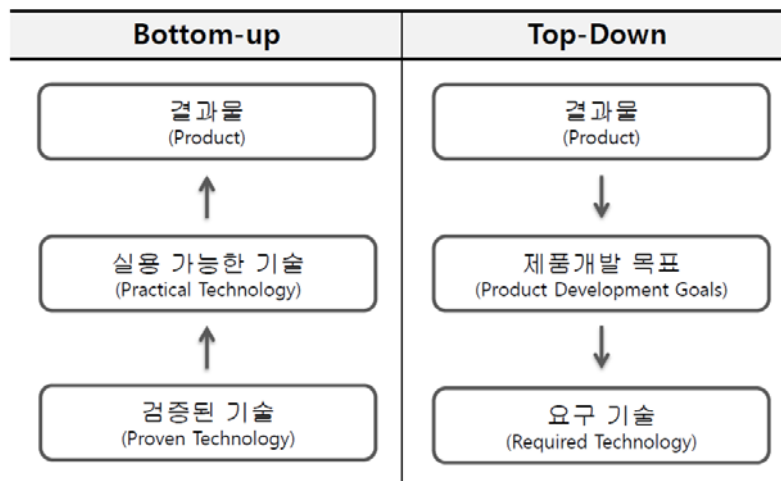


그림 3-6. 제품 개발의 Bottom-Up 방식과 Top-Down 방식의 비교

4. 기타 성숙도(RL : Readiness Level)의 개념

TRL은 개별기술의 성숙도를 평가하는 데에는 대단히 유용한 도구이나, 소프트웨어, 제작기술, 생산기술 또는 전체적인 시스템의 수준평가 부분에서는 적용에 한계가 있다. 이러한 한계에 대한 대안으로, 미국 DoD는 TRL을 다시 하드웨어, 소프트웨어 및 제조기술(manufacturing technology)로 세분화하여 그 개념을 설정하고 있다.

이 후, 다양한 분야에 대한 정확한 측정을 위하여, 제작 및 생산 기술에 대한 성숙도를 평가하는 MRL(Manufacturing Readiness Level), 개별 TRL간의 연결 관계를 평가하는 IRL(Integration Readiness Level), 그러한 TRL과 IRL을 통합 System 측면에서 평가하는 SRL(System Readiness Level), 연구개발 프로그램을 대상으로 하는 PRL(Programmatic Readiness Level) 등의 개념이 제시되고 있다.

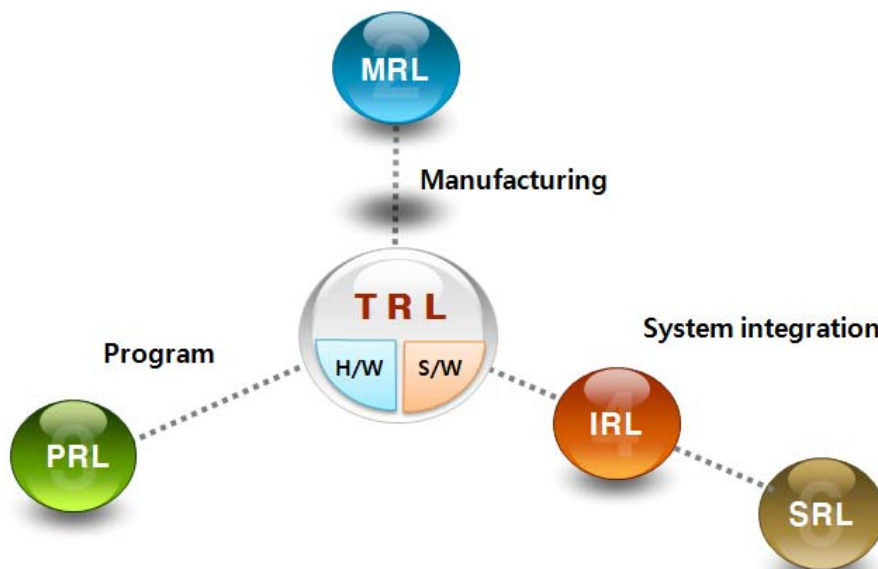


그림 2-7. TRL과 기타 성숙도 평가 지표

(1) Manufacturing Readiness Level(MRL, 제조성숙도)

MRL은 기술적인 산출물을 생산할 수 있는 제반 여건이 갖추어졌는지를 평가하기 위해 제안된 개념이다. 기술적으로 시연이 가능한가와 그것이 생산 가능한가는 별개의 문제이기 때문에, TRL을 보완하고, 기술개발 결과물을 생산할 수 있는지를 판단하는 것으로, 10단계로 정의되며, 그 내용은 <표 2-2>¹⁰⁾와 같다.¹¹⁾

10) 방위사업청, 제조성숙도평가(MRA) 업무지침, 2012

11) 박준수 외, 기술성숙도평가(TRA) 방법론 및 적용방안 연구, 국방기술품질원, 2009

표 2-2. 방위사업청의 MRL 10단계 정의 및 세부내용

Category	Definition		
	Level	정의	세부내용
선행연구	1	• 사업목표 달성을 위한 제조상의 문제점 파악단계	• 제조개발의 가장 낮은 수준으로 사업의 목표를 달성하기 위해 필요한 제조상의 문제, 기회 및 제조에 영향을 미치는 요인을 파악함. 예산분배와 같은 기초 연구도 이 단계에서 수행함
	2	• 제조 개념 및 실현가능성 분석단계	• 군의 요구에 대해 어떠한 제조 솔루션을 제공할 것인지를 나타내는 제조개념을 식별하고 서술함. 서술된 제조개념을 바탕으로 실현가능성과 제조상의 위험을 파악함
	3	• 분석적 방법 또는 실험실 환경에서의 검증을 통한 제조 개념의 입증단계	• 시뮬레이션 등의 분석적인 방법 혹은 실험실 환경에서의 검증을 통해 제조개념을 입증함. 잠재적 제조원을 식별하고, 제조성과 가용성 측면에서 원자재와 공정의 특성을 식별함
	4	• 실험실 환경에서의 생산능력 구비단계	• 실험실 환경에서 해당 기술을 구현 및 제조할 수 있는지를 점검하며, 선행연구 단계의 종료기준으로 활용. 신규로 적용되는 원자재에 대한 위험계획을 수립함
개발된 기술의 체계 적용성 확인	5	• 생산유사환경에서 구성품의 시제 생산 능력 구비단계	• 실제 생산 공정 흐름의 일부를 고려한 환경인 생산유사환경에서 구성품의 시제를 양산할 수 있는지를 확인하며, 핵심 설계요소에 대해 제조성 측면의 최초 평가가 이루어짐
	6	• 생산유사환경에서 체계 및 부체계의 시제 생산능력 구비단계	• 생산유사환경에서 시제체계를 제조할 수 있는지를 확인하며, 체계개발 단계의 종료기준으로 활용. 모든 치명적인 기술 및 부품에 대한 제조성 시험 및 검증을 수행함
체계 시연	7	• 생산대표환경에서 체계, 부 체계, 구성품의 생산능력 구비단계	• 생산 공정에 가깝게 양산인력, 설비, 공정, 원자재 등을 구현한 환경인 생산대표환경에서 체계, 부 체계, 구성품을 양산할 수 있는지 확인. 양산단계 품질목표 등을 설정하고 이를 위한 설비, 인력에 대한 계획을 수립함
	8	• 초도생산을 위한 생산능력 구비단계	• 초도생산을 위한 파일럿 라인에서 양산성을 확인하며, 체계개발 단계 종료기준으로 활용. 양산진입을 위해 모든 설계, 원자재, 인력 등을 평가하며 제조계획 수립이 완료되어야 함
체계 운영 및 지원	9	• 초도양산능력 검증 및 후속양산능력 구비단계	• 초도양산단계에서 나타난 제조능력을 확인하고 후속양산으로 진입가능한지 여부를 확인하며, 3시그마 또는 적합한 품질수준이 달성되었는지를 평가함
	10	• 후속양산능력 검증 및 지속적 개선 단계	• 양산이 제대로 수행되고 있는지를 확인하는 것으로 6시그마 또는 적합한 품질수준을 달성하였는지를 평가함

(2) Integration Readiness Level(IRL)

기존의 TRL 척도는 전체 시스템에서, 각 기술들의 통합(integration)을 정확하게 설명하지 못한다. IRL은 구성기술간의 인터페이스, 상호작용 등의 관계성을 측정하는 지표로, 기존의 TRL 지표를 참고로 유사한 단계를 나타내고 있다. (표 2-3. 참조)¹²⁾

표 2-3. IRL의 9단계 정의

IRL	정의
1	기술들 사이의 인터페이스 관계의 특성 묘사가 가능하게 충분한 상세화로 식별된 단계
2	인터페이스를 통하여 기술들 간의 상호작용 특성을 나타내기 위한 방법론이 제시된 단계
3	순차적이고 효율적으로 통합, 연동하기 위하여 기술들 간의 적합한 호환성이 검증된 단계
4	기술들 간의 통합에 따른 품질보증이 충분하게 상세화 된 단계
5	통합을 수립, 관리 및 종료하는데 필요한 기술들을 충분히 통제할 수 있는 단계
6	통합하는 기술이 의도되는 적용을 위한 정보를 수용하고, 해석하며, 구조화할 수 있는 단계
7	기술 통합을 실행하는데 충분히 상세화 된 환경에서 검증된 단계
8	체계 통합은 완료되고, 시스템 환경에서 시험·시연을 통해 임무 적합성이 검증된 단계
9	성공적인 임무 운영을 통하여 통합 임무가 완수능력이 입증된 단계

(3) System Readiness Level(SRL)

영국 국방부(MOD : Ministry of Defence)는 TRL이 개별 기술의 성숙도를 평가하는 데에는 유용한 도구이나 전체적인 시스템 판단을 위해서는 미흡한 점이 있다고 판단하여 그 대안으로 SRL의 개념을 제시하고 있다. SRL은 개별 기술의 성숙도와 기술 간의 통합수준을 고려한 개념으로 어느 기술이 여러 기술을 포함하는 시스템의 형식일 경우 이를 평가할 때 유용하다.(그림 2-8. 참조)¹³⁾

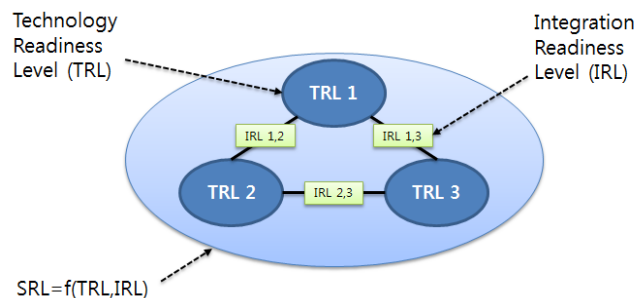


그림 2-8. SRL 개념도

12) 김중명, 국방연구개발사업의 시스템 기술성숙도 평가 모델 개발, 2010

13) 박경진 외, 국방핵심기술 연구개발의 기술성숙도 평가 적용에 관한 연구, 2009

SRL의 단계 정의 및 내용은 다음 <표 2-4>¹⁴⁾와 같다.

표 2-4. SRL의 단계 정의 및 내용

SRL	단계	정의 및 내용
0.90 to 1.00	운영 및 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 운영지원 성능에 관한 요구사항을 충족 • 총 생애주기 동안 시스템을 비용 측면에서 가장 효율적으로 유지할 수 있도록 지원 프로그램을 실행
0.70 to 0.89	생산	<ul style="list-style-type: none"> • 요구사항을 충족하는 운영능력 달성
0.60 to 0.69	시스템 개발 및 시연	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 성능 개발 (또는 기능향상) • 통합 및 제조 위험요소 절감 • 운영지원가능성의 확보 • 물류 이동경로 축소 • 인체 통합 시스템의 구현 • 생산을 위한 설계 • 중요한 프로그램 정보의 경제성 및 보호성능 보장 • 안전성 유용성, 상호운용성에 대한 시스템 통합 시연
0.40 to 0.59	기술개발	<ul style="list-style-type: none"> • 기술위험요소 절감 • 전체 시스템 통합을 위한 적절한 기술조합 결정
0.10 to 0.39	개념 정립 및 개선	<ul style="list-style-type: none"> • 초기개념의 수정 • 시스템/기술 전략 개발

(4) Programmatic Readiness Level(PRL)

PRL은, 성공적인 기술제품 개발에 필수로 볼 수 있는 프로그램 관리 문제를 해결하기 위해 2008년 미국 국토보안국(Homeland Security Institute)에 의해 개발되었다. PRL 척도는 기본 시스템 엔지니어링 단계를 따르고 있다. (표 2-5. 참조)¹⁵⁾

표 2-5. PRL의 9단계 정의

PRL	정의
1	기본적인 과학 개념과 프로그램 사용자가 식별된 단계
2	사용자가 확인된 프로그램 및 기술이 구축된 단계
3	프로그램의 성능특성, 요구사항, 위험성 및 조치가 결정된 단계
4	기술개발 및 전환을 위한 통합제품팀과 작업 그룹이 결성된 단계
5	시스템 엔지니어링 방법론, 시스템 구성 및 최종사용자 개입이 구축된 단계
6	정식 요구 서류, 최종 테스트 및 평가 기본계획, 시스템 엔지니어링 계획이 완성된 단계
7	유효성 검사 및 시스템 인증이 최종 확인된 단계
8	교육, 시험, 평가 설명서 작성이 완료된 단계
9	안전성 확인 및 교육체계가 완료된 단계

14) Edouard Kujawski, PhD, The trouble with the System Readiness Level(SRL) index for managing the acquisition of defense systems, 2010

15) Homeland Security Institute, Department of Homeland Security Science and Technology Readiness Level Calculator (ver 1.1) Final Report and User's Manual, 2009

제2절 TRL 적용 프로세스

1. 기술성숙도 평가(Technology Readiness Assessment : TRA)

(1) TRA 개념 정의

TRL을 ‘개발되고 있는 기술’의 성숙도 또는 이행단계를 평가하기 위한 지표 또는 정의라 한다면, TRA는 그러한 평가를 실행에 옮기는데 필요한 방법과 절차를 의미한다. 미국 DoD에서는 기술성숙도 평가(Technology Readiness Assessment, 이하 TRA)의 기본 개념을 다음과 같이 정의하고 있다.¹⁶⁾

- TRA is formal, systematic, metric-based process and accompanying report that assesses the maturity of CTEs(Critical Technology Elements) to be used in systems.
- TRA는 무기체계에 적용되는 핵심기술요소들이 어느 정도로 성숙되어 있는지를 계량적인 지표로 평가하는 공식적인 프로세스이다.

- TRA report includes information about how the CTEs are identified, why they are important to the program, and an independent(from the program) assessment of their maturity.
- TRA 보고서는 핵심기술요소들이 어떻게 도출되었으며 그러한 요소들이 무기체계를 개발하는데 있어서 왜 중요하고 얼마만큼 성숙되어 있는지를 객관적(독립적)으로 평가한 결과를 수록한다.

- This assessment does not predict future performance of the technology nor does it assess the quality of the system architecture, design, or integration plan. It is simply a report on what has been accomplished to date for an important subset of technology in the program.
- TRA는 미래의 기술적 성능을 예측하거나 품질(수준)을 평가하는 것이 아니며, 목적물에 적용될 핵심기술요소들이 어느 정도까지 완성되어 있는지, 현재 시점에서의 그 상태를 진단하는 것이다.

16) US DoD, “Technology Readiness Assessment(TRA) Deskbook. 2009

(2) TRA의 목적

해당 프로젝트의 TRL을 평가하기 위한 TRA의 목적은 다음과 같다.

- 해당 프로젝트의 핵심요소기술(Critical Technology Elements, 이하 CTE)이 무엇인지 판단한다.
- 각 CTE별 TRL 평가를 통한 해당 프로젝트의 TRL을 판정한다.
- TRA 결과를 프로젝트의 ‘계속 진행 여부’ 또는 ‘투자 의사’를 결정하기 위한 근거자료로 이용한다.

즉, 개발하고 있는 특정기술에는 최종 성과품을 구성하고 있는 세부적이고 핵심적인 기술들(CTE)이 존재하고 가장 낮은 수준(TRL)의 CTE는 전체 기술의 TRL 수준을 제어하게 된다.(그림 2-9. 참조) 그러므로 연구 개발자나 관리자들은 이 CTE들이 실용화 수준까지 개발되고 각각 제 기능을 수행하여 최종 기술이 활용될 수 있도록 하여야 하며, 그 과정에서 연구의 진행여부에 대한 의사결정을 내려야 한다. 따라서 TRA는 이러한 프로세스를 단계적으로 또, 체계적으로 구현하기 위한 목적으로 수행된다.

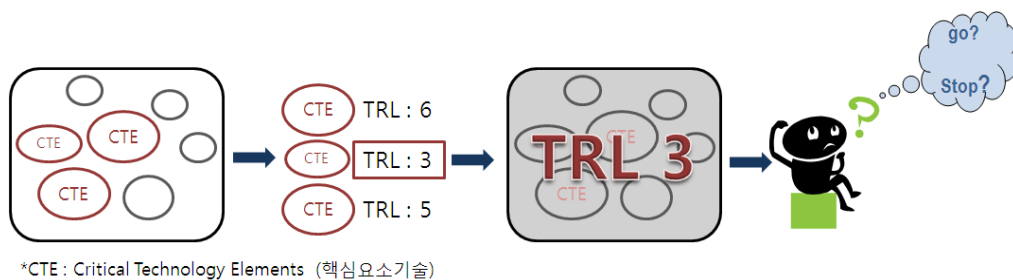


그림 2-9. TRA 목적의 개념

2. TRA 프로세스

미국 DoD에서는 TRL을 적용하는 단계, 즉 TRA 프로세스를 크게 6단계로 구분하고 있다.(그림 2-10. 참조) 먼저 TRA를 위한 전체 일정계획을 수립하고, 평가 가능한 CTE를 도출한 다음 실제 평가를 위한 CTE를 추려낸다. 그 다음으로 각 CTE에 대한 평가를 준비하고 결과를 보고하며 최종적인 판단을 내리게 된다.¹⁷⁾

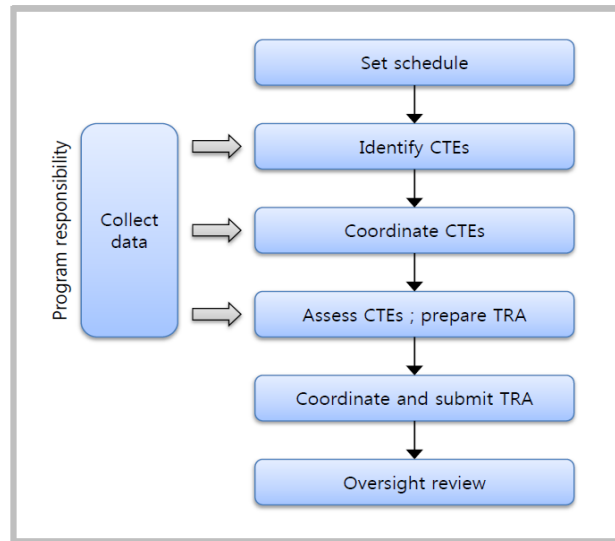


그림 2-10. DoD의 TRA 프로세스

본 연구에서는 이 과정을 구체화하고 TRA과정에서 활용되는 여러 도구들을 종합하여 <그림 2-11>과 같은 프로세스 모델을 구성하였으며, 이에 대한 내용은 아래와 같다.

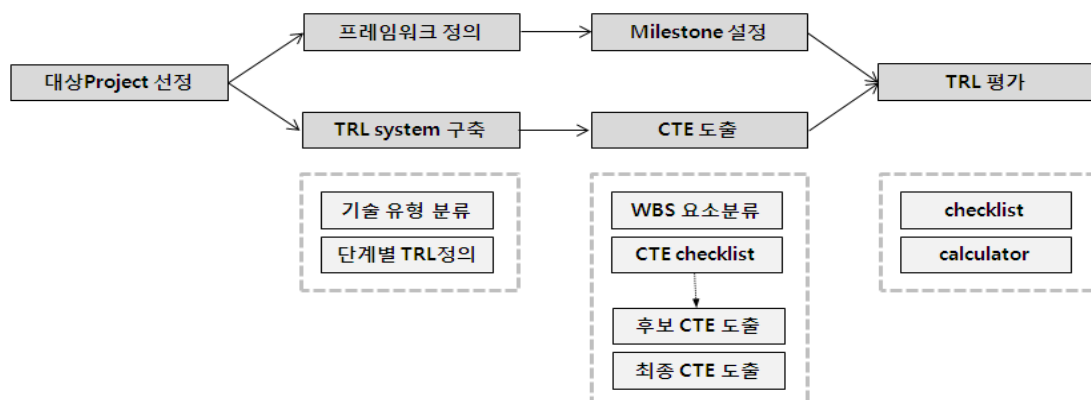


그림 2-11. TRL의 적용 프로세스

17) Dr. Cynthia Dion-Schwarz, How the Department of Defense Uses Technology Readiness Levels, 2009

(1) 프레임워크 및 마일스톤 설정

TRL을 적용하고 평가하기 위해서는 기술개발의 과정에 따른 프레임워크와 의사결정 시점인 마일스톤(milestone)이 정의되어야 한다. 프레임워크란 기술이 개발되어 제품 등에 상용화되기까지 일련의 생애주기를 단계별로 구분하여 나타낸 것으로, TRL의 단계를 기점으로 하되 전체 프로젝트의 개발 프로세스 관점에서 설정한다. 즉, <그림 2-12>를 보면 해당 프로젝트는 ‘구성 재료의 분석(material solution analysis)’, ‘기술개발(technology development)’, ‘엔지니어링 및 제조기술 개발(engineering and manufacturing development)’, ‘제품 생산 및 보급(production and deployment)’, ‘운영 및 지원(operation and support)’ 등의 단계를 전체 기술개발 생애주기의 프레임워크로 한다.

마일스톤은 프레임워크에서 설정된 단계간의 진행 여부를 판단해야 하는 중요한 의사 결정 시점, 즉 실질적으로 TRA가 수행되는 시점을 의미한다. 이는 TRL의 매 단계마다 TRA를 수행하여야 하는 번거로움을 배제하고 프로젝트의 효율적인 평가가 가능하도록 하는 것을 목적으로 한다.

<그림 2-12>의 예에서 보면, 프레임워크 상의 각 단계가 완료되는 시점에 마일스톤을 설정하고 이때 TRA를 수행하게 되는데, 세 개의 마일스톤 A, B, C는 각각 TRL 4, 6, 7 단계에 해당된다. 마일스톤 C에서 TRL 7 단계가 모두 달성된 것으로 판단되면 TRL의 마지막 단계에 해당하는 ‘제품 생산 및 보급(production and deployment)’이 이루어진다.

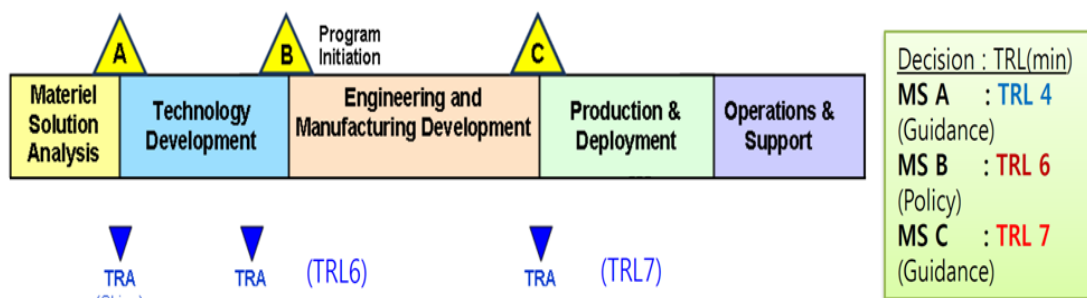


그림 2-12. TRA 프레임워크 및 마일스톤

(2) TRL 체계 구축

TRL 평가를 위해서는 해당 기술에 대한 TRL 체계가 구축되어야 한다. 이때 TRL 체계에는 해당 기술 분야의 R&D 특성을 반영하여 이에 기반을 둔 기술유형 분류와 각 기술유형에 대한 TRL 단계가 정의되어야 한다. 이것은 DoD에서 주로 수행하고 있는 무기체계 또는 관련기술과 건설교통 관련 기술의 특성이 다르듯이 모든 기술에 동일한 TRL 체계를 일괄적으로 반영할 수 없기 때문이다.

TRL 체계는 3개 카테고리(category)에 근거해 9개 단계로 구성되는 것이 일반적이며, 사용주체의 특성, 산업 및 기술 특성에 맞게 변형하여 사용할 수 있다. 여기서 TRL의 카테고리란 ‘연구개발의 결과물(physical articles)’, ‘연구개발의 환경(environment)’, ‘기술구현의 수준(realization)’으로 구분되며 이 3가지 요소의 조합방법에 따라 TRL 각 단계의 정의가 만들어진다.

- 연구개발의 결과물(Physical articles) : TRL 단계별 연구개발의 결과물이 어떠한 형태로 완성되었는가를 의미한다. 예를 들어, 개발하고 있는 기술이 단순히 기능적으로 가능한 단계에 있는지, 구성요소 기술의 완성수준에 있는지, 시제품 또는 완제품 수준에 도달했는지를 구분할 수 있다.
- 연구개발 환경(Environment) : TRL 단계별로 연구개발 결과물의 기능을 실현해낸 환경을 의미한다. 예를 들어, 이론정립 단계에서의 연구개발 환경은 논문, 보고서 등 문헌조사 수준일 수 있고, 테스트용 샘플이 개발되었다면 그 환경은 실험실 혹은 유사환경이 될 수 있다.
- 기술구현 수준(Realization) : 연구개발의 결과물이 구현해내는 기능을 의미한다. 즉 기술구현 수준은 TRL 단계별 연구개발 결과물이 이론적으로 구현가능한 수준인지, 요구 성능을 실용화 수준만큼 완전히 구현해내지는 못하였으나 시연 차원에서 구현가능한 수준인지, 완전히 요구 성능에 대한 검증까지 이룬 수준인지 등에 대한 판단기준이 된다.

<표 2-6>은 이 세 가지 카테고리의 세부요소들이 어떻게 조합을 이루어 단계별 TRL 정의가 완성되는 지를 보여준다. 즉, TRL 1단계는 문헌조사를 통해 이론적으로는 기술구현이 가능할 것이라는 판단되는, 그러나 물리적인 연구결과물은 만들어지지 않은 상태를 의미하고, TRL 9단계는 완제품으로 실제

환경에서 모든 요구성능이 충족되었을 뿐만 아니라 검증까지 완료된 상태를 의미한다. 단, 이 그림에서 제시하고 있는 ‘연구개발의 결과물’, ‘연구개발 환경’, ‘기술구현 수준’ 카테고리의 세부요소들이 모든 분야의 연구개발에 적합한 것은 아니므로 기술성숙도를 평가하고자 하는 기술분야의 특성에 맞게 내용 수정이 필요하다.

표 2-6. TRL 체계 구축을 위한 카테고리의 구성과 TRL 단계 정의의 개념

기능 구현	이론	개념 및 식 정립	개념 및 식 검증	유효성 검증	시연	요구 성능 충족	요구 성능 검증
결과물 환경	-	-	기능적 형태	구성요소	시제품	완제품	
문헌	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7
실험실							
유사 환경							
실제 환경							

단, 이 그림에서 제시하고 있는 ‘연구개발의 결과물’, ‘연구개발 환경’, ‘기술구현 수준’ 카테고리의 세부요소들이 모든 분야의 연구개발에 적합한 것은 아니므로 기술성숙도를 평가하고자 하는 기술분야의 특성에 맞게 내용 수정이 필요하다. 예를 들어 <그림 2-13>은 DoD가 3가지 카테고리의 세부 요소를 조합하여 TRL 체계를 구축한 사례를 보여준다. 여기서 TRL 3단계의 경우, 각 카테고리의 세부 요소는 기능적 형태 / 연구실 / 물리적 검증으로 구성되며 이러한 요소의 조합을 통해 TRL 3단계는 ‘해석적 연구와 이의 물리적 검증을 위한 연구실 기반 연구수행 단계’로 정의된다.

단계	결과물	환경	기능구현	
TRL 1	-	문헌	기본원리	• 기본적인 원리가 관찰되고 보고되는 단계
TRL 2	-	문헌	개념식 정립	
TRL 3	기능적 형태	연구실	물리적 검증	• 해석적 연구와 이의 물리적 검증을 위한 연구실 기반 연구수행
TRL 4	구성요소	연구실	유효성 검증	
TRL 5	구성요소	유사환경	시행	
TRL 6	시제품	유사환경	시행	
TRL 7	시제품	실제환경	시행	• 시 제작된 시스템이 실제 운용환경에서 시행되는 단계
TRL 8	완제품	실제환경	요구성능충족	
TRL 9	완제품	실제환경	요구성능 검증	

그림 2-13. DoD의 TRL 단계 정의 예

(3) CTE 도출

CTE(핵심요소기술)는 개발하고자 하는 전체 기술을 세부 기술요소로 구분하였을 때 전체 프로젝트의 성패를 좌우할 정도로 중요한 기술을 의미한다.

‘프로젝트의 성패를 좌우할 정도의 중요성’이란 개발 기술이 완성되기 위하여 충족되어야 할 절대적인 요소기술을 의미하며, TRL는 마일스톤 상의 의사결정단계에서 그러한 CTE를 평가하고 관리하게 된다. 따라서 CTE를 도출하는 과정은 TRA에서 가장 핵심이 되는 과정이며 이 과정을 객관적이고 정확하게 수행하기 위하여 CTE 체크리스트 등의 보조도구와 전문가 의견이 활용된다.

CTE 도출 프로세스는 <그림 2-14>와 같다. 먼저 목적으로 하는 전체 또는 최종 기술을 Work Breakdown Structure(WBS)를 통하여 요소기술로 분류하고, 각 요소기술의 중요성을 감안하여 1차적으로 ‘CTE 검토대상’을 식별한다. 그렇게 선정된 요소기술은 체크리스트를 통해 CTE로서 적정성한지에 대한 검증 과정을 거쳐 ‘후보 CTE’로 분류되고, 전문가의 검토를 통해 ‘최종 CTE’로 선정된다.

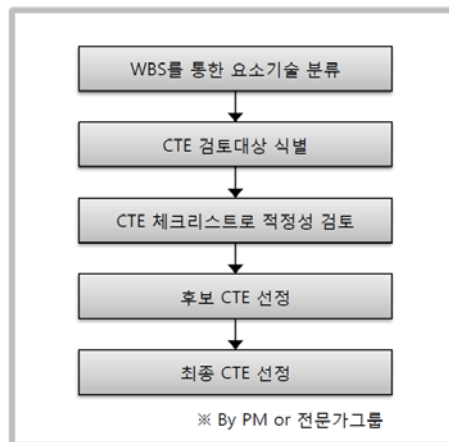


그림 2-14. CTE 도출 프로세스

여기서 CTE 도출을 위한 보조도구인 체크리스트는 일반적으로 다음과 같은 두 가지 개념을 바탕으로 구성된다.

- SET 1 : 개발기술의 목표(성능, 비용, 일정)를 충족하는데 결정적인 영향을 주는 기술인가?
- SET 2 : 새로운 방식, 환경, 요구조건에 맞추어 개량할 필요가 있는 기술인가?

SET 1은 ‘대상요소(CTE 검토대상)의 필요성’에 관한 내용이고, SET 2는 ‘대상요소(CTE 검토대상)의 혁신성’에 관한 내용으로, 이를 바탕으로 CTE 도출을 위한 체크리스트 항목 및 기준을 정리하면 <표 2-7>과 같다. 즉, SET 1의 질문은 해당 기술이 운용 요구사항, 비용, 일정 등에 중대한 영향을 주는가를 판단하는 것으로 CTE로서 반드시 갖추어야 할 특성이 되고, SET 2에 해당하는 질문은 총 6개로 CTE의 자격을 갖추려면 적어도 1개 이상은 충족되어야 한다.

표 2-7. CTE 도출을 위한 체크리스트

단계	CTE 체크리스트	기준
Set (I)	1. 해당 기술이 운용 요구사항, 비용, 일정 등에 중대한 영향을 주는가?	반드시 충족
Set (II)	2. 해당 기술을 개발하거나 시연하는데 중대한(실패) 위험이 예상되는가?	적어도 하나 이상 충족
	3. 해당 기술이 새롭거나 독창적인가?	
	4. 기존의 성공적으로 적용된 이후에 금번 개발 시 변경된 기술이 있는가?	
	5. 해당 기술이 새로운 유사환경(relevant environment)에 적용될 수 있는가?	
	6. 원래의 설계목적이나 시범된 능력을 뛰어넘는 환경조건과 성능의 충족이 요구되는가?	

(4) CTE별 TRL 평가

최종 CTE가 도출 되면, TRL 평가 체크리스트와 TRL Decision Process Flowchart 이용하여 각 CTE에 대한 TRL을 평가하며, 필요에 따라 이 두 가지 도구를 조합한 Excel 기반의 계산시스템(Calculator)을 보조도구로 활용하기도 한다.

TRL 평가 체크리스트는 앞에서 설명한 CTE 도출을 위한 체크리스트와는 별개로 TRL 각 단계의 완성도를 측정하기 위한 도구를 의미하며, 이 체크리스트의 각 질문은 각각의 CTE가 무슨 결과물(physical articles)을 어떠한 환경(environment)에서 구현(realized)했는지, 즉 CTE 평가척도의 3가지 구성요소를 평가하는 질문들로 구성된다. 각각의 질문들은 평가 대상이 되는 기술의 특성에 따라서, 소프트웨어(Software : S) 기술에 적용하는 질문, 하드웨어(Hardware : H) 기술에 적용하는 질문과 소프트웨어 기술, 하드웨어 기술 모두에 공통되는 질문(Both : B)으로 구분된다.

<표 2-8>과 같은 TRL 평가 체크리스트상의 질문(Questions)들에 대하여 충족(Yes) 또는 미충족(No)으로 대답하기 위해서는, Complete percent(이하

충족도)를 설정해야 한다. 예를 들어, 충족도를 80%로 설정하였을 경우에 평가자는 R&D 결과물이 해당 질문을 70% 정도 충족시켰다고 판단하였다면, 해당 질문에 대한 대답은 미충족(No)으로 체크될 것이다. 해당 TRL 단계의 모든 질문에 대한 판정이 이루어지면 TRL Decision Process Flowchart를 이용하여 해당 기술이 각 단계에서 목표로 하는 성숙도에 이르렀는지를 판정한다.(그림 2-15. 참조)

표 2-8. TRL 평가 체크리스트 예

TRL Level	구분	Questions	Complete percent	Answer
TRL 1	B	대략적 계산이 개념에 부합하는가	%	
	B	기본원칙(물리, 화학, 수학)이 개념에 부합하는가	%	
	S	소프트웨어를 통하여 그 개념을 뒷받침할 수 있는가	%	
	S	일반적인 관점에서 알려진 소프트웨어 요구사항이 있는가	%	
	B	연구 논문이 새로운 기술에 대한 기본적 과학 원리를 뒷받침 하는가	%	
	S	개념에 대한 수학적 공식의 연구가 있었는가	%	
	S	사용할 알고리즘에 대한 기본 원칙들이 구성 되었는가	%	
	B	과학적 방법론이나 접근법을 개발했는가	%	
TRL 2	B	잠재적인 시스템이나 구성요소에 대한 어플리케이션을 발견했는가	%	
	B	연구 논문이 그 시스템이나 구성요소에 대한 타당성을 입증하는가	%	
	B	명확한 설계 방법을 개발 했는가	%	
	H	기술의 기본 구성 요소를 확인한 적이 있는가	%	
	B	사용자 인터페이스가 만들어졌는가	%	
	H	기술이나 시스템 구성요소에 대해서 조금이나마 특성화 시켰는가	%	
	H	각 구성요소에 대한 성능 예측을 문서화 하였는가	%	
	S	기본 원리에 대한 대략적인 소프트웨어 코딩을 문서화하였는가	%	
	B	기능적 요구사항들을 만들어 내는 과정을 시작했는가	%	
	H	대략적인 분석은 기본적인 과학 원리에 부합하는가	%	
	S	여러 가지 데이터를 통한 실험으로 개념을 검증하였는가	%	
	B	기초 과학적 원리들은 분석적 연구를 통해 확인되었는가	%	
	B	기술의 모든 부분들은 각각 개별적으로 작동하는가	%	
	S	소프트웨어를 돌리기 위한 하드웨어를 쉽게 구할 수 있는가	%	
	B	출력 장치를 사용할 수 있는가	%	

※ S = Software, H = Hardware, B = Both(S/H 모두 해당되는 질문) → 해당 기술의 특성에 따라 선택적 응답

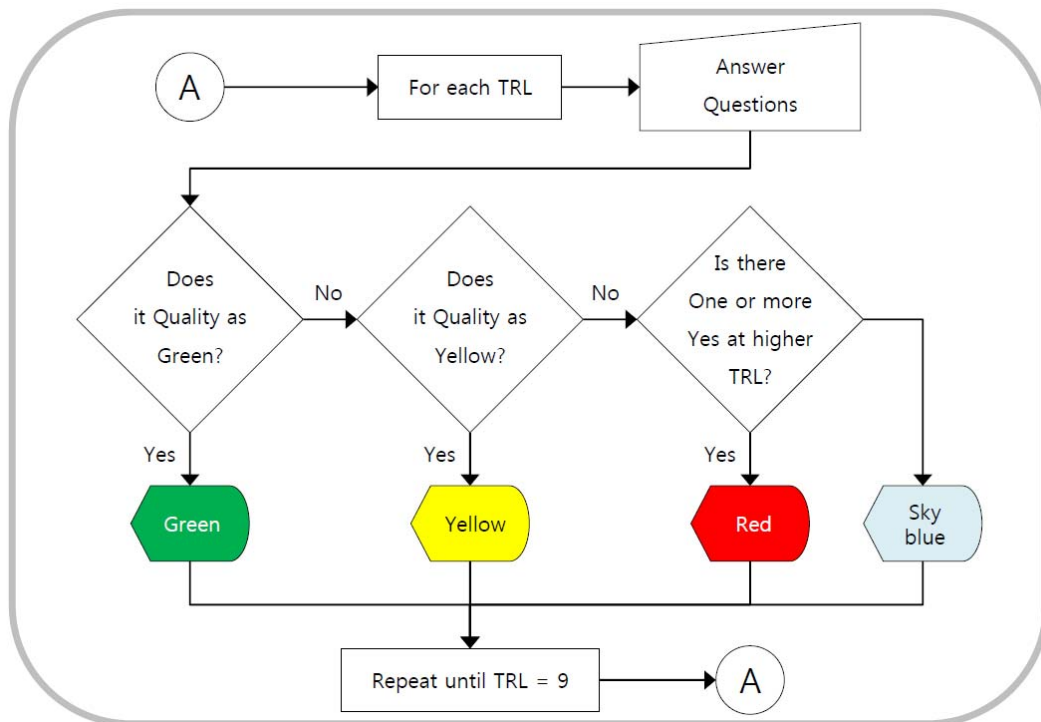


그림 2-15. TRL Decision Process Flowchart

TRL Decision Process Flowchart를 이용해 TRL을 판단하는 기준은 다음과 같다.

- Set point 설정 : TRL 판단을 위해서는, 먼저 TRL Decision Process Flowchart에서 Green, Yellow, Red의 범위를 설정해 주어야 하는데 이를 Set point라 한다. 일반적으로 적용되는 Set point는 아래와 같다.
- Green : 체크리스트 항목 중에서 충족되는 항목이 80%를 넘는 경우에 현재 설정된 TRL 단계를 달성한 것으로 판정한다.
- Yellow : 체크리스트 항목 중에서 충족되는 항목이 60~80%인 경우에 나머지 미 충족된 요소들이 사업에 치명적인 영향을 주지 않는지를 별도로 확인한 이후에 설정된 TRL 단계를 달성한 것으로 판정한다.
- Red : 체크리스트 항목 중에서 충족되는 항목이 60% 미만인 경우에는 현재 설정된 TRL 단계를 달성하지 못한 것으로 판정한다.

이때 유의하여야 할 것은 특정 CTE가 평가결과의 목표로 하는 TRL에 대해 ‘Green’에 해당하는 판정이 나왔다 하더라도 또 다른 CTE가 ‘Yellow’ 또는

‘Red’ 판정이 나왔다면 가장 레벨이 낮은 CTE가 전체 프로젝트의 TRL 레벨을 결정하게 된다는 점이다. 따라서 연구 개발자나 관리자는 ‘Yellow’ 또는 ‘Red’에 해당하는 CTE 또는 전체 기술개발에 대해 추후 진행여부에 대해 신중한 판단을 내려야 한다. 즉, ‘Yellow’ 또는 ‘Red’에 해당하는 기술을 ‘Green’ 수준으로 완성하기 위해서는 더 많은 기간과 비용의 투자가 필요하므로 지속적인 지원을 할 것인지, 대체 기술을 사용할 것인지, 아니면 연구개발을 중단하여야 할지를 결정하여야 한다.

제3절 국내·외 TRL 적용 사례

1. 미국 국방부(DoD)의 TRL

(1) TRL 관련 규정

미국 국방부는 GAO의 권고를 토대로 '01년부터 모든 무기체계개발 사업을 대상으로 하여 기술성숙도 평가를 실시하도록 규정하였으며, 이와 관련해 DoD Directive 5000.01에 그 근거규정을 마련해놓고 있다. 즉, 이 규정은 무기체계개발 사업의 위험 관리를 위한 주요 검토 사항을 명시하고 있는 것으로, 특히 체계개발 단계에 착수하기 전에 기술 성숙 여부를 시연하여 기술적 위험을 줄이도록 하고 있다.¹⁸⁾ 미국 국방부의 TRL 관련 규정에 관한 내용은 <표 2-9>¹⁹⁾와 같다.

표 2-9. 미국 국방부의 TRL 관련 규정 : DoD Directive 5000.01

10.5.2. Technology Maturity and Technology Readiness Assessments

Technology maturity is a measure of the degree to which proposed critical technologies meet program objectives; and, is a principal element of program risk. A technology readiness assessment examines program concepts, technology requirements, and demonstrated technology capabilities in order to determine technological maturity.

The program manager should identify critical technologies via the Work Breakdown Structure. In order to provide useful technology maturity information to the acquisition review process, **technology readiness assessments of critical technologies and identification of Critical Program Information (CPI) must be completed prior to Milestone Decision points B and C.**

(2) TRL 9단계의 정의

DoD의 TRL 9단계 정의와 세부내용은 다음 <표 2-10>²⁰⁾과 같다.

18) 박준수 외, 기술성숙도평가(TRA) 방법론 및 적용방안 연구, 국방기술품질원, 2009

19) DoD Directive 5000.01 "DEFENSE ACQUISITION GUIDEBOOK", 2007

20) 한국산업기술평가원, 부품소재기술개발사업의 부품소재기술개발사 기준, 2007

표 2-10. DoD의 TRL 9단계 정의 및 세부내용

Category	Definition		
	TRL Level	DoD의 H/W	세부내용
기술 개발	1	<ul style="list-style-type: none"> 기본적인 원리가 관찰되고 보고되는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 과학적 연구가 응용기술개발로 발전되기 시작함. 기술의 기본적 특성에 대한 논문 연구 포함
	2	<ul style="list-style-type: none"> 관찰되어진 원리와 성질로 인해 실제적인 개념과 응용기술이 발명되는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 개발 시작. 기본 원리 탐색 후 실용적 응용 개발 가능. 추론 이론이므로 증명 또는 가정을 뒷받침 하는 상세한 해석이 없을 수 있음. 이론해석에 부족한 예시
	3	<ul style="list-style-type: none"> 해석적 연구와 이의 물리적 검증위한 연구실 기반 연구수행단계 	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발 착수. 해석적인 연구 또는 실험이 개별 기술의 이론적 가정에 대한 유효성을 제시함. 통합적이거나 대표적인 사례는 없음
	4	<ul style="list-style-type: none"> 기술 기본요소들이 통합되어 함께 작동하는 것을 연구실환경수준에서 시현되는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 개별 기술의 통합. 최종 목표와 비교할 때 다소 떨어지는 성능의 기술. 실험실 환경에서의 임시 작품 개발 완료
개발된 기술의 체계 적용성 확인	5	<ul style="list-style-type: none"> 기술 기본요소들이 통합되어 함께 작동하는 것을 모사된 환경이나 실제 환경과 유사한 수준에서 시현되는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 브레드보드 기술성능의 향상. 기술 구성 항목을 합리적으로 현실적으로 뒷받침하는 요소기술의 통합으로서, 모사 환경에서 테스트 완료
	6	<ul style="list-style-type: none"> 시 제작된 시스템이 실제 운용환경에서 시현되는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 주요 성능 평가에 적절한 환경에서의 시작품. 성능 검증의 진일보. 고 정밀 실험실 환경 또는 유사환경에서의 시작품 테스트 완료
체계 개발	7	<ul style="list-style-type: none"> 최종 형상과 조건에서 작동함이 증명된 기술 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 실제 환경 또는 이와 근접한 환경에서의 시작품. 항공기, 자동차, 또는 우주환경과 같은 실제 환경에서 시제품의 성능 검증을 함으로써 TRL 6단계로부터 진일보함
	8	<ul style="list-style-type: none"> 임무상황 하에서 기술이 최종적으로 적용된 것으로 시현하는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 최종 시제품으로서 기술 검증 완료. 대부분의 조건에서 실제 시스템 개발의 완료. 설계 규격을 충족시키는지 결정하기 위한 의도된 무기 체계에서 시스템 평가와 개발 테스트를 포함
	9	<ul style="list-style-type: none"> 성공적인 작동을 통한 양상 	<ul style="list-style-type: none"> 최종 제품으로써 시제 적용 및 임무 시행. 시운전 및 평가

(3) TRA 프로세스 및 수행 조직

DoD의 TRA 프로세스는 아래 <그림 2-16>과 같이, 크게 사전 준비, CTE 선정, TRL 평가 활동으로 구성되며 각각의 활동을 수행함에 있어서 관련 주체들 사이에 검토 및 피드백 과정을 거친다. DoD의 TRA 관련 주체들의 책임과 역할은 <표 2-11>과 같다.²¹⁾

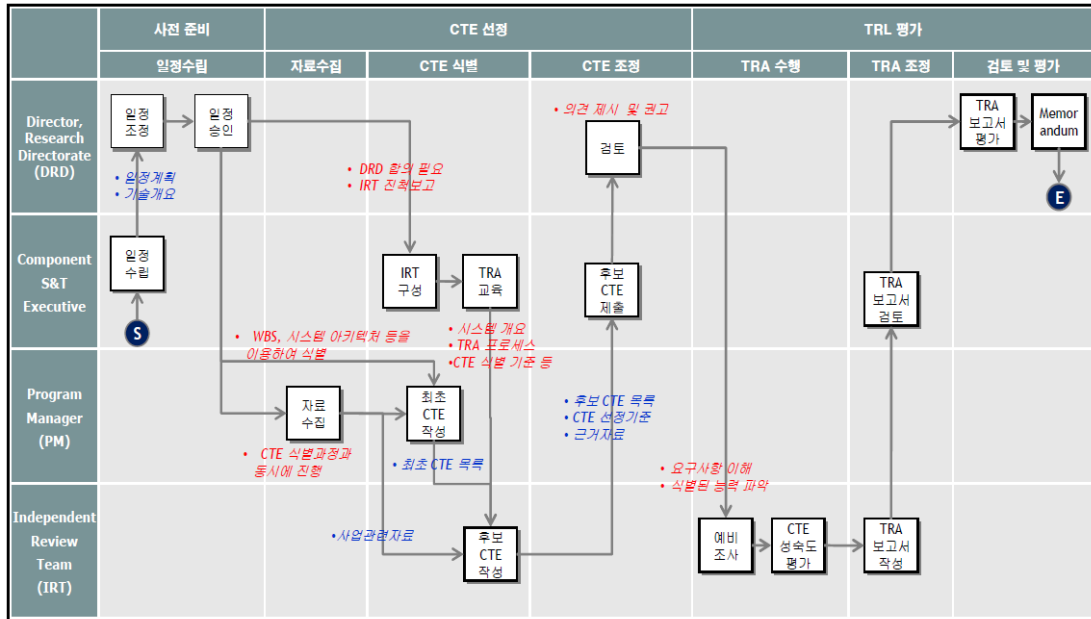


그림 2-16. DoD의 TRA 프로세스

표 2-11. DoD의 TRA 관련 주체 및 역할

관련 주체		책임 및 역할	조직 및 구성
DoD DDR&E	Director, Research Directorate (DRD)	<ul style="list-style-type: none"> TRA 일정 및 평가팀 구성 지원 TRA 수행 과정 모니터링 CTE 선정 결과 검토 및 심의 TRL 평가 결과 확정 	국방부 연구개발국
DoD Component	S&T Executive	<ul style="list-style-type: none"> TRA 평가팀 구성 TRA 수행 기준 및 프로세스 설정 CTE 후보군 검토 및 조정 TRA 결과 보고서 검토 및 제출 	각 군 연구소 및 산하기관
Program Manager (PM)		<ul style="list-style-type: none"> TRA 평가 일정 수립 및 보고 CTE 후보군 1차 식별 TRL 결과 보고서 검토 및 제출 	사업별로 설정
Independent Review Team (IRT)		<ul style="list-style-type: none"> CTE 후보군 2차 검토 및 식별 TRL 평가 실시 TRA 보고서 초안 작성 	[전문가 그룹] <ul style="list-style-type: none"> 소요군 및 산하기관 연방정부출연연(FFRDCs) 학계 및 산업계 전문가

21) 박준수 외, 기술성숙도평가(TRA) 방법론 및 적용방안 연구, 국방기술품질원, 2009

2. NCHRP의 TRL 적용²²⁾

(1) 개요

TRL 및 TRA 개념을 건설 분야에 적용한 사례는 그리 많지 않다. 이는 같은 R&D 사업이라도 사업 그 자체의 특성과 연구수행조직, 최종성과물 등의 특성이 다르기 때문에 이 방법론이 모든 산업분야에 일반화되지 않은 것이라는데 기인하는 것으로 설명할 수 있다. 그러나 많지 않은 사례 중, TRL 및 TRA의 핵심적인 개념만을 발췌하여 건설 분야에 적용한 예로 미국 교통연구위원회(The National Cooperative Highway Research Program; NCHRP)에서 수행한 ‘급속 내진 교량시공 공법 평가’를 들 수 있다.

이 연구에서는 내진 급속 교량시공 공법을 적용함에 있어 접합부 유형을 분류하고, TRL의 개념을 활용하여 각 공법의 적정성을 평가하고 있으며 이때 평가항목은 기술개발의 단계를 평가하는 ‘기술성숙도(technology readiness)’를 포함해 급속시공을 위한 ‘공기단축 가능성(time savings potential)’, 성능에 있어서의 장·단점을 평가하는 ‘잠재적 성능(performance potential)’ 세 가지로 구성된다. 여기서 TRL 평가개념은 해당기술이 실제 현장에서 적용될 수 있는지의 여부와 신기술의 경우, 현장에서 해당 기술을 적용하기 위하여 필요한 사항을 판단하기 위하여 사용되었다.

(2) TRL 정의

이 연구에서는 DoE와 미국 NASA에서 정의한 TRL을 평가지표로 활용하되, ‘급속 교량시공’의 기술특성을 반영하여 TRL 9단계를 재정의 하였다. 해당 연구에서 ‘급속 교량시공의 연결 접합부’의 기술 및 성능을 평가하기 위하여 정의한 TRL 9단계는 다음 <표 2-12>와 같다.

22) NCHRP(National Cooperative Highway Research Program), Report 698, Application of Accelerated Bridge Construction Connections in Moderate-to-High Seismic Regions, 2011

표 2-12. ‘급속 내진 교량시공 공법’에 대한 기술성숙도 정의

단계	정 의
1	<ul style="list-style-type: none"> • A design concept has been formulated. — 설계 개념이 정립되었는가?
2	<ul style="list-style-type: none"> • The connection type has been analyzed or tested for static strength. — 해당 연결부 타입의 정적강도에 대해 분석 및 시험되었는가?
3	<ul style="list-style-type: none"> • The connection type has been successfully deployed in a low seismic region — 해당 연결부 타입이 지진이 많지 않은 지역에서 성공적으로 사용되고 있는가?
4	<ul style="list-style-type: none"> • The connection type has been analyzed for response to inelastic cyclic loading — 해당 연결부 타입이 비탄성 주기적 하중에 대해 적절히 반응하는지 분석되었는가?
5	<ul style="list-style-type: none"> • The critical connection components have been tested under inelastic cyclic loading — 주요 연결부 구성부재가 비탄성 주기적 하중에서 시험되었는가?
6	<ul style="list-style-type: none"> • A connection subassembly has been tested under inelastic cyclic loading — 연결부 구성부재의 조립 상태가 비탄성 주기적 하중에서 시험되었는가?
7	<ul style="list-style-type: none"> • Seismic design guidelines for the connection type have been formulated and published — 해당 연결부 타입에 대한 내진 설계지침이 정립되어 공개되었는가?
8	<ul style="list-style-type: none"> • The connection has been used in a bridge constructed in a high seismic region — 해당 연결부 타입이 지진이 빈번한 지역에서의 교량시공에 적용되었는가?
9	<ul style="list-style-type: none"> • The connection type has performed adequately during a design-level seismic event in the field. — 해당 연결부 타입이 설계한 수준의 지진이 발생했을 경우 적절하게 성능을 발휘하였는가?

(3) TRL 평가

이 연구에서 TRL의 개념은 이미 완성된 연구성과 또는 공법을 대상으로 한 것이므로 연구의 계속적 진행여부를 판단하기 위해 사용된 것이 아니다. 다만, 본래 TRL의 개념을 수정한 각 단계별 정의에 대해 어느 정도 부합하는 지를 판단하고 있으며 그에 대한 판단은 연구에 참여한 4~5인의 전문가에 의해 이루어졌다. 따라서 각 TRL의 달성여부는 양부 또는 ‘Green’, ‘Yellow’, ‘Red’ 등의 단계로 구분하지 않고 4등급의 단계별 완성도(0-25, 25-50, 50-75, 75-100%)로 평가하였다.(표 2-13. 참조)

표 2-13. ‘급속 내진 교량시공 공법’에 대한 기술성숙도 평가표

Technology Readiness Level (TRL)		% of Development Complete			
TRL	Description	0-25	25-50	50-75	75-100
1	Concept exist				
2	Static strength predictable				
3	Low seismic deployment				
4	Analyzed for seismic loading				
5	Seismic testing of components				
6	Seismic testing of subassemblies				
7	Design and construction guidelines				
8	Deployment in high seismic area				
9	Adequate performance in earthquake				

<표 2-14>는 이와 같은 방법으로 수행된, 평가대상 중 하나인 ‘바 커플러(bar coupler)’ 접합 방법의 TRL 평가결과 예를 보여주고 있다. 여기서 특이한 것은 본래 TRL 또는 TRA 개념에서는 가장 어느 한 단계가 ‘부적합’으로 평가되면 다음 높은 단계로 발전할 수 없지만, 이 사례에서는 4, 5, 6단계가 매우 부적합함에도 불구하고 7, 8단계의 평가가 이루어졌다는 점이다. 이는 본 사례의 경우 TRL을 완벽한 급속 내진 시공방법이 갖추어야 할 기술 요건들을 기술의 성숙수준에 따라 분류, 정의하여 본래의 목적과는 다른 용도로 TRL 개념을 활용하고 있기 때문이다.

표 2-14. 바 커플러(bar coupler)’ 접합 방법의 TRL 평가결과

Technology Readiness Level (TRL)		% of Development Complete			
TRL	Description	0-25	25-50	50-75	75-100
1	Concept exist				
2	Static strength predictable				
3	Low seismic deployment				
4	Analyzed for seismic loading				
5	Seismic testing of components				
6	Seismic testing of subassemblies				
7	Design and construction guidelines				
8	Deployment in high seismic area				
9	Adequate performance in earthquake				

따라서 이 평가결과는 ‘바 커플러(bar coupler)’ 접합 방법이 ‘지진이 빈번한 지역에서의 교량시공에 이미 적용(TRL 8)’ 되고 있지만 ‘비탄성 주기적 하중에 대한 분석(TRL 4)’, ‘비탄성 주기적 하중에서 주요 연결부 구성부재의 시험(TRL 5)’, ‘비탄성 주기적 하중에서 주요 연결부 구성부재의 시험(TRL 6)’ 등에 대해서는 매우 취약한 기술이라 해석할 수 있다.

(4) TRL 적용 특성

미국 에너지부(DoE)나 미국 항공우주국(NASA)에서 개발하고 적용한 TRL 평가에서는 기술개발 각 단계에 대하여 TRL 달성여부에 따른 Risk Management의 개념이 반영되어 이전 단계를 충족하지 않고 다음 단계로 넘어갈 수 없다. 하지만, 해당 연구에서는 실제 상황에서는 어떠한 단계가 생략되거나 100% 충족되지 않아도 다음 단계에 대한 TRL 평가가 가능하며, 생략된 단계에 대하여는 다음 단계의 달성 정도에 따라 보완이 가능하다고 보았다. 이와 같이 TRL 평가를 적용함에 있어서, CTE 나 TRA의 개념을 반영하지 않고 다소 직관적인 평가에 의해 TRL 단계를 판단하였다는 한계점이 있다. 하지만, 기존에 TRL을 적용하였던 분야가 아닌 건설교통과 관련한 기술분야에서 기술의 특성을 잘 반영하여 TRL 9단계에 대해 재정의의 내리고, TRL을 적용하였다는 점에 의의가 있다.

3. 방위사업청 주관 ‘국방연구개발’ 분야의 TRL

(1) 국내 국방분야 TRL 도입 및 적용 개요

방위사업청은 2006년에 무기체계개발 사업의 주요 시점마다 기술적 구성요소들이 충분히 성숙되어 있는지를 평가하고 기술적 준비 부족으로 인해 발생할 수 있는 위험을 예방하여 보다 효율적인 기술개발 성과를 도출하기 TRL 개념 및 TRA를 도입하기로 규정하였다.²³⁾ 그러나 2006년 ‘방위사업관리 규정’에서는 TRL 도입을 규정할 뿐, TRL 및 TRA와 관련하여 구체적인 방법 및 지침이 명확하게 제시되지 않아, 2009년 국방기술품질원의 연구결과를 토대로, 연구개발 단계별로 TRL을 측정하도록 ‘방위사업 관리 규정’을 개정하여 시행하고 있다. (표 2-15. 참조)

이 규정에서는 국내 국방분야 무기체계 획득 프레임워크를 <그림 2-17>과 같이 선행연구, 탐색개발, 체계개발, 양산, 운영/유지 단계로 구성하고 있으며, 선행연구단계와 탐색개발단계, 체계개발단계에서 TRA를 수행하도록 하고 있다. 국방기술품질원에서 수립한 TRL 9단계와 TRA 절차는 각각 <표 2-16>²⁴⁾ 및 <그림 2-18>과 같다.

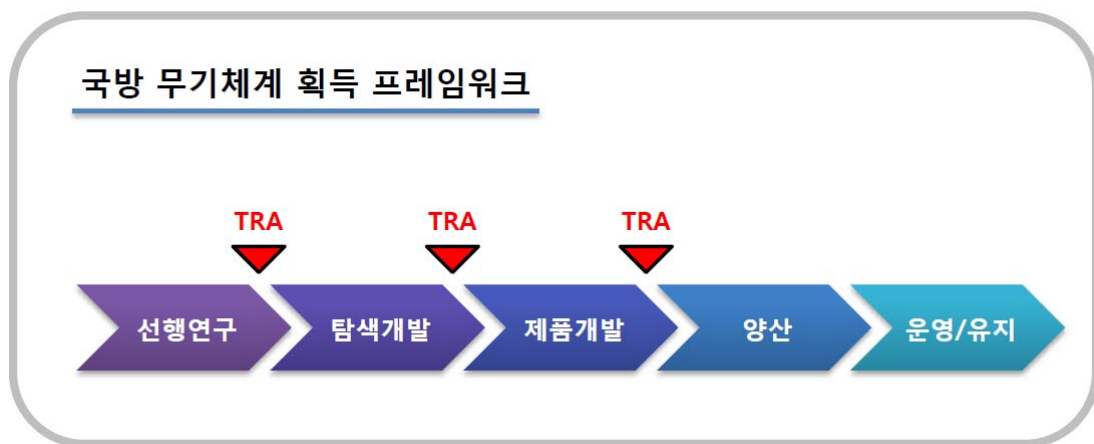


그림 2-17. 무기체계 획득 프레임워크에 따른 TRA 수행 시점

23) ‘무기체계(Weapon system)’ 정의 : 하나의 무기체계가 부여된 임무 달성을 위하여 필요한 인원·시설·소프트웨어·종합군수지원요소·전략·전술 및 훈련 등으로 성립된 전체체계를 말한다.

24) 국방기술품질원, 국방 신개념기술시범사업(ACTD) 과제 공모 공모문, 2012

표 2-15. TRL 및 TRA 관련 방위사업관리규정 (2010. 3. 30)

구분		주요 관련 규정	
무기 체계 연구 개발 사업	선 행 연 구	제84조 획득방안의 개발	“초기 통합사업관리팀장은 다음 각 호의 업무수행을 통해 적절한 획득방안을 개발하여야 하며……” 3. 기술성숙도평가에 따른 연구개발 진입단계 설정
		제86조 획득방안 수립 시, 검토사항	“초기 통합사업관리팀장은 획득방안 수립 시 다음 각 호의 사항에 대하여 관련부서 및 기관에 검토를 요청……” 7. 국내 개발가능성 8. 업무분할구조분류에 의한 기술수준조사결과
	탐 색 개 발	제116조 탐색개발내용	③ 연구개발주관기관은 계량화된 방법을 사용하여 체계개발에 사용될 기술들의 성숙도(Technology Readiness Level을 말한다)를 나타내어야 한다. ⑤ 주 구성장비의 주요 성능과 기술성숙도를 별도로 확인할 수 있다. 이때 기술검토결과가 타당할 경우에 한하여 간이장비를 사용하여 주 구성장비와의 연동가능성을 확인할 수 있다.
		제117조 탐색개발결과 보고	② 탐색개발결과보고서에 포함하는 내용은 다음 각 호와 같다. 2. 연구개발결과 바. 기술성숙수준(정량화 지표를 제시하여야 한다.)
	체 계 개 발	제122조 체 계 개 발 사 업 관 리 계획서 작성	“통합사업관리팀장은 …… 다음 각 호의 사항을 포함하는 체계개발 사업관리계획서를 작성……” 7. 우발사태관리계획 나. 기술성숙도 미흡에 의한 개발실패 예상 시 조치계획
	신개념 기술시범 사업 (ACTD)	제194조 신 개념 기술 시범의 목적 등	① ACTD사업은 이미 성숙된 기술을 활용하여 새로운 개념의 작전운용개념을 갖는 무기체계 또는 핵심 구성품을 군사적 실용성 평가를 통하여…… 단기간에 입증하는 사업…… ② 제1항에 의한 무기체계 또는 핵심구성품은 유사 환경에서 성능시연이 가능한 기술수준으로…… 연구개발을 통하여 군 운용환경하에서 시범 가능한 완성품이어야 한다.
		제196조~제197조 과제요청 및 검토	“ACTD 과제 요청 시 포함할 내용은……” 3. 기술의 성숙도 : 국내의 기술수준 “획득기획국장은…… 다음 각 호의 내용을 고려하여 …… 검토한다.” 4. 기술의 성숙도 및 기술발전추세와의 부합성

표 2-16. 국방기술품질원의 TRL 9단계 정의 및 세부내용

Category	Definition		
	TRL Level	DoD의 H/W	세부내용
선행연구	1	<ul style="list-style-type: none"> 기본 원리 이해 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발의 가장 낮은 단계로, 과학적 연구결과가 응용연구개발 단계로 전이되기 직전 단계
	2	<ul style="list-style-type: none"> 기술개념 형성 및 응용분야 식별 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 기본원리가 이해된 후 응용분야를 식별함. 응용내용이 아직은 이론 수준으로서 추론을 뒷받침할 실험적 증명이나 상세 분석이 이루어지지 않은 상태임
	3	<ul style="list-style-type: none"> 주요 기능에 대한 분석/실험 또는 특성에 대한 개념 입증 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 활발한 연구개발이 시작됨. 기술을 적절한 대상에 응용하기 위한 분석적 연구, 분석결과가 물리적으로 유효함을 입증하는 실험실 수준의 연구를 포함. 타 부품에 적용되지 않았거나 성능이 완전하지 않은 부품 수준도 포함됨
	4	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 구성품 또는 실험용 조립건본(Breadboard) 수준의 성능 입증 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 부품(시제품)이 결합되어 불안정하지만 종합적으로 성능을 발휘함. 최종 체계에 비해서 성능이 상대적으로 불완전함
개발된 기술의 체계 적용성 확인	5	<ul style="list-style-type: none"> 유사 운용환경에서 구성품 및 실험용 조립건본(Breadboard) 수준의 성능 입증 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 시험 대상 구성품 및 실험용 조립건본 (Breadboard)의 성능 안정성이 상당히 향상됨. 성능의 충실성을 높이도록 실험실에서 구성품을 조립하는 것도 포함
	6	<ul style="list-style-type: none"> 유사 운용환경에서 체계/부체계 모델 또는 시제품의 성능 시범 단계 	<ul style="list-style-type: none"> TRL 5 수준 이상의 대표적인 모델 또는 시제품이 유사 운용 환경에서 시험됨
체계 시연	7	<ul style="list-style-type: none"> 운용환경에서 체계 시제품의 성능 시연 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 운용환경에서 시제품에 대한 성능시연을 수행하는 단계로서, 체계공학과 개발 관리 신뢰성을 보증하는데 목적이 있음
	8	<ul style="list-style-type: none"> 시험 및 시범을 통해서 실체계의 완성 및 입증 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 예상되는 조건하에서 최종 완성된 형태로 기술이 입증됨. TRL은 거의 모든 상태에서 실제 체계의 개발이 완성된 상태를 표현함(최초생산품에 대한 초도시험평가가 완료됨)
체계 운영 및 지원	9	<ul style="list-style-type: none"> 성공적인 임무 운용을 통한 실체계의 입증 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 최종 형태 및 임무조건 하에서 기술의 실제적인 응용이 완성된 상태(최초운용능력(IOC) 확인으로 임무 및 운용성이 입증됨)

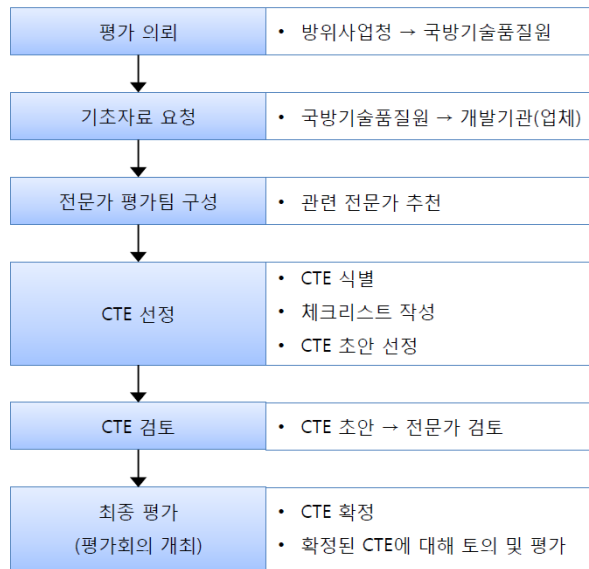


그림 2-18. 방위사업청의 TRA 수행 절차

(2) TRA 적용 파일럿 프로젝트 사례

국내 국방분야의 TRA 적용 방법과 절차는 방위사업청 분석평가국의 요청(2009. 12. 18)에 따라 약 2개월에 걸쳐 TRA를 실시한 ‘○○○체계’ ACTD 과제를 사례²⁵⁾로 설명한다.

(가) 평가의뢰 및 기초자료요청

ACTD 예규에 명시된 TRA 관련 근거(방위사업청 ACTD 예규 2009-61호(2009. 11. 2) : 제26조 TRL 판단)를 바탕으로 방위사업청 시험평가국이 국방기술품질원에 TRA 수행을 요청하였다.

(나) 전문가 선정

전문가는 사업 관련 전문가와 기술전문가로 구분하고 사업 관련 전문가는 방위사업청과 국방기술품질원의 해당 사업담당자로, 기술전문가는 해당 분야에 전문적인 지식이 있는 업체연구소 소장, 상호 운용성 분야 전문가, 공군 중령, 통신 분야 전문가인 국방기술품질원 연구원으로 구성하였으며, 전문가 선정요건은 해당분야의 연구경험과 해당 과제관리 및 운용성 시험에 참여한 경험을 필수 자격요건으로 하였다.

25) 고흥석 외, 국방기술수준조사의 이해와 실무, 2011

(다) CTE 선정 및 검토

<표 2-17>과 같이 CTE 선정을 위해 개발업체로부터 WBS를 구성한 후 주요 기술을 식별하고, <표 2-18>의 체크리스트를 통해 적정성 검토 후, 후보 CTE를 선정하였으며, 선정된 후보 CTE를 전문가에게 검토의뢰를 하여, <표 2-19>와 같이 최종적으로 CTE를 선정하였다.

표 2-17. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제의 WBS를 통한 CTE 식별

W B S			주요요소기술	기술설명	획득 방법
대분류	중분류	소분류			
00 체계 H/W	적용 플랫폼	견고화 UMPC	1. Sunlight viewable	• 태양광에 노출되어도 화면을 식별할 수 있는 밝기조절기술 (1cd-830cd)	국외 구매
			2. MIL-STD-810F 적용	• 소형 UMPC 운용환경조건 충족 (가속도, 고도, 온도)	국외 구매
			3. MIL-STD-461F (EMI/EMC)	• 소형 UMPC EMI/EMC 설계 기술	국외 구매
			4. 터치스크린 기술	• 터치스크린 기술	국외 구매
			5. 부팅시간 30초 이내	• XP Embedded OS 이미지 제작기술	국외 구매
			6. 전술모뎀 인터페이스	• USB 통신 인터페이스 설계기술	자체 개발
			7. GPS 인터페이스	• USB 통신 인터페이스 설계기술	자체 개발
		거치대	8. 견고화 UMPC용 거치대 설계/제작	• 거치대, 경량화 소형화기술	자체 개발

표 2-18. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제의 CTE 체크리스트

항목 기술 번호	해당기술이 운용요구사항, 비용, 일정 등에 중대한 영향을 주는가?	해당 기술 개발 시 난이도가 높아 리스크를 포함하는가?	해당 기술이 새롭거나 독창적인가?	기존에 성공적으로 적용된 기술인 경우 금번 개발 시 변경된 기술인가?	해당기술이 기존 장비에 비해 새로운 응용 환경에 적용되는가?	해당기술이 초기 목표 성능을 월등히 초과할 것으로 예상되는가?	후보 CTE (자체식별)	
							식별 내용	자체 TRL 평가
1	Y						N	8
2	Y						N	8
3	Y						N	8
4	Y						N	8
5	Y						N	8
6	Y						N	8
7	Y						N	8
8	Y						N	8
9	Y						N	8

표 2-19. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제 최종 CTE 선정결과

기술구성체계		기술 획득 방법	목표성능	비고
번호	CTE			
6, 14	우선순위 고려 PTT 가동 제어기술	자체 개발	<ul style="list-style-type: none"> 음성 최우선 송신 	<ul style="list-style-type: none"> 음성과 데이터 우선 순위 판단을 위한 기술로 명칭변경 6번기술 자체개발 확인 (업체)
20	임무정보(9-Line 등) 처리	자체 개발	<ul style="list-style-type: none"> CAS 임무지원 	
24, 25	XML 기반 KVMF 메시지생성, 처리기술	자체 개발	<ul style="list-style-type: none"> XML을 기반 CAS 임무 관련 KVMF 메시지 생성 및 처리기술 	<ul style="list-style-type: none"> XML 기반이 주요 내용으로 명칭변경 및 통합
26	188-220 네트워크 구성 제어기술	자체 개발	<ul style="list-style-type: none"> CAS 임무용 네트워크 구성 	

(라) 최종 평가 및 평가표 작성

- 해당 기술에 대한 평가는 먼저 근거자료 검토 및 토의를 통하여 단계별 개발내용을 확인하고 가능한 모든 관계자의 의견을 수렴하되 이견이 있을 경우 사업수행 관련자의 답변을 통해 여러 가지 사실을 확인한 후, TRL 레벨별 문항을 평가하고 최종적으로 평가표를 작성하였다.
- 평가표는 모든 레벨에 대해 모두 할 필요가 없으므로, 개발기관이 자체적으로 평가하여 제시한 레벨부터 시작하여 한 단계씩 아래 레벨에 대하여 평가하였다.
- 각 CTE별 TRL을 평가한 후 (표 2-20. 참조), 전문가별 TRL 평가표 (표 2-21. 참조)를 작성하여, 최종적으로 종합 평가 결과 (표 2-22. 참조)를 작성하여 최종 TRL을 결정하였다.

표 2-20. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제 CTE 레벨 평가표

기술명		우선순위 고려 PTT 자동제어기술			TRL 7	
정의		체계에서 시현				
설명		실제 체계에 결합되어 시현되는 단계				
구분	순번	체크리스트항목	충족	미충족	미해당	비고
공통	1	스트레스 환경에서 개별 컴포넌트와 체계간의 인터페이스에 대해 테스트가 시행되었는가?	✓			
	2	최종 플랫폼은 아니지만 운용환경을 구축되었는가? (Ex : Test-bed)	✓			
	3	운용환경에서 대부분의 기능은 시연되었는가?	✓			
	4	대표적인 환경에서 체계와 결합하여 운용이 실시되었는가	✓			
	5	실제 또는 모의운용환경에서 완전히 통합된 시제품이 시연되었는가?	✓			
	6	사용환경(실 체계 등)에서 시스템 시제품의 테스트가 성공적으로 수행되었는가?		✓		
H/W	7	직접 테스트를 할 수 없는 시스템 요소에 대해서는 M&S를 실시 하였는가? (예, 우주에서의 동작)	✓			
	8	구성품들은 생산이 가능한 단위로 개발되었는가?	✓			
S/W	9	운용환경에서 알고리즘이 수행되었는가?	✓			

표 2-21. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제 전문가별 TRL 평가표

기술구성체계		최종 TRL	의견
번호	CTE		
6, 14	우선순위 고려 PTT 자동제어기술		
20	임무정보(9-Line 등) 메시지 처리기술		
24, 25	XML 기반 KVML 메시지 생성 처리기술		
26	188-200 네트워크 구성 제어기술		
평가위원 : 소속		성명	(서명)

표 2-22. 국방분야 ‘○○○체계’ ACTD 과제 TRL 결과 종합표

기술구성체계		전문가별 평가결과 (종합)
번호	CTE	
6, 14	우선순위 고려 PTT 자동제어기술	7
20	임무정보(9-Line 등) 메시지 처리기술	8
24, 25	XML 기반 KVML 메시지 생성 처리기술	8
26	188-200 네트워크 구성 제어기술	8
종합 TRL		7

(3) 신규 R&D 사업에의 TRL 및 TRA 적용 현황

현재 국방기술품질원에서는 R&D 사업 과제 공모 시, 참여자로 하여금 해당 기술의 현재 TRL과 사업 종료 후 예상되는 목표 TRL을 제시하도록 하여, 과제 제안서의 평가요소로 적용하고 있다. 다음은 ‘국방 신개념기술시범사업(ACTD) 과제 공모’ 사례에 나타난 TRL과 TRA의 실제 적용 개요이다.²⁶⁾

(가) 과제 기획 단계부터 TRL을 중요 요소로 반영

공모 과제 대상을 ‘기술성숙도(TRL) 6(유사 운용환경에서 체계·부체계 시제품의 성능시험단계) 이상으로 첨단기술이 적용된 무기체계 또는 핵심구성품’으로 TRL 범위를 한정하여 과제를 기획 및 발주하였다.

(나) 제안서에 TRL 반영 요구

제안서 제출 시, 연구개발 제안서 제출자로 하여금 해당 기술의 현재 TRL과 목표 TRL 제시하도록 요구하였다.

표 2-23. 과제 제안서의 TRL 관련 필수 제시 항목

주요기술	기술성숙도 (TRL)	기술 또는 제품 (국내)	
		구현된 실적물 (자체 또는 국내)	구현 목표 (ACTD산출물)
	1~9중 선택		
	1~9중 선택		

(다) WBS를 통한 CTE 선정 근거 요구

해당 사업에 적합한 WBS 레벨을 지정하여 과제를 발주함으로써, 제안서 제출자는 과제의 연구범위를 정확히 이해하고 연구 목적에 접근할 수 있게 하고, 제안서 제출자로 하여금, CTE 선정 사유와 TRL 판단 사유 및 관련 근거 제시를 요구하였다.

26) 국방기술품질원, 국방 신개념기술시범사업(ACTD) 과제 공모 공모문, 2012

표 2-24. WBS 레벨 설정 및 CTE 관련 정보

번호	핵심구성품 (WBS Level 2 이하를 기술하되 필요시 Level 3을 기술)	주요기술	목표성능 (구체적 수치 등)	선진국 수준	선진국 대비 국내 수준	선진국 대비 제안업체 수준	기술확보 방안
1	구성품 (Level 2) 명칭	구성품별 적용되는 주요기술요소 (CTE) #1 명칭					<input type="checkbox"/> 자체개발 <input type="checkbox"/> 국내협력 <input type="checkbox"/> 외주제작 <input type="checkbox"/> 국외협력 <input type="checkbox"/> 국외도입
		구성품별 적용되는 주요기술요소 (CTE) #2 명칭					<input type="checkbox"/> 자체개발 <input type="checkbox"/> 국내협력 <input type="checkbox"/> 외주제작 <input type="checkbox"/> 국외협력 <input type="checkbox"/> 국외도입
	
1.1	구성품 (Level 3) 명칭	...	...	...	...	...	...
...	...						

표 2-25. 개별 CTE의 TRL 판단 사유 및 근거

번호	핵심구성품 (WBS Level 2 이하를 기술하되 필요시 Level 3을 기술)	주요기술	기술성숙도 (TRL)	TRL 판단 사유	비고 (관련근거/ 확보계획)
1	핵심구성품 (Level 2) 명칭	핵심구성품별 적용되는 주요기술요소 (CTE) #1 명칭	1~9 (TRL 기준표 참고하여 표시)	CTE #1에 대한 기술성숙도의 판단 사유	관련근거 또는 확보계획
		핵심구성품별 적용되는 주요 기술요소 (CTE) #2 명칭	1~9 (TRL 기준표 참고하여 표시)	CTE #2에 대한 기술성숙도의 판단 사유	관련근거 또는 확보계획
	
1.1	핵심구성품 (Level 3) 명칭	...	...	...	...
2	핵심구성품 (Level 2) 명칭	...	...	...	...

4. 지식경제부 주관 ‘부품소재기술개발사업’ 분야의 TRL

(1) 지식경제부의 TRL 도입 배경 및 개요

지식경제부는 ‘기술혁신사업 평가제도 개선’을 목적으로 사업화 가능성에 대한 정량적 평가지표인 TRL 평가지표의 도입을 요구 하였으며, 그 결과 한국산업기술평가원에서 부품소재 개발사업의 특성을 분석하여, TRL을 재 정의하고, 부품소재 산업기술별로 핵심부품소재를 선정, 각 핵심부품소재의 기술성숙도(TRL) 판단 기준을 제시하게 되었다.

여기서 제시된 TRL은 부품소재 사업의 특성을 고려해 <표 2-26>과 같이 ‘금속/세라믹/섬유/화학’, ‘기계/전기/전자’, ‘식품/의약품/화장품’ 등 3개 산업분야에 걸쳐 기초연구단계, 실험단계, 시제품 단계, 제품화 단계, 사업화 단계의 5개 카테고리 나눈어 정의되었으며 평가대상이 되는 부품소재산업은 44개의 중분류와, 455개의 소분류로 구성된다.

한국산업기술평가원에서 제시하고 있는 TRL은 일단 시범적으로 7개 산업분야의 50개 핵심부품 소재에 대하여 CTE를 도출하고 차츰 모든 소분류 핵심부품 소재에 이를 적용하려고 계획하고 있으나 도출된 CTE의 성격이 단일 프로젝트를 구성하는 요소기술의 그것과는 상이하고 주로 연구개발 사업의 이론적 내용을 중심으로 한다는 한계가 있으며 연구 개발 최종 성과물의 최종사용자(end user) 관점에서 작성된 것이 아니므로 목표 성능이 명확하게 제시되지 않았다는 한계가 있다.

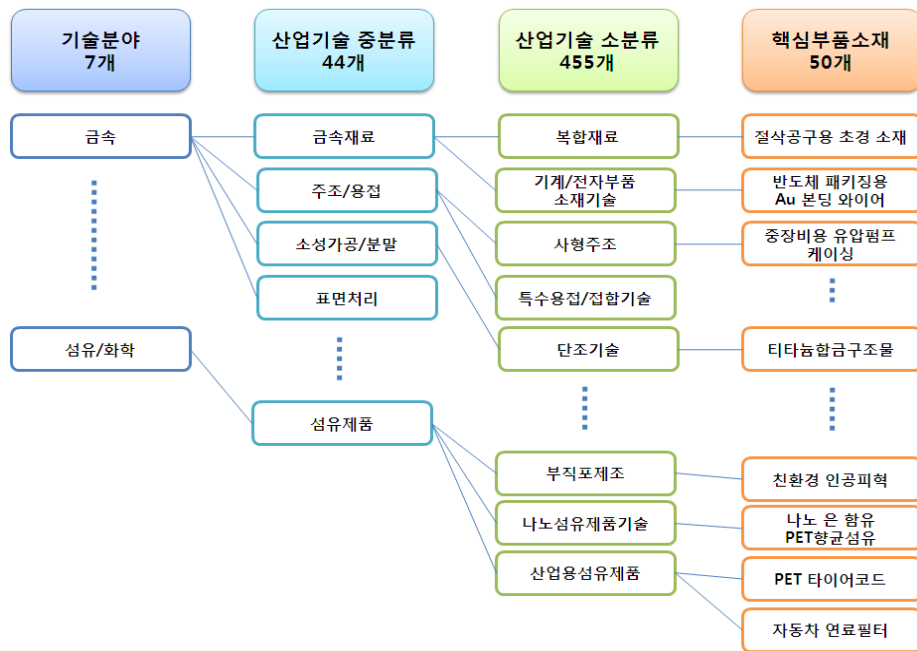


그림 2-19. 산업기술 분야별 핵심부품소재

표 2-26. 부품소재 사업의 산업분야별 TRL 정의

구분	TRL	부품소재 사업의 TRL 정의	산업분야별 TRL 정의			비고
			금속/세라믹/섬유/화학	기계/전기/전자	식품/의약품/화장품	
기초연구 단계	1	기초 이론/실험	-	-	-	
	2	실용 목적의 아이디어, 특허 등 개념 정립	-	-	-	
실험단계	3	연구실 규모의 기본 성능 검증	다양한 소재 합성 및 배합	모델링/설계 기술 확보	다양한 소재 실험	
	4	연구실규모의 부품/시스템 성능 평가	최적의 소재 합성 및 배합비 구성	실용화를 위한 핵심요소기술 확보	핵심기능소재 선별	
시작품 단계	5	확정된 부품/시스템의 시작품 제작	공정 최적화 조건	제작기술, 시스템 통합기술 확보	분리 및 수율 향상	
	6	시작품 성능 평가	시작품 성능평가	시작품 성능평가	전임상시험, 독성/안정성 평가	
제품화 단계	7	시작품의 신뢰성 평가	신뢰성 평가	시작품의 신뢰성 평가	임상시험 (1상~3상)	
	8	시제품의 인증 및 표준화	KS, ISO인증	한국 선급인증, KS, ISO인증	식약청 허가	
사업화 단계	9	사업화	-	-	-	3-시그마 6-시그마

(2) 지식경제부의 TRL 판단기준 수립 절차

한국산업기술평가원의 TRL 평가는 <그림 2-20>과 같은 절차를 거쳐 진행되었으며, 기술기획위원회를 개최하여 해당 업무를 수행하였다. 기술기획위원회의 세부일정(표 2-27. 참조)에 따른 각 단계별 주요 업무의 내용은 아래와 같다.

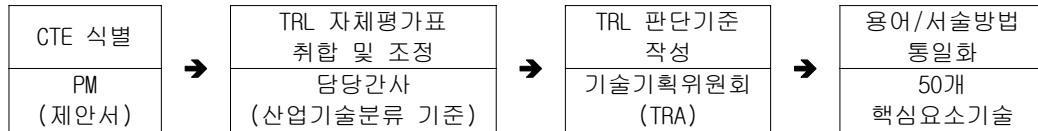


그림 2-20. TRL 평가 절차

표 2-27. 기술기획위원회 세부 일정

일정	진행내용	비고
10월	기술기획위원회 운영 (10/18) - 통합 분과 : 외부전문가 14인 +담당연구원 7인 - 위원별 산업기술 소분류 지정 : 위원당 3~4개 - 위원별 과제 배분 및 세부 운영 방안 토의 위원별로 작성한 TRL 판단기준 취합 (10/29)	산업기준 소분류 기준
11월	TRL 판단 기준 검토 및 보완 (11/9)	

(가) CTE 식별

담당연구원은 해당 기술분야별로 7건 내외의 TRL 세부기준 작성 대상 과제를 선정하고 부품소재실 담당연구원 9인과 외부전문가 14인으로 CTE 식별 인력을 구성하였다. 그 결과 2007년도 중간 및 최종평가대상 174건 및 신규지원 과제 66건 중 산업기술 소분류를 대표할 수 있는 과제를 선정하였고, 다음 단계로 선정된 과제당 1건(단독과제)에서 3건(공동과제), 총 50개의 핵심 부품/소재를 CTE로 도출하였다.

(나) TRL 자체 평가표 취합 및 조정

담당연구원은 담당과제별로 자체평가서 취합 및 산업기술 소분류 기준으로 자체평가서를 분류하고 필요한 경우 자체평가서(표 2-28. 참조)의 내용을 조정하여 위원회에 제출하였다.

표 2-28. TRL 자체평가 서식

기술개발 추진일정별 기술성숙도(T.R.L) 자체평가표	
총괄과제명	()

세부 과제명	번 호	개발내용	추진일정																TRL (단계)
			1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				
			1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
세부과제1 과제명 : ()	1	()																	()
	2	()																	()
	3	()																	()
	4	()																	()
	5	()																	()
세부과제2 과제명 : ()	1	()																	()
	2	()																	()
	3	()																	()
	4	()																	()
	5	()																	()
세부과제3 과제명 : ()	1	()																	()
	2	()																	()
	3	()																	()
	4	()																	()
	5	()																	()

개발시작일	(20 . . .)	작성자:총괄책임자	()
개발종료일	(20 . . .)	확인자:담당간사	

작성요령
1) 협약서상의 사업계획서를 참조하여 기술개발 추진일정과 일치하게 개발내용을 작성 2) 별도의 세부과제가 없는 경우 세부과제 1에 대해서만 작성함 3) TRL(Technology Readiness Level)은 첨부 기술성숙도 개요 및 적용기준 안내에서 산업기술 분류별 TRL 정의를 참고하여 개발내용이 T.R.L. 몇 단계인지 해당 번호를 기입

(다) TRL 판단기준 작성

기술기획위원회는 취합한 TRL 자체평가표를 평가하여 산업기술 소분류별 핵심요소기술(CTE)에 대한 TRL 평가를 수행하고 TRL 판단기준을 작성하여 최종적으로 50개의 핵심요소기술(CTE)에 대한 TRL 판단기준을 작성하였다.

표 2-29. 부품소재사업분야 TRL 평가서식

산업기술 중분류	1)	담당간사명	2)
		작성위원명	3)

구분	단계	TRL정의	산업기술소분류	4)	개발연차
			핵심부품소재	5)	
기초연구 단계	1	기초 이론/실험	6)		7)
	2	실용 목적의 아이디어, 특허 등 개념 정립	6)		7)
실험단계	3	실험실 규모의 기본 성능 검증	6)		7)
	4	실험실 규모의 부품/시스템 성능평가	6)		7)
시작품 단계	5	확정된 부품/시스템의 시작품 제작	6)		7)
	6	시작품 성능 평가	6)		7)
제품화 단계	7	시작품의 신뢰성 평가	6)		7)
	8	시제품의 인증 및 표준화	6)		7)
사업화	9	사업화	6)		7)

작성요령
1) 산업기술분류 중분류명 및 코드를 기재(산업기술분류체계 참조) 2) 담당간사명을 기재 3) TRL 세부기준 작성 위원명을 기재 4) 산업기술분류 소분류명 및 코드를 기재(산업기술분류체계 참조, 담당간사와 협의) 5) 개발하려는 핵심 부품소재명을 기재 6) 및 7) 주관기관이 작성한 TRL 자체평가표를 참조하여 기재 * 자체평가표에 신뢰성평가센터 또는 수요기업에 의한 신뢰성 평가 단계(TRL 7~8에 해당)가 포함되어 있는지 확인 * 각 단계별 유사 양산(또는 생산) 환경에서의 성능평가 단계(TRL 5~6)가 포함되어 있는지 확인

표 2-30. 기술분야별 TRL 현황 중 금속분야 사례

산업기술 중분류	산업기술 소분류	핵심 부품소재	개발시작 TRL	개발종료 TRL
표면처리(1004)	도금기술(100402)	페라이트계 스테인레스강선재	4	6
주조/용접(1002)	사형주조(100201)	중장비용 유압펌프케이싱	3	6
소성가공/분말(1003)	단조기술(100301)	티타늄합금구조물	4	6
금속재료(1001)	복합재료(100103)	절삭공구용 초경 소재	3	7
금속재료(1001)	기계/전자부품 소재기술(100105)	반도체 패키징용 본딩 와이어	3	7
표면처리(1004)	도금기술(100402)	배선용 구리 도금용액	3	6
주조/용접(1002)	특수용접/접합기술 (100208)	선박엔진용 부품 일체화를 위한 마찰압접 기술	2	6

(라) 용어 및 서술방법 통일화

기술분야별로 서로 다른 TRL에서 동일한 용어를 사용함으로써 오는 혼란을 방지하기 위해 분야별로 각 단계에서 사용되는 용어를 통일하였다.

표 2-31. 기술분야별 용어사용의 통일

TRL	금속/세라믹/섬유/화학	기계/항공/로봇/자동차/조선	반도체/디스플레이/디지털융합	바이오/나노	비고
3~4	초도품		시험샘플		
5~6	스케일업			GMP 파일럿	섬유분야 예외
	현장적용시험 (생산기업)	현장적용시험 (생산기업)	Field 기반		
	시작품	시작품	시작품		
7~8	파일럿 생산	파일럿 생산	파일럿 생산		
	Field test (수요기업)	Field test (수요기업)	Field test (수요기업)		

(3) 지식경제부 기술분야별 TRL 적용 현황

각각의 평가 대상 기술분야별로 TRL 9단계를 정의하는 지식경제부 TRL의 특성을 반영하여, 현재 지식경제부에서 TRL을 적용하는 R&D 사업은 각각 다르게 정의된 TRL 9단계를 적용하고 있다.

(가) 연구개발특구육성사업 전략사업 R&D 사업

지식경제부는 대덕 연구개발특구의 연구성과물 및 우수기술의 사업화 추진을 위한, 전략 R&D 사업의 시행에 <표 2-32>와 같은 TRL 9단계를 적용하였다.

표 2-32. 연구개발특구 육성사업 전략 R&D 사업의 TRL 9단계 정의

구 분	단계	대덕특구 전략산업 R&D 사업 정의	세부 설명
기초연구 단계	1	기초 이론/실험	<ul style="list-style-type: none"> 연구과제 탐색 및 기회 발굴 단계
	2	실용 목적의 아이디어, 특허 등 개념 정립	<ul style="list-style-type: none"> 실용 목적의 아이디어, 특허 등 개념 정립
실험 단계	3	연구실 규모의 기본 성능 검증	<ul style="list-style-type: none"> 연구실/실험실 규모의 환경에서 기본 성능이 검증될 수 있는 단계 개발하려는 시스템/부품의 기본 설계도면을 확보하는 단계 모델링 / 설계기술 확보
	4	연구실 규모의 부품/시스템 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> 연구실 규모의 부품/시스템 성능 평가 3단계에서 도출된 다양한 기술 중, 컴퓨터 모사를 통해 최적의 기술을 선택하는 단계 실용화를 위한 핵심요소기술 확보
시작품 단계	5	개발한 부품/시스템으로 구성된 시작품 제작 및 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> 개발한 부품 / 시스템의 시작품(Prototype) 제작 및 성능 평가 경제성(생산성)을 고려하지 않고, 우수한 시작품을 1개 ~ 수 개 미만으로 개발 제작기술, 시스템 통합기술 확보 대부분 R&D 사업에서 성공으로 판정
	6	파일럿 단계 시작품의 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> 경제성(생산성)을 고려한, 파일럿 규모의 시작품 제작 및 평가 시작품의 재현성을 확보 (제작 수량 : 복수 개 ~ 양산규모) 5단계에서 구축된 생산 설비 또는 시작품의 성능을 평가하되, 가능한 경우 공인인증 기관의 성적서를 확보하는 단계 시작품 성능평가
실용화 단계	7	파일럿 단계 시작품의 신뢰성 평가	<ul style="list-style-type: none"> 시작품의 신뢰성 평가 실제 환경(수요기업)에서 성능 검증이 이루어지는 단계
	8	시제품의 인증 및 표준화	<ul style="list-style-type: none"> 일부 시제품의 인증 및 인허가 지원
사업화	9	사업화	<ul style="list-style-type: none"> 일부 시제품의 마케팅, 기술이전 활동비 등 지원

(나) 지식경제 R&D 사업 관련 TRL 정의

지식경제부는 2012년 3월 산업융합촉진산업 관련 R&D 사업 기술수요조사 공고를 통해 다음 <표 2-33>과 같이 정의한 TRL 9단계를 적용하였다.

표 2-33. 국가과학기술위원회의 지식경제 R&D 사업 TRL 9단계 정의

국가R&D사업 조사·분석 (국가과학기술위원회)		지식경제 R&D 사업		
단 계	정의 (OECD)	TRL 단계		단계별 정의
기 초 연 구	특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구	1	기본원리 발견	• 기초이론 정립 단계
		2	기술개념과 적용분야의 확립	• 기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계
응 용 연 구	기초연구의 결과 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 아래 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구	3	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	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 • 의약품 등 바이오 분야의 경우 목표 물질이 도출된 것을 의미 등
응 용 연 구	기초연구의 결과 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 아래 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구	5	유사 환경에서의 Working Model 검증	• 확정된 소재/부품/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 • 의약품은 GMP(Good Manufacturing Practice, 제약품질관리기준) 파일럿 설비를 구축 등
개 발 연 구	기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적인 연구	6	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, 수율, 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 • 의약품의 경우 비임상 시험기준인 GLP(Good Laboratory Practice, 동물실험규범)기관에서 전임상시험을 완료하는 단계 등
		7	실제 환경에서 시제품 데모	• 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계 • 부품 및 소재개발의 경우 수요업체에서 직접 파일럿 시제품을 현장 평가(성능뿐만 아니라 신뢰성에 대해서도 평가) • 의약품의 경우 임상 2상 및 3상 시험 승인 • 가능하면 KOLAS 인증기관 등의 신뢰성 평가 결과 제출 등
		8	상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증	• 표준화 및 인허가 취득 단계 • 조선 기자의 경우 선급기관 인증, 의약품의 경우 식약청의 품목 허가 등
-	실용화/기술이전사업	9	상용제품생산	• 본격적인 양산 및 사업화 단계 • 6-시그마 등 품질관리가 중요한 단계 등

5. 기타 분야 TRL 적용 사례

(1) 서울시정개발연구원의 TRL 적용

서울시정개발연구원은 2011년도 서울전략산업 지원사업 중 “스마트 그리드용 고정밀 파워 미터링 SOP 및 홈 에너지 플랫폼 개발”의 기획 단계부터 TRL 개념을 도입하였다. <표 2-34>와 같이 해당 기술의 기술성 분석에 따른 판단 요소로 TRL을 활용하였으며, 각 연차별 연구마다 목표 TRL을 설정하였다.²⁷⁾

표 2-34. 서울시정개발연구원의 R&D 사업 기술성 분석을 위한 TRL 적용

기술적 중요도			
낮음	보통	높음	매우 높음
			0
기술적 파급효과			
낮음	보통	높음	매우 높음
			0
기술적 성숙도			
도입기	성장기	성숙기	쇠퇴기
0			
TRL 해당단계			
3단계	4단계	5단계	6단계
			0

(2) 보건복지부의 TRL 적용

보건복지부는 기존 U.S Army Medical Research and Material Command의 의학기술분야 TRL 정의를 바탕으로 <표 2-35>와 같이 TRL 9단계를 정의하고, 의약 및 바이오분야의 R&D 사업에 적용하고 있다.

표 2-35. 의약 및 바이오분야의 TRL 9단계 정의

TRL Level	정의
1	과학적 기반(문헌 등) 조사
2	가설의 설정, 실험계획수립, 관찰된 원리에 기초한 응용적 용법 모색
3	타겟규명, 주요물질 특성화
4	후보물질의 최적화 및 활성과 효능에 관한 시험(non-GLP)
5	후보물질의 기능성시험(독성실험, 효능실험, 동물실험 등)
6	임상 1상(약물의 안전 용량 범위 파악)
7	임상 2상(약물의 효과 및 안정성 평가)
8	임상 3상(약물의 우수성 평가), 식약청 승인, 기술이전
9	임상 4상(시판 후 조사, 장기 투여 시 부작용 확인)

27) 서울시정개발연구원 부설 산학연지원센터, 2011년도 서울전략산업 지원사업 기획보고서, 2011

제4절 TRL 적용 사례 연구 관련 시사점

TRL을 선행 적용하고 있는 국내·외 기관들의 사례 연구 결과, 개별 기관의 성격 및 분야에 따라서 TRL 적용목적 및 활용방식에서 근본적인 차이점이 있음을 확인하였다.

R&D 사업을 통해 개발된 기술의 End-User와 요구 성능이 명확한 NASA, DoD(국방), DoE(에너지) 및 국내 방위사업청과 같은 기관들은 R&D 사업의 위험도를 평가하고, 미성숙 기술에 대한 후속조치를 시행하기 위하여 TRL을 적용하고 있다. 그러나 각 기관의 주요 연구 분야가 상이함에도 불구하고, 기본적인 TRL 9단계 정의와 체크리스트의 질문들 또한 큰 차이점이 없는데 그 이유는 각 R&D 사업 초기, 해당 사업의 CTE를 도출하고 해당 사업의 TRL 9단계 충족 요건을 결정하는 상세 요구 성능을 설정하기 때문이다.

이와는 달리, 방위사업청을 제외한 국내의 타 기관들은, TRL을 해당 기관의 특성과 활용방안에 따라서 커스터마이징화하여 적용하고 있다. 본 절에서는 건설교통 R&D 사업에 TRL 및 TRA의 효과적인 적용을 위해, TRL을 선 적용한 타 기관들의 사례로부터 시사점을 도출하였다.

(1) 방위사업청의 TRL과 지식경제부의 TRL 비교

방위사업청의 TRL과 지식경제부의 TRL은 ‘어떻게 CTE를 정의하고 있는가?’, ‘어떠한 방식으로 대상기술을 개발하고 있는가?’, ‘평가지표는 어떻게 구성이 되는가?’의 측면에서 차이가 있으며 두 기관에서 적용하고 있는 TRL의 대표적인 차이점은 <표 2-36>과 같다.

특히 가장 기본이 되는 TRL 9단계의 정의를 방위사업청에서는 DoD의 TRL 기본 개념과 유사하게 정의하고 있는 반면, 지식경제부 주관 부품소재기술개발사업 분야의 TRL은 해당 사업분야의 특성에 맞춰 TRL 9단계를 새롭게 정의하였다. 또한 국방연구개발분야의 TRL이 사업 기술 분류별 동일한 TRL 9단계 지표를 적용하는 반면에, 부품소재기술개발사업 분야는 각각의 평가 기술마다 개별적인 TRL 9단계 지표를 적용하고 있다.

TRL 및 TRA 개념은 NASA와 DoD에서 최초 개발·사용 되었듯이, 국방분야의 R&D 사업처럼 End User가 존재하며, 연구결과물의 요구성능이 명확한 경우에 그 본연의 기능을 발휘할 수 있다. 요구성능이 명확하지 않은 경우에는 목표 TRL 설정부터 어려움을 겪을 수 있기 때문이다.

그러나 지식경제부의 사례는 방위사업청 사례와 비교할 때 이 부분에서 큰 차이가 난다. 즉, 연구 결과물을 정량적인 단계로 표현하고, 이해 관계자들 사이의 공통된 정보 교환 및 의사소통수단이 되는 TRL의 장점을 타 산업분야에서 활용 하고자 하는 시도로써 지식경제부의 TRL 개념 재정의와 적용 프로세스는 높이 평가할 수 있지만, End User가 확정되지 않은 상태에서 향후 수행될 연구개발과는 관계없이 기술분류체계에 따라 사전에 CTE를 확정지어 놓음으로써 CTE의 기술성숙이 최종 성과품의 완성을 결정짓게 되는 TRL 및 TRA 개념과는 다소 거리가 먼 것을 발견할 수 있다.

표 2-36. 방위사업청의 TRL과 지식경제부의 TRL의 비교

구분	방위사업청 주관 “국방연구개발 분야의 TRL”	지식경제부 주관 “부품소재기술개발사업 분야의 TRL”	비고
TRL 정의	DoD의 TRL과 동일	부품소재기술개발사업의 특성을 토대로 TRL 9단계 의미를 새롭게 정의	
TRA 프로세스	DoD TRA Deskbook의 프로세스 채택	부품소재기술개발사업의 특성을 토대로 새로운 프로세스 구축	
CTE 정의	Project의 성패를 좌우할 수 있을 정도로 중요한 기술, 즉 개발 기술이 완성되기 위하여 충족되어야 할 절대적 요소 기술	지금 해당 산업분야에서 가장 요구 되는 기술	<그림 3-20> 참조
대상기술 개발방식	End user 有	End user 無	
	Top-Down	Bottom-Up	
TRL 평가지표	어떠한 결과물(physical articles)을 어떠한 환경(environment)에서 구현(realized)했는지의 3요소를 반드시 포함하여 구성	산업분야별 TRL판단기준을 4W(when, who, where, what) 1H(how)의 5가지 관점을 취사선택하여 구성	<그림 3-21> <그림 3-22> 참조
	사업 기술 분류별 동일한 평가 지표 사용	각각의 평가 기술별 개별 평가지표 사용	

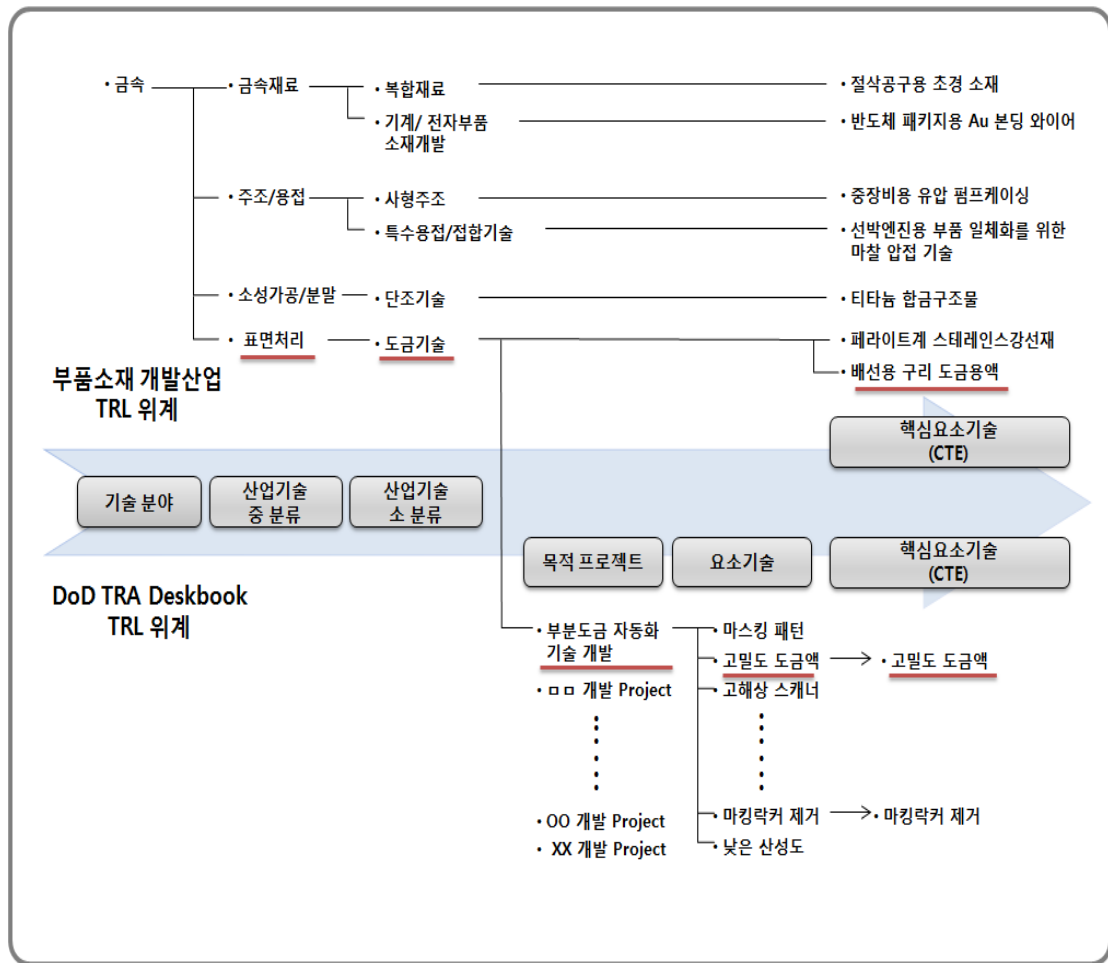


그림 2-21. 방위사업청 및 DoD의 TRL과 지식경제부의 TRL의 위계 비교

방위사업청과 DoD는 TRL을 “어떠한 결과물(physical articles)을 어떠한 환경(environment)에서 구현(realized)했는가”의 3요소에 따라서 9단계로 정의를 내리고 있지만(그림 2-21. 참조), 지식경제부는 ‘산업분야별 TRL판단기준을 “시험평가 주체(who), 시험평가 항목(what), 시험평가 환경(where), 개발연차(when)”의 4W요소와 “시작품 생산규모(how)”의 1H 요소에 따르는 5가지 관점을 취사선택하여 TRL 9단계를 정의하고 있다.(그림 2-22. 참조)

단계	결과물	환경	기능구현	
TRL 1	-	문헌	기본원리	• 기본적인 원리가 관찰되고 보고되는 단계
TRL 2	-	문헌	개념식 정립	
TRL 3	기능적 형태	연구실	물리적 검증	• 해석적 연구와 이의 물리적 검증을 위한 연구실 기반 연구수행
TRL 4	구성요소	연구실	유효성 검증	
TRL 5	구성요소	유사환경	시행	• 시 제작된 시스템이 실제 운용환경에서 시행되는 단계
TRL 6	시제품	유사환경	시행	
TRL 7	시제품	실제환경	시행	
TRL 8	완제품	실제환경	요구성능충족	
TRL 9	완제품	실제환경	요구성능 검증	

그림 2-22. 국방분야의 TRL 정의의 3요소(결과물, 환경, 구현)에 의한 TRL 평가지표

단계	TRL 평가지표 4W 1H				
	시험평가 주체 (Who)	시험평가 항목 (What)	시작품 생산규모 (How)	시험평가 환경 (Where)	개발연차 (When)
TRL 1	-	-	-	-	-
TRL 2	-	-	-	-	-
TRL 3	주관기관	선택적 사양 / 기본사양	실험 재료 / 시소재 / 시험 샘플 / 개념설계	실험실평가 / 전산모사	-
TRL 4	주관기관 및 공인시험기관	핵심사양	시편/시작소재 시작샘플 / 브레드보드 모델/기본설계	실험실평가	1차년도
TRL 5	주관기관 및 공인시험기관	생산기업 공급 사양	실험실 시작품 / 엔지니어링 모델 / 상세설계	실험실평가	1-2차년도
TRL 6	주관기관 및 공인시험기관	생산기업 공급 사양 및 수요기업 지정 사양	준 양산 시작품 / 프로토타입 모델	실험실 및 현장평가	2-3차년도
TRL 7	주관기관 신뢰성센터 수요기업	수요기업 지정 사양	준 양산 시작품 / 프로토타입 모델	실험실 및 현장평가	3-4차년도
TRL 8	국내의 표준제정기관	ISO, IEC, NET, KS 선급사양 등	-	-	4차년도
TRL 9	-	-	-	-	-

그림 2-23. 부품소재개발사업 분야의 4W 1H에 의한 TRL정의

(2) 기타 분야 기관들의 TRL 적용 시사점

TRL 및 TRA를 적용하고 있는 미국·영국 등의 주요 기관들은 연구 분야는 다르지만, 기본적인 TRL 9단계 정의와 체크리스트의 질문들 또한 큰 차이점이

없다. 그 이유는 각 R&D 사업 초기, 해당 사업의 CTE를 도출하고 해당 사업의 TRL 9단계 충족 요건을 결정하는 상세 요구 성능을 설정하기 때문이다.

하지만 국내의 보건복지부와 서울시정개발연구원 등 TRL을 선적용하고 있는 기관들은 주로 기술수요조사 등 과제 기획 혹은 지원대상과제 선정 및 평가등의 목적으로 TRL 지표를 활용하고 있다. 연구자의 자체적인 TRL 판단을 지원하기 위해, 개별 기술마다 각기 다른 TRL 평가지표를 작성하여 적용하고 있지만, 위험도 관리로서의 기능은 하지 못하고 있다. 이는 NASA와 DoD 등에서 적용하고 있는 원론적인 TRL/TRA 개념을 그대로 적용하기 보다는, CTE의 개념을 배제하고 TRL을 R&D 사업의 중복 방지를 위한 단계표시 수단 정도로 활용하고 있음을 알 수 있다.

(3) 건설교통 R&D 사업 TRL 적용을 위한 시사점

TRL/TRA가 국방분야의 무기개발사업, 우주개발사업, 에너지, 원자력발전소관련 연구개발사업 등 국내·외 다양한 분야의 기관에서 적용되고 있지만, 아직까지 건설교통 R&D 분야에 본격적으로 적용한 사례는 찾아볼 수 없었다. 이는 건설교통 R&D 사업의 특수성에 기인한다. 건설교통 R&D 사업은 공공기술 위주의 R&D로서, End-User와 상세 요구 성능이 불명확하여, 사업 초기 CTE를 선정하고, TRL 9단계 달성 여부를 판단할 수 있는 기준 설정에 어려움이 따르기 때문이다.

따라서 TRL 및 TRA를 건설교통 R&D 사업에 적용하고자 할 때 주의하여야 할 점은 TRL의 근본적인 개념은 그대로 유지하되, 건설교통 R&D 사업의 특성을 반영하여 TRL 각 단계를 정의하고, 그에 상응하는 TRA 수행 프로세스가 설정되어야 한다는 것이다.

본 연구의 ‘제4절 건설교통 R&D 사업 기술성숙도 평가 적용 방안’에서는 건설교통 R&D 사업의 특수성을 반영하되, R&D 사업의 발주자, 연구자, 사용자 간의 명확한 의사소통도구로서의 TRL과 R&D 사업 주요 시점마다 위험도를 관리하고, 연구 결과물의 신뢰성을 부여하는 도구로서의 TRL/TRA의 근본적인 목적을 기반으로 하는 ‘건설교통 R&D 사업 기술성숙도 평가 적용 방안을 제시하고자 한다.

제3장 건설교통 R&D 사업의 기술성숙도(TRL) 기반 평가체계

건설교통 R&D 사업의 성과관리 개선 및 실용화 향상을 위한 도구로서, TRL 및 TRA 적용 방안을 연구하기에 앞서, 타 기관들에서는 TRL 및 TRA를 어떠한 형태로 적용/활용하고 있는지 알아보았다. 건설교통 R&D사업의 경우, 정부가 해당사업을 지원하고, 관리는 전문기관에서 하지만, R&D 성과물에 대한 최종 사용자가 국토해양부나 전문기관이 아니므로, NASA 및 DoD에서 운용되고 있는 TRL 기반의 평가체계를 그대로 국내 건설교통 R&D 사업에 적용하기에는 어려움이 따른다. 따라서, 국내 건설교통 R&D 사업의 운용환경의 특수성이 고려된 TRL 기반 평가체계가 적용되어야 한다.

본 장에서는 건설교통 R&D 사업의 현행 평가 체계의 문제점을 분석을 통한 TRL 기반 평가체계 도입의 필요성을 서술하고, 건설교통 R&D 사업을 공법/기법, 재료/자재, 소프트웨어, 장비/장치, 시스템의 5가지 유형으로 분류하여, 유형별 TRL 9단계 정의하고, 연구자들의 이해를 돕고자 각 단계를 세부적으로 설명하였다. 또한, 본 연구에서 제안하는 TRL 기반의 건설교통 R&D 평가체계가 실질적으로 적용되고, 운용될 수 있도록, 건설교통 R&D 관련 주체별 역할을 서술하였으며, 단계적인 확대 적용이 가능하도록 R&D 사업의 유형에 따르는 단기적, 중장기적 적용 방안을 제시하고, 기(既) 종료 된, 연구단 규모의 과제에 시범 적용하는 Case study를 실시하여, 적용 가능성 및 시사점을 도출하였다.

제1절 TRL 기반의 평가체계 도입의 필요성

1. 건설교통 R&D 사업의 현행 평가 체계

현행 건설교통 R&D사업에 대해 전문기관이 시행하는 각종 평가는 <그림 3-1>과 같이, 그 시점과 성격에 따라서 ‘연구개발과제 선정평가’, ‘중간평가’ 또는 ‘단계평가’, ‘최종평가’로 이루어지며, 이와는 별도로 필요에 따라서, ‘진도관리’와 ‘자체평가’를 수행하기도 한다.

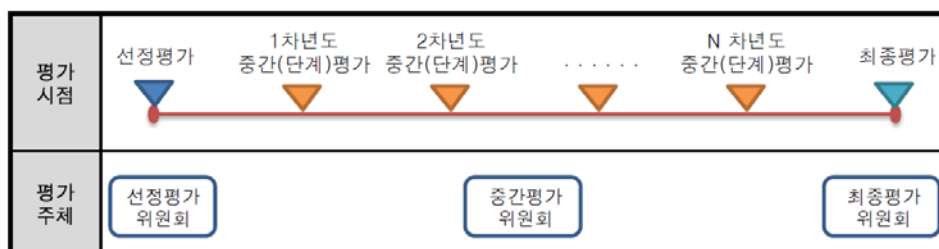


그림 3-1. 건설교통 R&D 사업 평가 유형

이때 각 단계평가는 해당 사업이 계획된 대로 수행되고 있는가의 여부와 최종성과의 성패를 예측할 수 있는 가장 중요한 단계로, 다른 어떤 평가보다도 객관적이고 체계적인 평가 및 관리방법이 요구된다. 현행 건설교통 R&D 단계평가는 <그림 3-2>와 같이 연구기관에서 제출한 해당 연구의 평가 관련 자료를 전문기관에서 사전 검토 후, 평가위원회에서 평가를 실시한다. 이렇게 도출된 평가결과를 토대로 운영위원회의 심의를 거쳐 차기 년도 협약 체결 여부를 결정한다.

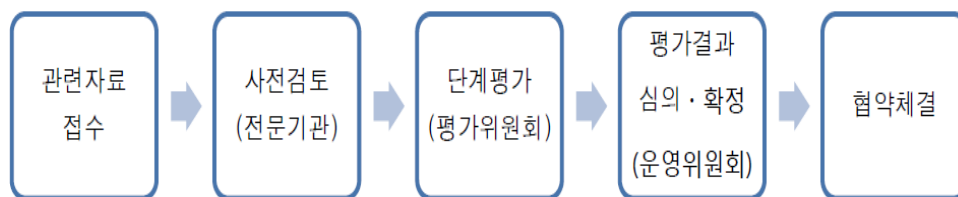


그림 3-2. 단계평가 절차

단계평가는 총 100점 만점 중 실적평가에 대한 정량평가와 정성평가, 향후 계획에 대한 정성평가 등으로 구분하여 이루어진다. 이 중 실적에 대한 정량평가는 각 연구목표에 대해 연구기관이 제시한 성과지표에 따라 목표지와 달성치를 근거로 평가하며, 정성평가는 5등급 척도에 따라 평가가 이루어진다. 이후 정량평가와 정성평가의 점수를 합산하여 최종적인 평가등급을 결정하는데, 계속 과제의 경우 60점 이상이면 계속 연구를 수행할 수 있지만, 60점 미만이면 중단하여야 하고, 종료 과제에 대해서는 60점 미만일 때 실패과제로 분류된다. 이하 <표 3-1 ~ 3-4>는 기 수행되었던 연구과제에서 사용된 평가항목 및 각종 기준의 사례이다.²⁸⁾

표 3-1. 사업단규모 R&D 세세부과제 단계평가 항목 사례

구 분		기준항목	평 가 항 목	배점
실적 평가 (60)	정량평가 (20)	목표달성도 (20)	성과지표 달성도	20
	정성평가 (40)	연구성과 (30)	당해 연구추진 결과	10
			연구결과의 우수성	10
			연구결과의 활용가능성	10
		연구개발 수행과정 (10)	연구수행방법의 적절성 - 수행체계 타당성 - 예산집행의 적정성 등	10
계획 평가 (40)	정성평가 (40)	차기년도 연구수행 계획 (40)	연구목표의 적정성 및 구체성	10
			목표달성을 위한 연구내용 및 성과지표의 적정성	10
			최종성과물 실용화 추진 계획의 적정성	10
			연구내용 및 예산배분의 적정성	10

28) 한국도로공사 초장대교량사업단, 초장대교량연구사업 3차년도 진도점검계획, 2011

표 3-2. 정량평가의 목표달성도 평가표

연구 목표	성과 지표	목표치	달성치	목표달성도[%] (달성치/목표치)	가중치	평가점수 (목표달성도 × 가중치)
성과지표 평가점수 합계					1.0	
성과지표 평가등급*						
95점 이상	90점 이상 95점 미만	80점 이상 90점 미만	70점 이상 80점 미만	70점 미만		
S (탁월)	A (우수)	B (보통)	C (미흡)	D (불량)		

표 3-3. 단계평가 등급 결정 기준

-계속과제(상대평가)

평가등급	평가조치
S등급(10%)	-
A등급(20%)	-
B등급(40%)	-
C등급(20%)	해당 과제 중 성과가 미흡하거나 연구개발을 지속하는 것이 불필요하다고 인정되는 경우에 한하여 지원중단 및 과제조정
D등급(10%)	지원중단

-계속과제(절대평가)

평가점수	평가조치
60점 이상	해당 과제 중 성과가 미흡하거나 연구개발을 지속하는 것이 불필요하다고 인정되는 경우에 한하여 지원중단 및 과제조정
60점 미만	지원중단

- 종료과제(선완료과제)

평가등급	우수	보통	성실실패 / 불성실실패
평가점수	90점 이상	60점 ~ 90점 미만	60점 미만

*출처 : 국토해양기술 연구개발사업 관리지침(2012.4.12. 개정)

표 3-4. 정성평가 기준(5등급 척도) 사례

평가 등급	평 가 기 준
S (탁월)	<ul style="list-style-type: none"> • 기대수준 대비 탁월한 수준 • 평가항목에서 요구하는 평가내용을 충분히 만족시킨 경우나 탁월한 노력에 의한 실적
A (우수)	<ul style="list-style-type: none"> • 기대수준 대비 우수한 수준 • 평가항목에서 요구하는 평가내용을 대체로 만족시킨 경우
B (보통)	<ul style="list-style-type: none"> • 기대수준을 충족하는 수준 • 평가항목에서 요구하는 평가내용을 겨우 만족시킨 경우 (문제는 있으나 개선 노력 중)
C (미흡)	<ul style="list-style-type: none"> • 기대수준 대비 다소 미흡한 수준 • 평가항목에서 요구하는 사항에 미흡한 경우 (개선이 필요함)
D (불량)	<ul style="list-style-type: none"> • 기대수준 대비 매우 미흡한 수준 • 평가항목에서 요구하는 평가사항의 상당부분이 결여 되거나 부족한 경우 (수행 정도가 매우 부족함)

2. 실용화 관점에서 본 TRL 기반의 평가체계 도입의 필요성

실용화를 목적으로 하는 R&D사업의 성과관리에 있어서 가장 중요한 것은 연구가 종료되었을 때 연구 성과물이 실용화 단계 수준에 이르렀는가를 판단하는 것으로 그 연구가 이론적으로 타당한가의 여부와는 다른 차원에서 관리되어야 한다. 즉, 기존의 정량적 평가지표로 주로 활용되고 있는 연구논문의 발표실적, 특허취득 실적, 공청회 개최 등은 목표 달성치가 아무리 높다하여도 직접적인 실용화 수준의 판단 기준으로 활용하기에는 무리가 있다. 또한 정성적 평가기준 역시 상당부분 ‘기대수준’이라는 애매한 기준에 의존하고 있으며, 실용화의 개념은 나타나있지 않다.

최종 판정결과 결국 연구지원이 계속되는 것으로 판정이 나거나 최종 성과가 성공으로 평가된다 하여도 향후 실용화가 가시적인지 또는 이미 실용화 목적을 달성하였는지를 판단할 수 없게 된다. 비록 이론적으로는 우수한 성과가 도출되었다 하더라도 실용화는 또 다른 노력과 더 많은 시간을 요하게 되므로 실용화 수준의 직접적인 판단기준이 없이는 국가가 지원하는 R&D사업의 예산낭비로 이어질 가능성이 크다.

이와 같이, 연구내용의 학술적 성과에 치중되어있는 현행 평가체계로 인해 발생하는 문제점을 개선하고, 평가 시점까지 진행된 R&D 결과가 최종적인 실용화에 도달하기까지 기술개발이 얼마나 진척되어 있는지를 판단하고, 향후 어떻게 관리하여야 하는지를 보여주는 도구로서의 TRL 기반의 건설교통 R&D 평가체계의 도입이 필요하다.

제2절 건설교통 R&D 사업 기술성숙도 평가 적용방안

1. 건설교통 R&D 사업에의 TRA 적용을 위한 기본 개념 및 방향

(1) 건설교통 R&D 사업에서의 TRA 개념 정의

기술성숙도(TRL)는 기술이 실용화되기까지 현 시점에서 무엇을 달성했는지를 보여주는 척도를 말하는 것이고, 기술성숙도평가(TRA)는 누가, 어느 시점에서, 무엇을 대상으로, 어떻게 TRL을 판단할 지에 대한 공식적인 활동을 규정한다. 이 과정에서 핵심이 되는 용어의 정의와 기본 방향은 다음과 같다.

(가) Technology

CTE는 건설교통 R&D 사업의 완수를 위해서 중요한 기술적 요소를 식별한 결과이다. 여기서 ‘중요한 기술적 요소’라 함은 R&D 사업의 목표(성능, 비용, 기간)를 달성하는데 결정적인 영향을 주거나, 기존 기술에 비해 개발 내용, 개발 방식, 시연 환경, 설계 조건 등이 새롭게 적용되는 기술을 의미한다. CTE는 철저하게 최종 결과물의 관점에서 식별되는 것으로서, 목적하는 결과를 달성하기 위해 핵심기술을 판단하는 것이며, 개별 기술들의 중요도를 평가하는 것이 아니다.

(나) Readiness

기술의 성숙도를 평가한다는 것은 해당 기술의 구현 난이도를 평가하는 것이 아니라 R&D 사업의 중요한 기술적 요소들이 평가 시점까지 어떠한 환경에서, 어떠한 결과물로, 어떠한 기능을 구현해 냈는지 그 근거를 확인하는 것이다. TRA 수행 이전에, TRL의 각 단계마다 요구되는 산출물과 시연환경에 대한 정의가 명확하게 이루어져야만 CTE의 성숙도를 평가할 수 있다. 이때 TRL은 R&D의 유형과 평가대상이 되는 기술유형에 따라 달라질 수 있으므로 건설교통 R&D 사업의 특성에 맞는 단계와 정의가 수립되어야 한다.

(다) Assessment

TRA는 실용화라는 R&D 목표달성을 위해 주요 시점마다 이루어지는 공식적이고 책임있는 프로세스이자 시스템을 의미한다. 따라서 건설교통 R&D 사업 관리부서가 수행하던 기존의 평가체계와는 달리 독립적으로, 객관적인 입장에서 기술성숙도 평가를 수행할 수 있는 시스템이 정착되어야 하며, TRA의 수행방법 및 절차는

물론이고 그 결과에 대한 판정과 활용방법에 대한 방침이 사전에 수립되어야 한다.

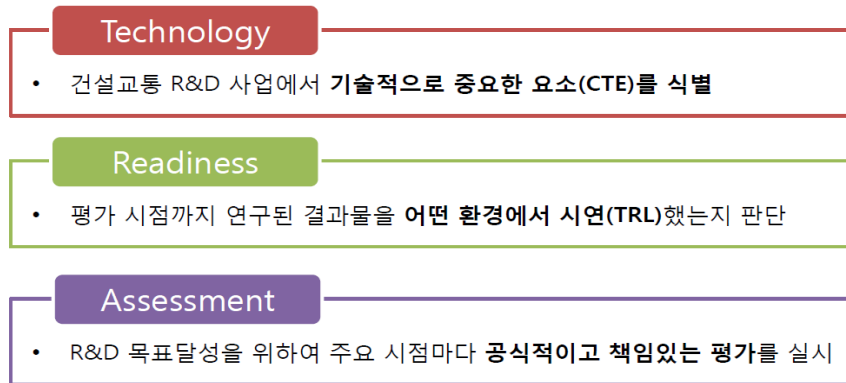


그림 3-3. TRA 개념 정의

(2) TRA 수행의 관점 및 일관성 확립

TRA 수행의 관점이란, 누구의 관점에서 기술성숙도를 판정하여야 하는가를 의미하며 원칙적으로 TRA는 기술의 최종 사용자 관점에서 이루어져야 한다. 예를 들어, 국방분야에서는 연구개발자가 누구이던 간에 개발된 기술이 적용될 최종 무기체계(ex. 전차, 전투기 등)의 관점, 즉 연구개발의 발주자 관점에서 TRA를 수행하고 있으며, 결과적으로 발주자 또는 최종 사용자가 요구하는 최종 목표에 대하여 일관된 평가와 의사결정이 가능해진다.

하지만 공공 건설교통 R&D의 성과물은 연구개발을 지원하는 정부 또는 전문기관이 최종 사용자가 될 수 없는 특성을 지니고 있으며, 연구비를 지원하는 주체(정부)와 관리기관(전문기관), 연구기획의 주체, 평가자, 연구자, 연구 결과의 사용자가 각기 다른 경우가 대부분이다. 특히 전문기관은 평가주체로서의 역할이 취약하고 장기과제의 경우, 평가자의 구성이 그때그때 달라지기도 하므로 과제 기획당시의 목표가 희석되는가 하면, 교체된 평가자가 연구과제의 내용을 이해하지 못하는 문제까지 발생된다.

결국 이러한 특성은 일관된 TRA 수행에 가장 큰 걸림돌이 될 수 있으므로, R&D 기획단계에서부터 전문기관이 명확한 TRL 및 CTE의 정의, TRA 프로세스 등을 설정하여 연구를 추진하거나 실제 연구를 수행하는 연구기관이 RFP에 근거하여 이를 설정하고 연구를 수행하도록 하는 등, 건설교통 R&D 수행체계에 부합하는 TRL 및 TRA 수행관점의 정의가 필요하다.

(3) 목표 성숙도(Target TRL) 설정

공식적인 TRA 활동은 R&D 사업의 주요 마일스톤(milestone)에서 수행되어야 하고, TRA 평가 시점마다 현황을 판단할 수 있는 목표 성숙도(Target TRL)를 설정하여야 한다. 그러나 TRA를 적용한다고 해서, 모든 TRL 단계(1~9)를 일일이 확인할 필요는 없으며 R&D 사업의 주요 마일스톤에서 다음 단계 연구의 진행 여부를 판단하기 위한 정보를 확인하는 것으로 충분하다.

단, R&D 사업의 마일스톤에서 연구의 진행 현황을 객관적으로 판단하기 위해서는, 사업 기획 초기부터 목표 TRL이 명확하게 설정되어 있어야 하므로, 건설교통 R&D 사업에 TRA를 성공적으로 적용하기 위해서는 R&D 사업 기획 초기에 해당 R&D 사업의 예정 평가 시점마다 어느 정도의 TRL이 달성되어야 하는지 목표 성숙도를 결정해야 한다.

(4) CTE 선정 시점 설정 및 CTE 추적 관리의 필요성

TRA 결과의 효용성과 신뢰성을 보장하기 위해서, CTE 식별은 건설교통 R&D 사업 초기에 RFP 작성 시점부터 이루어져야 한다. 평가 시점에 가서야 CTE를 검토하게 되면, 최초에 사업의 본질적인 목표가 무엇이었는지를 확인할 수도 없고 CTE 선정 결과도 대부분 이미 산출된 R&D 결과에 맞추어지기 때문이다.

건설교통 R&D 사업을 진행함에 있어서, 초기에 설정한 연구결과물의 목표 성능이 달라지는 경우가 발생하고, 이는 최초 식별된 CTE가 변경될 수 있음을 뜻한다. 따라서 R&D 사업 진행 중, 발생하는 CTE의 주요 변경사항을 추적 관리해야 한다.

(5) TRA 결과 활용 규정의 필요성

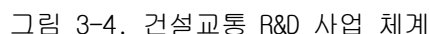
TRL 및 TRA를 건설교통 R&D 사업에 적용하기 위해서는 TRA 결과를 R&D 사업의 의사결정에 어떻게 반영할 것인지 공식적으로 규정하여야 한다. TRA를 실시하는 목적은 R&D 사업의 목표(성능, 일정, 비용 등)를 달성하는데 있어서, 기술적 준비 부족으로 인하여 사업이 실패하지 않도록 사전에 예방하는 것이기 때문이다.

한편, TRA 수행 결과, 목표 성숙도를 달성하지 못 한 것으로 판명된 기술에 대한 후속 조치 방안은, 별도의 의사결정이 필요한 부분이다. 미 성숙된 기술에 대한 후속 조치 계획을 수립하도록 관련 규정에 근거를 명시해야만, TRA가 권위 있고 책임 있게 수행될 수 있으며, 그 결과를 가치 있게 활용 할 수 있다.

(1) TRA 적용 방침의 중요성

그러나 TRL 및 TRA와 관련된 개념과 절차가 본래 건설교통 분야를 대상으로 하고 있지 않으며 방위산업 등 타 산업분야에 뿌리를 두고 있으므로 이를 그대로 적용할 경우, 본래의 취지와 목적에 부합하지 않거나 형식적인 적용에 그칠 위험성이 있다. 따라서 TRL 및 TRA의 목적과 장점을 유지하되 건설교통 분야에 적합한 방침과 그에 따른 세부적인 계획 및 절차를 수립하는 것이 필요하다.

현재 시행되고 있는 건설교통 R&D는 그 규모와 특성에 따라 사업단과제, 연구단과제, 일반과제로 발주되고 있다.(그림 3-4. 참조) 건설교통 R&D 사업을 발주하는 전문기관에서는 모든 R&D 사업에 대하여 TRA를 적용할 것인지, 규모에 따라 사업단과제 또는 연구단과제 규모까지만 적용할 것인지, 적용한다면 어떤 방법으로 적용할 것인지 등, 적용범위 및 방법에 관한 방침이 우선적으로 설정하여야 한다.



이러한 방침이 필요한 것은 지금까지 수행되어온 건설교통 R&D 사업이 TRA 적용의 성공적 사례라 할 수 있는 무기체계 R&D 사업과는 그 체계가 매우 다르기 때문이다. 즉 무기체계 개발은 최종 성과물이 단일 무기체제로 완성되는 경향이 크고 이 경우 최종 성과물을 구성하는 CTE 중 어느 하나가 성숙되지 못할 경우 전체 성과물이 완성되었다고 볼 수 없다.

반면, 건설교통 분야의 R&D는 과제의 규모가 크면 클수록 복합적인 세부과제로 구성되어있고 때로는 특정 세부과제가 독립적인 실용화 성과를 낼 수 있는가 하면, 또 다른 경우 여러 세부과제의 CTE가 완성되어야 전체 과제가 성공되었다고 할 수 있는 등, 과제구성의 특성이 TRA 적용에 큰 영향을 미치게 된다.

따라서 건설교통 R&D 사업에 TRA를 적용할 경우, 기존의 평가 체계와 TRL 평가체계를 이원화 하여 과제 규모 또는 과제단위(사업단, 연구단, 일반 과제 등) 중심의 평가가 아닌, 실용화 기술 및 CTE 중심의 평가가 이루어지도록 하여야 한다.

(3) 연구개발 단계의 특성을 고려한 TRA 적용

국내 국가연구개발사업의 연구개발단계는 기초연구단계, 응용연구단계, 개발연구단계로 구분되며 이러한 구분은 기술개발의 성숙도와 연계할 수 있다. TRL 및 TRA의 본래 취지는 이 모든 단계를 거쳐 최종 성과물이 실용화될 수 있는가를 판단하는 것이므로 응용단계까지 수행되고 특히 실용화를 목적으로 하는 연구에 국한하여 적용하는 것이 가장 적합하다 할 것이다.

표 3-5. 연구개발단계의 구분²⁹⁾

단 계	정 의
기초연구 단계	특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 아니하고 현상 및 관찰 가능한 사실에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 행하여지는 이론적 또는 실험적 연구 단계
응용연구 단계	기초연구의 결과 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위하여 행하여지는 독창적인 연구 단계
개발연구 단계	기초연구·응용연구 및 실제 경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품, 장치 및 서비스를 생산하거나, 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위하여 행하여지는 체계적 연구 단계

그러나 정부의 건설교통 R&D사업 연구비 지원규모와 기간 등 관리적 제약요소와 향후 TRA 중심의 관리체제로 전환하고자 하는 전문기관의 의지 등을 감안할 때 전체 R&D 사업을 여러 단계로 나누어 단계별로 TRA를 적용하는 방법, 또는 이미 완료되었거나 현재 진행 중인 R&D 사업에의 적용하는 방법 등을 고려할 수 있다. 각각의 개요와 특징은 아래와 같다.

(가) 실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업

연구개발의 착수 시점에서부터 TRL 9 단계를 목표로 동일연구기관에 의해 지속적으로 수행되며, 주어진 연구비 예산과 기간 안에 실용화가 가능할 것으로 판단되는 연구에 해당된다. 전문기관은 R&D과제 기획단계에서 TRL 프레임워크 및 대략적인 TRA 마일스톤 계획을 수립하여 RFP를 공고하고 연구제안 기관은 연구제안서와 함께 TRL 및 TRA 수행에 필요한 사항들을 계획해 제출하며, 전문기관은 다시 이를 기반으로 연구가 종료될 때까지 TRA를 진행한다.

이때 연구기관이 TRL 및 TRA 수행에 필요한 사항들을 계획하는 책임을 담당하게 되는 것은, 연구의 방법과 절차, 세부적인 기술적 사항들은 연구기관의 권한이자 노하우에 해당되므로, CTE도출, 마일스톤 계획 등이 연구자 중심으로 이루어져야 하기 때문이다.

(나) 실용화 추진 장기계획에 의한 단계별 발주 R&D 사업

궁극적으로 TRL 9 단계 및 실용화를 목표하나 연구비 규모가 상대적으로 커서 집중적인 R&D 예산 편성에 문제가 있거나 장기간의 연구기간이 소요될 것으로

29) 국가연구개발사업 관리 표준 매뉴얼, 교육과학기술부, 한국과학기술기획평가원, 2009.6, p.11

예상되는 사업, 혹은 연구개발의 필요성은 절대적이거나 연구과정 중에 새로운 기술의 출현, 또는 개발기술의 효용성 변경 등으로 단계적인 계획과 검토가 필요한 사업 등에 대하여 전체 라이프 사이클에 대한 연구계획은 수립하되 단계별로 R&D 사업을 발주해가는 형태를 말한다. 이 경우 각 단계별로 연구기관이 변경될 수도 있으므로 TRL 및 TRA 운영에 대한 전문기관의 초기 기획과 단계별로 완성된 R&D 성과물에 대한 철저한 관리가 필수적이다.

이 경우 기획단계에서 최종적인 R&D 성과물의 목표와 성능을 사전에 설정하고 있음을 전제로 하므로 전문기관은 필수적인 CTE의 도출과 TRL 및 TRA 수행계획에 더 많은 책임을 진다. R&D 사업의 단계별 발주는 초기 기획단계에서 수립한 TRA 프레임워크 및 마일스톤에 기반을 두어 진행하도록 한다.

(다) 실용화 추진 장기계획에 의한 기초·기반분야 R&D 사업

현재 기술수준으로는 TRL 9단계 및 실용화가 불투명하나 장기적으로 건설교통 R&D에 필수적일 것으로 판단되는 기초 및 기반 분야 R&D 사업을 대상으로 한다. 목표 TRL 달성 후 그 성과를 활용하여 다양한 실용화 연구가 가능하므로 2단계 이후의 연구 및 발주계획을 별도로 추진하며 전문기관이 필수적인 CTE의 도출과 TRL 및 TRA 수행계획을 주도적으로 수립한다.

연구의 내용이 기초·기반에 머물러 실질적인 목표 TRL이 9단계 이하이므로 TRA를 위한 프레임워크나 마일스톤을 9단계 목표의 연구보다 낮은 수준에서 정의하여야 한다.

(라) 기(既) 종료되었거나 현재 수행 중인 R&D 사업

TRL 기반의 기술성숙도 평가 방식을 적용하기 위해서는 연구의 기획단계에서부터 그 개념이 올바르게 적용될 수 있도록 주요 핵심기술의 체계와 연구진행 프로세스를 수립하는 것이 필요하다. 이러한 개념 하에 시작된 연구과제가 아니라면 연구체계의 구성과 CTE를 도출하기 위한 WBS 체계가 상이하거나 기존의 평가체계에 의해 평가결과는 성공으로 판정되었지만, 실제로는 TRL 9 수준에 미치지 못하는 등 TRA 적용에 여러 가지 문제점이 발생할 수 있다.

건설교통 분야 R&D에는 아직 TRL 기반 평가체계가 도입되지 않은 상태이므로 이미 종료된 사업이나 현재 수행 중인 사업 모두가 이러한 경우에 해당되는데, 그럼에도 불구하고 향후 TRL 기반의 연구관리로 전환할 경우 사업별로 지금까지의

기술성숙도 수준을 판단하고 후속연구의 추진이나 성과확산을 목적으로 TRL 기반 기술성숙도 평가를 적용할 수 있다. 단, 이와 같은 평가는 후속연구 또는 성과관리를 위한 참고자료로서만 활용되어야 하며, 연구의 성패를 다시 판정하는 수단으로 사용되어서는 안 된다.

평가를 위한 WBS 구축 및 CTE 도출 등은 연구기관이 주도적으로 수행하며 전문기관은 이에 대한 객관적인 검증 역할을 수행한다.

표 3-6. R&D 사업 추진 방법 및 TRA 적용 방침 개요

사업 유형	R&D 사업 추진방법 및 TRA 적용 개요	R&D 사업의 특징
<p>실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업</p>	<p>• R&D사업 착수시점에서의 TRL 분석 • TRL9 목표의 연구계획·TRA 수행계획 수립</p> <p>• TRL9 최종 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 연구개발의 착수 시점에서부터 TRL 9 단계를 목표로 동일연구기관이 지속적으로 수행 ● 주어진 연구비 예산과 기간 안에 실용화가 가능할 것으로 판단되는 연구사업 ● 최종 연구성과에 대한 평가 및 관리 중심 ● 연구자가 TRA 수행계획 주도
<p>실용화 추진 장기계획에 의한 단계별 발주 R&D 사업</p>	<p>• R&D사업 착수시점에서의 TRL 분석 • R&D사업 라이프 사이클 기획 • 단계별 R&D 발주 및 TRA 수행계획 수립</p> <p>• 1단계 TRL 평가 • 2단계 사업 지원 여부 결정 및 추후 단계 연구계획 업데이트</p> <p>• 2단계 R&D 발주</p> <p>• n단계 TRL 평가 • n+1단계 사업 지원여부 결정 및 추후 단계 연구계획 업데이트</p> <p>• n+1 단계 R&D 발주</p> <p>• TRL9 최종 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 궁극적으로 TRL 9단계 및 실용화가 목표이나 서로 다른 연구기관이 단계별로 수행가능 ● 연구비 규모가 크거나 연구기간이 오래 소요될 것으로 예상되어 일괄지원이 어려운 사업 ● 새로운 기술의 출현, 또는 개발기술의 효용성 변경 등으로 단계적인 계획과 검토가 필요한 사업 ● 단계별 연구성과에 대한 평가 및 관리 중심 ● 전문기관이 연구기획 및 TRA 수행계획 주도

사업 유형	R&D 사업 추진방법 및 TRA 적용 개요	R&D 사업의 특징
실용화 추진 장기계획에 의한 기초·기반분야 R&D 사업	<p>• 기초 R&D사업 계획 및 목표 TRL 설정 • 1단계 TRA 수행계획 수립</p> <p>• 1단계 TRL 평가 • 2단계 성과를 기반으로 한 중장기 R&D 계획 수립</p> <p>• 2단계 R&D 발주</p> <p>• n+1 단계 R&D 발주</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 현재 기술수준으로는 TRL 9단계 및 실용화가 불투명하나 장기적으로 건설교통 R&D에 필수적일 것으로 판단되는 기초 및 기반 분야 R&D 사업 ● 1단계 기존의 TRA 프레임워크와 마일스톤 설정 ● 1단계 목표 TRL 달성 후 2단계 또는 실용화를 위한 연구계획 수립 및 발주 ● 전문기관이 연구기획 및 TRA 수행계획 주도
종료 또는 수행 중인 R&D 사업	<p>• 기 종료 R&D사업 • 연구종료 시점에서의 TRL 평가 • 주후 단계 연구지속 여부 결정</p> <p>• 미 종료 R&D사업 • 현재 연구수행 시점에서의 TRL 평가 • 연구종료 시점까지의 TRA 수행계획 수립</p> <p>• 미 종료 R&D사업 • 연구종료 시점에서의 TRL 평가 • 주후 단계 연구지속 여부 결정</p> <p>• 주후 단계 R&D 발주</p> <p>• 주후 단계 연구 지속 시 TRL9 최종 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 이미 종료된 과제와 TRL 기반 평가체계 이전 R&D 사업 대상 ● 기(既) 수행된 과제를 기술성숙도 수준에서 평가하고 후속연구의 추진 또는 성과확산 계획의 근거 자료로 활용 ● 해당 연구자가 TRA 평가 주도

3. 건설교통 R&D 사업 유형별 기술성숙도의 정의

(1) 건설교통 R&D 사업의 유형 분류

건설교통 R&D 사업의 성과는 일반적으로 공법/기법, 재료/자재, 소프트웨어, 장비/장치, 시스템의 5가지로 유형화 할 수 있다.³⁰⁾ 건설교통 R&D는 산업의 특성상 다양한 활용 유형과 함께 공공부문의 제도적 영향을 크게 받는 경우가 많아 개념화된 R&D 평가에 대한 판단 기준이 필요하다. 각 유형별 R&D의 결과물은 연구개발과제의 기획(핵심 요소기술의 구성 및 참여 주체 설정 등)에서 성과 창출 및 활용에 이르기까지 서로 상이한 특성을 띄고 있어, 구체적 정의 및 내용으로 유형별 기준을 명확히 해야 한다.

건설교통 R&D 사업의 TRL 평가를 위해서는 R&D 사업의 유형에 따라, 서로 다른 단계 정의와 분석 방법이 선택적으로 적용되어야 한다. 평가 대상 과제의 유형에 따라 단계별로 정의된 TRL을 적용 및 판단해야 하며, 이러한 유형분류는 건설교통 R&D 사업에 TRL을 적용함에 있어, 타 분야와는 다른 프로세스와 특성을 갖게 한다. 건설교통 R&D 사업의 유형 분류 및 판단기준은 아래와 같다.

(가) 공법/기법

건설공사에서 설계된 내용을 물리적인 결과물로 실현하거나 특정 기능을 발휘토록 하기 위해 장비, 장치, 재료, 자재, 도구 등 각종 자원들을 가공·활용하는 수단과 방법을 말하며 건설교통 공법/기법 R&D는 기존에 존재하였거나 활용되었던 장비, 장치, 재료, 자재 등으로 새로운 제작물이나 제작 및 시공방법 등을 제시하여야 한다.

(나) 재료/자재

재료/자재는 생산과 제조과정에서 결과물 구현을 위해 투입되는 물리적 사물 즉, 목재, 시멘트, 수소, 공기, 물 등과 같은 하나 혹은 그 이상의 물질로 구성된 요소를 의미하며 건설교통 재료/자재 R&D는 효율성, 경제성, 적합성 등으로 기존의 원료, 재료를 대체할 수 있는 새로운 대안을 제시하여야 한다.

30) 한국건설기술연구원, 건설교통 R&D 성과 현장 활용성 제고방안 연구, 2009

(다) 소프트웨어

저장장치에 적재된 특정한 목적의 하나 또는 다수의 컴퓨터 프로그램을 의미하며 컴퓨터 시스템, 프로그램, 데이터에 의해 처리된 모든 정보를 포함한다. 소프트웨어는 하드웨어에 직접 명령어를 주거나 다른 소프트웨어에 입력을 제공함으로써 그것이 포함하는 정보에 의해 구현된 기능을 수행한다. 스프레드시트 템플릿, 워드 프로세서 매크로, 그래픽/애니메이션 스크립트 등과 같이 특화된 요구를 충족시키는 소프트웨어의 개발이 건설교통 소프트웨어 R&D에 해당한다.

(라) 장비/장치

특정한 목적에 따라 기능을 발휘하는 기계나 도구, 설비를 말하며 사물을 생산하거나 과업을 수행하는 데에 사용되는 기계적·전기적·전자적인 기기를 의미한다. 건설교통 장비/장치 R&D는 기존의 장비/장치, 설비, 도구 등을 대체하거나 발전시킬 수 있는 새로운 구조, 작동원리, 알고리즘 등을 적용한 대체물을 제시하여야 한다.

(마) 시스템

하나의 통일적 전체를 구성하는 대상들의 집합으로서 일정한 구성 요소들을 포함하고 있고 그 구성 요소들 사이의 상호 관계가 분명히 정의된 개념들을 체계적으로 집합한 조직체를 의미한다. 건설교통 시스템 R&D는 다양한 장치와 소프트웨어 등이 결합하여 일체로 활용되는 유형에 관한 것이며, 아래와 같은 공통적인 특징이 있다.

- 구성 물질과 요소들로 정립된 구조를 지니고 있다.
- 재료, 에너지, 정보, 데이터 등과 같이 입력 값에 따른 결과 값을 도출하는 프로세스를 포함한다.
- 특정한 목적을 지닌 기능이나 기능들의 집합체로 구성되어 있다.
- 각 요소별 기능적, 구조적 관계로 연결되어 있다.

표 3-7. 건설교통 R&D 유형 분류

R&D 유형	정의	비고
공법/기법	<ul style="list-style-type: none"> 기존에 존재하였거나 활용되었던 장비, 장치, 재료, 자재 등으로 새로운 제작물이나 제작 및 시공 방법 등을 제시하는 건설교통 R&D 	<ul style="list-style-type: none"> 시공방법, 설계기법, 분석 및 평가기법 등
재료/자재	<ul style="list-style-type: none"> 효율성, 경제성, 적합성 등으로 기존의 원료 및 재료를 대체할 수 있는 새로운 대안을 제시하는 건설교통 R&D 	<ul style="list-style-type: none"> FRP, 강화 콘크리트, 철강재료 등
소프트웨어	<ul style="list-style-type: none"> 스프레드시트 템플릿, 워드프로세서 매크로, 그래픽/애니메이션 스크립트 등과 같이 특화된 요구를 충족시키는 소프트웨어를 개발하는 건설교통 R&D 	<ul style="list-style-type: none"> 설계 프로그램, 사업관리 시스템, 데이터베이스 등
장비/장치	<ul style="list-style-type: none"> 기존의 장비/장치, 설비, 도구 등을 대체하거나 발전시킬 수 있는 새로운 구조, 작동원리, 알고리즘 등을 적용한 대체물을 제시하는 건설교통 R&D 	<ul style="list-style-type: none"> 기계, 로봇, 부품, 측정 장치 등
시스템	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 장치와 소프트웨어 등이 결합하여 일체로 활용되는 하나의 통일적 전체를 구성하는 대상들의 집합으로 운영되는 체계를 제시하는 건설교통 R&D 	<ul style="list-style-type: none"> 고속철도, 경량전철, 공조 시스템 등

(2) 건설교통 R&D 사업 유형별 TRL 정의

건설교통 R&D 프로세스 역시, 각 단계 별로 “무슨 결과물(physical articles)을 어떠한 환경(environment)에서 구현(realized)했는지”를 구분 하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 건설교통 R&D 유형별 TRL 9단계를 재정의 하기 위하여, 우선적으로 5가지 유형별 R&D 프로세스를 분석하였다³¹⁾. 특히, 시스템 유형의 R&D의 경우, 영국 국방부와 같은 TRL 선행 적용 기관들은 TRL이 개별 기술의 성숙도를 평가하는 데에는 유용한 도구이나 전체적인 시스템 판단을 위해서는 미흡한 점이 있다고 판단하여 그 대안으로 SRL의 개념을 개발하여 적용하고 있지만, 본 연구에서는 시스템 유형의 R&D 사업도 다른 유형들과 함께 TRL 개념을 적용한 성과관리 체계를 제시하였다. 이는 현행 건설교통 R&D 분야의 전체 사업에 보편적으로 적용할 수 있는 TRL 수행 체계를 연구하는 것을 목적으로 하고 있기 때문이다. 국내 건설교통 R&D 사업에 TRL 기반의 평가체계가 안정적으로 적용되고, 향후 개선 방향으로서의 SRL이 연구되어야 할 것이다. 각 유형 별 주요 Activity는 아래와 같다.

(가) 공법/기법

공법/기법 R&D 단계는 아이디어 도출(선행연구, 선진 사례 벤치마킹, 목표 성능 설정), 대안선정 및 특허출원, 실내시험(성능 및 신뢰성 검증), 현장시험(안전성 검증), 최적 공법/기법 안 도출, 현장적용의 과정이 포함 됨.

(나) 재료/자재

재료/자재 R&D 단계는 아이디어 도출, 실내시험(테스트용 샘플 제작, 성능검증), 최적구조도출, 특허출원, 현장시험(실물모형 제작, 신뢰성 검증), 최적재료 확정(시공성 검증), 현장 적용 과정이 포함 됨.

(다) 소프트웨어

소프트웨어 R&D 단계는 아이디어 도출, 대안 기법 모델링, 모델의 최적조건 도출, 성능시험(수치적 검증, 시뮬레이션을 통한 검증), 적용시험(실물 모형 시험, 신뢰성 검증)과정이 포함 됨.

(라) 장비/장치

31) 한국건설교통기술평가원, 건설교통 R&D 기술재고조사 및 활용방안 수립, 2011

장비/장치 R&D 단계는 아이디어 도출, 장비 개발, 특허출원, 실내시험(성능 검증), 현장시험(신뢰성 검증, 내구성 검증) 등이 포함 됨.

(마) 시스템

시스템 R&D 단계는 아이디어 도출, 시스템 개발(시스템 범위 및 기능정의, 시스템운영전략 수립, 구성 HW/SW 개발), 특허출원, 실내시험(하위시스템 작동 및 성능시험), 현장시험(안정성, 신뢰성 검증), 등이 포함 됨.

이러한 주요 Activity를 바탕으로 하여 <표 3-8>과 같이, 각 5가지 유형 별 key activity를 나열하고, 여기에 TRL 9단계를 연계하였다.³²⁾

이를 기반으로 하여, <표 3-9 ~ 3-13>과 같이 건설교통 R&D 사업의 5가지 유형별 TRL 9단계를 재 정의하였다.

32) 한국건설교통기술평가원, 건설교통 R&D 기술재고조사 및 활용방안 수립, 2011

표 3-8. 건설교통 R&D 프로세스의 Key activity

단계	구분	TRL	공법/기법	재료/자재	소프트웨어	장비/장치	시스템
건설교통 R&D 단계	기술기획 및 개발단계	TRL 1	현장문제인식	현장문제인식	현장문제인식	현장문제인식	현장문제인식
			선행연구/ 사례조사	선행연구/ 사례조사	선행연구/ 사례조사	선행연구/ 사례조사	선행연구/ 사례조사
		TRL 2	목표성능 설정	목표성능 설정	목표성능 설정	목표성능 설정	목표성능 설정
			대안선정	최적 재료 도출	소프트웨어 구현	장비/장치 기능정의	대안선정
	시험단계	TRL 3	Bench Scale 모델 규모의 제작	테스트용 샘플 제작	알고리즘 제작	연구 시제품 모델 제작	구성시스템 개발
		TRL 4	성능시험	성능시험	성능시험 (시뮬레이션)	성능시험	하위 시스템 성능시험
			신뢰성시험		성능시험 (연구실 규모 현장)	신뢰성시험	구성시스템 성능시험
		TRL 5	Bench Scale 모델 유사현장 테스트	테스트용 샘플 유사현장 테스트	S/W 핵심기능 중심의 유사현장 테스트	연구 시제품 모델 유사현장 테스트	시스템 장치선정 및 유사현장 테스트
		TRL 6	프로토타입 모델 유사현장 테스트	프로토타입 모델의 유사환경 테스트	프로토타입 모델의 유사환경 테스트	프로토타입 모델의 유사환경 테스트	프로토타입 모델의 유사환경 테스트
			특허출원	특허출원	개별 모듈 통합	특허출원	개별 모듈 통합
					특허출원		특허출원
	완제품 제작 및 현장적용검토	TRL 7	현장적용기준검토	현장적용기준검토	인터페이스 시험	현장적용기준검토	현장적용기준검토
			현장적용을 위한 완제품 제작	현장적용을 위한 완제품 제작	현장적용을 위한 완제품 제작	현장적용을 위한 완제품 제작	현장적용을 위한 완제품 제작
		TRL 8	현장시험계획 및 완제품 설치	현장시험계획 및 완제품 설치	최종 S/W의 오류검출	현장시험계획 및 완제품 설치	현장시험계획 및 완제품 설치
			신뢰성 시험	신뢰성 시험	사용성 시험	신뢰성 시험	신뢰성 시험
	현장적용단계	TRL 9	현장 성능 시험	현장 성능 시험	현장 성능 시험	현장 성능 시험	현장 성능시험
			최종시험	최종시험	최종시험	최종시험	최종시험

표 3-9. 건설교통 R&D 공법/기법 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 1 단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨.
TRL 3	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 scale모델의 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 공 법 / 기 법 프 로 토 타입 이 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	<ul style="list-style-type: none"> 공법/기법 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 공법/기법이 실제 사용 현장에서 의도한 목적을 충실히 달성할 것인지를 시험하고, 검증
TRL 9	<ul style="list-style-type: none"> 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.

표 3-10. 건설교통 R&D 재료/자재 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 1 단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨.
TRL 3	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 이루어 짐.
TRL 7	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 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	<ul style="list-style-type: none"> 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.

표 3-11. 건설교통 R&D 소프트웨어 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 이루어 짐.
TRL 7	<ul style="list-style-type: none"> 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 수행 됨. 실제 환경에서 S/W의 알고리즘이 모두 수행 가능한 단계
TRL 8	<ul style="list-style-type: none"> S/W 완제품의 제한 된 실 제 현 장 에 서 사용가능성 증명단계 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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.

표 3-12. 건설교통 R&D 장비/장치 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	<ul style="list-style-type: none"> 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 장비/장치 관련 기술의 개념이 정립됨. 관련 기술의 기본 속성에 관한 문헌연구나 물리적인 관찰을 토대로 한 실험적 연구 등이 포함됨.
TRL 2	<ul style="list-style-type: none"> 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 순수 아이디어에서 응용연구로 나아가는 단계 가능성이 확인되지 않은 장비/장치를 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 개념 증명 또는 타당성 확인을 위해 생산 또는 가공방법을 고려하지 않은 실험실 규모의 시작품을 제작, 시험하여 성능을 검증하는 단계. 최종 운영 시스템/환경과의 차이점을 고려하여 실험실 규모의 테스트 결과를 분석
TRL 5	<ul style="list-style-type: none"> 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계 	<ul style="list-style-type: none"> 거의 모든 측면에서 최종 환경과 유사한 상태에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 이루어 짐.
TRL 7	<ul style="list-style-type: none"> 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 시작품의 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 개발 된 공법/기법이 실제 사용 현장에서 의도한 목적을 충실히 달성할 것인지를 시험하고, 검증
TRL 9	<ul style="list-style-type: none"> 장비/장치 완제품의 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.

표 3-13. 건설교통 R&D 시스템 유형 TRL 9단계 정의 및 단계별 세부설명

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 1 단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨.
TRL 3	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 유사 환경에서 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 이루어 짐.
TRL 7	<ul style="list-style-type: none"> 시범운영을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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.

(3) 건설교통 R&D 사업 유형별 체크리스트 제안

본 연구에서는 DoD의 TRL 체크리스트를 토대로, 건설교통 R&D 사업 유형별 체크리스트를 제안하였다. 이는 건설교통 R&D 사업의 TRL 각 단계의 완성도를 측정하기 위한 도구를 의미하며, 체크리스트의 개별 질문은 각각의 CTE가 무슨 결과물(physical articles)을 어떠한 환경(environment)에서 구현(realized)했는지를 평가하는 질문들로 구성된다. 각각의 질문들은 평가 대상이 되는 기술의 특성에 따라서, 소프트웨어(Software : S) 기술에 적용하는 질문, 하드웨어(Hardware : H) 기술에 적용하는 질문과 소프트웨어 기술, 하드웨어 기술 모두에 공통되는 질문(Both : B)으로 구분된다. 하드웨어 체크리스트는 건설교통 R&D 사업 유형 중, ‘장비/장치, 재료/자재, 공법/기법’의 3가지 유형에 공통 적용되며, 소프트웨어 체크리스트와 시스템 체크리스트는 건설교통 R&D 사업의 소프트웨어 유형, 시스템 유형에 각각 적용한다.

체크리스트상의 각 질문(Questions)들에 대하여 사전에 설정한 Complete percent(이하 목표 TRL 충족도)의 달성 여부에 따라, 충족(Yes) 또는 미충족(No)으로 대답한다. 예를 들어, 충족도를 80%로 설정하였을 경우에 평가자는 R&D 결과물이 해당 질문을 70% 정도 충족시켰다고 판단하였다면, 해당 질문에 대한 대답은 미충족(No)으로 체크될 것이다. 해당 TRL 단계의 모든 질문에 대한 대답이 이루어지면, 전체 체크리스트 중, 충족(Yes)이 80% 이상이면 Green(G), 60~79% 일 경우에는 Yellow(Y), 59% 이하이면 Red(R)로 판정한다. 이러한 TRL 각 단계별 체크리스트의 충족여부(Yes/No)의 판단을 통해, 건설교통 R&D 사업의 기술 중심 평가를 보다 객관적으로 실행할 수 있게 된다. 본 절에서는 <표 3-14>의 하드웨어 유형 체크리스트만을 예시로 첨부하였다.(하드웨어, 소프트웨어, 공통 체크리스트 전문 <부록 B> 참조)

표 3-14. TRL 체크리스트 예시
하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 1 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술 개발이 개괄적인 개념 수준에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 소프트웨어 상에서 구현할 수 있을 것으로 예상되는 개념을 가지고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 새로운 기술에 적용되는 물리적 법칙과 가정이 정의되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구를 통해 기술에 적용되는 기본적인 원리를 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 연구 가설이 수립되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술개발을 위한 원칙과 절차에 대한 기본적인 아이디어를 보유하고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 예상되는 연구개발의 성과가 어떻게 활용될 수 있을지 파악되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구를 통해 연구성과의 활용이 실현 가능함을 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 이론적 혹은 실험적인 설계방법을 명확하게 알고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 초기 분석을 통해서 어떠한 주요 기능들이 있어야 하는지 파악되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계 - 계속				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 상세 분석을 통해서 기본 원리를 검증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 개별 요소기술들이 작동됨을 확인하였다. (개별 요소 간 통합은 시도되지 않음)	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 어떤 결과물이 도출 될지 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 어떤 실험을 수행해야 하는지 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
H/W	• 기술을 구성하고 있는 기본요소들을 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 각 요소의 성능이 예측되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 모델링 및 시뮬레이션을 통해서 물리적 원칙을 검증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 3 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 이론적인 수준에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실험실 실험을 통해 기술활용의 실현 가능성을 입증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구 결과, 기술 구성요소들이 통합적으로 작동되어야 함을 알 수 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술개발에 대한 측정 기준이 확립되어있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술에 대한 과학적인 타당성이 충분히 증명되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기존 최신기술들의 분석을 통해 기술개발의 필요성이 확인되었다.	□	□	□
[관련근거] :				
H/W	• 모델링 및 시뮬레이션을 통해 기술개발의 성패를 결정짓는 요소들이 무엇인지 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 4 실험실 환경에서 [Bench Scale모델, 테스트 용 샘플, 시작품]의 성능 및 신뢰성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 최종 사용자의 기술활용을 위해 전체 시스템에 대한 요구조건이 무엇인지 확인 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적으로 활용될 기술의 요구조건이 문서화 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 대략적인 시스템 통합과 엔지니어링이 완성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 기술의 개별 구성요소들에 대한 시험이 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 시험을 통해 가용한 기술 구성요소들이 함께 작동함을 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 5 유사환경에서 [Bench Scale모델, 테스트 용 샘플, 시작품]의 성능 평가 및 신뢰성 시험단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 인터페이스에 대한 요구조건들을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 운영환경과 유사하게 실험실 환경을 수정하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제와 유사한 환경 또는 모의환경에서 적용할 수 있을 정도로 시스템 통합 실험이 충실히 수행되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 기술에 대한 물리적인 WBS가 작성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 6 유사환경에서 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 공학적인 타당성이 모두 검증되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 7 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 7 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계 - 계속				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 8 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 인터페이스 제어 프로세스가 완성되었다 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다, 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 9 완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 운용 개념이 성공적으로 구현되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모든 시스템의 기능을 운영적 관점에서 문서화하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 시스템에 대한 모든 시연이 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 성공적인 운용을 통해서 전 현장에 적용 가능함을 검증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

4. 건설교통 R&D 사업 TRA 수행 주요 관리 체계

본 연구는 국내 건설교통 R&D 사업의 현행 프로세스를 토대로, 다음 <표 3-15>와 같이 TRL 및 TRA 적용 시, 전제되어야 할 TRA 적용 R&D 사업 유형별 관련주체의 역할을 구분하고, 이를 토대로 기술성숙도평가의 프로세스(안)을 구축하였다. (별첨 I, p.24 참조)

- TRA를 적용하고자 하는 건설교통 R&D 사업의 유형을 ‘실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업’, ‘실용화 추진 장기계획에 의한 단계별 발주 R&D 사업’, ‘실용화 추진 장기계획에 의한 기초·기반분야 R&D 사업’, ‘종료 또는 수행 중인 R&D 사업’으로 구분하였다.
- TRA 적용을 위한 핵심 업무를 ‘TRL·TRA 적용성’, ‘TRA 프레임워크 마일스톤 결정’, ‘WBS 구축 및 CTE 도출’, ‘마일스톤 TRL 평가’, ‘단계별 TRL 평가’, ‘최종 TRL 평가’로 구분하고, 각 R&D 주체별(전문기관, 연구기관, 평가위원회)의 핵심 업무를 제안하였다.
- 본 절에서는 ‘실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업’을 중심으로, 주체별 역할을 설명하였다.

표 3-15. TRA 적용 R&D 사업 유형별 관련주체의 역할

사업 유형	핵심 업무	전문 기관	연구 기관	평가 위원회	비고
실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업	TRL·TRA 적용성	평가 및 기획	-	-	
	TRA 프레임워크·마일스톤 결정	계획 수립	수정안 제출	-	
	WBS 구축 및 CTE 도출	검토 조정	계획 및 수행	평가 조정	
	마일스톤 TRL 평가	진행여부 평가	자체 평가	검정 평가	
	단계별 TRL 평가	N/A	N/A	N/A	해당사항 없음
	최종 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	
실용화 추진 장기계획에 의한 단계별 발주 R&D 사업	TRL·TRA 적용성	평가 및 기획	-	-	
	TRA 프레임워크·마일스톤 결정	계획 수립	-	-	
	WBS 구축 및 CTE 도출	계획 수립	조정 협의	-	
	마일스톤 TRL 평가	진행여부 평가	자체 평가	검정 평가	필요시
	단계별 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	
	최종 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	
실용화 추진 장기계획에 의한 기초·기반분야 R&D 사업	TRL·TRA 적용성	평가 및 기획	-	-	
	TRA 프레임워크·마일스톤 결정	계획 수립	-	-	
	WBS 구축 및 CTE 도출	계획 수립	조정 협의	-	
	마일스톤 TRL 평가	진행여부 평가	자체 평가	검정 평가	필요시
	단계별 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	후속 발주 여부 결정
	최종 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	9단계 추진시
종료 또는 수행 중인 R&D 사업	TRL·TRA 적용성	N/A	N/A	N/A	해당사항 없음
	TRA 프레임워크·마일스톤 결정	N/A	N/A	N/A	해당사항 없음
	WBS 구축 및 CTE 도출	검토 조정	계획 수립	-	
	마일스톤 TRL 평가	진행여부 평가	자체 평가	-	
	단계별 TRL 평가	N/A	N/A	N/A	해당사항 없음
	최종 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	-	

(1) TRA 수행 관리 체계 구성 (건교평의 TRA 수행 조직 구성)

건설교통 R&D 사업에 TRA를 적용할 경우 직접적인 역할을 하는 주체는 크게 ‘전문기관, 연구 기관, 평가위원회’의 3가지 주체로 구분되며, 각 주체의 역할은 다음과 같다.

(가) 전문기관(기획 및 사업관리부서)

건설교통 R&D 사업 과제를 기획·발주하고, 전체적인 관리 및 감독을 책임지는 전문기관은 TRA를 수행하는 전체적인 프로세스와 일정을 지휘 감독한다. 건설교통기술평가원의 기획부서와 사업관리부서가 이에 해당되며, 세부적인 업무는 아래와 같다.

- TRA 수행 기본 계획을 수립하고, TRA 수행에 필요한 지원부서와의 협조업무, 관련 부서간의 협의, 전문가 평가팀 선정 및 교육을 담당한다.
- 과제의 기획 단계에서 해당 R&D 사업에 TRL 기반의 평가가 가능한지 적정성을 판단하고, 프레임워크를 분석하여, 연구 단계에 따른 마일스톤을 설정하고, 연구제안기관에서 제시한, CTE를 재검토하여, 필요 시, CTE 조정과정을 거쳐, 최종 CTE를 선정하고, 연구기관과 협약을 체결한다.
- 전체적으로 TRA 프로세스와 일정을 모니터링 하며, TRA 결과, 목표성숙도에 도달하지 못한 CTE에 대하여, 해당 R&D 사업 연구기관에 후속조치방안을 요구할 수 있으며, 최종 확정 된 TRA 결과를 바탕으로 해당 사업을 계속 진행할 것인지, 중단할 것인지와 같은 주요 의사결정에 반영한다.

(나) 연구기관

연구기관이란 건설교통 R&D 과제를 수행하는 연구조직으로서 R&D 사업의 특성과 R&D 과제의 성격, 규모 또는 기술발전 단계 등을 고려하여 법인 또는 독립된 형태로 운영되는 조직을 말하며, 세부적인 업무는 아래와 같다.

- 연구계획서 제출 시에 해당 사업의 WBS를 구축하고, 후보 CTE를 선정하여 TRL 및 TRA 수행 계획서를 첨부한다. CTE 체크리스트에 따라 연구기관

자체적으로 CTE를 도출하고, 각각의 CTE에 대하여 목표 성숙도(Target TRL)를 설정한다.

- 협약 체결 후, 연구가 시작된 후에는 TRL평가를 위한 기초자료를 확보하여, 각 마일스톤마다 TRL 자체 평가를 실시하여, TRA Team에 제출해야 한다. 또한 기술적인 사항에 관해서 TRA Team이나 사업관리부서의 검토 업무에 협조한다.
- TRA 수행 결과, 연구 결과물이 목표성숙도에 도달하지 못했을 경우, 후속조치로써 Technology Maturity Plan (이하, TMP)을 작성하여 기획 및 사업관리부서에 제출한다.

(다) 평가위원회 (TRA Team)

TRA를 직접적으로 수행하는 평가위원회는 해당 R&D 사업과 직접적인 이해관계가 없는 전문가들로 구성되며, TRA를 수행함에 있어서의 역할은 다음과 같다.

- 기획 관리부서에서 1차 검토된 연구계획서의 TRA 수행 계획과 CTE를 2차 검토하여, 연구기관별 연구 수행 적정성 여부를 평가하며, 선정된 연구기관과 사업관리부서의 최종 CTE 선정 단계에 참여할 수 있다.
- R&D 사업 개시 후, 사전에 설정한 마일스톤에서 연구기관의 연구결과물을 토대로 TRA를 수행하여, 해당 시점에서의 기술성숙도를 결정하고, 건설교통 R&D 사업의 최종 연구결과를 검토 및 평가한다.

(2) TRA 수행시점 설정

기존의 건설교통 R&D 사업의 평가는 그 시점과 성격에 따라서 ‘선정평가’, ‘중간평가’, ‘최종평가’로 이루어진다. 반면에 TRA를 수행해야 하는 시점은 다음의 <그림 3-5>와 같이 해당 R&D 사업의 연구단계가 전환되는 주요 분기점(Milestone)에서 수행되어야 한다. 따라서 건설교통 R&D 사업에 TRA를 적용하기 위해서는 R&D 사업이 시작되기 전, 마일스톤을 설정해야 한다. 단, TRA 수행과는 별도로 현행 건설교통 R&D 평가체계 역시 그 목적과 효용성이 분명하므로 평가 프로세스와 일정 등은 기존의 방식과 병행하거나 마일스톤의 단계를 유연하게 가감하여 계획하도록 한다.

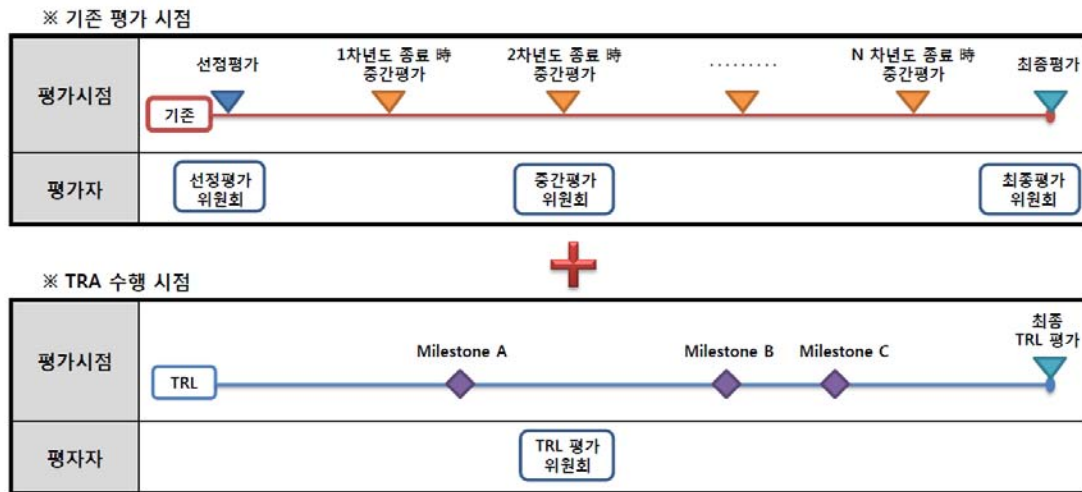


그림 3-5. 건설교통 R&D 사업 TRA 수행 시점

본 연구에서는 <그림 3-6>과 같이 건설교통 R&D 사업의 프레임워크를 기반으로 TRL 4, 6, 7 단계에 해당하는 시점을 주요 분기점(Milestone A, B, C)으로 설정하였다. Milestone A에서의 TRL 4단계 도달은 실험적인 환경에서 기술개발이 완료되었음을 나타내고, Milestone B에서의 TRL 6단계 도달은 실제 현장에 적용되기 이전에 현장 적용성 검토가 완료되었음을 나타낸다. 마지막으로 Milestone C에서의 TRL 7 단계 도달은 현장에서의 시범운영이 성공적으로 완료되었음을 나타낸다. (표 3-16. 참조)

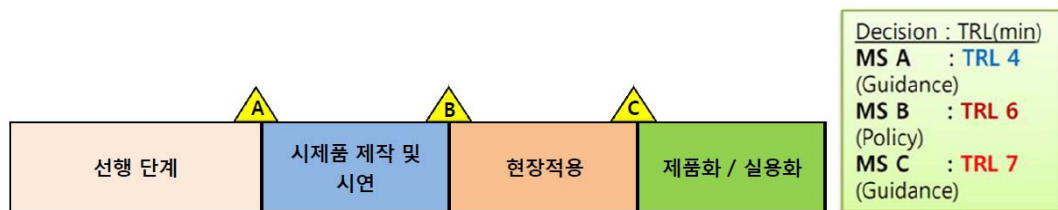


그림 3-6. 건설교통 R&D 사업 마일스톤 및 기준 TRL

표 3-16. 건설교통 R&D 사업의 단계별 목표 TRL 기준

R&D 단계	현재 단계의 주요 결과	목표 TRL	다음 단계 연구 진행
선행단계	연구실 규모의 시제품 성능 시험	TRL 4	시제품 제작 및 시연
시제품 제작 및 시연	현장 적용 시제품 제작	TRL 6	현장 적용
현장 적용	현장에서의 시범 적용	TRL 7	제품화 / 실용화

(3) 건설교통 R&D 사업 TRA 수행 방안

(가) CTE 식별

건설교통 R&D 사업의 TRA 수행을 위한 CTE 식별은 다음과 같은 순서로 진행한다.

○ 먼저 해당 R&D 사업의 작업분할구조(WBS)를 기준으로 하여 CTE로 검토할 대상을 식별한다.

- “요구 성능 분석 → 기능 분석 → 설계요소 검토” 과정을 토대로 하여 R&D 사업의 목표 달성에 결정적이고 중대한 영향을 줄 수 있는 위험 요소를 분석하고, 잠재적인 CTE 검토 대상을 식별한다³³⁾. CTE 검토 대상 설정 시 너무 포괄적이거나 세부적으로 분류하면 무엇이 핵심적인 기술인지를 분간하기 곤란하므로 해당 사업에서 적절한 분류 수준을 선택하여야 한다.
- 여기에서 식별되는 CTE검토 대상은 기술의 획득 방법에 관계없이 해당 사업에서 기술적으로 중요한 요소들을 포함한다. 예를 들어, 타 사업에서 개발된 기술이나 국외협력으로 획득하는 기술을 활용하는 경우에도 그것이 해당 사업의 목표를 달성하는데 중대한 영향을 준다면 CTE로서 검토할 대상이 된다.

○ CTE 검토 대상 중에서 해당사업의 핵심적인 기술 요소를 식별하기 위해 다음 <표 3-49>와 같은 CTE 체크리스트를 활용한다. CTE 체크리스트는 크게 나누어 두 가지 요건으로 구성되며, 각각의 체크항목에 표시된 내용과 관련된 근거와 검토자의 의견을 명시한다. CTE 체크리스트 검토 시에는 기술의 획득방법에 대한 조사를 병행하도록 한다. 그 결과를 토대로 하여 다음 기준에 따라 최종 CTE를 선정한다.

- 체크리스트 X → 해당 사업의 성패에 중요한 영향을 주지 못하는 요소
- 체크리스트 0 → 해당 사업의 성패에 중요한 영향을 주는 기술 요소

33) 기술성숙도평가(TRA) 방법론 및 적용방안 연구, 국방기술품질원

표 3-17. CTE 체크리스트

구분	CTE 체크리스트	기술 A	기술 B	...	기술 n	비고
Set I	해당 기술이 운용 요구사항, 비용, 일정 등에 중대한 영향을 주는가?	✓		...	✓	반드시 적용
Set II	해당 기술을 개발하거나 시연하는데 중대한(실패) 위험이 예상되는가?	✓	✓	...		최소한 하나 이상 충족
	해당 기술이 새롭거나 독창적인가?		✓	...		
	기존의 성공적으로 적용된 이후에 금번 개발 시 변경된 기술이 있는가?		✓	...	✓	
	해당 기술이 새로운 유사환경(relevant environment)에 적용되는가?	✓		...		
	원래의 설계목적이나 시범된 능력을 뛰어넘는 환경조건과 성능의 충족이 요구되는가?		✓	...		
CTE 선정여부		0	X	...	0	
기술획득 방법						독자개발, 타 사업 결과활용, 국외협력 여부 등
검토의견						자료 및 근거, 검토자 판단 등

(나) Set point 설정

TRL 판단을 위해서, TRL Decision Process Flowchart에서의 Green, Yellow, Red의 범위가 되는 Set point를 설정한다. (예 - Green : 80% 이상, Yellow : 60~80%, Red : 60% 미만)

(다) 개별 CTE의 TRL 판단

TRL을 판단하는 과정은 기초평가(Definition Level)와 상세평가(Checklist Level)로 나누어, 2단계로 진행된다. 기초평가에서는 TRL 단계별 정의를 토대로 하여 각각의 CTE들이 달성했을 것으로 예상되는 기술성숙 단계를 잠정적으로 판단하고, 상세평가에서는 기초평가에서 잠정 판단된 TRL 단계에 해당하는 TRL 체크리스트를 이용하여 세부적으로 TRL 단계의 충족여부를 확인한다.

- 기초평가 : TRL 평가자는 현재까지의 연구결과물이 어느 단계의 TRL을 달성하였는지 판단하기 위해, TRL 단계별 정의서를 토대로 하여 TRL을 잠정적으로 평가한다.

○ 상세평가 : TRL 체크리스트를 이용하여 기초 평가에서 판단된 기술성숙단계의 충족여부를 세부적으로 확인한다.

- 기초평가 결과에서 잠정적으로 판단된 TRL 단계를 중심으로 체크리스트를 이용하여 세부적인 TRL 단계의 충족 여부를 평가하며, 그 결과에는 반드시 객관적으로 확인 가능한 근거(evidence)를 명시하도록 한다. 기초평가에서 판단된 TRL 단계가 상세평가에서도 충족되면 그 보다 한 단계 상위에 추가로 상세 평가를 실시해볼 수 있다. 만약 기초 평가와 상세 평가의 결과가 일치하지 않는다면, 그 아래의 단계에서 상세평가를 실시한다.

- 각 체크리스트 항목을 충족하고, 그 평가 근거가 있는 경우에는 ‘충족’에 체크하며, 평가 근거가 불분명하거나, 충족하지 못했을 경우에는 ‘미충족’에 체크한다, 체크리스트 항목이 해당되지 않을 경우에는 N/A의 항목에 체크를 한다.

- 다음은 기초평가와 상세평가를 실행하는 사례이다. 1) 기초평가 결과 TRL 8 단계로 판정(표 3-18. 참조) → 2) TRL 8 단계 체크리스트부터 작성하여 충족여부 확인(표 3-19. 참조) → 3) 상세평가 결과와 기초평가 결과 불일치 할 경우, TRL 7 단계 체크리스트 작성(표 3-20. 참조) → 4) TRL 7 충족 → 5) 해당 CTE의 TRA 결과는 TRL 7로 판정한다.

표 3-18. 기초평가 실시

TRL	정 의	기초평가 결과
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	
TRL 4	• 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	
TRL 5	• 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	
TRL 6	• 유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	
TRL 7	• 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	
TRL 8	• 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	✓
TRL 9	• 장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	

※ 기초평가 결과 TRL 8로 잠정 판단한다.

표 3-19. 장비/장치 유형 건설교통 R&D 사업 TRL 8단계 체크리스트

구분	TRL 8 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	Complete percent	충족	미충족	N/A
공통	개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다. [관련근거] :	60 %	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다. [관련근거] :	80 %	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	인터페이스 제어 프로세스가 완성 되었다 [관련근거] :	80 %	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다, [관련근거] :	50 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다. [관련근거] :	50 %	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Set point			40 %		

- ※ ① Set point 40%로 Red가 되어 TRL 8단계 충족시키지 못 하였다.
 ② 기초평가와 상세평가가 불일치하였다.

표 3-20. 장비/장치 유형 건설교통 R&D 사업 TRL 7단계 체크리스트

구분	TRL 7 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	Complete percent	충족	미충족	N/A
공통	기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다. [관련근거] :	90 %	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다. [관련근거] :	80 %	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다. [관련근거] :	80 %	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	실험실에서 구축 된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다. [관련근거] :	85 %	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다. [관련근거] :	85 %	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇의 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다. [관련근거] :	80 %	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다. [관련근거] :	60 %	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Set point			85 %		

- ※ ① Set point 85%로 Green이 되어 TRL 7단계 충족되었다.
 ② 해당 CTE의 최종 TRL은 7단계로 판정한다.

(라) 건설교통 R&D 사업의 TRL 종합 판정

사전에 설정된, 마일스톤마다 TRA를 실시하여, 개별 CTE들의 TRL을 판정한 후, 해당 R&D 사업의 종합 TRL을 판단한다. 전체 CTE 대비 목표 TRL을 충족한 CTE의 비율이 80% 이상일 경우 적합(Green), 60 ~ 79%일 경우 보완(Yellow), 59% 이하일 경우 미달(Red)로 판정한다.

중간 마일스톤에서의 TRL 종합 판정결과 적합(G)은 다음 단계의 연구를 계속 진행하고, 보완(Y)일 경우에는 연구기관에서 제출한 보완계획을 전문기관이 검토하여 해당 R&D 사업의 계속 진행여부를 판단하며, 미달(R)일 경우에는 연구지원을 중단한다.

R&D 사업의 최종 평가단계에서 실시하는 TRL 종합 판정결과가 적합(G)일 경우, 성과관리부서에서 최종결과물의 보급 및 확산을 진행하고, 보완(Y)일 경우에는 기획 및 사업관리부서에서는 후속 연구 과제를 개발하고, 성과관리부서에서는 해당 R&D 관련 연구동향을 모니터링 한다. 마지막으로 최종 평가에서 미달(R) 판정을 받은 건설교통 R&D 사업은 실패 사유를 피드백하고, 분석하여 차후 발주되는 R&D 사업의 참고 데이터로 활용한다.

(4) TRA 결과의 활용

(가) 미성숙 CTE의 후속 조치 방안

TRA 결과 목표 TRL에 도달하지 못한 미성숙 CTE의 경우에는 R&D 사업 참여 주체 간 협의를 통하여 별도의 기술성숙계획(Technology Maturity Plan, 이하 TMP)를 수립해야 한다.

- 목표성능 변경 : 최초 개발목표에 비해 미 성숙된 기술을 그대로 활용하는 방안으로, 현재까지 달성한 기술성숙수준에 맞추어 그 기술을 적용할 수 있도록 요구 성능을 변경한다. 해당 CTE에 대하여, 당초 요구성능이 지나치게 과도하거나, R&D 진행 중, 여건 변화로 인하여 필요성이 저하된 경우에 적용한다.
- 해당 기술적용 연기 : 최초 개발목표를 충족하는 수준에 이를 때까지 해당 CTE와 관련된 기술적용을 연기하는 방안이며, 목표 TRL에 도달한 다른 CTE들의 연구는 계속 진행한다.

- 대체기술 활용 : 최초 개발목표를 충족하기가 불가능하다고 판단될 경우, 해당 CTE의 개발 목표를 수정하거나 포기하고, 대체기술 활용방안을 모색한다.
- 사업진행 보류 : 목표 TRL에 도달하지 못한 CTE가 해당 R&D 사업의 성공에 결정적이고 심각한 영향을 주는 기술인 경우에는 R&D 사업 진행을 보류한다.

(나) Technology Maturation Plan (TMP, 기술성숙계획) 작성

- TMP 작성 목적 : TMP의 작성 목적은 목표 TRL에 도달하지 못한 CTE를 다음 마일스톤 또는 주요 의사결정 시점까지 어떻게 목표 TRL에 도달할 것인가에 관한 별도의 기술성숙계획을 수립하는 것에 있다.³⁴⁾
- TMP에 명시되어야 할 주요 항목은 다음과 같다.³⁵⁾
 - 목표 TRL에 도달하기 위해 반드시 수행되어야 할 연구
 - 수행되어야 할 시험 항목
 - 달성되어야 할 TRL 수준
 - 목표 TRL 달성 입증을 위한 일정
 - 다른 기술로 대체 할 경우 대체 기술의 성숙도

34) US DoD, "Technology Readiness Assessment(TRA) Deskbook. 2009

35) US DoE Technology Maturation Plan for the Waste Treatment and Immobilization Plant, 2007

제3절 TRL 기반의 건설교통 R&D 평가 모델

본 연구에서는 건설교통 R&D 사업의 TRA 수행 주요 관리 체계 연구를 통해 다음 <그림 3-7>과 같이 TRL 기반의 건설교통 R&D 평가 모델을 제안하였다. 단, 본 절의 평가모델은 ‘실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업’을 대상으로 기획단계와 운영단계를 주요 내용으로 하며, 사후단계는 5장에서 설명하도록 한다.

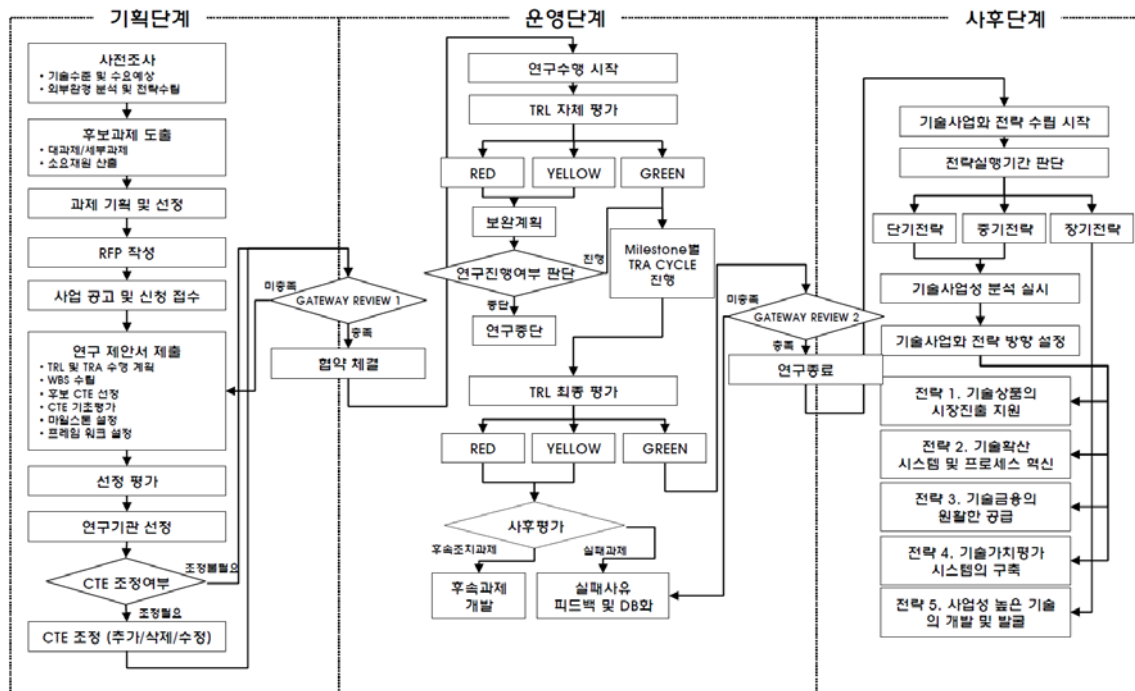


그림 3-7. TRL 기반의 건설교통 R&D 평가 모델

1. 기획단계

(1) 과제 기획 및 선정

전문기관은 기관의 방침과 프로세스에 따라 사전조사, 후보과제 도출, 과제 기획 및 선정 단계를 거쳐 연구과제를 도출한다. 이때 연구기관은 TRL 및 TRA 적용성 여부를 사전에 판단하여 적용가능하다는 결정이 내려지면 RFP(Request For Proposal) 공고시 연구제안기관으로 하여금 ‘TRL 및 TRA 수행계획서’를 연구제안서와 함께 제출토록 한다. 이때 전문기관은 연구의 특성과 기간, 기존 평가체계 및 프로세스 등을 고려하여, 대략적인 TRL 프레임워크와 TRA 마일스톤을 제시하여야 한다.(‘실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업’ 이외의 경우에는 전문기관이 TRL·TRA 관련 사항들을 계획)

(2) 연구제안서 제출

연구제안기관은 RFP에 제시된 대로 연구제안서 제출 시 ‘TRL 및 TRA 수행계획서’를 제출하며 여기에 CET 도출을 위한 WBS(Work Breakdown Structure)와 CTE Checklist를 이용한, 후보 CTE, 기초평가를 통한 최종 CTE, 마일스톤 계획 등을 포함시킨다. TRL 및 TRA 수행계획서’에는 다음과 같은 내용을 포함하도록 한다.

- 해당 연구과제의 기술 WBS
- 후보 CTE
- 연구제안 시점에서의 CTE 기초 평가 결과
- 전문기관이 제시한 TRL 프레임워크 및 TRA 마일스톤의 검토 의견 및 수정계획

(가) WBS 수립을 통한 후보 CTE 선정 및 평가

‘실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업’에서와 같이 연구진행의 계획에서부터 최종 성과물을 일괄적으로 완성하는 연구과제에서는 CTE를 최초 선정하는 주체가 연구기관이 되어야 한다. 이는 전문기관에서 발주되는 모든 R&D 사업의 핵심 요소가 무엇인지 전문기관이 직접 구분 및 선정하는 데에는 한계성이 따르고 RFP에서 제시된 내용을 연구해 가는 데에는 제안자마다 서로 다른 방법과 기술을 보유하고 있을 수 있기 때문이다.

따라서 연구제안기관은 해당 R&D 사업의 WBS 수립을 통해, 후보 CTE를 선정하고, 기술유형 구분 및 기술개요를 서술한 후, CTE 체크리스트를 이용하여 최종 CTE 적합 여부를 판단하고, 현재 TRL 수준을 자체 평가 한다.(표 3-21. 참조) WBS는 최종 연구성과물을 기준으로 Level 3~4 수준으로 분류하는 것을 원칙으로 하되, 연구과제 또는 CTE의 특성에 따라 조정하여 제시한다.

표 3-21. 후보 CTE선정 및 평가표 예시

연구과제명						과제 유형									
Level 1 최종 연구 성과물 []	Level 2 기술	Level 3 기술 (후보 CTE)		기술유형 구분	기술개요 (서술)	CTE 체크리스트 판정 결과		최종 CTE 적합 여부	현재 TRL 자체평가						
		CTE 1-1				1 □	2 □	3 □	4 □	5 □	6 □	적합 □	부적합 □		
		CTE 1-2					1 □	2 □	3 □	4 □	5 □	6 □	적합 □	부적합 □	
		CTE 1-3					1 □	2 □	3 □	4 □	5 □	6 □	적합 □	부적합 □	
	、	CTE 2-1					1 □	2 □	3 □	4 □	5 □	6 □	적합 □	부적합 □	
		CTE 2-2					1 □	2 □	3 □	4 □	5 □	6 □	적합 □	부적합 □	
		CTE 2-3					1 □	2 □	3 □	4 □	5 □	6 □	적합 □	부적합 □	

※ CTE 체크리스트

1. 해당 기술이 운용 요구사항, 비용, 일정 등에 중대한 영향을 주는가?
2. 해당 기술을 개발하거나 시연하는데 중대한(실패) 위험이 예상되는가?
3. 해당 기술이 새롭거나 독창적인가?
4. 기존의 성공적으로 적용된 이후에 금번 개발 시 변경된 기술이 있는가?
5. 해당 기술이 새로운 유사환경(relevant environment)에 적용될 수 있는가?
6. 원래의 설계목적이나 시범된 능력을 뛰어넘는 환경조건과 성능의 충족이 요구되는가?

(나) 해당 연구과제의 프레임워크 및 TRA 마일스톤 계획

연구제안기관은 <표 3-22>와 같이, 각 CTE의 TRA를 위해 선행단계, 시제품제작 및 시연, 현장적용, 제품화/실용화 등의 프레임워크에 따라 전문기관이 제시한 마일스톤 계획을 검토하고 TRA외의 현행 평가 프로세스 및 일정과 연계하여 필요할 경우 조정의견을 제시한다. 이때 각 CTE별로 마일스톤 일정에 따른 목표 TRL을 제시한다.

표 3-22. 프레임워크 설정 및 TRA 마일스톤 계획

연구과제명				과제 유형			
프레임워크			선행단계		시제품 제작 및 시연	현장적용	제품화/실용화
마일스톤			현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
				A	B	C	최종평가
마일스톤 일정			2012.1.1	20 . . .	20 . . .	20 . . .	20 . . .
CTE No.	기술 명						
CTE 1-1	○○○ 기술		3	4	6	7	9
CTE 1-2	□□□ 기술		2	4	6	7	9
CTE 1-3	△△△ 기술		5	-	6	7	9
CTE 2-1							9
CTE 2-2							9
CTE 2-3							9
CTE 3-1							9
CTE 3-2							9
CTE 3-3							9

(3) 선정 평가 및 TRL 및 TRA 계획의 수정

전문기관은 연구제안기관이 작성한 ‘TRL 및 TRA 수행계획서’를 바탕으로 <표 3-23>과 같은 평가 기준에 따라서 연구기관을 선정한다. 이때 각 평가항목에 대한 배점은 연구과제의 목적과 특성에 따라 전문기관이 부여하며 기존의 평가체계와 연계하여 총점을 구성하도록 한다.(전체 제안서 평가의 20% 내외) 연구기관이 최종 선정되면 필요에 따라 전문기관과 연구기관의 협의 하에 ‘TRL 및 TRA 수행계획서’의 내용을 수정 및 보완 후, 협약을 체결한다.

표 3-23. TRL 및 TRA 수행계획서 평가 기준

평가 항목	평가
• 해당 연구과제 기술 WBS의 적합성	
• 최종 연구성과물의 실용화를 위한 후보 CTE의 적합성	
• 후보 CTE의 실용화 실현 가능성	
• 연구제안기관이 제시한 TRL 프레임워크 및 TRA 마일스톤 수정계획의 적정성	
• 기타 TRL 및 TRA 평가에 필요한 사항	
총점	

(4) Gateway Review 1 및 협약

연구기관 선정 및 CTE의 조정과 함께 전문기관은 최종 협약 전에 <표 3-24>와 같은 Gateway Review 1 체크리스트에 따라, 연구 목적의 명확성, 추진 내용의 타당성, 재원조달의 적절성, 사업추진 지원방식의 적절성, 연구 수행 주체간 역할 및 책임의 적절성 등과 같은 해당 R&D 사업 전체 연구추진 체계의 합리성을 검토한다. Gateway Review 1의 목적은 전문기관과 연구기관이 TRL 및 TRA에 대한 합의가 이루어졌는가를 최종 검토하고 그에 대한 근거를 마련하는 데 있다.

표 3-24. Gateway Review 1 체크리스트

GATEWAY REVIEW 1			
Checklist	충족	미충족	N/A
1. 국내외 기술수준 파악 및 사업타당성 조사가 이루어졌다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 연구개발계획서에 연구개발 예정의 CTE가 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 연구개발계획서에는 총 연구예산, 연구기간, 연구범위가 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 연구개발계획서에는 각 마일스톤의 시기가 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 연구개발계획서에는 각 마일스톤별 각 CTE의 요구되는 TRL 수준이 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 연구개발계획서에는 해당과제의 개별 CTE 최종 요구 TRL 수준이 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. 연구개발계획서에는 각 마일스톤별 요구되는 예산이 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. 운영단계

(1) TRL 자체 평가

전문기관은 ‘TRL 및 TRA 수행계획서’와 협약 시 결정된 TRA 마일스톤에 따라 해당 연구과제의 TRA를 실시하며 연구기관은 1차 적으로 협약 시 설정한 TRA 마일스톤에 따라 TRL 자체평가를 실시한다. (표 3-25. 참조)

자체 평가서에는 해당 마일스톤에서 연구기관이 목표로 하였던 TRL과 TRL 체크리스트를 통해 판정된 충족도, 최종적인 자체 평가 TRL을 기입한다. 자체 평가는 ‘TRL 및 TRA 수행계획서’에서 계획한 목표 TRL을 기준으로 실시하며 당초

목표 TRL을 이미 충족하였을 경우 상위 단계에 대한 평가를 실시하고 만약 목표 TRL을 충족하지 못하였을 경우에는 하위 단계 TRL의 충족 여부를 평가하여야 하며, 평가결과의 근거로 TRL 체크리스트를 첨부하여 제출한다.

표 3-25. 연구기관의 TRL 자체 평가표 예시

연구과제명		과제 유형					마일스톤 및 평가일	A □ B □ C □ 최종평가 □	
								2012. . .	
CTE No.	기술명	1	2	3	4	5	6	7	8
		기술유형 구분	목표 TRL	목표 TRL 체크리스트 충족도(%)	목표 TRL 판정	마위 TRL	마위 TRL 체크리스트 충족도(%)	마일스톤 TRL	CTE 자체 평가
CTE 1-1	○○○ 기술								
CTE 1-2	□□□ 기술								
CTE 1-3	△△△ 기술								
CTE 2-1									
CTE 2-2									
CTE 2-3									
CTE 3-1									
CTE 3-2									
CTE 3-3									
연구기관 TRA 요약		CTE	G(적합)	Y(보완)	미달(R)	총 평			
	개수								
	%	100							

1: 하드웨어(HW), 소프트웨어(SW), 시스템(S) 중 선택
2: 「TRL 및 TRA 운영계획서」 상에서 마일스톤 시점에 목표로 했던 TRL
3: 목표 TRL 체크리스트 항목의 평가결과, %로 표시
4: 80% 이상: 적합(Green, G) / 60% ~ 79%: 보완(Yellow, Y) / 59% 이하: 미달(Red, R)

5: 목표 TRL 80% 미만 충족 시 하위단계 TRL 기입
6: 목표 TRL 80% 미만 충족 시 하위단계 TRL 체크리스트 항목의 평가결과, %로 표시
7: 마일스톤 시점에서의 최종 TRL 자체평가 결과 - 80% 충족 기준
8: 목표 달성 또는 미달의 근거, 사유, 보완 내용 등 자체 평가 내용을 기술

(2) 전문기관 평가위원회의 마일스톤별 TRL 평가 및 조치

전문기관은 연구기관이 제출한 마일스톤 TRL 자체 평가서 및 근거자료(체크리스트 등)를 평가위원들에게 사전 배포하여 검토하도록 하고, 평가위원회는 평가일에 최종 적인 마일스톤 TRL 충족여부를 판정한다. 전문기관은 필요시 연구기관에게 마일스톤 TRL 평가에 대한 설명 기회를 부여할 수 있으며, 평가위원회는 구성원 간의 합의에 의해 최종 판정을 내린다. (표 3-26. 참조)

표 3-26. 마일스톤 TRL 평가표 예시

연구과제명								과제 유형				마일스톤 및 평가일		A □ B □ C □ 최종평가 □	
														2012. . .	
CTE No.	기술 명				기술유형 구분	연구기관 자체평가			평가위원회 평가			평가위원회 CTE 평가 의견			
						목표 TRL	마일스톤 TRL	목표 TRL 판정	목표 TRL	마일스톤 TRL	목표 TRL 판정				
CTE 1-1	○○○ 기술				HW	7	6	Y	7	5	R				
CTE 1-2	□□□ 기술				SW	7	7	G	7	7	G				
CTE 1-3	△△△ 기술				S	7	5	R	7	5	R				
CTE 2-1															
CTE 2-2															
CTE 2-3															
CTE 3-1															
CTE 3-2															
CTE 3-3															
평가위원 TRA 요약		CTE	G(적합)	Y(보완)	미달(F)	평가위원회 총 평									
	개수														
	%	100													
마일스톤 평가조치	계속 지원 □														
	상세보완계획 요청, 검토 후 계속 지원 □														
	상세보완계획 요청, 검토 후 축소 지원 □														
최종평가 판정	지원 중단 □														
	성공 □														
	후속 관리 필요 □														
실패 □															

전문기관은 평가위원회가 수행한 TRL 평가 결과에 따른 전체 CTE 중 적합 판정을 받은 CTE의 비율에 따라서 ‘계속 지원’, ‘상세보완계획 요청 및 검토 후 계속 지원’, ‘상세보완계획 요청 및 검토 후 축소 지원’, ‘지원 중단’ 과 같은 조치를 취한다. (표 3-27. 참조)

표 3-27. CTE 적합 판정 비율에 따른 판정 예시

전체 CTE 중 적합(G) %	연구지원 판정	비고
80% 이상	<ul style="list-style-type: none"> 계속 지원 	단, 일부 CTE의 목표 TRL달성수준이 매우 낮아 전체 기술의 TRL달성이 불가능하다고 판단될 경우 상세보완계획 요청·검토 후 판정
79% ~ 60%	<ul style="list-style-type: none"> 상세보완계획 요청·검토 후 계속 지원 상세보완계획 요청·검토 후 축소 지원 	최종 TRL 달성은 어려울 것으로 예상되나 연구의 파급효과 또는 가치가 매우 높을 것으로 예상될 경우 축소지원
59% 이하	<ul style="list-style-type: none"> 상세보완계획 요청·검토 후 축소 지원 지원 중단 	

마일스톤 TRL 평가 결과 전체 CTE 중, 적합 판정을 받은 CTE 비율이 79% 이하인 경우, 보완계획을 작성해야 한다. 이때 보완계획 수립은 Performance Gap 분석을 바탕으로 해당 기술의 목표치와 현재 수준의 차이를 분석(그림 3-8. 참조)하고, 이를 바탕으로 작성되는 보완계획서에는 다음 <표 3-28>과 같은 내용들이 포함되어야 한다.

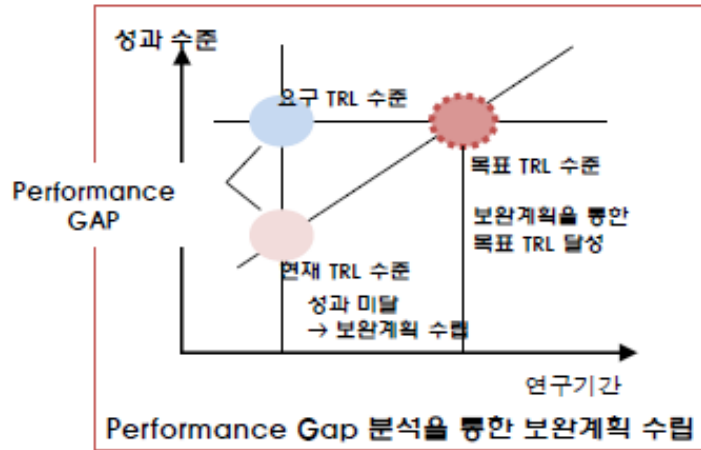


그림 3-8. Performance Gap 분석 예시

표 3-28. Performance Gap 분석을 통한 보완계획서 필수 포함 내용

구 분	상세내용
1. 연구개발 개요	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발 개요 마일스톤별 CTE의 TRL 단계 요약
2. 목표 및 성과	<ul style="list-style-type: none"> 목표 대비 실적 TRL
3. 문제점 및 향후 계획	<ul style="list-style-type: none"> 위험요인 관리(Risk Management)를 실시 <ul style="list-style-type: none"> 내/외부 환경 변화 동향 연구 진행상 문제점 및 대책 차기 단계 추진 계획
4. 연구개발계획 변경내역	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발계획서 대비 변경된 내용
5. 변경 사유	<ul style="list-style-type: none"> 변경이 발생한 사유를 기록
6. 건의 사항	<ul style="list-style-type: none"> 연구 자원 및 수행상의 애로점을 명기

(3) TRL 최종 평가

평가위원회는 R&D 사업 종료와 함께 TRL 최종 평가를 실시하고, TRL 달성도를 평가한다. 해당 사업의 TRL 최종 평가 판정은 <표 3-29>와 같은 기준에 따라서, ‘성공’, ‘후속관리 필요’, ‘실패’로 구분한다.

표 3-29. 평가위원회의 TRL 최종 평가 판단 기준

전체 CTE 중 적합(G) %	최종 평가 판정	내용 및 조치
80% 이상	성공	<ul style="list-style-type: none"> • 실용화 수준을 달성 • 최종 성과물(기술)에 대한 보급 및 확산
79% ~ 60%	후속관리 필요	<ul style="list-style-type: none"> • 연구결과가 실용화 수준을 완전히 달성하지는 못했으나 후속과제 등을 통해 실용화가 가시적 수준에 있거나 연관 기술개발에 중요한 발전을 가져온 경우 • 해당 연구와 관련된 연구동향 모니터링 • 해당 연구의 완성을 위한 후속 과제 개발
59% 이하	실패	<ul style="list-style-type: none"> • 해당 연구기관의 추후 연구 시 불이익 부여 • 실패 사유 분석 및 피드백

(4) Gateway Review 2 단계 - 평가 및 피드백

TRL 최종 평가 후, ‘성공’ 으로 판정 된, R&D 사업에 한하여, 연구의 결과물의 성과목표 달성여부를 판단하기 위한 목적으로 Gateway Review 2를 수행하며, 검토되어야 할 체크리스트는 다음 <표 3-30>과 같다.

표 3-30. Gateway Review 2

GATEWAY REVIEW 2			
Checklist	충족	미충족	N/A
1. 해당연구과제는 연구개발계획서에 명시된 마일스톤별 중간평가를 실시하였다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 해당 연구과제는 각 마일스톤별 개별 CTE의 TRL 수준을 평가중 RED와 YELLOW에 대해 보완계획을 작성하였다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 해당연구과제는 중간평가중 보완계획이 작성된 CTE에 대해 연구진행 확정으로 판단되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 해당연구과제는 연구개발계획서에 명시된 최종 요구 TRL을 만족하였다. (GREEN 여부)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 해당연구과제의 최종요구 TRL은 건설교통 R&D 유형별 최소 요구 TRL과 같거나 상회하는 단계이다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gateway Review 2 체크리스트를 충족시킨 R&D 사업은 연구 종료 후, 기술이전/사업화를 위해 사후단계 프로세스로 이전한다. TRL 최종 평가에서 ‘성공’ 판정을 받지 못한 사업의 경우 후속과제 개발 또는 실패사유 피드백을 실시하고, Database화하여 관리한다.

3. 건설교통 R&D 분야 전문기관의 단계별 TRL 적용 방안

R&D 성과물의 기술성숙도를 판단하는 TRL 기반의 R&D 평가모델은 기술의 성숙도 및 실용화 수준과 거리가 먼 보편적 성과지표에 의해 평가가 수행되던 기존 R&D 사업 평가체계의 패러다임과 본질적으로 차이가 있다.

본 연구에서는 이러한 차이점을 반영하고, 기존의 평가체계와 병행하여 시행할 수 있는 TRL 기반의 건설교통 R&D 평가체계 적용 방안을 제시하였으며, 건설교통 R&D 사업을 주관하는 전문기관에서 TRL 기반의 평가모델을 실제 적용하기 위한 체계 수립과 집행에 참조가 될 수 있도록, 시범 적용 단계와 확대 적용 단계로 나누어 단계별 적용 방안을 다음과 같이 제시하였다.

(1) 시범 적용 단계

TRL 기반의 건설교통 R&D 평가체계는 기존의 평가체계와 본질적인 차이점이 있기 때문에, TRL 기반의 평가 적용이 용이한 특성을 가진 몇몇의 R&D 사업에 시범 적용하는 단계를 거치는 과정이 필요하다.

다음 <그림 3-9>는 NASA에서 TRL 적용 현황을 간결하게 설명 해주는 자료로서, 비행기 제트엔진 소음저감장치 R&D 사업에 TRL이 적용된 사례이다.

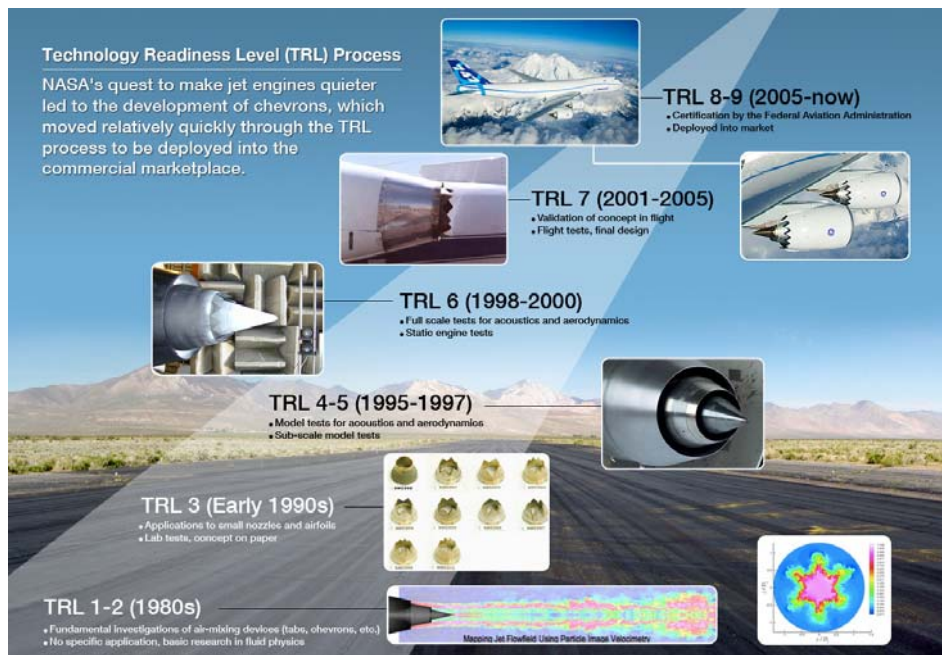


그림 3-9. NASA의 비행기 제트엔진 소음 저감장치 R&D 사업 TRL 적용 사례

TRL 1단계부터 9단계까지 달성하고자 하는 목적이 명쾌하여, TRL 개념을 처음 접하는 연구자들로 하여금, TRL이 무엇인지 명확하여 인지할 수 있게 해 주는 사례로 활용되고 있다. 이와 같이 국내 건설교통 R&D 사업에 TRL 기반의 평가체계를 전면 적용하기에 앞서, NASA의 제트엔진 소음저감장치 R&D 사례와 같은 시범적용을 위해, 현행 건설교통 R&D 사업 中, TRL 기반의 건설교통 R&D 평가체계의 시범 적용 대상 R&D를 선정하기 위한 조건으로 다음과 같은 특성을 제시하였다.

○ 최종 성과물이 명확한 R&D

TRL의 근본적인 목적은 연구자의 R&D 성과물이 발주자가 요구하는 성능을 만족 또는 달성했는지를 검증하는 상호간의 의사소통도구이자, R&D의 중간 점검을 통해 최종 단계에서의 실패를 방지하기 위한 위험관리도구이다. 이를 위해, TRL 기반의 평가체계를 시범 적용하기 위한 대상이 되는 R&D는 최종 성과물이 단순 명쾌하여, 요구 성능의 달성 여부 확인이 용이하여야 한다.

○ TRL 3단계에서 시작되어 9단계 도달을 최종 목적으로 하는 R&D 과제

TRL 1~2단계는 문제를 인식하고, 기술적 개념 또는 아이디어가 형성되는 시점이자, 순수아이디어가 응용연구로 나아가는 단계이기 때문에 TRL 2단계 이후부터, 대상 R&D의 명확한 목표설정이 가능해진다. 따라서 TRL 기반 평가체계의 국내 건설교통 R&D 적용성을 판단하기 위해서는, 목적 성능이 명확하게 설정되고 본격적인 연구개발이 활발하게 이루어지는 단계인 TRL 3단계부터 시작되며, R&D 성과물이 실제 환경에 적용되어 운용되는 단계인 TRL 9단계까지 도달하는 것을 목적으로 하는 R&D 과제가 TRL의 시범 적용에 적합하다.

○ 연구자들이 R&D 대상과 목적물에 대하여 정확히 인지하고 있는 R&D 과제

TRL 기반의 평가체계를 성공적으로 적용하기 위해서는, 연구자가 R&D 대상과 목적물에 대하여 정확히 인지하고 있는, R&D 과제를 대상으로 시범적용 해야 한다. 해당 연구에 대한 충분한 이해가 없이 연구를 진행하는 경우, 평가 시점까지의 R&D 성과물에 대한 TRL 판단의 정확성이 흐려지기 때문이다. 예를 들면, 연구자가 직접 제안하는 과제로서, 무엇을 연구개발하고, 최종 성과물이 어떤 형태로, 어떤 성능을 구현될 것인가에 대해서 충분히 인지하고 있는 ‘자유공모과제’와 같은 유형의 R&D 과제가 TRL의 시범 적용에 적합하다.

○ 연구기간이 단기인 R&D 과제

NASA의 비행기 제트엔진 소음저감장치 R&D 사업은 20년이 넘게 걸린 장기프로젝트이다. 하지만, 국내 건설교통 R&D 사업의 TRL 기반 평가체계 적용성을 판단하는 시범 적용 과제로서는 이와 같은 장기 프로젝트는 부적합하다. 이는 전문기관의 담당자 또는 연구기관의 개별 연구자가 중도에 변경되는 상황이 발생할 수 있기 때문이다. 따라서, 연구기간이 비교적 단기(1년 또는 2년)인 R&D 과제를 TRL 기반 평가체계 시범 적용과제 대상으로 선정해야 한다.

(2) 확대 적용 단계

TRL 기반 평가체계를 건설교통 R&D 사업 전반에 확대 적용하기 위해서, 과제 발주 유형, 사업 규모 등에 따라서 단기와 중장기의 기간별로 나누어 적용 방안을 다음과 같이 제시하였다.

(가) 단기 적용 방안

○ 자유공모과제 적용 방안

「TRL 기반의 건설교통 R&D 평가모델」을 전면 도입하기에 앞서, 건설교통 R&D 사업에의 적용성과 장점 및 개선사항을 도출하는 것을 목적으로, 다음 <표 3-31>과 같이 R&D 규모 및 기간이 상대적으로 작은 ‘자유공모과제’를 대상으로 선 적용하는 단기 적용 방안을 제시하였다.

‘자유공모과제’의 경우 모든 R&D 대상 기술에 대해 전문기관이 기술 수준을 판단하기에는 어려움이 따르므로, CTE 도출 및 TRL 판단 주체는 연구제안기관이 된다. 전문기관은 해당 분야 전문가들을 통해 연구제안기관이 제시한 TRL 수준을 검증하고, 현행 중간평가 및 단계평가를 TRA 마일스톤에 따른 TRA 수행으로 대체하고, 선정평가부터 TRA 마일스톤 및 최종평가단계까지 해당 R&D 사업의 CTE에 대한 이해와 평가의 연속성을 유지할 수 있도록 가능한 한 동일한 평가위원들로 구성 된, TRA Team을 유지하도록 한다.

이와 같이, ‘자유공모과제’를 대상으로 하는 「TRL 기반의 건설교통 R&D 평가모델」의 단기적 도입 절차를 통해서, 연구단/사업단 규모에 적용하기 위한 중장기적 적용 방안의 초석을 마련해야 한다.

표 3-31. 자유공모과제 단기적 적용 방안

구분	적용대상 과제유형	주요내용	
단기	자유공모 과제	목적	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 건설교통 R&D 사업 「TRL 기반의 평가모델」을 전면 도입하기에 앞서, 규모 및 기간이 상대적으로 작은 ‘자유공모과제’에 우선 도입하여, 장점 및 개선사항을 도출하는 것을 목적으로 함.
		CTE 도출 및 TRL 판단 주체	<ul style="list-style-type: none"> ◆ R&D 대상 기술의 현재 TRL 수준, 연구제안 기관 자체 판단 <ul style="list-style-type: none"> ☞ 연구제안 기관은 「TRL 및 TRA 수행계획서」가 포함된 연구제안서를 제출 ☞ 해당 연구의 CTE를 도출하고, 연구제안 시점에서의 TRL을 자체 판단하여 제시 ◆ 전문기관은 연구자가 제시한 TRL 결과를 검증 <ul style="list-style-type: none"> ☞ 전문기관은 해당 기술의 전문성을 갖추고, TRL 기반의 평가모델에 대한 내용을 숙지한 평가위원들을 선정하여, 연구기관이 제시한 TRL 수준을 검증
		TRA 수행 시기	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 협약 단계에서, TRA 수행 시점 설정 <ul style="list-style-type: none"> ☞ 현행 평가체계의 중간평가 및 단계평가를 대체하여, 연구제안기관이 제안한 TRA 마일스톤에 따라 TRA 수행 시점 설정
		평가위원 구성	<ul style="list-style-type: none"> ◆ R&D 사업 기간 동안 동일한 TRA Team 유지 <ul style="list-style-type: none"> ☞ 선정평가부터 TRA 마일스톤 및 최종평가단계까지 해당 R&D 사업의 CTE에 대한 이해와 평가의 연속성을 유지할 수 있도록 가능한 한 동일한 평가위원들로 구성된, TRA Team을 유지

○ 종료과제 적용 방안

TRL이 적용되지 않고, 기 종료 된 R&D 과제 중, 후속 연구 과제가 기획/발주 되는 경우, 해당 기술의 현재 TRL 수준을 판단하여, 중복 연구 수행의 방지를 목적으로 「TRL 기반의 건설교통 R&D 평가모델」의 적용이 가능하다.

이미 종료 된 과제를 대상으로 사후 평가를 실시한다는 점에서, 해당 연구를 수행했던 연구자들의 거부감이 발생시킬 수 있는 문제점이 예상되지만, 평가 대상이 되는 R&D 과제에 대해서 누구보다 깊은 지식을 갖고 있는 연구수행자들이, 종료 과제 TRL 수준평가의 주체가 되어야 한다. 종료 과제에 대하여, TRL 수준 평가를 실시하는 목적을 설명하고, 「TRL 기반의 건설교통 R&D 평가모델」을 숙지 시킨 후, CTE 도출 및 TRL 수준을 판단하도록 한다.(표 3-32. 참조)

표 3-32. 종료과제 단기적 적용 방안

구분	적용대상 과제유형	주요내용	
단기	종료과제	목적	<ul style="list-style-type: none"> 기 종료된 R&D 과제 中, 후속 연구 과제가 기획/발주되는 경우, 해당 기술의 현재 TRL 수준을 판단하여, 중복 연구가 수행되는 것을 방지하기 위함.
		CTE 도출 및 TRL 판단 주체	<ul style="list-style-type: none"> 해당 R&D를 수행했던 연구자가 TRL 판단 참여 기 종료된, R&D 과제의 TRL 수준 판단을 위해, 해당 R&D를 수행했던 연구자에게 「TRL 기반의 건설교통 R&D 평가모델」을 숙지 시킨 후, CTE 도출 및 TRL 수준을 판단하도록 한다.

(나) 중장기 적용 방안

「TRL 기반의 건설교통 R&D 평가모델」을 ‘자유공모과제’와 ‘종료과제’를 대상으로 선적용하는 단기적 적용 단계를 거쳐, 연구단 및 사업단 규모의 과제에 대하여 전면 적용하는 중장기적 적용 방안을 다음 <표 3-33>과 같이 제시하였다.

○ CTE 도출 및 TRL 판단 주체

연구단 및 사업단 규모의 과제들은 대부분 다년도 계약으로 이루어지는 장기 과제 또는 대규모 R&D이기 때문에, 국가 예산 편성에 따라서, 연구가 중단되는 상황 발생한다. 이와 같은 특수성으로 인해 연구단 및 사업단 규모의 과제에 「TRL 기반의 건설교통 R&D 평가모델」을 적용할 경우에는 R&D 사업 기획부터 종료까지 전문기관이 CTE 및 TRL을 주체적으로 추적·관리해야 할 필요가 있다.

○ TRA 수행 시기

전문기관은 R&D 기획 단계에서 TRA 수행 시점을 설정하는 주체가 된다. 현행 평가체계의 중간평가 및 단계평가를 유지하되, 연구 성과물의 기술 성숙도 중심의 평가가 이루어 질수 있도록, 최초 R&D 기획 시, 중간평가 및 단계평가 시점을 해당 연구 CTE의 마일스톤에 맞추어 설정해야 한다.

○ 평가위원 구성

연구단 및 사업단 규모의 과제들은, 장기간으로 연구가 진행되기 때문에, 전문기관의 해당 사업 관리자 또는 평가위원 변경되는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 개선하고, 해당 연구의 일관된 평가를 위해서는, 가급적 동일한

평가위원들로 TRA Team을 구성해야 한다.

평가위원 변경으로 인한, 평가 결과의 극단적 차이를 방지하기 위해, R&D 초기부터 종료 시점까지 이루어진 평가 결과와 근거자료를 데이터베이스화하여, 새롭게 평가에 참여한 평가위원으로 하여금, 전후 사정에 대한 명확한 이해를 할 수 있게 해야 한다.

표 3-33. 연구단/사업단 과제 중장기적 적용 방안

구분	적용대상 과제유형	주요내용	
중장기	연구단과제 및 사업단과제	목적	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 건설교통 R&D 성과관리에서 기술 중심의 평가체계 도입을 통한 실용화 달성율을 높이기 위한 방안으로, 현행 평가체계와 병행되는 「TRL 기반의 평가모델」을 전면 도입하는 것을 목적으로 함.
		CTE 도출 및 TRL 판단 주체	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 전문기관이 해당 R&D의 CTE 도출 및 TRL 수준 판단 <ul style="list-style-type: none"> ☞ 다년도 R&D 사업의 경우, 국가 예산 편성에 따라서, 연구가 중단되는 상황 발생 ☞ R&D 사업 기획부터 종료까지 전문기관이 CTE 및 TRL을 주체적으로 추적관리
		TRA 수행 시기	<ul style="list-style-type: none"> ◆ R&D 기획 단계에서, TRA 수행 시점 설정 <ul style="list-style-type: none"> ☞ 현행 평가체계의 중간평가 및 단계평가를 유지하되, 연구 성과물의 기술 성숙도 중심의 평가가 이루어 질수 있도록 조율 ☞ 최초 R&D 기획 시, 중간평가 및 단계평가 시점을 해당 연구 CTE의 마일스톤에 맞추어 설정
		평가위원 구성	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 장기간 연구 진행에 따른, 평가위원 변경 발생 <ul style="list-style-type: none"> ☞ 해당 연구의 일관된 평가를 위해, 가급적 동일한 평가위원들로 TRA Team을 구성 ☞ 장기간 연구 진행에 따른, 평가위원 변경으로 인한, 평가 결과의 극단적 차이를 방지하기 위해, R&D 초기부터 종료 시점까지 이루어진 평가 결과와 근거자료를 데이터베이스화하여, 새롭게 평가에 참여한 평가위원으로 하여금, 전후 사정에 대한 명확한 이해를 할 수 있게 해야 한다.

제4절 CASE STUDY (종료 Project 대상 시범 적용)

건설 교통 R&D에 기술성숙도평가 적용의 적합성을 알아보고, 수행 방법에 관하여 검토의견을 제공하고자 종료 된 연구개발 프로젝트를 대상으로 CASE STUDY를 실행 하였으며, 이를 통해, 건설교통 R&D사업을 대상으로 기술성숙도 평가를 적용 할 때, 발생 가능한 문제점에 관하여 미리 분석 · 보완하고자 하였다.

1. 대상 Project 선정

(1) 대상 Project

- 대상 : 로봇트 크레인 기반 고층건물 구조체 자동화 시스템 기획 및 통합
- 사업분류 : 건설기술혁신사업
- 과제규모 : ○○대학교 외 20개 기관
- 연구기간 : 2006.12.29. ~ 2011.10.28. (4년 10개월)
- 총 연구 개발비 : 22,029,400,000 (약 220억)

(2) 선정 배경

기술성숙도 평가의 목적은 R&D사업의 주요 시점마다 기술적 구성요소들이 성숙 되었는지를 평가하고, 기술적 준비 부족으로 인해 발생할 수 있는 사업의 위험을 예방하는 것으로, 이러한 기술성숙도 평가가 효율성을 가지려면, 다음과 같은 사항이 충족 되어야 한다.

- 최종결과물이 기술(Product) 형태이어야 함.
- 최종결과물의 기술이 ‘어떠한 환경’에서 무슨 결과물’의 ‘어떠한 기능을 구현’ 할지에 대한 명확한 기준이 있어야 함.
- 프로젝트의 규모가 대규모이고, 핵심기술들이 모여 한 가지 결과물을 완성하는 형태의 R&D

본 연구의 경우 최종결과물이 “로봇트 크레인” 이라는 Product이고, 연구 규모가 220억, 기간이 4년 10개월로 건설 · 교통 R&D 중에서는 대형프로젝트에 속한다. 따라서 연구의 규모, 연구기간, 최종 결과물 등의 측면에서 해당과제가 가장 적합하다 판단하여 사례연구 대상으로 선정하였다.

(3) 연구개발 프로젝트의 주요 내용



그림 3-10. 연구개발 프로젝트의 핵심기술

대상 프로젝트는 우리나라 차세대 성장엔진인 ‘최첨단 로봇기술’과 국제적 경쟁력을 갖추어가고 있는 ‘고층 건축시공 기술’을 융합한 ‘로봇트 크레인 기반의 고층 건물 구조체 시공 자동화 기술’을 개발하는 연구이다.

연구는 <그림 3-10>과 같이 크게 4가지 세부과제(1세부 : 고층건물 구조체 자동화 시공시스템 기획 및 통합, 2세부 : 클라이밍 유압로봇 및 건설공장 구조체 기술 개발, 3세부 : 로보틱 크레인 기반의 자재설치 핵심기술 개발, 4세부 : 무선인식 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설자재 조달시스템)로 구분된다.

해당 연구에서는 Process를 ‘고층 시공 자동화 요소 기술 개발 및 Simulation’과 ‘핵심요소기술 통합시스템 구축 및 시험시공’으로 구분하여 연구를 진행되었다.

2. 대상 Project 기술성숙도 평가

(1) 전문가 선정

TRA 평가를 위한 전문가 구성은 해당 사업과 직접적인 이해관계가 없어야 하며,

해당 분야의 전문 연구경험을 보유한 인원으로 구성하는 것을 원칙으로 한다. 하지만 CASE STUDY의 목적이 기술성숙도 평가를 시행할 때 발생가능한 문제점을 도출하고, 그 보안 요소를 찾는 것에 중점을 두고 있기 때문에, 해당 프로젝트에 대해서 가장 많은 지식을 가지고 있는, 각 세부 과제의 담당자를 Case study 대상으로 선정 하여 연구를 실시하였다.

(2) WBS 작성

1차적으로 해당과제를 세부과제 별로 분류하여, 각 세부과제 전문가를 통해 과제 별 Work Breakdown Structure (WBS)를 실시하여 요소기술을 분류한 후, 각 요소기술의 중요성을 감안해 1차적으로 ‘CTE 검토대상’을 식별하였다. 도출된 WBS요소는 <그림 3-11>과 같다.

(3) CTE 식별

WBS 작성을 통해 분류 된 기술들을 CTE 체크리스트를 이용하여 해당 기술이 CTE로써의 적절한지 검증하여 15개의 후보 CTE 로 도출하였고, 추가검토를 통하여 ‘다중보 양중시스템’과 ‘RFID 및 증강현실 기반 객체인식 시스템’을 제외한 최종 CTE 13개를 도출 하였다.

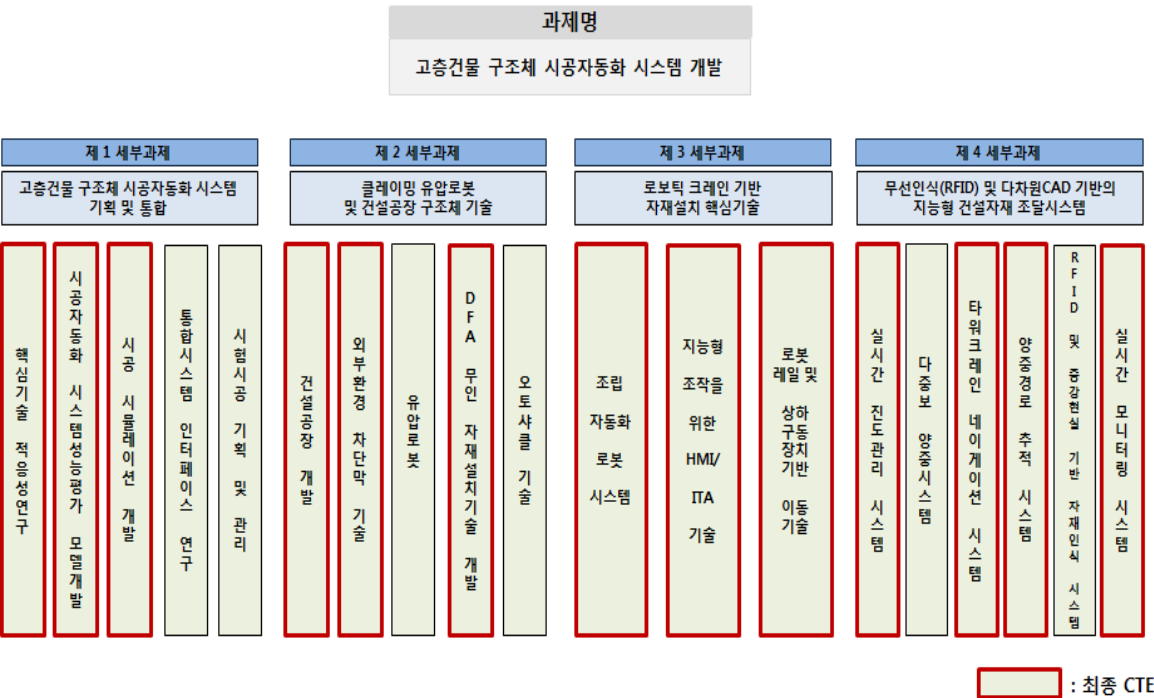


그림 3-11. Case Study 연구과제의 WBS의 구성 및 최종 CTE

(4) TRL 평가

(가) 기초평가

건설교통 R&D의 5가지 결과물의 특성을 바탕으로 재 정의한 TRL 단계별 정의를 토대로 하여 각각의 CTE들이 달성했을 것으로 예상되는 기술성숙 단계를 잠정적으로 판단한다. 기초평가를 실시한 결과 <표 3-34>와 같이 각각의 CTE가 Level 6~9에 해당되는 것으로 평가되었다.

표 3-34. CTE 별 기초평가 결과

CTE No.	CTE	유형구분	기초평가 Level
CTE 1-1	• 통합시스템 인터페이스 연구	시스템	Level 7
CTE 1-2	• 핵심 · 기술 적용성 연구	시스템	Level 6
CTE 1-3	• 시공자동화 · 시스템 성능 평가 모듈개발	시스템	Level 6
CTE 2-1	• 건설공장 개발	장비/장치	Level 7
CTE 2-2	• 유압로봇 기술	장비/장치	Level 8
CTE 2-3	• DFA 무인 자재설치기술 개발	장비/장치	Level 8
CTE 3-1	• 조립 자동화 로봇 시스템	장비/장치	Level 7
CTE 3-2	• 지능형 조작을 위한 HMI/ITA 기술	시스템	Level 7
CTE 3-3	• 로봇레일 및 상하구동장치기반 이동기술	장비/장치	Level 7
CTE 4-1	• 실시간 진도관리 기술	S/W	Level 9
CTE 4-2	• 타워크레인 네비게이션 시스템	S/W	Level 9
CTE 4-3	• 양중경로 추적 시스템	장비/장치	Level 8
CTE 4-4	• 실시간 모니터링 시스템	S/W	Level 8

(나) 상세평가

기초평가 결과에서 잠정적으로 판단된 TRL 단계를 중심으로 체크리스트를 이용하여 상세평가를 실시하였다. 상세평가 방법은 세부적인 TRL 단계의 충족 여부를 평가하고 근거(evidence)를 명시 하도록 하는 것을 원칙으로 한다.

기초평가에서 판단된 TRL 단계가 상세평가에서도 충족되면 그 보다 한 단계 상위에 추가로 상세 평가를 실시하고, 만약 기초 평가와 상세 평가의 결과가 일치하지 않을 경우, 그 아래의 단계에 상세평가를 실시하는 방식으로 적정

기술성숙도를 판정하는 것이다. 본 Case study에서는 SET Point를 1) Green : 80% over 2) Yellow : 60% ~ 80% 3) Red 60% Under, Completed Percent는 95%로 설정하였다.

본 CASE STUDY의 목적은 해당 Project의 TRL 단계를 결정하는 것이 아니라 기술성숙도 평가를 적용 할 때, 발생 가능한 문제점을 도출하는 것이기 때문에 관련근거(evidence)에 제출의 단계는 생략하고 진행하였다.

대표적인 3세부의 CTE를 예시로 본문에서 설명하고 나머지 CTE에 대해서는 보고서 [별첨 2]에 첨부하였다.(표 3-35. 참조)

표 3-35. TRL 상세평가 결과 예시

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [3세부] 로봇틱 크레인 기반 자재설치 핵심기술 개발		
CTE # 3-2	- 지능형 조작을 위한 HMI/ITA 기술	유형 구분	- 시스템

TRL 7 시범운행을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실험실에서 구축 된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하여 확인하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

해당 CTE에 기초평가 결과에 TRL 7 Level의 상세평가를 실시하였다. 그 결과 8개 항목 중, 6개 항목에 대해서 충족, 2개 항목에서 불 충족하여 해당 단계를 75% 달성 하였다. 따라서 그 아래의 단계인 TRL 6단계에 대한 상세평가를 진행하였다.

TRL 6 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 타이밍에 제약이 되는 요소들에 대한 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 데이터베이스 구조 및 인터페이스 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 광범위한 실제 문제들을 처리할 수 있는 Prototype 을 구현하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 알고리즘이 기존 하드웨어 및 소프트웨어와 부분적으로 통합되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 소프트웨어에 대한 문서화 작업이 일부 진행되었다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

TRL 6 상세평가 결과, 11개 항목 중, 9개 항목에 대해서 충족, 2개 항목에서 불충족하여 해당 단계를 82% 달성 하였다. 따라서 해당 CTE는 TRL Level 7인 것으로 판정되었다.




다음과 같은 절차를 통해 13가지의 핵심기술요소의 기술성숙도 상세평가를 진행한 결과는 <표 3-36>과 같다. 기술성숙도가 기초평가보다 높거나 낮은 성숙도로 판정된 부분이 있으나, 그 차이가 한 단계 Level 내·외로, 대부분 기초평가와 비슷한 결과를 나타내고 있다. 이는 연구자가 TRL 개념을 이용하여 자신의 R&D 결과물을 자체 평가할 경우, 비교적 객관적으로 자체 평가가 이루어질 수 있을 것이라는 예상을 가능하게 한다.

표 3-36. TRL 기초평가와 상세평가 비교

CTE No.	CTE	유형구분	기초평가 Level	상세평가 Level	기초/상세 평가비교
CTE 1-1	• 통합시스템 인터페이스 연구	시스템	Level 7	Level 6	▼
CTE 1-2	• 핵심·기술 적용성 연구	시스템	Level 6	Level 7	▲
CTE 1-3	• 시공자동화·시스템 성능 평가 모듈개발	시스템	Level 6	Level 6	■
CTE 2-1	• 건설공장 개발	장비/장치	Level 7	Level 6	▼
CTE 2-2	• 유압로봇 기술	장비/장치	Level 8	Level 8	■
CTE 2-3	• DFA 무인 자재설치기술 개발	장비/장치	Level 8	Level 8	■
CTE 3-1	• 조립 자동화 로봇 시스템	장비/장치	Level 7	Level 6	▼
CTE 3-2	• 지능형 조작을 위한 HMI/ITA 기술	시스템	Level 7	Level 6	▼
CTE 3-3	• 로봇레일 및 상하구동장치기반 이동기술	장비/장치	Level 7	Level 6	▼
CTE 4-1	• 실시간 진도관리 기술	S/W	Level 8	Level 7	▼
CTE 4-2	• 타워크레인 네비게이션 시스템	S/W	Level 9	Level 9	■
CTE 4-3	• 양중경로 추적 시스템(GPS 레이저 센서)	장비/장치	Level 8	Level 8	■
CTE 4-4	• 실시간 모니터링 시스템	S/W	Level 8	Level 7	▼

▲: 상세평가결과>기초평가결과 / ▼: 기초평가결과>상세평가결과 / ■: 상세평가결과=기초평가결과

위의 결과를 TRL Decision Process Flowchart를 이용해서 작성한 Real-time Color coded readiness level 결과는 <그림 3-11>과 같다.

 : Green : 80% over /  Yellow : 60% ~ 80% /  Red : 60% Under

	CTE	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
CTE 1-1	•통합시스템 인터페이스 연구	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow		
CTE 1-2	•핵심 · 기술 적용성 연구	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow		
CTE 1-3	•시공자동화 · 시스템 성능 평가 모듈개발	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	
CTE 2-1	•건설공장 개발	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red		
CTE 2-2	•유압로봇 기술	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
CTE 2-3	•DFA 무인 자재설치 기술 개발	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
CTE 3-1	•조립 자동화 로봇 시스템	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow		
CTE 3-2	•지능형 조작을 위한 HMI/ITA 기술	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow		
CTE 3-3	•로봇레일 및 상하구동 장치기반 이동기술	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow		
CTE 4-1	•실시간 진도관리 기술	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	
CTE 4-2	•타워크레인 네비게이션 시스템	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
CTE 4-3	•양중경로 추적 시스템 (GPS 레이저 센서)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
CTE 4-4	•실시간 모니터링 시스템	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	

그림 3-12. Real-time Color coded readiness level

해당 Project의 경우 지하 1층, 지상 7층에 연면적 3,300제곱미터 규모의 건물을 실제 시공하는 데, 본 기술을 적용한 사례가 있으므로 TRL 7단계 단계 이상을 충족할 것이라 예상하였다. 하지만 실제 시공에 도입한 기술임에도 불구하고, 각 세부 전문가들을 통해 TRA를 실시한 결과는, 각 CTE별로 TRL 6 Level 에서 TRL 9 Level 까지 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 해당 과제의 최종적인 기술성숙도는 “6단계” 인 것으로 판정 되었다.

3. 결과 검토 및 시사점

기술성숙도는 기존의 성과관리와 비교하여, 연구 결과물을 기술 중심의 정량적인 단계로 표현하고, 기술적 검토를 통하여 이해 관계자들 사이의 공통된 정보 교환 및 의사소통수단으로 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 NASA와 DoD의 기술 개발 System과 달리 건설·교통 R&D는 End User가 명확하지 않기 때문에 효과적인 기술성숙도 평가 적용을 위해, 다음 사항에 대한 고려가 필요하다.

(1) 연구 기획 단계부터 목표성능 및 기타 요구사항 제시

기술성숙도 평가(TRA)는 해당 R&D에 적용되는 핵심기술요소들이 어느 정도로 성숙되어 있는지를 계량적인 지표로 평가하는 프로세스이다. 여기서 ‘성숙’은, 기술이 ‘적용될 제품의 요구사항 대비 어느 정도의 준비가 되어있는가’를 의미한다. 따라서 1차적으로 적용될 기술의 목표 성능 및 요구사항을 제시해 주는 것이 가장 중요하다. 또한 기술성숙도는 평가를 위해서는 해당 기술요소가 무슨 결과물 (physical articles)을 어떠한 환경(environment)에서 구현(realized)했는지를 명확하게 제시하여 주어야 한다. 하지만 현행 R&D 평가에서는 TRA를 고려하지 않기 때문에, 이 세 가지를 판단할 수 있는 요구조건이 구체적으로 제시되는 데에는 한계가 있다.

따라서 건설·교통 R&D 기술성숙도 평가 적용을 위해서는 연구 기획 단계에서 기술에 대한 목표성능 및 요구사항과 기술요소가 무슨 결과물을 어떠한 환경에서 구현하는지에 대한 명확히 제시가 요구된다.

(2) R&D 특성 & 프로젝트 특성에 따른 용어 정의

본 CASE STUDY를 진행하면서 어려웠던 부분이 TRL 평가지표에 대한 용어의 정의였다. 각 단계별 TRL의 정의와 체크리스트에서 사용되고 있는 ‘기술의 응용개념’, ‘해석적 연구’, ‘공학적 타당성’ 등의 개념이 이해관계자들에게 미리 공유되어 있지 않았기 때문에, 평가에 있어서 혼란을 줄 수 있었다. 이렇듯 TRL의 정의와 체크리스트에서 사용되는 용어들은 프로젝트에 따라서 달라질 수 있기 때문에 TRL 및 TRA를 적용하는 건설교통 R&D 사업은, 사업 초기에 해당 사업의 특성에 맞는 용어들을 정의하여 관계자들 모두의 이해 및 합의가 이루어진 후에, TRL 평가가 이루어져야 할 것이다.

(3) 실용화를 위한 기술 외적 요소 고려

사전적 의미를 보면 실용화란 ‘실제로 쓰거나 쓰게 함’이라 정의되어 있다. 이것을 사용이 가능하게 만드는 “사용 가능성”의 의미와, 실제로 다른 기술에 비해 경제적 가치가 있게 만드는 “사용 효용성”의 2가지로 해석될 수 있다.

기술성숙도는 기술이 응용되어 쓰일 수 있기까지 어느 정도 준비가 되어 있는지를 의미하는 ‘사용 가능성’을 평가하기 위한 Tool 이다. 즉 해당 기술이 생명주기의 어느 단계에 있는지를 정량적 지표를 통해 판정하고, 생애주기의 각 마일스톤 별 Exit Criteria³⁶⁾ 역할을 하는 것이다. 하지만 기술성숙도는 기술 자체의 가치나 능력과는 근본적으로 관련이 없기 때문에, ‘사용 효용성’ 즉, 실제로 다른 기술에 비해 경제적 가치가 있는 지를 평가 하려면 다른 보완 장치가 필요하다.

36) Exit Criteria : 앞 단계를 종료할 시점을 결정하는 것.

제4장 건설교통 R&D 기술의 실용화를 위한 성과관리 전략수립

건설교통 R&D 기술의 실용화를 위한 성과관리 전략 수립은 건설교통 R&D의 성과관리에 대한 이해가 우선적으로 필요하다. 건설교통 R&D의 구성은 기본적으로 기획, 운영, 사후평가로 이루어진다. 본 장에서는 건설교통 R&D 성과관리에 대해 이해하고 각 단계별 문제점을 정리한다. TRL기반의 성과관리를 위해 각 단계의 업무프로세스에 따라 적용 전략을 제시하고 특히 단계별 의사결정을 지원하는 게이트웨이 리뷰(gateway review)를 프로세스 상에 도입하여 적용 방안을 제시한다. 또한 현재 한국건설교통기술평가원에서 수행하고 있는 평가 기준의 하나인 성과지표에 TRL적용결과를 반영할 수 있도록 제안한다. 마지막으로 건설교통 R&D 기술의 실용화에 직접적인 영향을 주는 핵심연구 인력에 대한 효율적인 관리방안을 추가한다.

제1절 건설교통 R&D 성과관리의 개요

건설교통 R&D 성과관리는 ‘이루어 내거나 이루어진 결과를 말아서 관할하고 처리한다’는 성과관리의 일반적인 정의가 ‘성과주의’로 발전하면서 ‘결과 중심의 예산제도’라는 뜻에서 좀 더 적극적인 행정부의 역할을 강조하는 방향으로 발전해 오고 있다. 단순히 좋은 성과를 기대하기보다는 적극적인 활동을 통한 좋은 결과 창출을 위해 맡겨진 일을 관할하고 처리한다는 것이다. 우리나라는 성과주의 예산제도를 도입하여 그로 인해 나타난 문제점을 보완, 보다 실효성 있는 『성과관리제도』로 전환하여 단계적으로 실행하고 있다.

1. 건설교통 R&D 성과 관리의 기본 구조

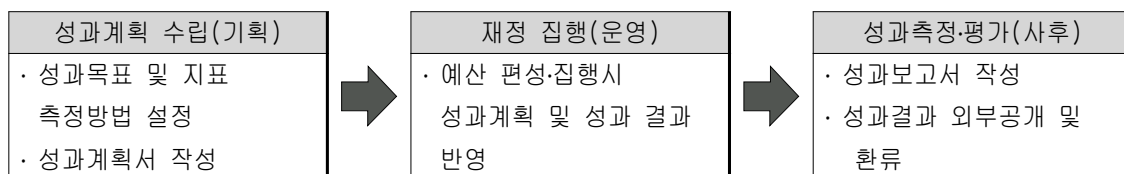


그림 4-1. 건설교통 R&D 성과관리 구조

성과관리는 재정운영상 하나의 과정으로서 주요 재정사업의 성과목표와 계량화된 성과지표³⁷⁾를 사전에 설정하고 지표에 의한 성과측정³⁸⁾ 후 평가결과를 재정운영에

37) 성과지표(performance measure or indicator)란 일반적으로 성과를 측정하기 위한 도구를 말하며, 산출이나 결과물을 계량적으로 혹은 질적으로 나타낸 것이다. 성과지표의 형태는 사업 활동의 과정에 따라 투입지표, 과정지표, 산출지표, 결과지표 등으로 나눌 수 있고 성과측정의 유형에 따라 투입지표, 산출지표, 효율성지표, 효과성지표 등으로 분류 할 수 있다.

환류하는 과정으로 운영된다.

2. 건설교통 R&D의 각 단계별 성과 관리

국토해양부(이하 국토부)에서 정의하는 연구성과라 함은 연구개발을 통하여 창출되는 특허·논문 등 과학기술적 성과와 유·무형의 경제·사회·문화적 성과를 총칭하는 것이다. 성과관리의 목적은 연구성과를 창출하기 위한 연구성과의 종합적인 수집·활용체계를 구축하여 성과 데이터베이스를 공유함으로써 관리의 효율성을 높이고 자원의 공동 활용을 촉진하는 것이다. 연구사업을 관리하는 기관은 국가연구개발사업의 결과물을 체계적으로 관리하고, 수집된 연구성과의 활용을 촉진하여 연구성과의 사회적 확산 및 경제적 부가가치를 제고하고자 노력하고 있다.³⁹⁾

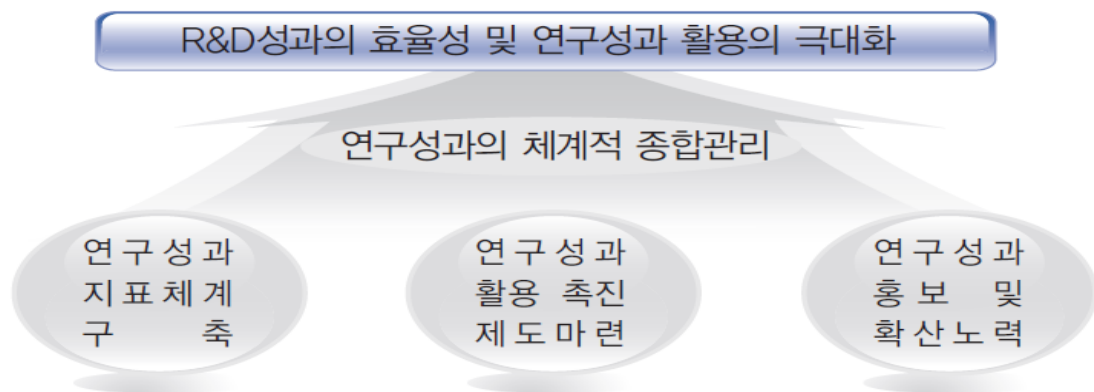


그림 4-2. 국토해양부의 R&D 성과관리 개념

(가) 기획단계에서의 성과관리

기획단계에서 실시하는 주요 관리사항은 사업의 진단을 통해 타당성을 파악하고 이에 대한 기초분석을 실시하는 것으로서,

- ① 건설교통 혁신 기술로드맵에 의거한 사업비전 및 전략 목표에의 부합여부를 판단하는 성과지표를 설정하기 위하여 사업 비전 및 목표를 점검한다.
- ② 전체 국가연구개발사업의 수 및 정부출연금의 현황과 혁신로드맵에 대비하여 사업현황을 파악한 뒤 사업현황을 분석한다.

38) 성과측정(performance measurement)이란 투입된 자원이 재화와 서비스라는 산출로 전환되는 과정에서 얼마나 능률적인가, 산출의 질이 어떠한가(산출이 고객에게 얼마나 잘 전달되고 고객이 얼마나 만족하는가?), 그리고 산출의 결과는 어떠한가(사업수행의 결과를 본래 의도한 목표와 비교), 정부 운영이 사업목적에 어느 정도 기여하는가 등을 측정하는 과정이라 할 수 있다.

39) 한국건설교통기술평가원, 건설교통기술 연구개발사업 사업단과제 관리지침 개정(안), 2009

- ③ 사업단, 연구단, 일반과제 등 연구 규모에 따라 연구수행 형태를 분석하여 사업 수행 형태 및 규모를 결정한다.
- ④ 출연(연), 대학, 대기업, 중·소기업 등 연구수행 주체 분석을 통하여 수행기관의 통계 분석을 실시하고 연구 과제를 배분한다.
- ⑤ 최종적으로는 연구과제 목적물 및 과학기술표준체계, 연구유형에 따라 과제를 분류하여 연구개발사업의 포트폴리오를 분석하여 사업의 전략목표와 연구성과 비교·분석을 통한 성과지표 및 평가에 대한 개선방안을 도출하여 사업추진의 적정성을 분석하게 된다.

<그림 4-3>은 국토해양부에서 실시하고 있는 기획단계에서의 성과관리 및 분석 프로세스로 기획단계에서 관리되어야 할 목표, 지표, 파급효과 등을 과제의 규모에 따라 사업, 사업단 등으로 구분하여 관리하고 있는 체계를 나타내고 있다.

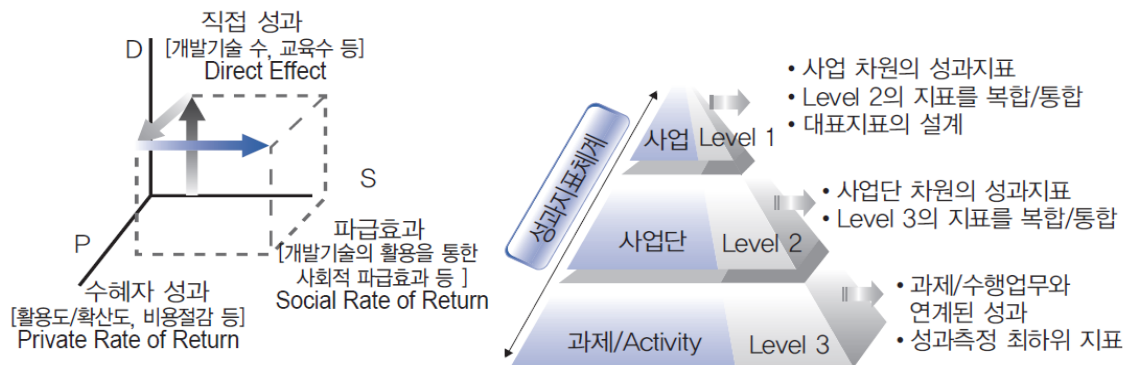


그림 4-3. 기획단계에서의 성과 관리 및 분석 프로세스(국토부)

(나) 운영단계에서의 성과관리

운영단계에서 국토해양부는 국가연구개발사업 추진현황에 대한 체계적인 조사 및 분석을 실시하고, 사업추진실적 및 성과에 대한 정확하고 공정한 평가를 통해 국가 R&D의 투자효율성을 제고하기 위하여 성과 평가를 실시한다. 해당 성과 평가는 연구개발사업, 연구과제, 연구기관에 대한 평가의 방법, 절차 등을 성과중심을 실시하고 연구수행주체가 사전에 성과목표와 지표를 제시하여 이를 토대로 성과달성 여부를 중심으로 평가하는 것을 기본방향으로 한다.

성과관리의 수행체계는 특정평가와 부처별 자체+상위평가로 구분된다.(그림 4-4. 참조) 특정 평가는 장기/대규모사업, 중복조정/연계사업, 다수부처 공동사업 등에 대한 정례 심층평가 및 현안사업에 대한 연중 수시평가의 형태로 구분되어 실시하며, 부처별 자체+상위평가에서는 각 부처에서 수행한 자체평가 결과에 대한 적절성을 검토하는 것이다.

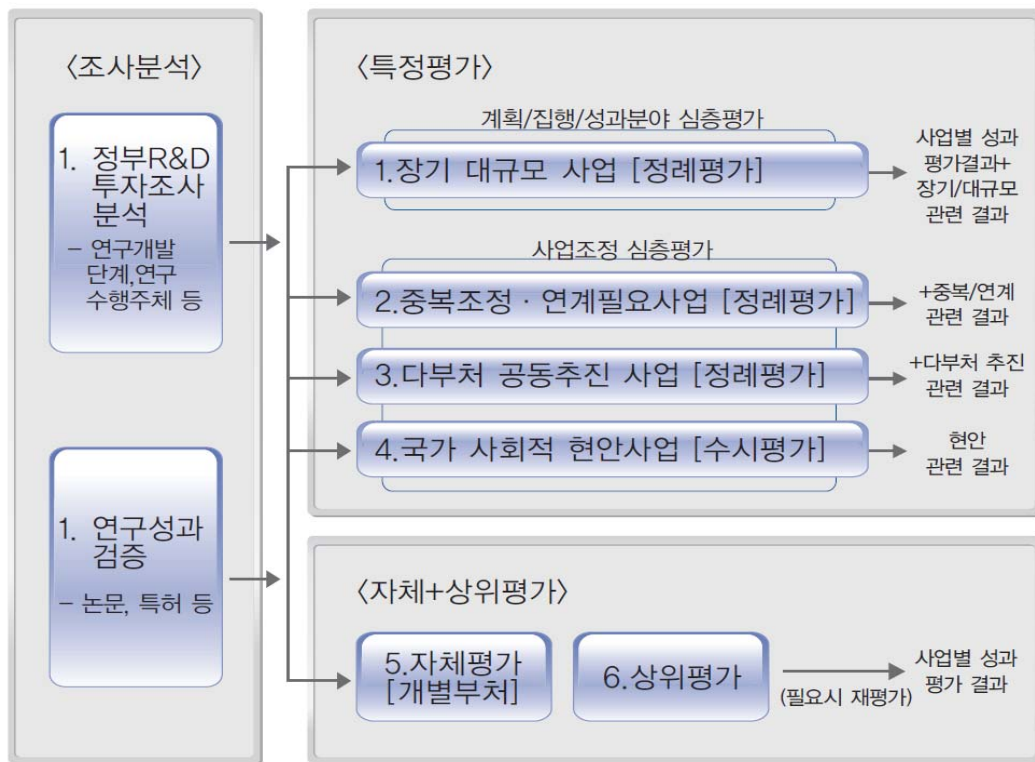


그림 4-4. 운영단계에서의 성과관리 수행체계(국토부)

(다) 사후단계에서의 성과관리

연구종료 후 국토해양부에서는 「국토해양부소관 연구개발사업 운영규정 제40조 제5항」에 따라 국가연구개발사업 수행결과물로 창출된 지식재산권, 노하우(know how) 등 연구개발 성과에 대하여 널리 알리고 활용할 수 있도록 지원한다. 국가경쟁력 향상에 기여하고 기술이전 및 확산을 촉진할 수 있는 연구개발결과 중 공개 활용할 수 있는 기술을 적극 발굴하고 전산, 정보화하기 위한 노력을 하고 있다. 또한 연구개발 결과의 이전 및 확산을 통한 사업화를 위한 기술거래 및 양도, 후속 연구개발과제의 지원을 추진한다.

종료 후 성과관리는 분기별 성과조사 및 국가과학기술위원회의 조사·분석·평가를 통한 연구성과 활용보고서 등에서 연구개발 성과를 수집하고, 한국건설교통기술평가원 홈페이지, 연구포탈서비스, 건설교통기술 은행을 통해 연구 개발 성과를 온라인으로 등록하고 이에 대한 추적평가 및 우수 연구성과를 발굴한다. 우수성과에 대한 홍보를 위해 성과전시회 및 발표회를 개최하고, 성과 총람집을 발간하여 배포한다.

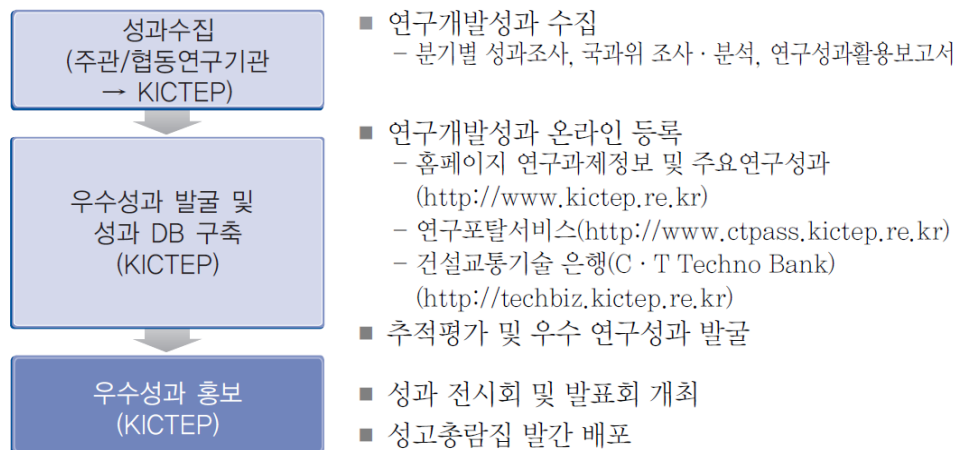


그림 4-5. 사후단계에서의 성과확산 절차(국토부)

연구개발사업을 추진하는 기관은 사업 수행의 효율성과 경제성을 추구하게 된다. 그런 과정에서 투자한 연구 개발에 관한 효율적인 성과를 거두고 있는가를 평가한 것은 당연하다. 연구성과가 제대로 평가되지 못할 경우에는 조직의 비효율적인 운영으로 인해 경쟁에서 퇴보하고 낙오될 것이다. 지식경제부는 R&D 지원, 평가 시스템을 개선해 창의적인 연구 환경을 조성하고, 투자효과도 있도록 2005년 통합평가법이 제정하여 국가 R&D 사업에 대한 체계적인 성과평가의 거버넌스가 확립된 바 있다.

산업자원부는 같은 내용으로 'R&D 성과활용 평가제'를 도입하여 산업자원부 R&D 사업을 기술개발 단계뿐만 아니라 사업화 단계까지 체계적으로 관리함으로써 성과지향적인 기술개발을 지원하고 있다. 산업자원부는 중기거점, 차세대 신기술 및 공통핵심기술개발 사업에 대해 성과활용 평가를 실시하고, 2007년부터는 모든 산업 기술 개발 사업으로 확대하여 적용하는 방침을 실시하고 있다.

평가절차를 살펴보면, R&D 과제 종료 시 연구 수행기관은 기술개발 최종보고서와 함께 성과활용 계획서를 한국산업기술평가원(ITEP)에 제출해야 한다. 연구 수행기관은 또한 R&D 종료 후 2년 간 기술개발 결과물의 지적재산권 획득, 신제품개발, 비용절감, 매출 및 고용창출 등 구체적인 성과활용 실적을 ITEP의 '성과정보 DB시스템'에 입력하게 된다. 입력자료를 토대로 산·학·연 전문가로 구성된 성과활용 평가위원회의 최종 평가가 진행되며, ITEP은 평가결과를 정리해 과제별 성과활용실적·평가등급·우수 및 실패사례 원인 등을 담은 산업기술개발사업 성과분석 보고서를 작성한다. 산업자원부는 연구기관 수행기관의 성과활용 자료 제출에 대한 인센티브 및 패널티를 명확히 하고 결과물들을 활용, 기술이전 및 사업화 애로요인을 파악해 사업화를 지원하고 있다.

제2절 기존 건설교통 R&D 성과관리의 문제점

1. 기획단계에서의 건설교통 R&D 성과 관리제도의 문제점

R&D의 기획단계는 해당연구과제의 발주자가 원하는 형태와 수준의 연구결과물을 연구자에게 전달하고 이를 위해서 연구자는 구체적이고 정확한 성과지표를 설정하여 전달하여야 하는 과정이다. 성과지표의 가장 중요한 특성은 객관성과 공정성이다. 그러나 각 연구기관은 평가만을 고려하여 사업성지표나 연례 반복적인 일회성 지표를 선정하려는 경향이 있다. 많은 연구기관들은 목표설정이 용이한 사업성지표 및 일회성 지표를 설정함으로써, 궁극적인 성과와 연계하는 데 한계를 갖는 성과지표를 설정한다. 이에 따라 성과측정의 공정성과 객관성 유지의 문제가 발생한다.

또한 효율적인 성과측정이 가능하도록 계량화된 지표가 있음에도 불구하고 여전히 개념이 불명확하고 검증방법이 모호하고 주관적인 성과측정에 의존하고 있다. 이에 따라 향후 성과분석이 어려운 현상이 발생한다. 현 성과지표의 내용과 범위의 제약에 따라 해당 연구조직의 연구결과물로 인한 궁극적인 영향이나 효과를 구체적이고 계량적으로 표현하지 못함으로써 성과측정의 객관성과 효율성에 문제가 있다.

이런 성과지표의 경우 동일 및 유사한 지표가 중복적으로 설정되거나 사업성과를 과장하려하여 해당 연구기관의 목표달성의 중요성을 간과하는 문제가 발생할 수 있다. 간단하고 명료한 성과지표를 설정할 수 있음에도 불구하고 지표의 개수를 확대하여 연구활동을 과장하거나 성과측정의 정확성을 호도하며 동일한 지표라도 임의적으로 성과측정을 과장하는 문제를 의미한다.

2. 운영단계에서의 건설교통 R&D 성과 관리제도의 문제점

한국과학기술기획평가원(2012)에 따르면, 연구기관들은 연구 운영단계에서의 성과관리 체계상의 문제점으로 ‘단기성과에 치중한 성과관리’를 가장 큰 문제점으로 인식하고 있다. 성과관리 및 활용 시스템이 미비하다고 응답한 연구기관의 수가 그 다음으로 높게 나타났다. 또한 성과관리 주체의 불명확성 또한 문제점으로 인식되고 있다.(그림 4-6. 참조)⁴⁰⁾

40) 한국과학기술기획평가원, 정부 R&D성과 관리 활용 체계 현황 진단과 시사점, 2012

성과관리 체계상의 문제점 개선을 위해서는 연구성과 추적관리를 통한 지속적인 성과관리 및 성과관리 활용 시스템의 구축이 필요한 것으로 판단되며 성과관리 주체를 명확히 제시하여야 하는 것으로 판단된다.

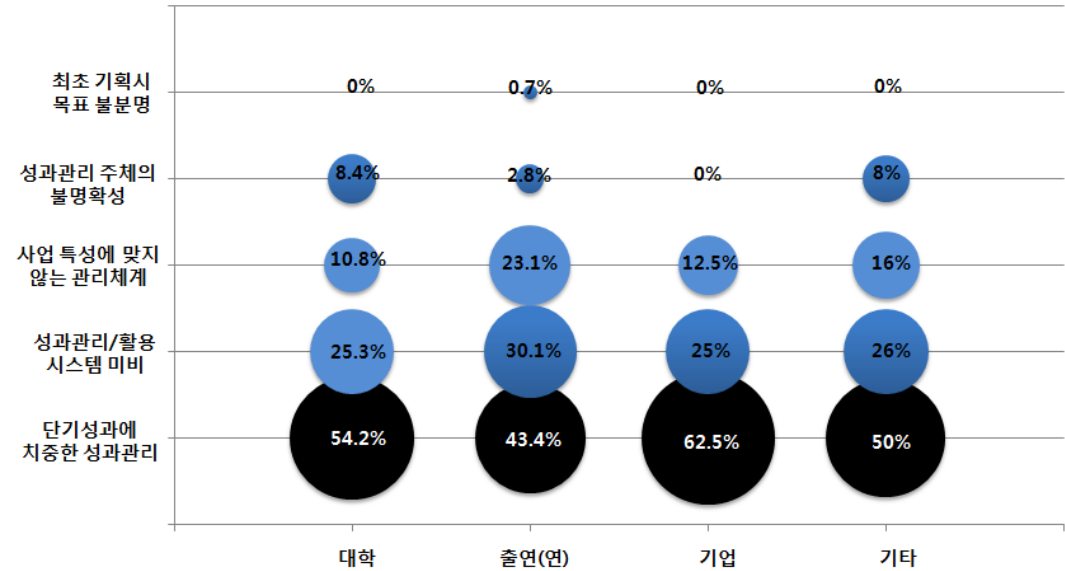


그림 4-6. 성과관리 체계의 문제점에 대한 기관별 응답 비중

또한 연구운영단계에서의 각 진도의 목표대비 성과달성여부 보고 시 주관적이며 불명확한 지표로 인해 성과달성 여부를 확인하기 어려운 문제가 있다. 이에 객관적이고 공정한 성과지표의 설정을 통해 연구 운영단계에서의 성과관리에 있어서 목표달성여부를 구체화 할 필요가 있다.

3. 사후단계에서의 건설교통 R&D 성과 관리제도의 문제점

국가연구개발사업의 기본정책에 대한 이해와 개념은 연구수행기관 및 연구자가 성과를 소유하여 결과의 활용을 자율적으로 한다는 점을 제고하는 것이다. 연구결과를 가장 잘 아는 연구자가 결과를 가장 잘 활용할 수 있다는 점에 착안하여 연구자의 노력을 보상하는 한편 연구자에게 연구에 대한 동기부여 효과를 극대화 하려는 의도이다. 이에 대한 실행의 근거에는 해당 연구사업의 성공과 실패 여부를 먼저 명확히 하여야 한다는 것인데 이때의 문제는 주관적인 기준에 의해 판단되고 있다는 것이다. 또한 해당 연구과제 발주자의 연구주제에 대한 정확한 이해 부족으로 인해 해당 기술의 이전 및 실용화 여부를 판단하기 어려운 점 또한 사후 단계에서의 대표적인 문제점으로 꼽을 수 있다.

표 4-1. 건설교통 R&D 연구 단계별 문제점

구분	문제점
기획단계	<ul style="list-style-type: none"> • 불명확한 성과지표 및 일회성 지표로 인한 성과 남발 • 유사지표 중복으로 인한 연구 활동의 과장
운영단계	<ul style="list-style-type: none"> • 단기성과에 치중한 성과관리 • 성과관리 활용 시스템 미비
사후단계	<ul style="list-style-type: none"> • 연구성과의 성공/실패 여부 판단 미흡 • 발주자의 기술실용화 여부 판단 불명확

제3절 건설교통 R&D TRL 기반의 성과관리 전략

건설교통 R&D사업의 성과를 달성하기 위한 목표를 설계한다는 것은 각 단계의 통과문 (Tollgate)에 정해진 기간과 비용, 품질 목표로 얼마나 적시성을 가지고 도달 할 수 있는가를 설계하는 것이다. 이는 각 해당 단계별로 수행해야 하는 프로젝트 계획서를 작성해 놓고 이 계획서대로 업무가 진행이 되도록 목표관리를 설계해 나가는 것을 말한다.

연구기획단계는 기술개발 가능성 여부를 조사하여 연구개발을 수행하도록 아이디어 제안을 통해 해당 연구주체에 적합한 연구개발 아이템인지 사전 파악하고, 국내외 기술수요 및 기술수준에 따른 과제 도출 전략을 수립하는 단계이다. 이 단계에서는 연구개발 목표 달성을 위한 상세 개발계획을 수립하고 연구개발 후보과제를 도출하여 선정된 과제에 대한 사업 공고 등을 관리한다.

연구운영단계는 연구개발계획에 따라 R&D 과제를 진행하며 시행 중 현황을 점검하는 단계로 연구개발 시행중 과제 진행 변경사항이 발생할 경우 변경에 요구되는 목표를 관리한다. 이 단계에서는 중간평가 및 상세, 최종평가를 통해 연구 성과평가를 실시한다.

사후관리단계는 해당 연구과제의 성공/실패여부를 결정하고 최종 연구성과의 수준별 구분을 통해 기술사업화 전략 계획을 판단하는 단계이다. 실패로 판명된 과제에 대해서는 실패사유를 분석하고 데이터베이스화를 하여 사후관리를 실시한다. 기술실용화 대상 과제에 대해서는 향후 연구계획 및 기술료 계약, 징수, 사용관리 등을 통해 기술이전 및 사업화를 실현한다.

R&D 성과관리는 연구 성과를 창출하는데 있어 문제점이 있을 경우 그 개선방안을 찾아 목표달성활동의 효율성을 높이고 계획된 연구 성과의 창출을 위해 투자효율을 향상시키는 목표관리과정을 의미한다. 즉, 성과평가는 새로운 R&D활동의 시작인 동시에 과거의 R&D 활동의 과정과 성과에 대한 피드백과정이라고 할 수 있다. TRL 체계를 통한 건설교통 R&D의 성과관리는 아래와 같은 요소를 기반으로 수행된다.

- (가) 적절성 : 연구개발목표, 예산지원, CTE 선정 등의 적절성
- (나) 효율성 : 자원 투입 대비 결과물 산출 수준 및 사업추진 체계의 효율성, 성과지표 중복 최소화
- (다) 구체성 : 성과목표, 기술성숙도 달성도, 평가 기준 등의 구체성
- (라) 체계성 : 기획-운영-사후 관리의 일관성, 성과관리 및 활용의 적절성

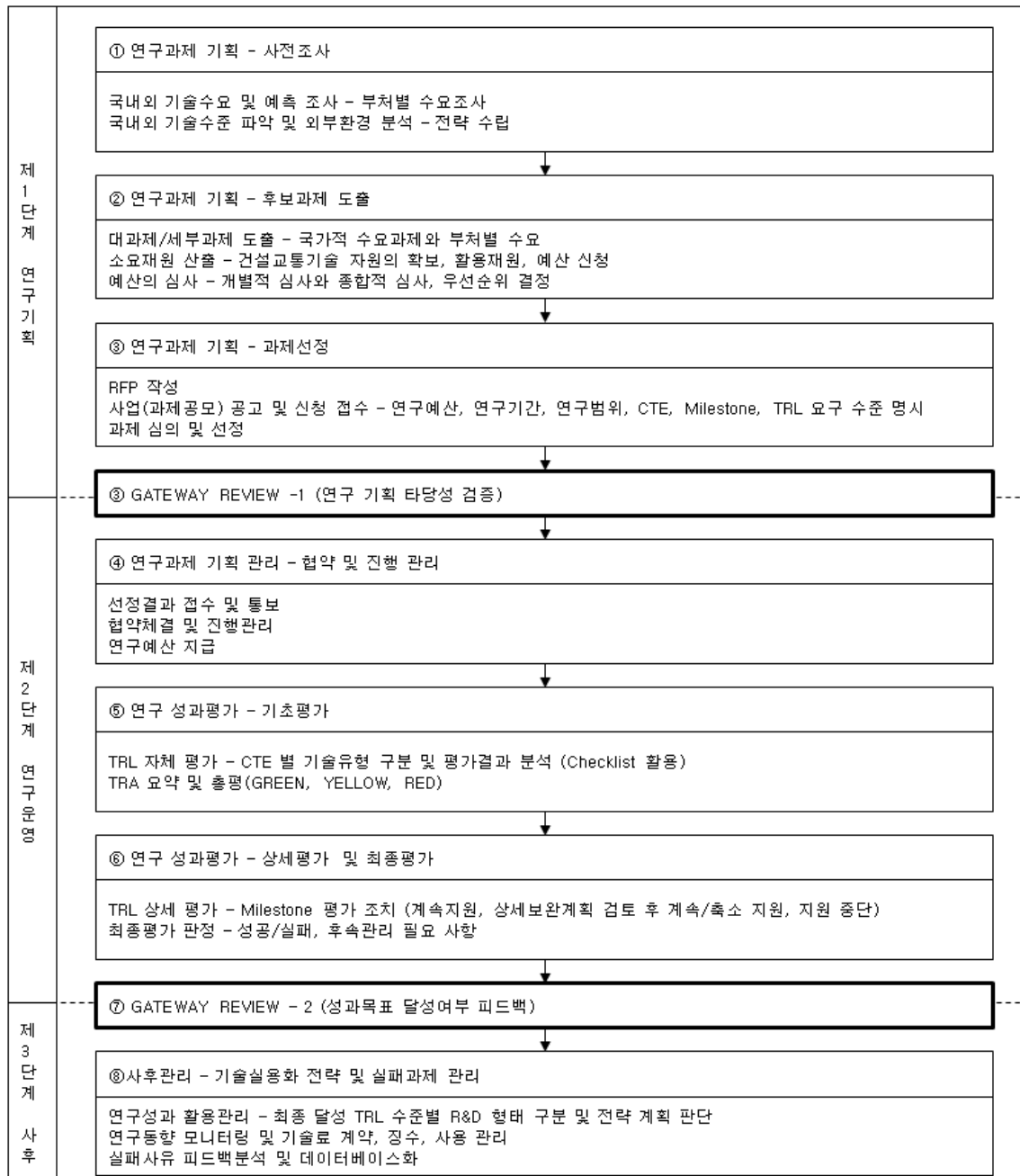


그림 4-7. TRL을 활용한 건설교통 R&D 성과관리 프로세스

TRL체계를 활용한 성과관리 전략을 실행하기 위해서는 연구진행 단계를 <그림 4-8>과 같이 관리의 개념으로 정리하는 것이 필요하다. 연구 기획에서 연구 수행 전까지의 성과관리 단계를 사전관리, 연구진행 중의 성과관리를 중간관리, 연구 후 성과물 창출까지의 성과관리를 사후관리 3가지 단계로 나누고 각 연구 단계별 연구의 주체(전문기관, 연구기관, 평가위원회)별로 주체의 역할과 서로간의 적용방안을 반영하는 것을 작성하였다.

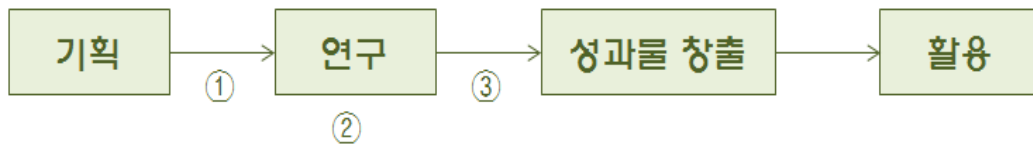


그림 4-8. 연구 진행의 3단계

표 4-2. 각 연구진행단계별 성과관리 목적

관리단계		적용 시점	성과관리 목적
사전관리		• 연구개발 계획 단계	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발과제 선정 개별과제의 목표 및 예산 설정
중간관리		• 연구개발 실시 단계	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발과제 진행 파악 - 스케줄, 예산집행, 목표 등 연구개발상의 애로요인 파악 및 개선 연구목표의 수정 및 재정립 연구원의 중간성과 파악 및 동기 부여
사후 관리	직후 평가	• 연구성과 측정 단계 (연구종료 직후)	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발성과 파악 차후 연구개발방향 설정 및 기초자료 제공 연구원의 업적 파악
	추적 평가	• 기술이전 측정 단계 (연구 종료 후 일정기간 후)	<ul style="list-style-type: none"> 연구소 내외의 활용성과 파악 산·학계로의 기여도 파악 - 영향, 직접공헌, 파급 효과 등

1. 사전관리단계에서의 TRL 기반의 성과관리 전략

사전관리단계는 연구개발목표의 설정을 위한 것으로서 이 단계에서의 모든 주체의 가장 큰 주안점은 연구의 목표를 구체화하는 것이며, TRA를 통해 객관적이고 공정한 수치로 성과물에 대한 등급을 제시하는 것이 가능하다.

(가) 전문기관

먼저 기획단계에서 전문기관은 정확한 연구결과물의 구체적인 형태와 연구 목표를 제시하는 것이 중요하다. 발주자는 RFP(Request for Proposal)에 정확한 TRL 등급을 명시한 뒤 이에 대한 전달을 통하여 연구 목표 및 필요성을 소통하여야 한다. 이를 위해서는 해당 연구 분야에 대한 사전 인지와 예시 등의 제시를 통한 목표의 구체화가 필요하다. 또한 연구결과물의 소유권에 대한 기술이전 객체여부를 명확히 하도록 한다.

(나) 연구기관

기획단계에서의 연구자는 RFP에서 제시한 TRL 등급에 따른 예상 연구결과물을 명확하게 제안하는 것이 중요하다. 이에 따라 먼저, 해당 연구에 대한 WBS(Work Breakdown Structure)를 작성하여 요소기술들을 나열하고 이중 핵심기술요소(CTE)를 선정하는데, 방법은 CTE Checklist를 활용하여 정량적 수치에 따라 CTE를 선정하도록 한다. 이때 도출된 CTE에 대한 필요성과 기대효과를 함께 CTE와 제시한다. 또한 현 시점의 연구환경과 역량(연구 경력 및 해당 전공 분야)과 함께 연구진행시 필요 사항(장비, 금액 등)을 명시하도록 한다.

(다) 평가위원회(TRA TEAM)

기획단계에서의 성과관리자의 역할은 연구의 목표단계를 명확히 하는 것으로 발주자와 유사하다. 무엇보다 CTE에 대한 TRL 등급을 명확히 해야 하며 각 TRL 등급의 달성 시기를 평가하기 위한 평가 마일스톤을 가능한 정확하게 설정하여야 한다. 결과물로는 합리적으로 도출된 마일스톤별 CTE의 TRL 달성 등급을 전달하는 것이다.

1. 중간관리단계에서의 TRL 기반의 성과관리 전략

중간관리단계에서의 모든 연구 주체의 역할은 기획단계에서 설정한 목표를 달성하는 것이다. TRL을 기반으로 한 성과관리는 목표 달성여부를 간결하고 명확하게 제시하는 것을 가능하게 하는 효과가 있다. 기존의 건설교통 R&D 운영단계에서의 성과관리 프로세스는 연구개발수행을 시작으로 매년 연차별 중간평가를 실시하고 마지막 년도에 최종평가를 실시하는 단순한 구조였다면, TRL을 기반으로 한 건설교통 R&D의 운영단계 성과관리 프로세스는 TRL 자체평가에 따른 3가지 신호(GREEN, YELLOW, RED)를 기준으로 각각 다른 전략 방향과 솔루션을 제시하여 연구개발의 성과관리를 더욱 구체화 및 명확화 하는 효과를 창출한다.

(가) 전문기관

중간관리단계에서 발주자의 역할은 각 평가 마일스톤에 따른 CTE의 TRL 달성여부를 확인하는 것이다. 이를 위해서는 관리자에게 각 마일스톤의 시기 전에 TRL달성도에 대한 보고를 요청하여야 하며, 해당 보고 사항을 확인한 뒤 연구진행 방향 및 진행사항에 대한 판단을 명확히 하여야 한다.

<그림 4-9>는 TRL기반의 중간관리단계에서의 성과관리 프로세스를 나타낸 것이다. 그림에서처럼 성과관리에 있어 TRL을 적용하면 기존 운영단계에서의 단순했던 관리방식이 복잡해진다. 가장 큰 변화는 TRL에 의한 평가를 통해 계속 진행 과제와 보완이 필요한 과제를 구분할 수 있다는 것이다. 그리고 보완계획이 필요한 경우, 관리 중에 보완 수준을 결정할 수 있기 때문에 관리방법이 보다 구체적이고 명확하다. TRL을 활용한 성과관리의 장점을 충분히 활용할 수 있다는 것을 의미한다.

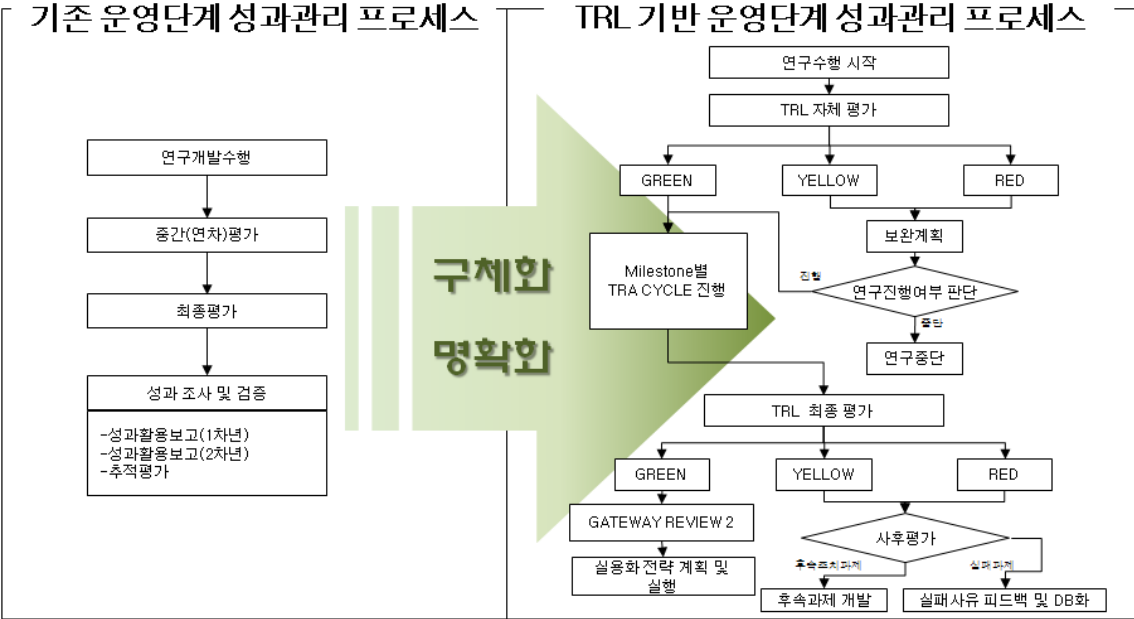


그림 4-9. TRL기반 운영단계에서의 성과관리 프로세스 변화

(나) 연구기관

중간관리단계에서 연구자는 각 평가 마일스톤별 목표로 한 TRL등급을 달성하여야 한다. TRL등급을 달성한다는 의미는 해당 단계에서의 연구자가 역할을 잘 수행하고 있다는 것을 말한다. 연구자는 각 CTE별 TRL 등급을 달성하도록 최선을 다해야 하며, 각 마일스톤의 시기에 TRL 달성여부 보고하고 연구환경, 진행방향과 함께 각 TRL의 정의(definition)을 충족하였는지 작성 완료된 TRL Checklist를 함께 제출하여야 한다.

(다) 평가위원회(TRA TEAM)

중간관리단계에서 평가위원회는 기존의 중간평가를 위한 평가위원회와 같은 조직이다. 본 위원회는 연구 진행 단계의 마일스톤마다 CTE의 TRL 달성여부를

수시로 모니터링 하여 진도와 성과관리를 실시하여야 한다. 이를 위해서는 발주자로부터 보고 요청이 왔을 때에 해당 연구과제의 담당자에게 각 CTE 별 목표 TRL 달성여부에 대한 자료를 요청하여야 한다. 사전관리 단계에서 작성한 RFP에 기재된 목표 TRL과의 비교를 실시하며 이를 기초 평가라 한다. 연구인력 및 기타 사항에 대한 연구 환경 변화 및 문제점 발생 시 발주자에게 수시로 보고하여야 한다.

2. 사후관리단계에서의 TRL 기반의 성과관리 전략

사후관리단계에서는 해당 연구결과의 성공/실패 여부를 판단하고 기술실용화 여부를 결정한다. TRL 기반의 성과관리를 통해 이미 정의된 TRL의 단계에 따라 해당 판단 프로세스의 간결화가 가능하며, 기 판단된 TRL 등급에 따라 발주자는 기술실용화 여부를 명확하게 판단하는 것이 가능하다.

(가) 전문기관

연구 종료 후 사후관리단계에서 발주자는 해당 연구결과물이 기획단계에서 설정한 목표와 일치하는지 여부를 확인하여, 해당 결과물의 기술이전 및 실용화 여부를 판단하여야 한다. 이를 위해서는 도출된 결과물을 시연 및 사용 후 수정 및 필요 추가사항을 연구자에게 피드백 하도록 한다.

(나) 연구기관

연구자는 연구 종료 후 최종 성과를 보고 한다. 이를 위해서는 TRL 체크리스트(Checklist)에 명시된 각 정의(definition)들의 충족/미충족 여부를 기재하여 각 정의(definition) 별로 관련 근거를 제시하여 각 CTE들의 TRL 등급 달성여부를 객관적으로 입증하여 보고하도록 한다.

(다) 평가위원회(TRA TEAM)

평가위원회는 연구 종료 후 최종평가를 실시하여야 하며, 이를 통해 해당 연구과제의 성공/실패 여부를 판단하여 발주자에게 보고하도록 한다. 이를 위해서는 연구자에게 최종평가 보고를 요청하여야 하며, 이 시기에는 앞서 언급한 TRL definition별 충족/미충족 여부가 기재된 Checklist를 첨부하고 사전에 정해진 성과측정 지표에 따라 성과평가를 실시한다.

표 4-3. 연구주체 간 성과관리 역할 및 적용 방안

		전문기관	연구기관	평가위원회(TRA TEAM)
사전관리 (기획→연구 시작전)	역할	정확한 Needs 및 연구 목표 제시	TRL 결정요소에 따른 예상결과물 제시	목표단계의 명확화
	적용방안	<ul style="list-style-type: none"> • RFP(Request for Proposal)전달을 통한 연구 목표 및 필요성 명시 • 해당 연구 분야 관련 study 및 예시 제시를 통한 목표 구체화 • 기술이전(소유권 여부) 명확화 	<ul style="list-style-type: none"> • WBS(Work Breakdown Structure) 작성을 통한 요소기술 분류 • 핵심기술요소 CTE Checklist를 이용한 후보 CTE 선정 • 핵심기술요소 (CTE) 제시 • CTE 필요성 및 기대효과 기술 • 연구환경 및 역량 명시 • 연구 진행 필요 사항 명시 (장비, 금액 등) 	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심기술 목표단계(TRL 등급)의 명확화 • TRL 달성 기간에 따른 마일스톤 명확화 • 연구 진행 마일스톤별 핵심기술 성과 등급 명확화
중간관리 (연구 진행중)	역할	각 기술이행단계별 마일스톤의 핵심기술요소 달성도 확인	마일스톤별 목표 기술이행단계 달성	연구 진행 단계 마일스톤별 CTE의 TRL 목표 달성여부 확인
	적용방안	<ul style="list-style-type: none"> • CTE별 TRL 달성도 여부 확인 • 목표치 대비 달성여부 확인 보고 요청 • 목표사항 명확화(연구진행방향 등) 	<ul style="list-style-type: none"> • CTE별 TRL 목표 단계 달성 • 마일스톤마다 연구진행 상황 및 TRL 단계의 특성별(연구환경, 진행단계, 단계별 정의에 따른 달성여부)달성여부 보고 • TRL 측정 단계별 definition 충족 미충족 여부 보고 	<ul style="list-style-type: none"> • 연구 진행 단계별 TRL 단계 달성여부 보고 요청 • RFP와 비교한 목표 TRL 단계 달성여부 확인(기초평가) • 연구환경 변화 및 기타 문제점 확인 및 사용자 보고
사후관리 (연구 종료후)	역할	연구성과물 시연 및 기술 사업화 여부 판단	최종 평가 보고	TRL 측정 및 연구과제 성공/실패여부 판단
	적용방안	<ul style="list-style-type: none"> • 기획단계 제시 연구결과물과의 비교 • 연구성과물에 대한 사용 • 수정사항 및 결과에 따른 feedback 	<ul style="list-style-type: none"> • CTE의 TRL 단계별 definition에 따른 달성여부 보고 • TRL 단계별, definition별 관련근거 제시 	<ul style="list-style-type: none"> • TRL 측정(상세평가) - TRL checklist 활용하여 TRL 단계별 definition에 해당하는 충족, 미충족 여부 및 관련근거 요청 • TRL 단계 확정 - 성공/실패여부 명확화

3. Gateway Review의 활용

TRA체계를 통해 성과가 평가되는 R&D 과제는 Gateway Review를 통해 단계별로 그 성과를 확인한다. Gateway Review는 건설교통 R&D의 전 생애주기에 걸쳐 각 단계의 결정적인 시기에 프로젝트를 검토하여 해당 연구과제가 다음 단계로 성공적으로 진행될 수 있는지를 검증하는 도구이다. 이는 성과관리 전문기관에 의해 해당 연구과제의 최종목표 TRL을 달성하기 위해 참여자들의 직무를 수행하는데 있어 과제의 현황과 진행에 관련된 사항을 이해하고 연구가 다음 단계로 진행할 수 있다는 확신을 고취하고자 하는 목적으로 활용된다.

건설교통 R&D연구를 진행하는데 필요한 Gateway Review는 R&D 진행 단계의 결정적인 시점에서 주요 사안을 검토하게 되는데, 이러한 결정적인 시점을 Gateway라 한다. 연구 진행 단계 중 기획과 운영단계 간, 운영과 사후단계간의 주요 결정점에서 수행된다.(그림 4-10. 참조)

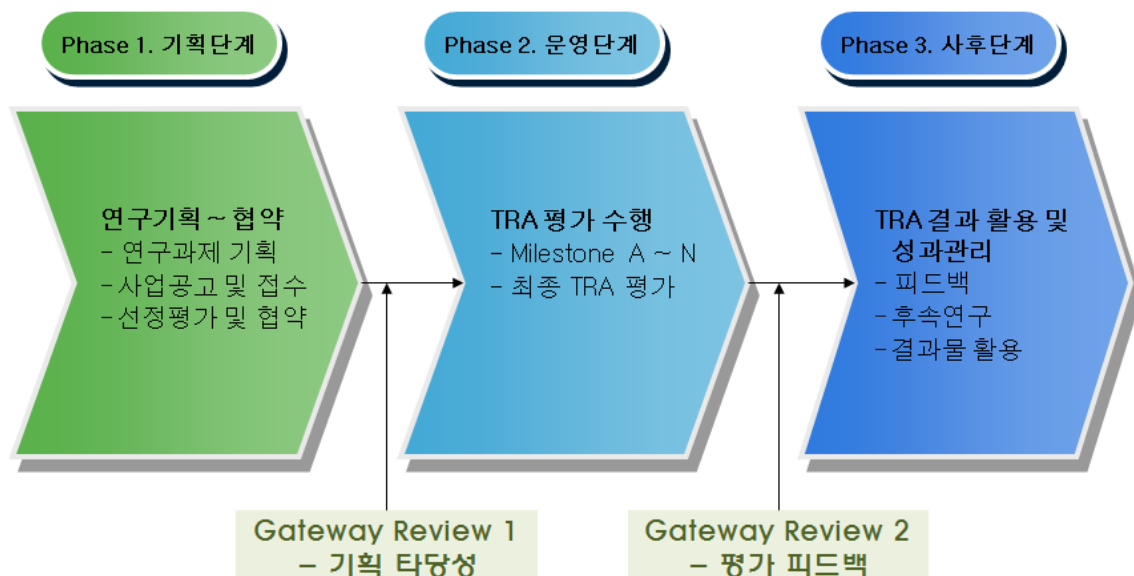


그림 4-10. 건설교통 R&D 성과관리를 위한 기술유형분류 프로세스

Gateway의 작성을 위해서는 각 연구진행단계에 따른 전문기관의 주요 업무와 각 업무 카테고리에 따른 업무별 상세 내용을 정의하여 각 단계별 검증사항을 정립하는 과정을 거친다.

해당 연구진행 단계는 시점에 따라 기획, 운영, 사후단계로 성과관리시점이 구분된다. 기획단계에서는 계획과제의 수익성 및 파급효과 등을 고려하여 제한된 자원으로 수행할 수 있는 최적의 과제를 선정하는 것을 목적으로 하여, 이 때

활용되는 평가척도는 모두 목표 TRL을 기준으로 산출된다. 또한 해당 과제가 선정되기 위하여 목표값이 지나치게 낙천적으로 설정되는 경우를 방지하기 위하여 사후단계에서의 목표대비 실적에 대한 점검을 실시하여 차기 목표수립에 반영되는 피드백 구조가 요구된다.

기획단계의 주요 업무는 크게 기획업무와 관리업무로 구분되며, 이 두 가지를 통해 궁극적으로는 연구과제의 기획, 사업공고 및 접수, 선정평가 및 협약까지의 과정을 거친다. 기획업무는 사전조사, 후보과제 도출, 과제 선정으로 나뉘어진다. 국내외 기술의 수요도를 조사하고 향후 연구필요 방향을 예측하여 부처별, 분야별 수요조사를 실시하며 이는 국내외 기술수준 및 외부환경 현황 분석을 통해 연구개발 전략수립의 기초자료로 활용토록 한다. 또한, 기획 업무에서는 앞서 조사한 조사 내용을 바탕으로 국가적 수요과제와 부처별 수요에 따른 대과제와 세부과제의 Breakdown Structure를 도출하고, 소요재원의 산출을 통해 예산을 신청 및 분배하고 집행된 예산에 대한 개별적, 종합적 심사를 실시한다.

기획단계에서의 주요 업무는 RFP 작성을 통해 과제를 선정하는 것이다. 해당 단계에서는 연구사업의 과제공고 및 신청 접수를 실시하며, 연구를 수행할 때 관리 주체, 범위 등을 명확히 공지하도록 한다. 과제의 심의 및 선정 등과 같은 과제관리 업무 또한 진행한다. 기획단계에서는 협약 및 진행관리와 같은 관리업무를 수행하며 이는 과제 선정결과 및 통보, 연구비 예산 지급 그리고 가장 마지막 단계인 협약을 관리하도록 한다.

운영단계는 목표대비 진행에 대한 중간점검활동으로, 과제의 마일스톤별로 중간평가를 실시하여 다음단계로의 진행을 결정하거나, 과제의 목표를 재조정하거나, 시장의 변화 등으로 인한 과제 중단을 결정하게 된다. 따라서 해당단계에서는 주로 평가업무를 수행하게 되며, 이는 연구 진행 중간과 최종 결과물의 평가로 구분된다.

마일스톤별 각 CTE의 TRL 달성여부 평가는 중간평가라 하여 해당 평가의 피드백 내용에 따라 연구방향 및 연구원, 예산 등과 같은 연구 환경을 조율하도록 한다. 중간평가를 통해 TRL 판정이 YELLOW 혹은 RED로 판명되었을 경우, 보완계획의 보고를 통해 연구개발 계획 변경을 요구하여야 하며, 이를 통하여 요구되는 목표를 관리하도록 한다. TRL 판정이 GREEN이 아닌 경우는 연구개발계획서상에 요구되는 TRL 수준에 비해 달성된 TRL의 수준이 미달되었다는 의미이므로 이와 같은 성과의 미달(Performance Gap)에 대해서는 확정된 연구개발계획에 의거하여 연구개발을 진행하는 도중 연구환경 변화 및 기술개발방향 변화 등의 요인으로 인해 연구개발계획의 변경이 필요한 부분을 분석하도록 한다.(그림 4-11. 참조)

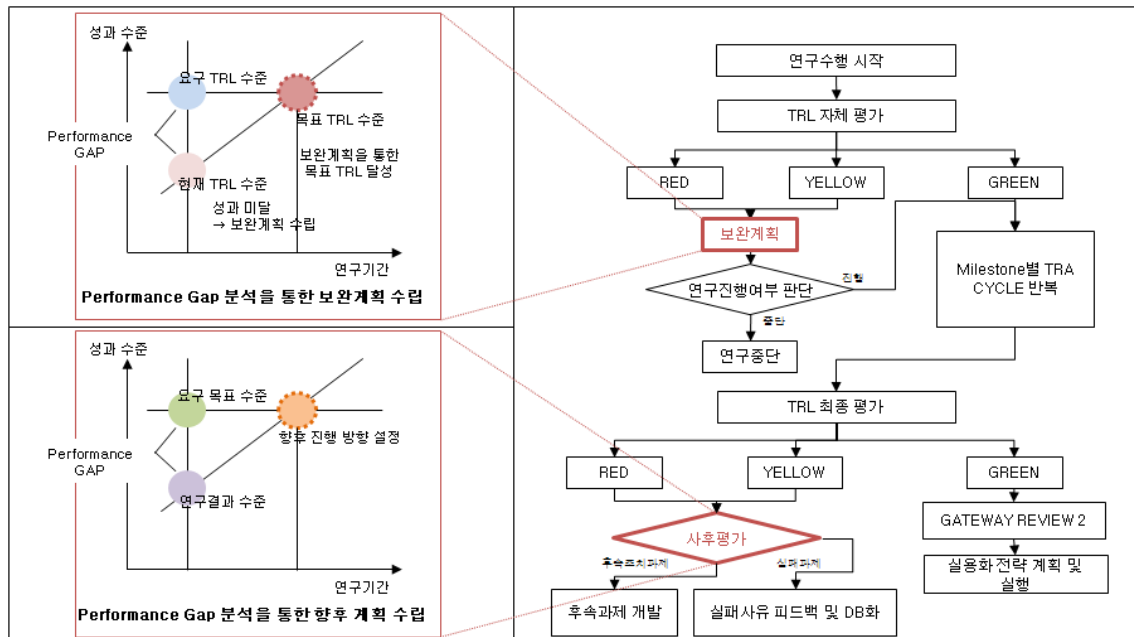


그림 4-11. PGA(Performance Gap Analysis)를 통한 성과보완

과제를 수행하는 과정에서 발생하는 보완계획과 사후평가의 결과는 PGA(Performance Gap Analysis)를 통해 목표를 설정한다. 현재 TRL수준을 평가하고 요구되는 TRL수준을 결정하여 연구개발 목표와 관련된 규격, 기간, 연구개발 성격(유형), 인력, 예산, 일정 등을 고려하여 <표 4-4>처럼 보완계획을 수립하여 필요한 부분을 수정 및 보완한다. 또한 연구 종료 시 해당 연구과제의 성공여부 및 사업화 방안 설정 등을 위한 최종평가를 실시하게 되며, 이 시기에는 앞서 제3장에서 언급한 TRL 상세평가 체크리스트를 활용한다.

표 4-4. PGA에 따른 보완계획

구 분	상세내용
1. 연구개발 개요	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발 개요 마일스톤별 CTE의 TRL 단계 요약
2. 목표 및 성과	<ul style="list-style-type: none"> 목표 대비 실적 TRL
3. 문제점 및 향후 계획	<ul style="list-style-type: none"> 위험요인 관리(Risk Management)를 실시 <ul style="list-style-type: none"> 내/외부 환경 변화 동향 연구 진행상 문제점 및 대책 차기 단계 추진 계획
4. 연구개발계획 변경내역	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발계획서 대비 변경된 내용
5. 변경 사유	<ul style="list-style-type: none"> 변경이 발생한 사유를 기록
6. 건의 사항	<ul style="list-style-type: none"> 연구 자원 및 수행상의 애로점을 명기

사후 단계는 완료된 과제에 대해 최초 또는 수정 목표 대비 실적을 점검하여 차기 목표수립 가이드라인을 제시하는 활동을 한다. 연구 성과 활용 관리를 실시하는 것이 사후 단계에서의 주요 업무로 특허, 기술료 징수, 계약 실시, 사용 등과 같은 성과물 활용을 계획 및 관리하며 이는 성과운영확산센터를 통해 수행하게 된다.

더불어 연구진행 쏠단계에 걸쳐 연구중간, 최종 결과물 및 예산 집행 사항 등에 대한 전산처리 시스템 구축을 통해 데이터베이스를 구축하고, 중소기업 및 산학연 지원 사업 등을 수행한다.

표 4-5. 각 연구진행단계별 성과관리 역할 및 업무 Flow Chart

구분		주요 업무	상세 내용
기획 단계	기획 업무	사전조사	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 기술수요 및 예측조사 - 부처별 수요조사 • 국내외 기술수준 파악 및 외부환경 분석 - 전략 수립
		후보과제 도출	<ul style="list-style-type: none"> • 대과제/세부과제 도출 - 국가적 수요과제와 부처별 수요 • 소요자원 산출 - 과학기술 자원의 확보, 활용 자원, 예산 신청 • 예산의 심사 - 개별적 심사와 종합적 심사, 우선순위 결정
		과제선정	<ul style="list-style-type: none"> • RFP 작성 • 사업(과제공모) 공고 및 신청 접수 - 추진 시 관리 주체, 범위 공지 • 과제 심의 및 선정 - 과제 관리 등
	관리 업무	협약 및 진행관리	<ul style="list-style-type: none"> • 선정결과 접수 및 통보 • 협약 및 진행관리 • 연구비(예산) 지급
운영 단계	평가 업무	결과평가	<ul style="list-style-type: none"> • 기초평가(계속 수행 여부 결정, 연구방향 및 연구환경 조정 등) • 최종평가(과제 성공여부 판정, 사업화 방안 등)
사후 단계	관리 업무	사후관리	<ul style="list-style-type: none"> • 연구성과 활용관리(특허 등) • 성과운영확산센터 운영 • 기술료 계약실시, 징수, 사용 관리
쏠단계	지원 업무	지원사업	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터베이스 및 전산처리 시스템 구축 • 중소기업 기술지원 사업 • 산학연 협동지원 사업

건설교통 R&D의 성과관리 프로세스는 과제 기획부터 CTE 확정까지의 프로세스 후 Gateway Review 1을 충족했을 때에 과제 협약이 체결되어 연구가 수행되는 운영단계로 넘어가게 된다. 이를 충족하지 못했을 경우 이후 TRA Cycle을 거쳐 최종 TRL 평가에서 Green으로 판정된 후 Gateway Review 2를 충족한 뒤에 결과물활용의 사후단계로 넘어가는 프로세스로 진행이 된다.(그림 4-12. 참조)

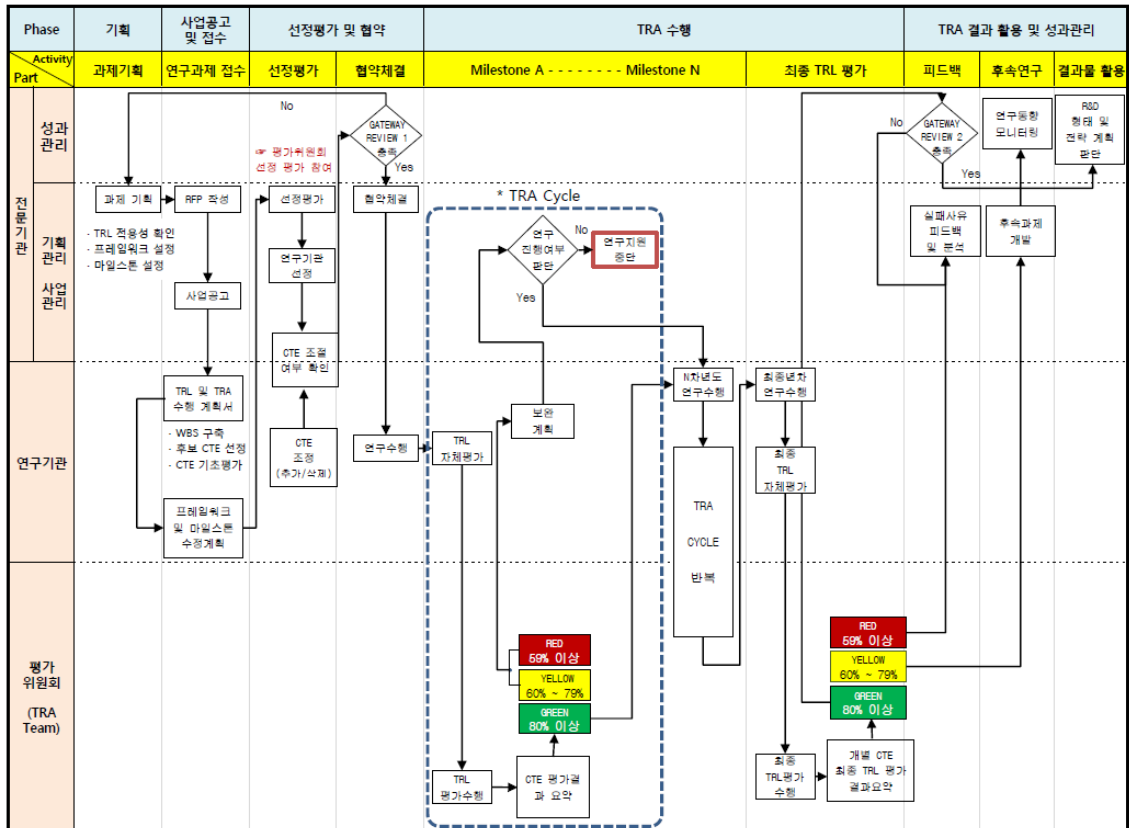


그림 4-12. 건설교통 R&D 성과관리 프로세스

Gateway Review 1은 기획단계에서 운영단계로 넘어가는 사이에 연구협약 직전 실시된다. 본 리뷰는 연구의 목적 및 내용의 타당성을 주안점으로 작성되었으며, 해당 7가지 항목이 모두 충족되었을 때에만 연구 협약으로의 진행이 가능하다. 연구 목적의 명확성, 추진내용의 타당성, 자원조달의 적절성, 사업추진지원방식의 적절성, 연구 수행 주체 간 역할 및 책임의 적절성 등과 같은 연구추진체계의 합리성을 바탕으로 하고 있다. 또한, 연구 수행 일정(마일스톤)과 평가시기에 따른 자원 집행의 적절성과 성과 달성을 위한 전략 및 계획의 적절성을 재검토함으로써 연구수행과 성과관리 프로세스에 확신을 고취시키고 각 단계별 진행에 대한 증거자료로 활용될 수 있다.

표 4-6. Gateway Review 1

GATEWAY REVIEW 1			
Checklist	충족	미충족	N/A
1. 국내외 기술수준 파악 및 사업타당성 조사가 이루어졌다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 연구개발계획서에 연구개발 예정의 CTE가 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 연구개발계획서에는 총 연구예산, 연구기간, 연구범위가 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 연구개발계획서에는 각 마일스톤의 시기가 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 연구개발계획서에는 각 마일스톤별 각 CTE의 요구되는 TRL 수준이 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 연구개발계획서에는 해당과제의 개별 CTE 최종 요구 TRL 수준이 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. 연구개발계획서에는 각 마일스톤별 요구되는 예산이 명확히 명시되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gateway Review 2는 성과달성도의 만족여부를 주안점으로 작성되었으며, 이는 R&D 형태 및 연구결과물 활용전략 계획을 수립하는 단계인 사후단계로의 진행 직전에 수행된다. 본 리뷰는 연구의 결과 측, 성과목표 달성여부를 판단하는 것으로 네 번째 항목에서 확인가능하다시피 연구개발계획서에 명시된 최종요구 TRL을 만족하여 GREEN(TRL 평가 80% 이상)을 만족하였을 때에만 활용이 가능하다.

표 4-7. Gateway Review 2

GATEWAY REVIEW 2			
Checklist	충족	미충족	N/A
1. 해당연구과제는 연구개발계획서에 명시된 마일스톤별 중간평가를 실시하였다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 해당 연구과제는 각 마일스톤별 개별 CTE의 TRL 수준을 평가중 RED와 YELLOW에 대해 보완계획을 작성하였다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 해당연구과제는 중간평가 중 보완계획이 작성된 CTE에 대해 연구진행 확정으로 판단되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 해당연구과제는 연구개발계획서에 명시된 최종 요구 TRL을 만족하였다. (GREEN 여부)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 해당연구과제의 최종요구 TRL은 건설교통 R&D 유형별 최소 요구 TRL과 같거나 상회하는 단계이다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. TRL 기반의 건설교통 R&D 성과지표

건설교통 R&D의 성과측정은 연구특성과 연구수행 단위에 따라 구조화된 성과지표가 있다. 연구성과측정은 사업별/과제별 성과지표 및 측정방법과 목표설정을 통해 성과관리 계획을 수립하고 연구성과 특성에 의해 분류된 성과지표를 연구 성격 및 수행규모에 따라 구분하여 측정한다. 성과조사를 통해 도출한 결과를 통해 연구수행성과를 검증 및 분석하고 해당 결과를 당해연도 성과목록으로 작성하고 활용한다.⁴¹⁾ 건설교통 R&D의 기존의 성과지표에는 건설교통 연구개발사업 성과를 통합 및 관리하기 위한 공통적 지표인 공통성과지표와 공통지표 외에 과제특성에 따라 추가되는 성과지표인 고유성과지표, 건설기술혁신사업 등 건설교통분야 연구개발사업의 연차별 연구성과관리 및 목표달성도 등 진도관리를 위해 설정하는 지표인 사업성과지표와 위탁연구과제를 제외한 과제단위 목표 연구성과를 연차별로 설정하는 지표인 과제성과지표가 있다.(한국건설교통기술평가원, 2009)(그림 4-13. 참조)



그림 4-13. 건설교통 R&D의 성과지표 구성체계

TRL 체계를 기반으로 한 건설교통 R&D의 성과관리를 위해서는 기존의 건설교통 R&D의 특허, 실용신안 등과 같은 기술적 효과, 학술지 게재 등과 같은 학술적 효과, 설계기준, 지침, 법 개정 등과 같은 공공적 효과 등을 측정하는 공통 성과지표 체계에 새로운 지표가 추가되어야 한다. 새로 추가되어야 하는 성과 지표는 성과 분류에 따라 기술성숙도(TRL)의 충족여부를 측정하는 지표로서 연구개발계획서에 작성된 내용을 기초로 CTE의 TRL이 목표치를 만족하는지 여부와 최종 평가에 따라 판명된 TRL의 수준에 따라 기술이전 및 사업화의 전략이 실행되어 연구 개발적 효과를 창출하였는지를 측정하는 지표이다.

41) 한국건설교통기술평가원, 건설교통기술 연구개발사업 사업단과제 관리지침개정(안), 2009

성과분류	성과지표	성과분류	성과지표
기술적 효과	특허출원 / 등록	국제화 협력성과	국제공동연구
	실용신안 출원 / 등록		국제수요조사
	디자인 출원 / 등록		국제위탁연구
	신기술 지정		국제인력교류(국내연구자 해외파견)
	기타 성과(상표, 서비스 등)		국제인력교류(외국연구자 국내유치)
학술적 효과	국내외 학술지 게재		국제정보교환
	국내외 학술회의 발표	기술실시계약 및 사업화	국제협약(MOU) 체결
공공적 효과	설계기준, 시방서, 지침에 대한 제안		국제회의, 학회, 워크숍, 심포지엄 등 신설
	설계기준, 시방서, 지침에 대한 반영		기술 무역
	정책 제안		기술실시 계약
	정책 채택		사업화 / 제품화
	법 제정 및 개선	기술성숙도(Technology Readiness Level) 충족	핵심기술의 기술성숙도 요구치 충족
연구개발 관련 홍보	산학연간 기술지원		기술성숙도수준에 따른 실용화 전략 실행
	연구개발 관련 홍보		
현장시험	시제품 출시		
	현장시험		
연구성과 현장적용에 의한 비용 절감효과	현장적용에 의한 비용절감효과		
	현장적용에 의한 비용절감효과		
인력활용/양성 효과	국내 장단기 연구지원 성과		
	인력양성		

성과지표 추가

그림 4-14. TRL 기반 성과관리에 따른 성과지표의 변화

5. TRL 적용에 따른 성과관리 전략의 기대효과

(가) 명확한 단계별 목표관리 가능

건설교통 R&D의 기본 구조는 기획, 운영, 사후 단계로 단계적, 기능적으로 분명하게 구분되어 있다. 그런데 그동안의 성과관리는 각 단계에서 수행해야 할 업무를 진행하면서 유기적으로 연계되기 보다는 사후단계에서 발생하는 성과측정, 평가에 목적을 두고 있었다. 그러다 보니 연구결과가 기획 의도와 비교하여 부족할 경우에 성과창출을 위한 구체적인 방안이 마련되지 않고 할 수 있는 범위 내에서의 소극적인 변경을 진행하였다. 이는 성과관리에 있어 각 단계마다의 구분이 명확하지 않고 각 단계마다 평가할 방법만을 고려할 뿐 관리해야 할 범위나 대상이 명확하지 않았기 때문이다.

TRL에 의한 성과관리는 기본적으로 대상 건설교통 R&D사업의 성과창출을 위한 각 단계의 구분이 명확하다. 그리고 해당 기술이 실용화 될 수 있도록 하기 위한 각 단계의 정의가 분명하다. 따라서 단순히 평가를 통한 결과 중심의 성과관리가 아니라 해당 목표까지의 달성여부를 판단하는 목표 중심의 성과관리가 가능하게 된다.

(나) 지표 중심의 평가에서 기술 중심의 평가로 전환

최근 대부분의 연구과제가 대형화 되면서 하나의 기술적 특징을 가진 건설교통

R&D사업은 거의 없다. 2003년 한국과학기술기획평가원에서 연구한 결과에 따르면 건설교통 R&D유형을 제품개발, 공법개발, 시방개발, 표준개발, 그리고 정책개발 구분하고 있지만 이제 대부분의 대형과제에서는 하나의 유형으로 프로젝트를 정의할 수 없다. 따라서 단순한 지표보다는 대상 프로젝트의 특성을 반영하고 있는 기술을 중심으로 평가를 해야 한다.

TRL에 의한 성과관리의 기본은 CTE에 의한 평가이다. CTE 해당 기술을 개발하기 위한 핵심기술이고 CTE가 개발되지 못했을 경우에는 해당 건설교통 R&D프로젝트의 성과도 발현되지 못하고 성공하지도 못할 것이다. 이를 고려하면 CTE에 의한 성과관리는 현재 문제가 되고 있는 일반 지표에 의한 성과관리를 기술 중심으로 전환하는 중요한 역할을 한다고 할 수 있다.

(다) 실용화 과제에 가장 적합한 성과관리 방식 도입

건설교통 R&D 성과관리에 있어 가장 핵심이 되는 것은 연구 성과의 실용화이다. 연구 성과를 실용화하기 위해서는 다른 연구개발과제도 마찬가지이지만 기획단계에서부터 명확한 성과목표를 가지고 있어야 한다. 기술 자체의 상품성과 그 수요층, 그리고 새로운 비즈니스 모델의 개발까지 단순한 하나의 뛰어난 기술개발이 아닌 사용을 목적으로 한 사용성 중심의 기술을 개발해야 하는 것이다.

TRL에 의한 성과관리가 가능해진다면 우선 1단계 연구기획단계에서 1차 게이트웨이 리뷰를 통해 연구기획의 타당성을 검증하기 때문에 사업 초기부터 실용화를 위한 성과관리가 가능해 진다. 단순히 기간에 따른 평가가 아니라 분명한 목표와 그 목표달성 여부를 판단하는 리뷰단계는 본 연구에서 제시한 TRL기반의 성과관리 전략에 있어 핵심이라고 할 수 있다.

제4절 핵심 연구인력의 효율적 활용방안

1. 핵심 연구개발인력 효율적 활용의 필요성

미국의 연구개발 프로그램의 특징에서도 나타났지만 연구개발 성과를 좌우하는 중요한 요소 중의 하나는 인력이다. 건설교통 R&D사업의 연구 인력관리는 건설교통 R&D에 참여하는 모든 연구 인력의 적극적인 참여도 중요하지만 실질적이고 지속적인 성과를 통해 연구 성과를 한 단계 상승시키기 위해서는 핵심이 되는 연구 인력의 연구 참여가 특히 중요하다.

한국건설교통기술평가원은 연구 인력의 중요성을 인식하여 지난 2011년에 “연구자 중심의 R&D관리를 위한 사례조사 및 분석”을 실시하였다. 이 연구에서는 건설교통 R&D사업의 효율적인 운영을 위해 연구 사업에 참여하는 연구자들의 만족도를 높이기 위한 방안을 건설교통 R&D사업의 생애주기에 따라 관리해야할 요소를 통해 제시하였다.

그러나 연구결과는 연구 책임자를 중심으로 한 연구에 참여하고 있는 연구자들의 만족도를 확인 할 수 있는 좋은 기회이긴 했지만 핵심 연구 인력에 대한 효율적인 관리 방안을 제시하지는 못했다. 또한 TRL을 건설교통 R&D사업에 적용하기 위해서는 초기 단계의 문헌조사 및 실험실 테스트 등 연구 인력의 역량에 따라 결과물이 달라지는 경우가 많이 발생하기 때문에 본 절에서는 활용연구 성과를 창출하고 이를 실용화하기 위해서는 핵심 연구 인력의 효율적인 활용이 중요하다는 점을 고려하여 그 활용방안을 제시하고자 한다.

2. 핵심 연구인력 육성 요소 및 문제점

핵심 건설교통 연구 인력을 효율적으로 활용하기 위해서는 우선 핵심 연구 인력을 육성하고 육성된 연구 인력이 목표로 하는 성과를 창출할 수 있는 환경을 구축하는 것이 중요하다. 그리고 이를 지속적으로 활용할 수 있도록 지원하는 것이 필요하다.

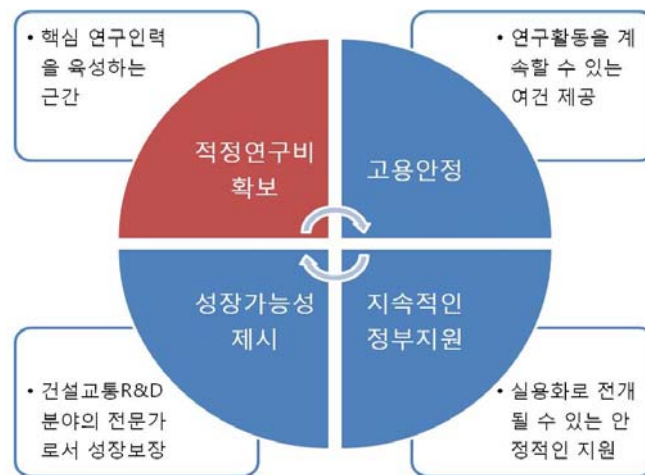


그림 4-15. 건설교통 R&D 핵심 연구인력 육성 요소

핵심 연구개발인력을 육성을 통해 건설교통 R&D가 추구하는 목표를 달성하기 위해서는 연구성과를 창출할 수 있는 기회를 제공하는 적정 연구비 확보, 연구 활동에 전념할 수 있는 고용의 안정, 연구활동을 통한 성장 가능성 제시, 그리고 지속적인 성과 창출을 위한 정부의 지속적인 지원이 필요하다.

(1) 연구 성과창출 기회를 제공하는 적정 연구비 확보

(가) 의미

적정연구비는 연구인력이 자신의 연구성과를 창출할 수 있는 규모의 연구비를 말한다. 많은 연구개발비가 반드시 좋은 성과를 내는 것은 아니지만 연구 내용이 아니라 한정된 재원에 의해 결정되는 연구범위는 결과보다는 규모를 따르게 된다. 실용화를 성과목표로 하는 건설교통 R&D에서 핵심 연구인력의 적정 연구비는 연구를 통해 성과를 창출할 수 있는 기회 제공의 기반이 된다. 또한 적정연구비는 연구 활동에 전념할 수 있는 고용안정, 연구결과 활용을 통한 성장가능성 제시, 그리고 지속적인 성과창출을 위한 정부지원의 근간이 된다.

(나) 현재 운영상의 문제점

○ 기획단계에서의 적정연구비 산정 미흡

“국토해양기술연구개발사업 연구비 관리 및 정산매뉴얼(2011)”을 보면 연구개발비는 인건비, 직접비, 위탁연구개발비, 간접비로 구성된다. 그리고 이 매뉴얼에는 비목별 연구개발비 계상 및 사용에 대한 자세한 규정이 정리되어 있다.

일반적으로 건설교통 R&D사업에 참여하는 연구인력은 이런 기준을 통해 연구개발비 운용계획을 수립한다. 하지만 적정연구비를 설정하는 것은 그 이전 단계이다. 적정연구비 산정의 문제점은 기획단계에서 건설교통 R&D사업의 명확한 규모가 확정되지 않은 비용을 가지고 연구성과가 아닌 연구 예산에 따라 연구개발비를 계상하고 사용한다는 것이다.

건설교통 R&D 기획단계가 중요한 것은 연구내용을 결정하고 연구개발비를 산정하기 때문이다. 그런데 연구내용을 결정하는 과정은 관련 분야의 많은 전문가 참여하여 자신들의 전문분야에 대한 다양한 의견을 제시하는 과정에서 연구 품질을 높일 수 있는 좋은 방안들이 도출된다. 하지만 연구개발비를 산정하는 과정에서는 단순한 경험과 희망 값에 의해 산정되는 경우가 발생한다. 오히려 연구성과를 창출하기 위한 적정한 규모를 결정하기 보다는 정부 예산에 따른 끼워 맞추는 방법을 통해 예산을 산정한다. 기획단계에서 적정연구비를 산정하기 위한 방안은 연구개발비 계상 및 정산을 위한 매뉴얼만큼이나 상세하게 기술되어야 한다.

○ 연구개발비 사용계정의 다양성 부족

적정연구비는 규모만을 의미하는 것은 아니다. 연구성과를 창출하기 위해서는 연구에 직접적인 도움을 줄 수 있도록 연구비를 산정하는 것이 중요하다. 도움을 줄 수 있는 연구비라고 하는 것은 2가지 의미로 해석할 수 있다. 하나는 연구개발비 사용에 있어 유연성을 부여하는 것이고 다른 하나는 정산에 따른 행정업무를 줄여서 연구 활동에 참여하는 시간을 확보하기 해주는 것이다.

연구개발비 사용에 있어 유연성을 부여하자는 의견은 그동안 건설교통 R&D에 참여하는 많은 연구인력의 의견이다. 한국건설교통기술평가원에서 제시하는 연구비 관리 및 정산매뉴얼에는 연구개발비를 비목별로 사용용도, 계상기준, 증빙기준, 및 부당집행사례 및 사유까지 매우 상세하게 기술되어 있다. 그러나 상세한 기술은 실제 연구 활동에서 발생하는 소요예산을 모두 충족시켜주지 못한다. 왜냐하면 매뉴얼의 사용기준은 대부분 금지조항이 많기 때문이다. 연구 활동에서 발생하는 소요 예산을 모두 반영하지 못하기 때문에 사용하면 안 되는 조항을 중심으로 기술한 것이다. 그러다 보니 연구 활동에 따라 예산을 소모하기 보다는 정해진 비용에서 연구활동을 수행하는 결과가 발생한다. 건설교통 R&D예산은 수시로 변경될 수 있는 대상이 아니다. 따라서 연구 활동에 따라 예산규모를 다양하게 할 수는 없다. 하지만 연구책임자의 책임 하에 지정된 연구개발비 한도에서는 현재 규정보다 더 자유로운 예산 사용이 필요하다.

정산에 따른 행정업무의 과다는 핵심 연구인력의 효율적인 활용에 직접적인 영향을 주는 요소이다. 연구개발비 사용에 있어 규정이 많고 증빙기준이 다양하다 보니 연구 개발자가 연구에 투입할 시간을 많은 부분 행정업무에 할당한다. 여기서 말하는 행정업무는 정기적인 문서형태의 보고와 예산 증빙서류의 작성을 말한다. “연구자 중심의 R&D관리를 위한 사례조사 및 분석” 보고서를 보면 연구수행관리 부문의 평균만족도는 전체 7개 조사 부문에서 6번째로 나타났다. 연구수행관리 부문에는 연구활동을 위한 행정과 연구비 사용이 주된 내용으로 되어있다. 이렇게 만족도가 떨어지는 것은 핵심 연구인력이 연구성과를 위한 연구 집중에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 연구 중심인력과 행정업무를 분리하지 않으면 연구 성과를 창출하기 어려울 수 있다.

(2) 연구 활동에 전념할 수 있는 고용안정

(가) 의미

건설교통 R&D에 참여하는 연구인력은 2011년 연구책임자의 소속을 기준으로 하면 출연연구원(32%), 대학(32%), 공공기관(9%), 민간기업(27%)로 대학교에 소속되어 있는 인력이 전체의 1/3을 차지하고 있다. 하지만 기관의 특성 상 대학을 제외한 나머지 기관은 대학에 비해 적은 인력이 연구에 참여하고 있다. 민간기업의 경우, 선정 시 가산점을 고려한 연구책임자 활동을 반영하면 연구인력의 소요는 더욱 적을 수 있다. 그런데 대학의 연구인력은 대학교수와 대학원생이 대부분인데 지속적인 건설교통 R&D사업에 참여는 미지수이다. 대학원생은 대부분이 건설기업으로의 진출을 원하고 있기 때문에 건설교통 R&D의 전문적인 인력을 양성하는 것은 어렵다. 그 이유는 건설교통 R&D 활동을 하나의 직업으로 인식하고 있지 않기 때문이다. 대학교수도 연구개발에 있어 국통해양기술의 발전이라는 목표는 분명하지만 현실적으로는 석·박사과정을 운영하고 연구 인력을 확보하기 위한 수단으로 활용하고 있다. 전형적인 비정규직의 형태를 가지고 있기 때문에 핵심 연구인력을 양성하거나 지속적인 발전을 기대하기 어려운 이유이다.

(나) 현재 운영상의 문제점

○ 핵심적인 연구능력의 요소인 전문기술인력의 불 포함

R&D의 특성 상 연구 주제는 많은 부분이 당장보다는 기초 또는 기반연구를 중심으로 구성되어 있다. 그러나 2005년 건설교통 R&D예산이 100억 원을 넘기고 2006년 “건설교통 R&D 혁신로드맵”이 완성되면서 건설교통 R&D는 R&D사업특성을 바탕으로 실용화를 매우 중요한 사업목표로 하여 추진되어 왔다.

하지만 이런 건설교통 R&D의 실용화 추진에도 불구하고 여전히 전문기술인력의 참여가 매우 저조한 상태이다. 물론 전문가 자문비 및 활용비를 통해 참여를 확대할 수 있다. 실제로 연구 활동에 있어 부족한 부분은 이런 비용을 통해 해결하고 있다. 그러나 참여하는 전문가는 말 그대로 외부전문가이다. 연구결과가 실용화되기까지 지속적인 활용이 어렵다. 전문기술인력도 연구진에 포함되어있어야 한다. 출연연구원이나 민간기업의 경우는 현물 또는 기타의 방법으로 연구에 전문기술인력이 참여하고 있다. 그러나 대부분의 대학 연구진에는 포함되지 않는 경우가 많다. 바로 보상의 문제가 해결되지 않기 때문이다.

한국건설교통기술평가원은 외주인건비에 대해 엄격한 기준을 제시하고 있다. 연구비 관리 및 정산매뉴얼의 내용을 살펴보면 외주인건비의 대상자는 대학원생들 대상으로 되어 있는 것처럼 보인다. 과거 외부인건비의 비합리적인 집행에 따른 결과이지만 연구 활동에 전문기술인력이 참여하는데 오히려 제약이 되는 규정이라고 할 수 있다.

○ 연구자 개별 선정기준 부재

미국에는 전문기술자를 선정하기 위한 브룩스법(Brooks Act)이 있다. 건설기업을 선정하는데 있어 가격보다는 기술과 경험을 더욱 중요시하는 사회 분위기가 반영된 법이다. 건설교통 R&D사업 수행기관의 선정은 비용이 우선은 아니다. 기업분담금을 요구하지 않은 과제는 정부보조금을 100%반영하기 때문에 기본적으로 연구수행 기관을 선정하는데 연구개발비가 주요 선정요인이 되지 않는다.

건설교통 R&D선정 기준에는 연구책임자에 대한 기준이 많이 반영된다. 그리고 연구개발사업에 참여하는 주체들은 연구책임자와 함께하는 연구진의 네트워크를 구성하여 제시한다. 그러나 이런 정보는 선정발표에 있어 평가위원에게 연구조직의 전문성을 호소하는 하나의 방편일 뿐 평가 대상은 아니다. 건설교통 R&D사업은 연구책임자도 중요하지만 실제 연구를 수행하는 연구진의 구성도 매우 중요하다. 그리고 연구진의 능력을 평가하는 가장 좋은 방법은 가지고 있는 인력이 누구인가가 아니고 보유하고 있는 기술과 경험을 가지고 있는지 그리고 그것을 바탕으로 어떤 결과를 나타낼 수 있는지 제시할 수 있어야 한다. 그리고 지속적으로 참여할 수 있는 여건을 마련해 주어야 한다.

○ 연구 인력의 대부분이 비정규직으로 인건비 지급의 문제 발생

대학에서 연구하는 연구진은 대부분 대학원생들이다. 대학원생들은 석사과정 2년 또는 박사과정 5년 정도를 건설교통 R&D사업에 참여한다. 그리고 학위과정이 마치면 대부분 유학을 가거나 건설관련 기업으로 취업을 한다. 지속성이 없기 때문에 비정규직이나 다름없다. 그래서 한국건설교통기술평가원에서 제시하는 인건비도 외부인건비로 책정되어 있다. 고용형태가 불안하다보니 연구보다는 자연히 다른 직업을 선호하게 되는 것이다.

민간기업의 경우는 더욱 문제가 있다. 타 산업에 비해 건설교통 R&D에 참여하는 기술자는 기업 내에서 핵심적인 역할을 하고 있지 못하다. 자신이 가지고 있는 연구능력과 기업이 가지고 있는 기술능력이 결합하여 국가 건설교통기술의 발전을 가져온다는 큰 의의에도 불구하고 그들의 고용형태는 계약직인 경우가 허다하다. 왜냐하면 현재 연구개발과 관련된 민간연구기관의 유형에서 인건비 확보를 통해 연구 인력에 대한 고용안정을 반영할 수 있는 경우는 “연구개발 서비스 전문기업”에 등록하는 것이다. 건설 사업을 주요 업태로 가지고 있는 기업의 부설연구소가 참여할 수 있는 분야가 아니고 따라서 연구 전문인력에 대한 고용안정은 확보할 수 있는 현실이다.

표 4-8. 민간연구기관 유형

구분	법인격 없는 연구기관		법인격 있는 연구기관(법인연구기관)					
연구 조직 형태	기업부설 연구소	연구개발 전담부서	단독연구기관			공동연구기관		
			영리법인		비영리 연구법인	산업기술 연구조합	전문생산 기술연구소	
			영리 연구법인	연구개발서비스 전문기업				
근거 법	기술개발 촉진법		국가과학기술경쟁력 강화를 위한 이공계지원 특별법		민법	산업기술 연구조합 육성법	산업기술 기반조성에 관한 법률	
영리 추구 여부	영리성				비 영리성			

* 출처: 한국산업기술진흥협회

(3) 연구결과 활용을 통한 성장 가능성 제시

(가) 의미

건설교통 R&D사업의 연구기간은 길어야 5년 이내인 경우가 대부분이다. 이렇게 단기 연구를 해야 하는 이유는 2가지 정도이다. 하나는 장기과제에 대한 성과관리에 대한 어려움이고 다른 하나는 성과창출에 대한 조급함이다. 이 두 가지 이유는 핵심 연구인력을 관리하는데 있어 직접적인 영향을 미친다.

장기과제에 대한 성과관리의 어려움은 평가원의 관리방식과 연구에 참여하는 주체의 인식에서 그 원인을 찾을 수 있다. 한국건설교통기술평가원은 수시로 인사이동이 발생한다. 인사이동으로 인해 관리업무가 소홀해 지는 것은 아니지만 단기과제에 비해 장기과제는 연구 관리의 흐름이 그만큼 중요하다. 기획, 예산, 평가, 성과, 실용화에 이르는 생애주기적인 관리를 하기 위해서는 지속적인 관리가 필요하지만 아직 체계적으로 운영되기는 어렵다.

성과창출에 대한 조급함은 건설교통 R&D의 특성을 고려하지 못한 것이다. 건설교통 R&D의 특성은 기술의 복합성과 성과의 장기 발현에 있다. 그런데 국가 예산을 사용하는 건설교통 R&D사업은 조기성과를 요구한다. 타산업의 연구 개발 사업에 참여하는 연구인력은 연구 결과를 자신의 사업으로 연계할 생각을 한다. 즉 자신의 성장을 위해서 국가에서 요구하는 내용보다 더 많은 것을 고민하고 연구한다. 하지만 건설교통 R&D사업은 공공성이라는 특징을 가지고 있고 조급한 성과를 요구하고 있어 장기적인 과정에서의 연구개발자의 성장에는 어떠한 영향도 주지 못하고 있다. 연구에 참여하는 연구 인력이 자신의 성장에 영향을 받지 못한다면 핵심 연구 인력을 확보하는 것은 불가능한 일이다.

(나) 현재 운영상의 문제점

○ 실질적인 성과로 활용되지 못하는 연구결과로 성장기대 미 충족

연구결과를 통해 수익이 발생하고 성과에 대한 만족도가 실질적으로 발현되면 핵심 연구인력에게는 직업으로서의 동기부여가 될 뿐만 아니라 건설교통 R&D가 성장하는 동력으로서 연구 개발 사업이 자리 잡을 수 있게 된다.

그런데 지금의 건설교통 R&D는 성과라는 목표는 분명히 가지고 있지만 그 연구결과를 기술적인 성과로 한정하고 직접적인 효과인 화폐가치화만을 고려하고 있다. 투입대비 효과로서의 기술이전료 획득에 많은 부분을 의존하고 있다. 물론

인력양성이라는 성과지표도 가지고 있다 하지만 인력양성지표는 단순히 해당분야의 학위습득 수준에 불과한 것이 현실이다.

○ 전문분야의 확대 및 분야별 대가 부재

건설교통 R&D도 전문분야가 있다. 한국건설교통기술평가원에서 등록하고 있는 전문가 분야는 평가를 위한 전문분야이다. 건설교통 R&D의 성과를 창출하기 위한 전문분야는 아니다. 핵심 연구인력을 육성하기 위해서는 전문분야별 스타시스템을 운영하는 것이 필요하다. 연구 인력은 항상 변화하고 건설교통 R&D는 지속적인 발전을 해야 한다. 그러면 연구를 직접 수행하는 연구진뿐만 아니라 관련분야의 전문가가 반드시 존재하여야 한다.

○ 단계적인 발전가능성을 고려하지 않은 실용화 검토

건설교통 R&D는 기능에 따라 기술의 성숙도가 다르다. 어떤 기술은 기초단계에 있지만 많은 기술에 영향을 끼칠 수 있고 또 어떤 기술은 사업화를 위한 시제품까지 개발될 수 있기 때문이다. 기술이행단계(TRL)에 따른 성과관리가 필요한 이유다.

그러나 현재 건설교통 R&D는 대부분이 기술적 특성을 고려하지 않고 사업화를 목표로 한다. 그렇기 때문에 건설교통 R&D연구사업이 발주될 때 마다 개발의 중복성을 검토할 뿐 개발된 기술을 활용한 연구가 진행되기 어렵다. 연구개발에 있어 같은 연구 내용을 동시에 수행하는 것도 중복이지만 이전에 수행했던 내용을 다시 반복하는 것도 중복이다. 단계별 성과관리가 없으면 시차에 따른 반복 과제 수행은 지속적으로 발생할 것이다.

(4) 지속적인 성과창출을 위한 정부지원

(가) 의미

건설교통 R&D사업에서의 정부지원이란 연구인력이 연구를 할 수 있는 환경을 조성하고 성과목표를 달성할 수 있도록 여건을 마련해 주는 것을 말한다. 건설교통 R&D사업의 정부지원은 단순한 예산편성을 통한 양적인 확대를 의미하는 것은 아니다. 연구성과를 창출하기 위해 관리하는 것도 중요하지만 그렇게 창출된 성과를 실용화하는 것도 건설교통 R&D사업에서 중요하다.

건설교통 R&D는 타 부처의 R&D사업과 달리 성과발현 형태가 개별기술보다는

복합적인 기술형태이다. 그리고 운영하는 수요주체도 공공이고 그 효과도 공공을 대상으로 한다. 그렇기 때문에 정부의 지속적인 지원은 필수적으로 필요하다.

(나) 현재 운영상의 문제점

○ 핵심 연구인력에 대한 교육훈련 사업 실시

건설교통 R&D에 참여하는 연구인력은 별도의 건설교통 R&D관련 교육을 받지 못한다. 지식경제부 소속인 한국산업기술진흥협회는 R&D사업의 성과창출을 위해 연구인력에 대한 전문교육을 실시하고 있다. 건설교통 R&D는 타 산업 분야의 R&D사업과는 적용대상, 기술의 복합성, 성과발현의 장기성 등 다른 차이점을 나타내고 있다. 하지만 이런 전문교육을 받고 건설교통 R&D를 수행하는 연구인력은 매우 부족하다. 교육기관인 대학의 경우도 건설교통 R&D사업의 연구 방법을 배우지 못한다. 그렇기 때문에 전문기술에 대한 발전은 계속 늘어나고 있지만 그런 기술을 어떻게 사용하고 실용화하여 비용적 성과를 창출할 지는 연구개발자의 고민 대상이 아니다.

○ 재정적인 지원뿐만 아니라 연구인력의 역량을 향상 기회 부족

재정적 지원은 당장의 연구 결과를 성공적으로 수행할 수 있지만 같은 분야의 전문가를 양성하거나 더욱 전문화된 연구 결과를 얻기 위한 연구인력의 역량을 향상할 수 있는 기회는 제공되지 못하고 있다.

건설교통 R&D사업이 교육 사업은 아니다. 하지만 핵심 연구인력을 육성하고 지속적인 성과를 창출하기 위해서는 연구를 수행하는 인력의 수준이 높아져야 한다. 건설교통 R&D의 실용화는 현장을 기반으로 달성할 수 있다. 현장에 연구결과를 적용하기 위해서는 단순한 실내 실험만으로는 분명히 한계가 있기 때문이다.

○ 연구자와 관리자가 생각하는 실용화의 갭(gap) 존재

연구개발에 참여하는 연구자는 건설교통 R&D사업의 성과는 실용화를 할 수 있는 이전단계까지라고 생각하기 때문에 과제를 발주하는 관리자의 생각과는 상이하다. 관리자의 경우는 실용화를 착수하여 대량생산을 할 수 있는 이전 단계까지를 연구개발 활동이라고 인정하고 있다. 연구자와 관리자가 생각하는 실용화의 인식의 차는 경우에 따라 정부의 지원을 필요로 한다. 하지만 실용화 착수의 역할을 어느 주체가 할 것인지를 결정하지 않는다면 정부지원도 가능하지 않다.

3. 효율적인 핵심 연구인력 관리방안 제안

(1) 제도적 개선사항

건설교통 R&D사업은 한국건설교통기술평가원의 “국토해양기술 연구개발사업 관리지침”에 의거하여 운영된다. 그렇기 때문에 제도적인 개선 없이는 근본적인 변화를 예상할 수 없다. 따라서 핵심 연구인력의 효율적인 관리를 위해 사전에 개선되어야 할 사항을 연구비 확보, 연구 전문인력 운영, 연구환경으로 구분하여 제도적 개선사항을 제시한다.

(가) 연구비관련 개선사항

○ 예산범위 내에서의 연구비 삭감 억제 방안 제도화

기획단계에 결정되는 예산산정 방식은 기획내용선정보다 그 결정이 단순하다. 연구에 참여하는 인력들도 사업기획에 있어 연구비에 대한 요구사항은 크게 나타나지 않는다. 건설교통 R&D의 규모가 결정되면 그에 따르기 때문이다. 하지만 건설교통 R&D사업이 대형화, 장기화 되면서 초기 예산보다는 연차별 예산에 대한 의견이 많다. 건설교통 R&D 정책에 따라 연구예산이 삭감되거나 조정되기 때문이다.

연구인력의 예산 삭감의 주요 방식은 연차평가 또는 중간평가에 따른다. R&D사업의 특성 상 연구비 삭감에 따른 연구 범위의 조정은 명확하지 않다. 연구 예산을 구성하는 항목을 보면 상황에 따라 조정이 가능하기 때문이다. 이는 건설교통 R&D의 연구성과물이 명확하지 않다는 점도 하나의 요소로 작용한다. 효율적인 예산배분은 효과적인 사업편제를 지원하고 우수한 핵심 연구인력을 연구로 참여시키는 중요한 역할을 한다. 평가를 통한 일방적인 예산 삭감이 아닌 연구 내용에 따른 연구비 조정이 필요한 이유이다.

예산범위 내에서의 연구비 삭감을 억제하기 위해서는 우선 대형과제 위주의 편중된 사업 분배 방식을 개선하여 대형과제와 일반과제의 비율을 유지하는 것이 중요하다. 그리고 평가에 의한 연구비 삭감이 아니라 전체 연구예산 조정에 따른 연구 범위 조정과 함께 연구비의 조정을 실시해야 한다. 이때 조정된 최종 연구성과물에 대한 한국건설교통기술평가원의 승인이 반드시 필요하다.

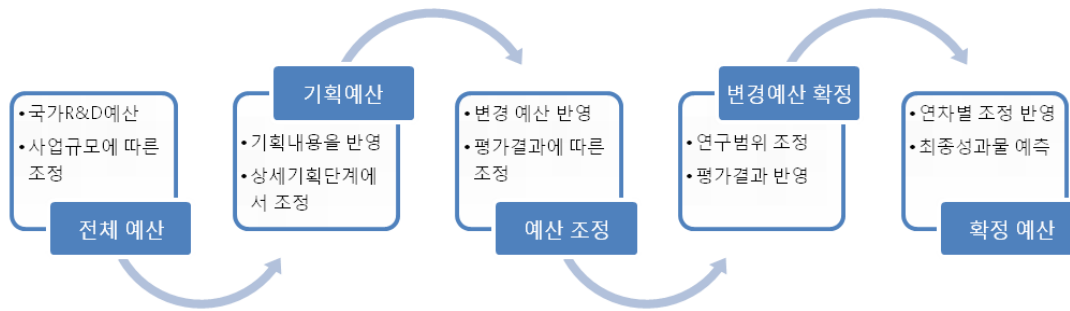


그림 4-16. 건설교통 R&D 예산 조정 단계

○ 실용화를 위한 지속적인 연구비 지원 방안 수립

문제점에서 제시한 것과 같이 연구자가 생각하는 건설교통 R&D 연구종료 단계와 관리자가 생각하는 연구종료 단계는 서로 상이하다. 그동안 건설교통 R&D사업의 연구결과가 실용화되지 못한 것에는 기술적인 한계도 있지만 운영제도 상의 문제도 있었다고 할 수 있다. 이번 TRL 연구를 통해 근본적인 실용화 단계를 구분한 평가는 가능해졌기 때문에 실용화를 위한 지속적이 연구비 지원 과제는 선정할 수 있다.

연구자와 관리자의 인식의 차이를 극복하고 실용화 목적의 건설교통 R&D 성과창출을 위한 정부의 지원 방법은 건설교통 R&D 예산의 일부를 연구자의 연구 개발 종료 시점에서 실용화만을 위한 사업자를 공고하고 선정하는 것이다. 국내 건설교통 R&D사업에 참여하는 대부분의 연구자는 대학교에 속해 있고 실용화를 목적으로 주관기관으로 참여하는 건설기업은 영세한 경우가 많다. 그렇게 때문에 실용화 가능성이 많은 결과물에 대해서는 새로운 실용화 사업자를 선정하고 기존의 기술개발에 참여한 연구자의 참여를 유도하는 것이 필요하다. 물론 연구 개발에 참여한 연구자가 실용화를 위한 모든 사업에 참여하는 것이 최상이지만 수익 사업에 경험이 없거나 관심이 없는 연구 개발자를 활용하기 보다는 실용화 목적이 분명한 신규 사업자를 활용하는 것이 국가차원에서 투자대비 효과가 더 좋을 것이다.

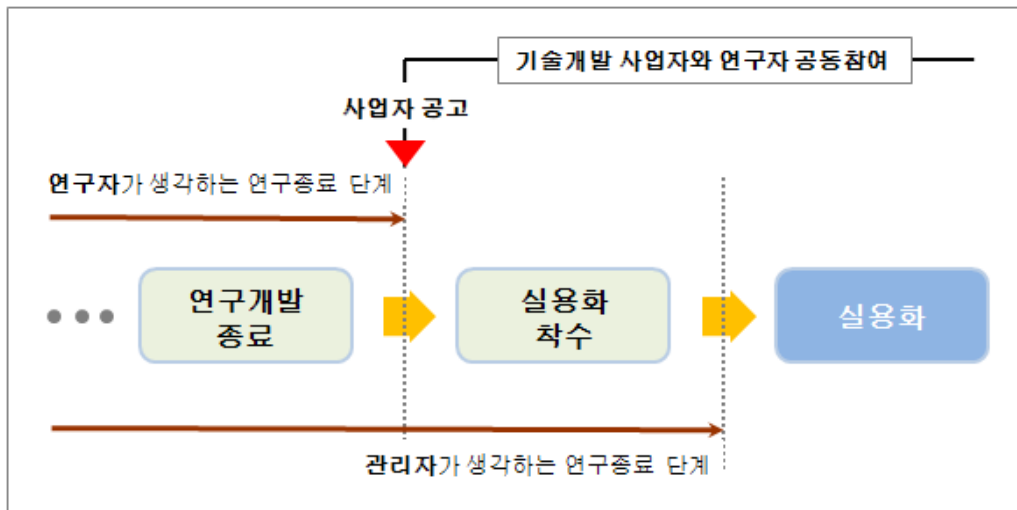


그림 4-17. 실용화에 대한 연구자와 관리자의 인식의 갭(GAP)

(나) 인력 운영 방안

○ 해당분야의 연구 전문인력의 생애 주기적 참여 유도

건설교통 R&D사업을 진행하다 보면 연구자는 연구도 하지만 평가도 하고 기획에도 참여한다. 그 분야의 전문가의 풀(pool)이 충분하지 않은 경우는 더욱 그렇다. 특히 학연, 지연, 혈연 등을 배제하고 나면 해당분야의 전문가는 더욱 한정될 수밖에 없다. 그렇기 때문에 건설교통 R&D사업을 추진할 때, 기획, 연구, 평가, 실용화로 구성되는 건설교통 R&D사업의 생애 주기적 참여를 유도하는 것이 바람직하다.

하나의 건설교통 R&D사업이 추진되면 해당분야에 대해 각 생애주기별로 세분화된 인력풀(pool)을 구성하는 것이다. 각 생애주기별로 전문인력에 대한 풀(pool)은 그 기준이 다를 것이다. 기획단계의 경우에는 해당분야의 기술경력이 충분한 사람이 주로 포함되어야 한다. 해당과제가 실용화를 목적으로 한다면 연구자 자신의 연구분야를 향상시키기 위한 과제가 기획되어서는 안 된다. 실무경험이 풍부한 기술자가 참여해야 하는 이유다. 연구단계는 실무적인 내용이 기획단계에서 충분히 반영되어다는 가정 하에 해당 분야의 연구경험이 많은 인력이 참여해야 한다. 경험이 많다는 것은 시행착오를 줄일 수 있다는 것이고 기획의도를 충분히 이해하고 반영할 수 있다는 것을 의미한다. 평가단계는 기획단계에 참여했던 해당분야 기술전문가가 반드시 참여하는 것이 좋다. 평가의 의미는 단순히 제안서의 요구사항을 만족했는지를 평가하는 것이 아니다. 연구결과가 요구했던 목적을 충족했는지, 그리고 그것이 실용화에 관련된 연구라면 실용화 가능성은 얼마나 있는지를 파악하고 확인해야 한다. 기존에 방식은 평가를 위한

평가위원회를 구성하고 내용을 설명하고 정해진 평가표에 의해 평가를 하는 방식인데 이런 방식은 적합한 평가위원을 선정하기 어렵고 선정된 평가위원이 연구의 내용을 충분히 이해할 시간적 여유가 없기 때문에 연구목적 달성여부와 향후 발전까지 고려할 수 있는 평가가 되지 못한다. 그렇기 때문에 근본적인 문제에서 탈피하기 위해서는 단계별 핵심 연구인력을 배치하는 것이 반드시 필요하다. 실용화 단계에서는 실용화 가능성이 있는 기술을 통해 철저하게 비즈니스 마인드로 접근할 필요가 있다. 해당 기술의 전문기업이 참여하는 이유이다. 건설교통 R&D에 대한 이해가 부족하거나 인력이 없어 참여 하지 못했던 해당기술의 전문기업은 개발기술을 통한 사업화를 추진하여 건설교통기술이 한 단계 성장할 수 있는 실질적인 역할을 수행할 것이다.



그림 4-18. 건설교통 R&D 생애주기에 따른 전문인력 활용

○ 건설교통 R&D대학 특성화 사업 추진

최근 대학 공학교육은 2가지 형태로 발전하고 있다. 하나는 순수 학문적인 기능의 강화이고 다른 하나는 졸업과 동시에 사회구성원으로 활동할 수 있는 기술 인력의 양산하는 것이다. 그런데 건설교통 R&D의 경우에는 분명하게 전문인으로 성장할 수 있음에도 불구하고 별도의 교육이 존재하지 않는다. 건설교통 R&D대학 특성화 사업은 대학 공학교육에서 요구하는 학문적인 요구와 실무기술적인 기능을 충족시킬 수 있는 대안이라고 할 수 있다.

학문적 요구는 건설교통 R&D의 기획에서 개발까지 TRL관점에서 보면 TRL 1~4에 해당하는 실험실 환경에서 수행되는 기술개발 내용에 해당한다. 대학의 고유 기능인 학문의 탐구를 유지하면서 전문화되고 특성화된 분야를 연구할 수 있는 좋은 기회가 된다. 건설교통 R&D사업의 중복이나 반복은 탄탄한 기초 연구에서 비롯한 자료의 부족이 하나인 원인이기도 하기 때문이다.

기술적 기능만족은 한국건설교통기술평가원이 추구하는 연구개발 성과의 실용화에 직접적인 관계가 있는 항목이다. 건설교통 R&D성과가 실용화되지 못하는 가장 큰 이유 중에 하나는 연구와 기술개발이 개별적이기 때문이다. 연구개발을 하고 있는

주체 가운데에는 나중에 개발 기술을 누가 사용할지 고민하지 않는 경우가 많다. “누가”, “어떻게” 사용할지를 생각하지 않는다는 것은 마치 건설 사업에서 발주자의 요구사항(Owner Requirement)을 고려하지 않고 사업을 추진하는 것과 같다.

학문적 요구충족과 기술적 기능만족은 건설교통 R&D를 발전시키기 위해 필요한 요소이고 이번 연구인 TRL에 의한 성과관리를 통해 그 적용범위를 설정할 수 있는 계기가 되었다.

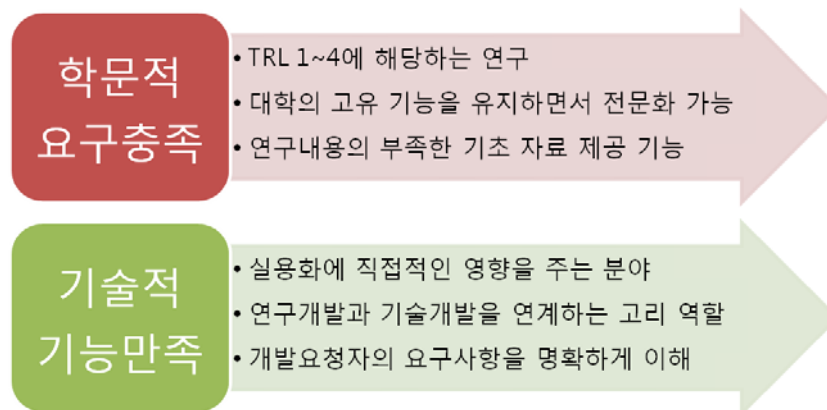


그림 4-19. 건설교통 R&D대학 특성화 추진 목표

(다) 연구환경 개선 방안

○ 적극적인 테스트베드(Test Bed)를 활용한 실용화 가능성 타진

연구성과를 사전에 예측해 볼 수 있는 테스트베드 적용은 건설교통 R&D 기술의 실용화에서 가장 중요한 요소이다. 그렇기 때문에 성공적인 테스트베드 수행을 위해서는 사전 준비가 필요하다. 지금까지 테스트베드의 지정 및 선정은 연구자에게 부여하기 보다는 관리자 입장에서 제공해 줄 수 있는 대책을 미리 알아보는 것이 필요하다.

테스트베드가 반드시 필요한 사업단 규모의 건설교통 R&D사업의 예를 들어 보겠다. 우선 테스트베드 수행을 위한 사업단 전체의 로드맵이 필요하다. 사업단에서 제시하고 있는 핵심과제와 테스트베드와의 선·후행 관계를 검토하고 요소기술의 수요조사에 기반을 둔 실무적 관점에서의 로드맵을 작성한다. 다음은 테스트베드 운영을 위한 가이드라인을 통해 연구와 시공(R&B, Research and Build)을 동시에 제시한다. 첫째, 테스트베드 대상 프로젝트를 선정하고 핵심기술의 적용기준을 제시한다. 둘째, 국내·외 전문기업과의 협업체계 및

국제적 인증제도를 마련한다. 셋째, 테스트베드 효과를 극대화하기 위한 예산운영 방안을 제시한다. 여기서 테스트베드 수행을 위한 예산이란 기존 사업단의 전체 예산 범위 내에서 집행하되, 핵심과제와 테스트베드 선·후행관계를 고려하여 선행해야 할 테스트베드의 기획예산을 사업초기단계에 우선적으로 배정할 수 있도록 예산을 재편성하는 것을 의미한다.

(2) 관리방식의 개선방안

(가) 능력에 따른 개인별 보상제도 강화

현재 건설교통 R&D성과에 대한 보상은 연구기관을 대상으로 한다. 연구개발이 종료한 후에 평가 결과에 따라 연구책임자를 중심으로 한 가산점이 적용된다. 연구에 참여한 핵심 연구인력에게 적용되는 보상제도는 연구 예산 내에서 집행하는 연구수당이 있다. 연구수당은 “해당 과제 수행과 관련된 연구책임자 및 참여연구원의 보상금·장려금 지급을 위한 수당”이라고 정의된다. 매뉴얼에서 제시하는 규정은 과다 지급을 방지하기 위한 지급제한조항을 중심으로 작성되어 있다.

능력에 따른 개인별 보상제도를 강화하기 위해서는 보상기준과 지급방식을 명확하게 하는 것이 필요하다. 개인별 보상이라고 하는 것은 일반기업에서 보면 차등적 상여지급과 같은 개념이다. 그러나 R&D조직은 그런 면에 있어 개인보다 단체를 우선으로 하기 때문에 오히려 비용적인 측면에서는 보다 강제적인 관리방식을 적용하는 것이 적합하다.

(나) 핵심 연구인력의 개별 평가제도 운영

건설교통 R&D사업에 참여하는 연구조직의 규모가 클수록 평가방식은 복잡해진다. 핵심 연구인력을 관리하는 방식에 있어 중요한 것은 핵심 연구 인력에 대한 인식, 참여, 보상이 함께 해야 한다는 것이다. 핵심 연구인력에 대한 인식은 핵심 연구 인력을 선정하는 것에서 시작한다. 현재 연구 인력에 대한 관리의 책임자 급에서 이루어진다. 그런데 실제 연구를 수행하는 것은 연구 책임자와 함께하는 연구원들이다. 이들 중에서 핵심 연구인력을 선정하는 것이다. 선정된 연구 인력에게는 그에 따른 보상을 한다. 연구역량을 확보할 수 있도록 교육훈련을 강화하고 다양한 경험을 체험할 수 있는 프로그램에 참여시킨다. 여기서 말하는 교육훈련은 건설교통 R&D 전문가로서 성장할 수 있는 기회를 제공하는 것이고 다양한 경험이라고 하는 것은 해외방문, 현장실습 등을 의미한다.

이를 위해서는 수행하고 있는 건설교통 R&D사업에 대한 평가도 중요하지만 핵심 연구인력에 대한 평가지표를 개발해야 한다. 개별 평가지표는 단순히 연구진에서 관리하는 것보다는 평가원에서 직접 관리하면서 건설교통 R&D사업의 생애주기에 따라 전문인력으로서 활용하면 된다. 필요하다면 핵심연구인력 전담팀을 운영하는 것도 방법이다. 핵심 연구인력은 건설교통 R&D사업을 운영하는데 있어 필수 조건이다. 기획, 운영, 평가에 있어 주요 역할을 수행할 수 있기 때문이다.

(다) 건설교통 R&D 사전교육 및 정기교육 실시

건설교통 R&D에 대한 전문교육은 매우 중요하다. 건설교통 R&D 예산은 지속적으로 증가하고 있으나 지금의 연구 수행 조직으로는 그 예산을 소모할 능력이 없다. 분야별 기술자도 중요하지만 건설교통 R&D에 대한 이해와 경험이 많은 연구자도 필요하다.

그러기 위해서는 건설교통 R&D에 참여하는 주체로 하여금 일정 기간, 일정 내용에 대한 사전교육이 필요하다. 모든 과제를 수행함에 있어 단순한 사업설명회가 아니라 “R&D기획(R&D Planning)”, “R&D프로젝트 관리(R&D Project Management)”, 그리고 “기술 사업화(Technology Commercialization)” 과정을 이수하게 하면 연구 과제를 수행하는데 있어 도움이 될 것이다.⁴²⁾

R&D기획은 경영전략과 기술전략, R&D기획 프로세스와 기법, 그리고 실행으로 구성된다. R&D사업을 수행하는데 필요한 전략을 배우고 실제 적용해 보는 것이다. R&D기획 프로세스와 기법은 R&D프로젝트의 이해, 다양한 관리기법, 그리고 평가체계로 구성된다. 건설교통 R&D사업에 참여하는 연구인력에게 직접적인 영향을 주는 과정이다. 그리고 마지막으로 기술사업화는 기술사업화의 개요, 기술완성도 평가, 그리고 기술사업화 방안으로 구성된다.

건설교통 R&D 사전교육 및 정기교육을 통해 관련분야의 전문가를 양성하는 것뿐만 아니라 건설교통 R&D사업에 참여하는 연구인력의 수준을 동시에 향상 시킬 수 있는 방안이 될 수도 있다.

42) 한국산업기술진흥협회에서 발간한 기술경영(MOT) 실무서의 내용을 근거로 재구성함



그림 4-20. 건설교통 R&D 교육 내용 정리

4. 핵심 연구인력의 효율적인 활용에 따른 기대효과

(1) 연구 참여인력의 확대

최근 건설 산업은 위기라는 말을 많이 한다. 시장이 축소되니 시장에서 활동한 인력의 일할 자리가 부족하다. 하지만 경제위기, 산업위기일수록 더 투자하는 사업이 있다. R&D사업이다. 건설교통 R&D사업의 일반 R&D가 가지고 있는 특성에 건설교통이라는 공공성과 장기성을 포함하고 있기 때문에 연구개발에 있어 할 수 있는 일이 많다. 그리고 직업 활동을 통해 건설교통 R&D에 참여하는 기술자가 자신의 일에 만족을 한다면 자신의 성장에도 도움이 될 것이다.

(2) 연구결과의 품질제고 및 경쟁력 확보

건설교통 R&D의 연구결과는 연구자의 역량에 좌우한다. 그리고 연구자의 역량은 전문성과 집중도에서 결정된다. 핵심 연구인력에게 일을 할 수 있는 기회를 제공하고 관련분야에 전문성을 향상시키기 위한 교육을 제공하며, 성과에 따른 개별 인센티브를 받으면서 자신의 연구활동을 영위할 수 있다면, 그리고 그 결과가 실용화 되어 사업으로 발전한다면, 연구결과에 대한 품질은 확실하다고 할 수 있고 타 산업 또는 타국의 R&D성과에 견주어도 충분히 경쟁력이 있다고 할 수 있다.

(3) 연구성과의 활용을 통한 R&D기술의 성장기반 확충

건설교통기술은 다양성을 가지고 있는 응용기술이다. 응용기술로서 발전을 하기 위해서는 무엇보다 기초기술이 분명해야 한다. 건설교통 R&D의 역할에서 중요한 한 가지는 기초기술을 개발한다는 점이다. 핵심 연구인력의 건설교통 R&D 생애주기 참여로 인해 기술에 대한 중복성과 반복성이 없어진다면 보다 많은 연구력을 공통 기초연구에서 성과를 창출할 수 있는 다양한 응용기술로 집중할 수 있게 되어 건설교통 R&D기술의 성장에 막중한 역할을 수행할 수 있을 것이다.

(4) 건설교통 R&D성과를 활용한 건설 산업의 발전

건설교통 R&D사업은 건설 산업이 기술적으로나 인력 양성적으로 그리고 경제적으로 발전할 수 있는 기회를 제공한다. 그 중에 가장 기본이 되는 것은 연구인력이라고 할 수 있다. 실제 성과를 만들어 내는 연구인력을 양성하기 위한 노력은 모든 노력에 선행되어야 한다. 어려운 경제위기 속에서 한국경제사를 이끌었던 건설 산업이 더욱 발전하기 위해서는 건설교통 R&D의 성과가 반드시 창출되어야 한다.

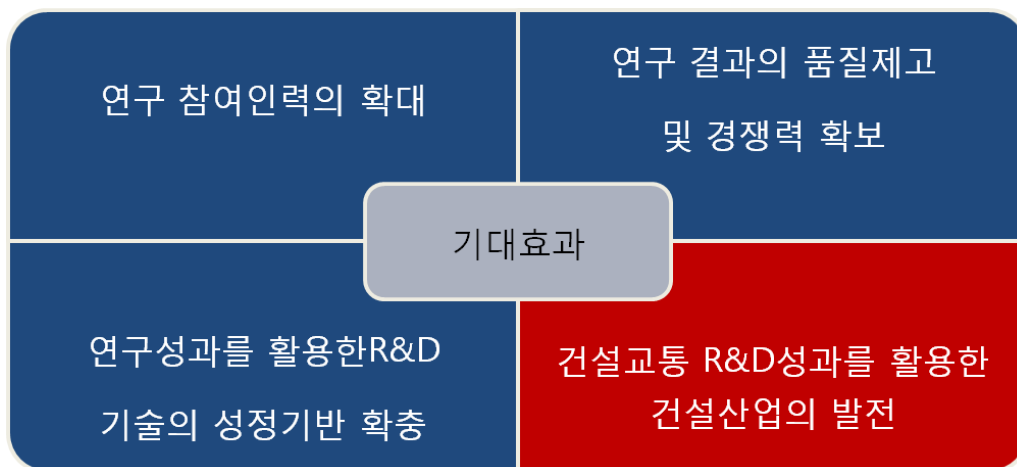


그림 4-21. 핵심 연구인력의 효율적인 활용에 따른 기대효과

제5장 건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화 체계

건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화 체계를 수립하기 위해서는 기존에 타 분야의 기술 이전 및 기술 사업화 현황을 이해해야 한다. 본 장에서는 국내 R&D 기술이전 및 기술사업화 현황을 통해 기술사업화에 대해 이해하고 국내 건설교통 R&D의 기술사업화가 이루어지지 않는 문제점을 제시한다.

본 보고서에서는 성과운영확산센터의 설립과 참여 주체들의 역할을 정의하고 단기, 중기, 장기에 따라 기술사업화 또는 기술상품화를 위한 5가지 전략을 제시한다.

제1절 국내 R&D 기술이전 및 기술사업화 현황

1. 기술사업화의 정의

많은 연구자들은 기술상용화의 정형화된 개념 정립을 이루기 위해 다양한 수준에서 연구를 진행해왔다. 기술상용화에 대한 선행연구는 상용화의 단계를 구분하거나 여기서 발생하는 가치축적 과정에 관한 연구와 같은 상용화 프로세스에 관한 연구 (Cooper, 2001 ; Jolly, 1997 ; Kokubu, 2001), 자금, 조직, 인력과 같은 내부적인 요인 (Kassicieh et al., 2002 ; Radosevich, 1995; Hindle & Yenken, 2004)과 공공기관으로 부터의 기술이전, 인프라 및 지원, 그리고 지역이 미치는 영향과 같은 외부적인 요인 (Tassey, 1991 ; Justman & Teubal, 1995 ; Carayannis, 1998)과 같은 연구가 주를 이루어 왔다. 그러나 기술상용화와 관련되어 수행되었던 연구는 몇 가지 한계를 가지고 있다.

지금까지 이루어진 대부분의 연구가 제품의 특성을 고려하지 않고 진행되어 왔기 때문에, 제품의 특성에 따라 상용화에서 나타나는 차이에 대한 연구가 부족한 실정이다. 또한 각각의 제품에 대한 상용화에 관한 연구는 있었으나, 단순히 그 제품 하나에 대한 상용화 연구에 그치고 있어 제품의 특성에 따른 상용화의 관점에서 일반화를 제시하지 못하고 있다. 특히 상용화 프로세스에 관한 연구는 상용화 개념을 정리하거나 상용화 과정을 모형화 하는 연구가 중심을 이루고 있으나, 제품의 특성에 따라 상용화 과정에서 어떠한 차이점이 나타나는지에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

또한 현재 상용화 프로세스와 관련되어 진행되어온 연구를 살펴보면 다음과 같다. 고꾸부(2001)는 기술개발과 개발된 기술의 상용화에 초점을 맞추어 기술상용화를 연구개발의 단계에 맞추어 각각의 단계에서 기술이전이 가능함을 강조하고 있다.

쿠퍼 (2001)의 Stage-Gate™ Process는 Stage와 Gate로 구성된 각 단계에서 주어진 프로젝트를 수행하기 위해 단계별 핵심임무가 무엇인지를 미리 정하고 이를 수행한 후 수행결과를 점검하는 방법⁴³⁾을 통해 프로젝트의 운영과 효율성을 꾀하는 방법을 제시하고 있다.

표 5-1. 기술이전의 다양한 정의

연구자	발표년도	정 의
Brooks	1966	과학과 기술이 인간의 활동을 통하여 확산되어 가는 과정으로 기술거래의 주체를 국가, 기업, 개인 등 광의로 해석
UNCTAD	1971	새로운 생산시설과 현재 가동 중인 시설의 확장을 위하여 설계 또는 공정 관리에 정상적으로 필요한 기술지식요소의 이전이 선진국과 개발도상국 사이에 이루어지는 것(국가 간 기술거래)
Forster	1971	기술거래의 방향성 관점에서 프로젝트, 조직, 산업, 국가 간 이전인 수평적 이전과 기초연구→응용연구→개발→실용화 간의 이전인 수직적 이전으로 분류
Gee	1974	기술의 새로운 사용을 위해 또는 새로운 기술사용자가 기술을 응용하는 것으로 정의하여 기술의 직접적 응용 외에 새로운 용도나 사용자에게 적합하도록 변경하는 개념
Teece	1988	지식을 새로운 제품과 서비스로 변형하는 제 단계
Souder	1990	한쪽이 소유하고 있는 기술이 다른 쪽에 채택되도록 이동하는 과정, 즉 개발자로부터 도입자나 구매자로의 이동, 한 부서에서 다른 부서로 이동하는 과정
Bozeman & Crow	1991	물리적 디자인, 프로세스, 노하우, 정보가 한 조직에서 다른 장소로 이동하는 과정
Camp & Sexton	1992	기술적 지식의 이전, 잠재 사용자에게 연구결과를 전달하는 과정, 그리고 개발단계에서 기술적 아이디어나 노하우가 최초에 인식한 조직에서 사용자 조직으로 이동하는 과정
Seaton & Hayes	1993	학술적 연구개발에서 일반적, 효과적인 응용에 이르는 아이디어, 지식, 제품의 이전을 통한 기술혁신 촉진 과정
Zhao & Reddy	1993	제공자와 도입자간에 기업의 특수한 기술적 노하우를 교환하는 과정

43) 조명현, 기술사업화 프로세스 사례연구를 통한 사업화 성공요인 분석, 2009

줄리(1997)의 기술상용화 프로세스는 기술상용화를 제품혁신(product innovation)과 차별화 하면서 기술상용화에 대한 개념을 정리하고 상용화 프로세스를 모형화 시킨 가장 대표적인 기술상용화 프로세스 모델이라고 할 수 있다.⁴⁴⁾ 줄리는 기술상용화를 기술에 가치를 첨가하는 과정으로 규정하며, 기술상용화 전체의 과정을 착상 (imaging), 보육(incubating), 실연(demonstrating), 촉진 (promoting), 지속 (sustaining) 등의 다섯 개의 하위 프로세스로 구분하여 각 단계마다 나타나는 기술 및 시장과 연관된 문제해결 과정을 기술하고 있다.

줄리의 모델의 첫 단계인 착상 (imaging) 프로세스 단계는 기술의 비약적 발전에 대한 긍정적 전망과 잠재적인 시장 기회와 결합이 일어나는 단계라고 할 수 있다. 두 번째 단계인 보육 (incubating) 프로세스 단계에서는 아이디어를 숙성시켜 연구개발할 가치가 있는지 판단하는 단계로 기술이 가지고 있는 실제적인 면과 상징적인 면을 구체화 하는 단계이다. 세 번째 단계인 실연 (demonstrating) 프로세스 단계에서는 시장기회가 있는 제품이나 경쟁력 있는 공정개발에 신기술을 적용시키는 단계이다. 네 번째 단계인 촉진 (promoting) 프로세스 단계에서는 새롭게 시장을 창출하거나 제품이 잘 받아드려 지도록 인프라를 구축하거나 제품의 시장 진출을 방해하는 장애요인들을 제거하는 활동이 일어난다. 마지막으로 지속(sustaining) 프로세스 단계에서는 상품이나 공정이 장기간에 걸쳐 시장에 가치를 가진 상품으로 존속할 수 있도록 돕는 비용절감, 개선, 응용기술의 보호, 소비자의 확대, 새로운 기술개발 시도 등이 일어나는 단계이다.(그림 5-1. 참조)

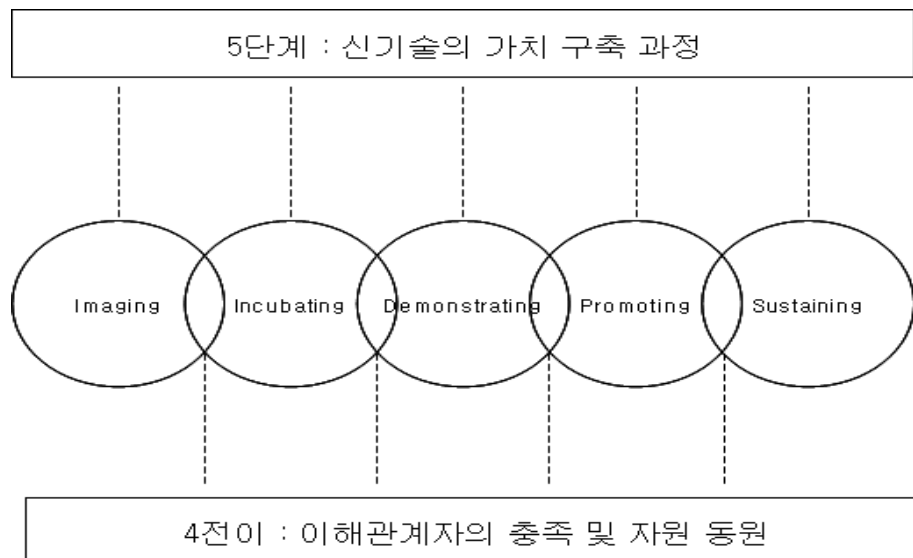


그림 5-1. 줄리의 기술사업화 프로세스

44) Jullian MacBryde, Commercialization of University Technology: A Case in Robotics Technovation, 1997

2. 국내 R&D 기술이전 및 기술사업화 현황

‘기술이전 및 사업화’란 기술이전과 기술사업화를 함께 표현하는 용어로, ‘기술(또는 지식)을 활용하여 사업화’하는 것으로 정의내릴 수 있다. 2000년 1월 제정된 「기술이전촉진법」상의 정의에 따르면, 기술이전이란 ‘특허법 등 관련 법률에 의하여 등록된 특허, 실용신안, 디자인, 반도체 배치설계, 기술이 집적된 자본재, 소프트웨어 등 지적재산인 기술 및 디자인, 기술정보 등 기타의 기술(이하 기술이라 한다.)이 양도·실시권 허용, 기술지도 등의 방법을 통하여 기술보유자(당해 기술을 처분할 권한이 있는 자를 포함한다.)로부터 그 외의 자에게 이전되는 것’을 말한다.

이와 같은 정의에 근거하여 한국기술거래소에서는 기술이전 유형을 매매, 라이선스, OEM, 기술제휴의 네 가지로 분류하고 있으며⁴⁵⁾, 기업거래(M&A)도 기술이전이 발전한 형태로 보고 있다.

표 5-2. 기술이전촉진법 상에 정의된 공공연구기관 현황

구분		공공연구기관 수
공공 연구소	국공립 시험연구기관	61
	정부출연 연구기관(과학기술분야)	19
	특정연구기관	4
	전문생산기술연구소	15
	기타 비영리 법인 및 단체	15
	소 계	114
대학	국공립 대학교(4년제 이공계)	30
	사립대학교(4년제 이공계)	115
	소 계	145
합 계		259

45) 한국과학기술기획평가원, 출연(연) 기술이전 및 사업화 촉진방안, 2011

한편, 「기술이전촉진법」상에서 사업화라 함은 ‘개발된 기술을 이용하여 제품을 개발, 생산 및 판매를 수행하거나 그 과정의 관련기술의 향상에 적용하는 것을 말한다.’고 규정하고 있는데, 이러한 정의는 협의의 사업화와 광의의 사업화 개념을 모두 포괄하는 개념이다. 일반적으로 정책 측면에서의 기술이전 및 사업화 개념은 정부 및 민간의 연구개발활동에 따른 기술적 성과를 활용, 발전시켜 시장에서의 가치를 높이기 위한 기술이전 및 거래, 제품/서비스의 개발, 생산, 판매, 기타 기술평가, 투자유치, 마케팅 등의 활동을 의미한다. 따라서 기술이전 및 사업화 현황을 살펴보기 위해서는 국내 연구개발투자, 기술이전 및 거래 실적, 기술료 수입 현황과 함께 전담조직, 인력 현황을 파악할 필요가 있다.

표 5-3. 누적/신규 기술보유 현황(단위: 건)

연도	구분	공공연구소				대학			합계
		국공립 시험 연구기관	출연(연) 및 부설 연구기관	기타 공공 연구소	소계	국공립 대학	사립 대학	소계	
10	누적	2,104	34,899	12,914	49,917	15,990	21,460	37,450	87,367
	신규	526	4,044	2,466	7,036	3,522	7,881	11,403	18,439
09	누적	2,293	25,106	12,090	39,489	11,194	23,284	34,478	73,967
	신규	587	2,989	2,848	6,424	2,459	6,364	8,823	15,247
08	누적	2,169	24,252	10,416	36,837	9,927	19,956	29,883	66,720
	신규	372	3,463	2,631	6,466	2,482	5,522	8,004	14,470
07	누적	2,110	18,742	11,812	32,664	8,898	14,196	23,094	55,758
	신규	354	3,000	2,318	5,672	2,565	4,438	7,003	12,675
06	누적	1,382	15,250	9,355	25,987	4,688	11,363	16,051	42,038
	신규	178	2,898	1,319	4,395	1,251	2,905	4,156	8,551

2006년도 정부출연 연구기관의 연구개발 예산은 약 2조 3천 500억 원 수준으로 당해 연도 정부 및 공공재원 연구개발예산 6조 6천 321억 원의 약 35.4%를 차지하였고 출연(연)의 연구인력은 지난 5년간 연평균 4.6% 증가하였다. 출연(연)의 연구개발은 기초연구와 응용연구의 비중이 각각 19.5%와 29.4%로 낮은

반면, 개발연구의 비중이 51.1%로 단기간에 상용화를 이룰 수 있는 연구에 집중하고 있으며 미래유망 신기술 6T 분야에 대한 출연(연)의 연구개발 자원배분이 증가하는 추세이다.

2006년 기준으로 2개의 본부 규모의 기술이전 조직을 포함하여 12개 출연(연)이 기술이전 및 연구성과 확산을 위한 전담조직을 가지고 있으며 점차 증가하는 추세이다. 2004년도 기술이전 계약 건수가 484건에서 2006년에는 771건으로 59.3%, 연평균 29.7%가 증가하여 같은 기간 출연(연) 예산(11.2%) 및 인력(5.3%) 증가 수준을 상회하였으며 2006년도 기준으로 기술료 수입은 422억 원 수준이었으며 연도별 통계에 의하면 꾸준히 증가추세에 있다. 2006년 기준으로 우리나라의 기술이전 전담조직 인력은 평균 5.2명인데 반해 미국은 9.3명, 유럽은 8.7명, 우리나라 공공연구기관의 기술이전율은 26.3%인데 반해 미국은 39.0%, 유럽은 64.3%, 연구생산성 역시 미국의 8.2%, 유럽의 4.5%에 비해 매우 낮은 2.3%에 불과하는 등 출연(연)을 포함한 공공연구기관의 기술이전 전담인력 및 실적이 미국, 유럽 등 선진국에 비해 모든 면에서 열위에 있다.

최근 출연연과 대학의 교수, 연구원 창업은 연평균 96명 수준으로 창업이 '03년 이후 둔화 추세이나 교수, 연구원의 창업기업 생존율은 72.7%로 일반기업의 5년 이내 생존율 55%에 비해 높은 수준을 유지하고 있다. 연구소 기업은 대덕특구법에 의하여 국립연구기관이나 출연(연)이 보유기술을 직접 사업화하기 위하여 설립하는 기업으로 현재까지 7개의 연구소 기업이 설립, 운영 중에 있다. 2005년 모태펀드 제도 도입을 통해 '06년 말까지 3,851억 원의 모태펀드를 조성하고 3,137억 원을 출자하여 45개 투자조합에서 11,980억원 규모의 펀드를 결성하였으나 벤처투자가 전반적으로 위축되는 가운데에서 우리나라 모험자본이 업력 3년 이내의 초기단계 기업에 투자하는 비중은 2001년 이후 크게 감소하고 있다.

연구개발을 통한 기술혁신은 일반적으로 발명(Invention), 혁신(Innovation), 및 확산(Diffusion)의 세 단계를 거치면서 일어나는 것으로 인식되고 있다. 여기서 발명은 신제품 개발에 필요한 기술적 문제를 해결하는 단계로, 혁신은 발명을 통해 얻은 신기술을 시장에 처음 상업화 하는 단계로 그리고 확산은 신제품 출시 후 다른 기업들의 모방 등을 전체 시장에서 매출이 확대되는 단계로 이해 할 수 있다.⁴⁶⁾ 이러한 관점에서 볼 때 기술 혁신의 상업화는 협의의 측면에서는 혁신으로, 광의의 측면에서는 발명과 혁신으로 정의 할 수 있다. 광의의 측면에서 본 기술혁신의 상업화 프로세스를 보다 구체적으로 구분하면 다음의 다섯 단계로 나눌 수 있다. 착상 (imaging), 보육 (incubating), 실연(demonstrating), 촉진 (promoting), 지속 (sustaining) 등의 다섯 개의 하위 프로세스로 구분하여 각

46) 미래경영전략연구소, 신제품/신기술 개발전략, 2010

단계마다 나타나는 기술 및 시장과 연관된 문제해결 과정을 기술하고 있다.
(미래경영전략연구소, 2010)

표 5-4. 기술사업화의 유형과 주요 내용

유 형	주요 내용	구 분
양도	기술보유자(공공연구기관, 민간기업)가 기술도입자(민간기업 등)에게 기술의 소유권을 이전함.	기술이전, 기술거래
실시권 허락	기술보유자가 기술도입자에게 기술의 실시권을 허락함.	기술이전, 기술거래
기술지도	기술보유자가 기술도입자에게 기술의 적용을 위한 교육 및 훈련을 제공함. 양도 혹은 실시권 허락과 병행하여 이루어짐.	기술이전, 기술거래
공동연구	기술보유자(공공연구기관 등)가 기술도입자에게로의 기술이전을 목적으로 공동연구를 수행함.	기술이전
기술창업	기술보유자의 연구자 등 소속직원이 직무발명 등을 이전받아 창업하거나 창업에 참여함.	기술이전
합작투자	기술보유자와 기술도입자가 합작하여 제3의 기업을 설립하고 사업화를 추진함. 기술보유자가 공공연구기관인 경우는 주로 보유기술을 현물 출자하여 참여함.	기술(출자) 이전
기술지주회사	기술보유자(공공연구기관 등)가 기술지주회사를 설립하고, 보유기술을 자본금 형식으로 출자하여 기술사업화를 목적으로 하는 자회사를 운영함.	기술(출자) 이전
인수·합병	기술도입자(민간기업 등)가 사업화 추진을 위해 필요한 기술과 경영인프라를 보유한 기술보유자(민간기업 등)를 인수·합병함	기술(기업) 거래

제2절 기존 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화 체계의 문제점

1. 일반적인 기술사업화의 실패요인

시장실패는 기술과 관련한 시장에 내재하는 불확실성과 기술사업화 과정에서 발생하는 경제적 가치의 전유성(專有性)이 불완전하여 초기사업화 단계에서 과소투자가 일어나는 것을 의미한다.(Tassey, 1997) 특히, 초기사업화를 위한 기술금융 공급의 과부족 현상을 죽음의 계곡(Death Valley)이라고 일컫는다. 시스템실패는 기술사업화 과정에서 관련 투자가 이루어지고 있음에도 불구하고 구조적·제도적인 불완전성으로 인하여 혁신주체 간에 상호작용을 수행하는 광범위한 영역에서 비효율성(suboptimality)이 발생하는 것을 뜻한다.(Gustafsson and Autio, 2006) 주로 정보의 비대칭현상으로 인하여 도덕적 해이, 이해상충의 문제 등의 다양한 형태로 나타난다.(박종복, 2008)

(1) 시장실패

R&D 투자 측면에서는 기술개발에 내재하는 위험 및 불확실성과 경제적 가치의 전유성 문제로 인한 사적 수익률과 사회적 수익률 간의 격차 때문에 초기사업화 단계의 응용연구에 과소투자가 발생한다. 기술금융의 공급측면에서는 위험 수준이 가치 수준보다 큰 초기사업화 단계에 모험자본 등의 과소공급이 발생한다. 창업투자회사 등의 투자자는 3~4년 내에 투자자금을 회수하고자 하는 반면에, 기술사업화의 과정은 이보다 더 오랜 기간이 소요된다.

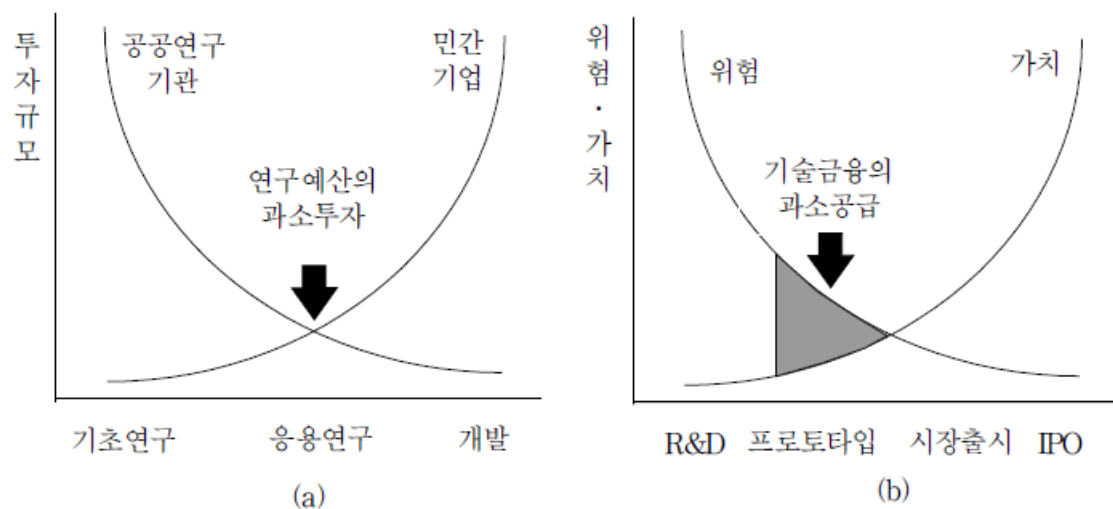


그림 5-2. 시장실패의 발생원인

(2) 시스템 실패

- 기술가치 인식의 차이로 기술이전 기회 상실(conflict of technology value)

공공연구기관은 기술도입자에 비하여 보유기술의 사업화 가치를 과대평가하는 경향을 가지므로 기술료 협상이 결렬될 가능성이 높다. 공공연구기관은 기술사업화에 따른 위험분담을 회피하기 위하여 기술료 방식으로 높은 비중의 선급금(down payment)이나 일시급(lump-sum payment)을 요구할 가능성이 높다.

- 기술이전 및 사업화 의욕의 부족(lack of incentives)

공공연구기관의 기술이전 및 사업화 과정에서 공공연구기관(주인)과 기술이전 전담인력 혹은 연구자(대리인) 간의 정보의 비대칭 현상으로 인해 대리인의 도덕적 해이가 일어난다. 행정·사무직 기술이전전담인력의 경우, 성과와 무관한 보수를 받는 반면에 ‘기술이전 및 사업화에서의 공헌 노력’의 관측이 용이하지 않으므로 업무에 최선을 기하지 않는 도덕적 해이에 빠지기 쉽다. 효과적인 기술사업화를 위해서는 ‘권리의 이전’에 국한되지 않고 기술전수를 통한 ‘적용방법의 이전’이 중요함에도 불구하고, 기술전수 노력의 관측이 용이하지 않으므로 발명자의 적극적 참여를 이끌어내기 어렵다.

- 기술이전(거래) 시장의 질적 저하(bad technology drives out good one)

공공연구기관은 사업화 가능성이 높은 기술은 직접 관리하고 그렇지 않은 기술은 기술중개 조직에 공개함으로써, 기술거래 시장에는 사업화 가능성이 낮은 기술만 유통하게 된다. 대부분의 R&D 과제에 민간기업이 함께 참여하고 있어 기술도입자가 사전에 정해져 있는 경우가 많다. 민간기업의 경우, 기술보유자는 양질의 기술을 공개할 경우 경쟁사나 후발업체들이 그 기술 컨셉을 응용해 새로운 기술들을 개발할 수 있으므로 이를 회피하는 경향을 보인다. 기술을 이전하는 경우에도 기밀 노출을 우려해 기술도입자와의 직거래를 선호한다.

- 공공연구기관 소속직원의 이해상충의 상황(conflict of interests)

공공연구기관의 경우, 연구자 등 직원의 공적인 역할과 개인 이익 간의 충돌, 즉 해당 직원이 업무수행에 부당하게 영향을 줄 수 있는 개인적 이해관계를 가지고 있는 상황이 빈번히 발생한다.(Kassicieh and Radosevich, 1994) 예를 들면, 해당

직원이 기술도입 기업과 관련된 이해관계(지분 보유, 친인척 관계 등)가 있는 경우 기술의 이전 대가를 고의로 과소평가할 가능성이 있다. 해당 연구자가 이해관계가 있는 기업에게 연구용역을 위탁하거나 그 기업으로부터 비싼 가격으로 연구장비를 도입할 가능성이 있다.

2. 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화 체계의 문제점

(1) 국가 연구개발 사업비 중 연구 성과확산 지원예산의 부족

기술사업화는 특성 상 연구개발예산의 5~10배 이상이 소요됨에도 불구하고, 국가 연구개발사업 중 연구 성과 확산목적 관련 예산은 전체의 1.3%('10년)에 불과하다. (제49회 국가과학기술위원회) 미국은 기술사업화 프로그램 (SBIR/STTR)에 부처 R&D 예산의 일정액(2.5%/0.3%)을 투자하는 예산목표제를 시행('82/'92)하고 있다. 정부의 기술이전, 사업화 지원사업은 기술시장 기반조성, 기술이전·거래역량강화 등이 대부분이고, 사업화측면에서 기술의 완성도를 높이는 사업화기술개발(R&BD)은 지경부의 사업화연계기술개발사업('10년 264억)과 중기청의 이전기술개발사업('11년 100억)이 전부이다.⁴⁷⁾

건설교통 R&D의 경우도 유사하다. 연구자와 연구관리자의 건설교통 R&D성과의 인식에 차이가 있어 기술을 개발하였지만 사업화로 연계되지 못하는 경우가 발생한다. 왜냐하면 사업화에 성공하기 위해서는 실험실기술에서 시장기술로 전환하는 단계가 반드시 필요하며, 이 단계에서 많은 비용과 노력이 요구되지만 정부, 기업, 대학·출연(연) 모두 자원을 투입하지 않기 때문이다. 기술사업화를 위한 추가적인 비용사용에 대한 근거와 적용을 위해서는 별도의 예산과 관리체계가 필요하다.

(2) 정부의 재정지원확대를 통한 기술이전전담조직 구성 부족

현재 한국건설교통기술평가원의 주요 역할은 국가 건설교통산업의 기초가 되고 발전을 위한 R&D를 발굴하고 성공적인 성과를 창출할 수 있도록 지원하고 평가하는 것이다. 이는 개발될 기술에 대한 최종 수요자가 아니라는 것을 의미한다. 기술은 사용자가 분명할 경우에 이를 통해 이득과 혜택을 얻고자 하는 주체가 사업화 및 상품화를 시도하게 된다. 하지만 최종 사용자가 아닌 한국건설교통기술평가원에서는 이를 적극적으로 운영할 재정적 지원이나 기술이전전담조직을 갖추기 어렵다.

47) 한국과학기술기획평가원, 출연(연) 기술이전 및 사업화 촉진방안, 2011

(3) 전담조직 미설치 및 기술이전기여자에 대한 인센티브 미지급 등 법률상 의무사항의 관리감독 소홀

건설교통 R&D에 국한된 것은 아니지만 일반적으로 전담조직 설치가 의무화되어있음에도 '09년 45.1%의 기관에서 전담조직을 설치하지 않았으며, 38.1%의 기관이 기술이전업무 미 수행 중이다. 기술이전 기여자를 위한 인센티브제도가 의무화(기술이전사업화촉진법 제19조)되었음에도, 기술료수입을 배분하고 있는 공공연구기관(39.2%) 및 담당자에게 금전적 보상을 하는 비율은(32.2%) 매우 저조하다. (지경부, '09 기술이전사업화조사 분석자료집)

(4) 비현실적 규정과 부처별·사업별·계약시기별 상이한 기준으로 기술이전 활성화 저해

연구자와 관리자간 이견이 나타나는 것은 단순히 기술개발의 범위만은 아니다. 개발된 기술에 대한 운영에 대한 부분도 명확하지 않다. 투입연구비 기준으로 기술료를 징수하는 경직된 기술료 제도로 우수기술은 기준보다 높은 기술료를 받지 못하게 하고 있고, 틈새시장 공략기술은 적정수준으로 기술료를 낮출 수 없게 하고 있다. 사업화 성공 가능성과 관계없이 기술료가 책정되므로 성공가능성이 낮은 과제를 기피하며, 매출 발생 전 부터 기술료 납부의 부담이 발생하여 기술력 있는 중소기업의 사업 참여를 저해하는 것은 물론 기술료 산정 시 해당산업과 특성이 반영되지 않는 등 많은 문제점을 지니고 있다.

(5) 기획부터 고려된 기술사업화의 연계성 부족

연구개발사업의 기획되는 초기에 관리시스템과 기술이전운영시스템이 차례로 연결되는 전통적 구조로 인해 연구 성과를 단순히 사후 처리하는 방식으로 일차원적인(linear) 기술이전활동이 진행되고 있다. R&D성과활용이 사후적 사업화에 초점이 맞추어져 있어 실제 사업화의 낮은 성공률이 문제시되고 있다. 건설교통 R&D기획 단계부터 비즈니스 관점을 반영하여 R&D 전주기에 걸친 체계적이고 조직적인 방법을 확보하고 사업화를 추진할 수 있는 시스템 혁신이 요구된다.

(6) 기술이전 사후관리 및 연계지원 활동 미흡과 연구원의 창업 의지 부족

건설교통 R&D기술의 가장 큰 특징은 기술의 공공성이다. 기술개발자가

건설교통기술을 개발하여 이를 통해 이득을 얻기 어렵다. 그렇기 때문에 건설교통 R&D사업에 참여한 연구원들은 타 산업처럼 창업의 의지를 가지고 있지 못하다. 기술 이전을 위한 제도적인 노력과 프로세스를 구성하는 것도 필요하지만 기술사업화를 실행하는 연구원들에게 동기부여를 하는 것도 매우 중요하다.

제3절 TRL기반의 건설교통 R&D 기술이전 및 사업화 지원체계 구축방안⁴⁸⁾

TRL기반의 R&D 기술이전 및 사업화 지원체계의 구축을 위해서는 연구개발 부문의 다양한 속성을 반영하여야 한다. R&D 형태는 연구개발 산출물의 CTE별 TRL 결과를 기반으로 기술, 선행, 사업화개발의 3가지 형식으로 구분되며, 각각은 장기, 중기, 단기의 차별적 전략을 통해 전문기관과 피드백 되어 실적을 창출하게 된다. TRL을 기반으로 한 기술전략이 단기, 중기, 장기로 수립이 가능한 이유는 TRL에 의한 기술의 성숙단계가 명확한 특성을 가지고 있기 때문이다.

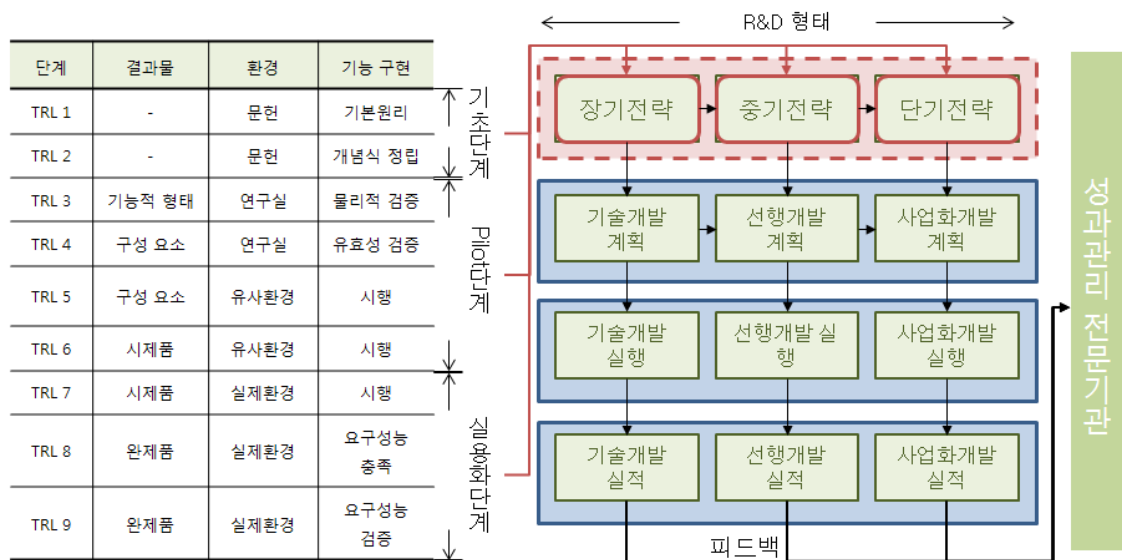


그림 5-3. R&D 형태 및 전략계획

결과물의 형태가 무형이거나 구체화 할 수 없고, 연구 결과물 실행환경이 문헌을 바탕으로 하고 있으며, 기본이론이나 개념정도로만 정의된 기술성숙도 단계인 TRL 1단계와 2단계의 연구는 기초단계라 정의하여 장기 전략의 R&D 형태를 띠게 되며, 이는 기술(기초/응용기술 개발, 신사업, 성장사업 육성)개발이나 선행(사업화 적용 플랫폼 개발, 선행품질/공법 확보)개발 계획 프로세스를 통해 선행개발이나 사업화개발 계획 프로세스로의 이전을 통해 사업화 개발 실적을 이루는 전략형태로 나타난다.

연구진행을 통하여 결과물의 시제품이 출시되었고, 연구 결과물 실행환경이 실제 적용환경과 유사한 환경에서 가동이 가능하고, 결과물의 기능 유효성이 검증된

48) 본 보고서에서 제시하는 전략은 건설교통기술의 상품화 및 상용화를 목적으로 수립되었으면 기본적으로 2004년에 산업자원부에서 발간한 “기술사업화 촉진 종합대책(안)을 근간으로 작성됨

기술성숙도 단계인 TRL 3, 4, 5, 6 단계의 연구를 Pilot 단계라 정의하여, 이는 중기전략의 R&D 형태로 프로세스가 진행된다. 이는 선행개발계획을 통해 선행개발 실적으로 성과관리 전문기관과 피드백을 하거나 사업화개발 계획으로의 이전을 통해 사업화 개발 실적으로의 사후관리 또한 가능하게 된다.

연구개발 중 결과물이 실제 적용 현장 환경에서 기능이 검증되고 요구되었던 성능이 완전하게 발휘되고 완제품이 생산에 들어간 기술성숙도 단계인 TRL 8단계와 9단계의 연구를 실용화단계라 정의하여, 이는 단기 전략의 R&D 형태로 구분되어 사업화개발 계획을 통해 사업화 개발 실적으로 관리된다.

건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화 전략 실행을 위한 주체로 본 연구에서는 성과운영확산센터와 같은 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화를 전담하는 기관을 제안하고자 한다. 본 센터는 건설교통 R&D의 성과관리 및 기술이전, 사업화 업무를 추진하는 기관으로서 연구개발 성과에 대한 소유권, 기술료 징수, 실용화 및 사업화에 성공할 수 있도록 일련의 과정을 지원하는 역할을 한다.



그림 5-4. 성과운영확산센터 운영주체

본 센터의 운영 주체는 총 6가지로 구분된다.

(1) R&D 전문기관

R&D 전문기관은 센터 운영을 위한 인적, 물적 자원 투입 및 업무지원의 역할을 수행한다. 기존에 R&D 전문기관은 성과를 전담으로 관리하는 성과활용부서가 있다. 그러나 성과운영확산센터를 지원하는 전담부서는 그 업무 내용이 다르다. 전담부서는 성과운영확산센터를 직접적으로 운영하기 보다는 전담관리기관으로서의 역할을 수행한다. 성과운영확산센터는 많은 주체가 다양한 요구사항을 만족시키기 위해 활용될 수 있기 때문에 독립성을 보장받아야 하나 국가 예산으로 운영되어야 하는 이유로 동시에 공공성도 확보해야 한다. 독립성과 공공성을 동시에 만족시키기 위해서는 전담기관의 역할이 그만큼 중요하다.

(2) 연구 개발자

연구 개발자는 센터로부터 후속연구 지원, 사용화 지원업무(투자자연계)를 제공받는 역할을 한다. 연구 개발자는 연구 성과 확산에 있어 가장 중요한 주체임에도 불구하고 항상 참여가 미흡했다. 연구 개발자는 실용화, 상용화 과제에서조차 연구 개발단계까지를 자신의 업무 범위로 인식하고 연구결과에 대한 책임을 지지 않았다. 건설교통 R&D성과가 확산되지 않은 가장 큰 이유 중에 하나다. 핵심 연구인력에 대한 연구 내용에도 포함되어 있지만 연구 개발자가 생각하는 연구기간의 범위와 전문기관의 관리자가 생각하는 연구기간의 범위가 상이한 것이 이런 이유의 하나이다. 따라서 연구 개발자는 연구성과확산센터에서 주요 참여자로서의 역할을 수행해야 하고 최종 상품화까지 참여해야하는 의무와 권리를 가지게 된다.

(3) 기술이전기업체

기술이전기업체는 연구원 및 인력 파견의 업무를 수행하며 기술이전 활성화의 역할을 담당하게 된다. 기술이전은 기술실용화의 궁극적인 목적이다. 많은 건설교통 R&D 결과가 보고서에서 머물고 있고 그 성과가 활용되지 못한 것에는 연구 결과에 대한 직접적인 개발이 이루어 지지 못했기 때문이다. TRL에 의한 성과관리를 통해 직접적인 수혜를 받는 것은 기술이전기업체이다. 기존에는 마케팅과 기술상용화라는 두 가지를 모두 달성하기 위해 노력했다면 TRL에 의한 성과관리를 통해 개발된 기술은 이미 실용화를 충족했기 때문에 전문적인 마케팅에 의한 기술 판매를 실시하면 되기 때문이다. 성과운영확산센터를 운영하는데 있어 TRL성과관리가 중요한 이유이기도 하다.

(4) 투자자

투자자는 성과운영확산센터로부터 투자대상을 제공받으며 건설교통 R&D의 발주자와 사용자가 상이한 특성을 반영한 최종사용자는 센터로부터 주요기술 정보를 제공받는 것을 목표로 하는 주체이다. 건설교통기술의 가장 큰 특징이 공공성이기는 하지만 실용화, 상업화를 위해서는 적절한 민간자본이 필요하다. 현재 건설교통 R&D사업도 정부출연금 이외에 민간기업 부담금(매칭펀드)을 통해 자본의 유입을 적극 장려하고 있다. 성과활용을 위한 전반적인 사업이 수행되기 위해서는 투자자들의 적극적인 참여와 기술이 활용이 동시에 이루어져야 한다.

(5) R&D의 발주자

모든 건설교통 R&D의 발주자인 국토해양부는 센터를 통해 관리되는 성과를 전문기관으로부터 보고받아 정책수립에 참여하는 역할을 주 업무로 주체에 참여하게 된다. 건설교통은 법률, 제도적 영향을 많이 받는 산업이다. 성과활용운영센터의 성공여부는 정부의 적극적인 지원에 있다고 할 수 있다. 공공의 이익 증대와 사기업의 발전이라는 두 마리 토끼를 잡기 위해서는 정부의 열린 정책과 적극적인 지원이 무엇보다 필요하다.

(6) 성과운영확산센터

성과운영확산센터는 건설교통 R&D를 통해 창출된 개발 아이템의 발굴에서 사업화에 이르기까지 건설교통 R&D의 성과물에 대한 전반적 지원을 전담하여야 함에 따라 다양한 전문가 및 관련자에게 열린 구조로 운영되어야 한다. 따라서 사업성이 높은 개발기술의 발굴에서 사업화에 이르기까지 전 과정을 여러 분야의 전문 기관 및 관련자들이 결합할 수 있는 환경 조성 및 네트워크 기반 구축 등 열린 구조 확보에 많은 역량이 집중되어야 한다.

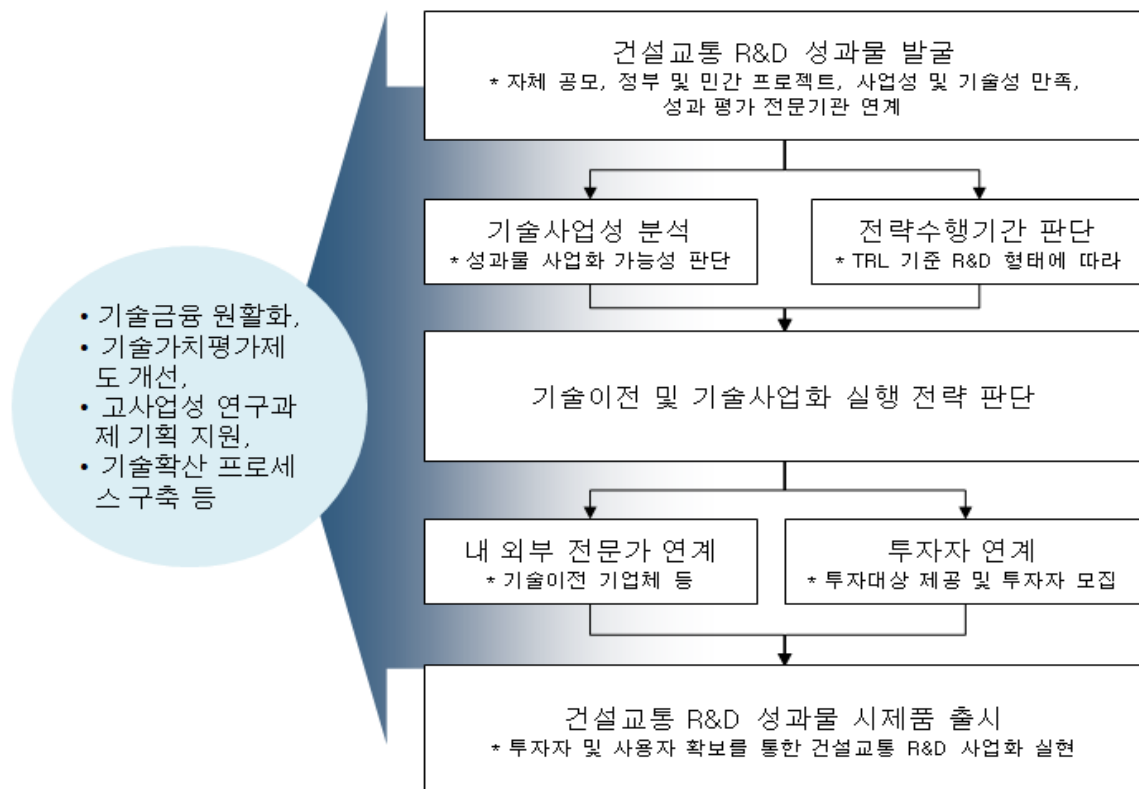


그림 5-5. 성과운영혁신센터 운영 프로세스

성과운영혁신센터의 기본 운영 프로세스는 사업성과 기술성 등을 만족하는 건설교통 R&D의 성과물을 발굴하기 위해 연구과제 기획 및 성과평가 전문기관과 연계하거나 자체적 공모 및 정부/민간 연구과제의 결과물 등의 분석을 통해 아이템을 선정한다. 이에 대한 분석 및 사업화 수행 기간을 판단하여 기술이전 및 사업화 실행 전략을 수립하고, 이에 필요한 내/외부 전문가의 인소싱(insourcing) 및 아웃소싱을 통해 기술이전 및 기술사업화 관련 기관 및 기업체를 연계한다. 또한 투자자들에게는 투자대상을 제공하는 역할을 하여, 본 센터를 거점으로 한 건설교통 R&D 성과물 거래 시장이 자연적으로 형성될 수 있도록 유도함으로써, 투자자 및 건설교통 R&D 기술의 사용자(고객)의 확보를 통해 건설교통 R&D 사업화를 실현하도록 한다.

성과운영혁신센터의 주요 역할은 기술의 사업화를 실행하기 위해 사업화의 성공 가능성 여부를 여러 가지 요소를 통해 살펴보는 것이다. 사업화의 성공가능성 여부를 판단하기 위해서는 객관적이고 체계적인 제반사항들이 고려되어야 하며, 이를 위해서 센터는 기술적용 환경과 사업수행 능력을 판단하는 기술사업성 분석을 실시한다. 기술 사업성 분석은 분석의 대상이 되는 건설교통 개발 기술에 대해 시장성, 기술성, 경제성 등의 순서로 분석한 후, 사업수행 능력과 기술적용 환경 분석을 추가로 검토하여 최종적인 사업성을 판단하는 것이다.

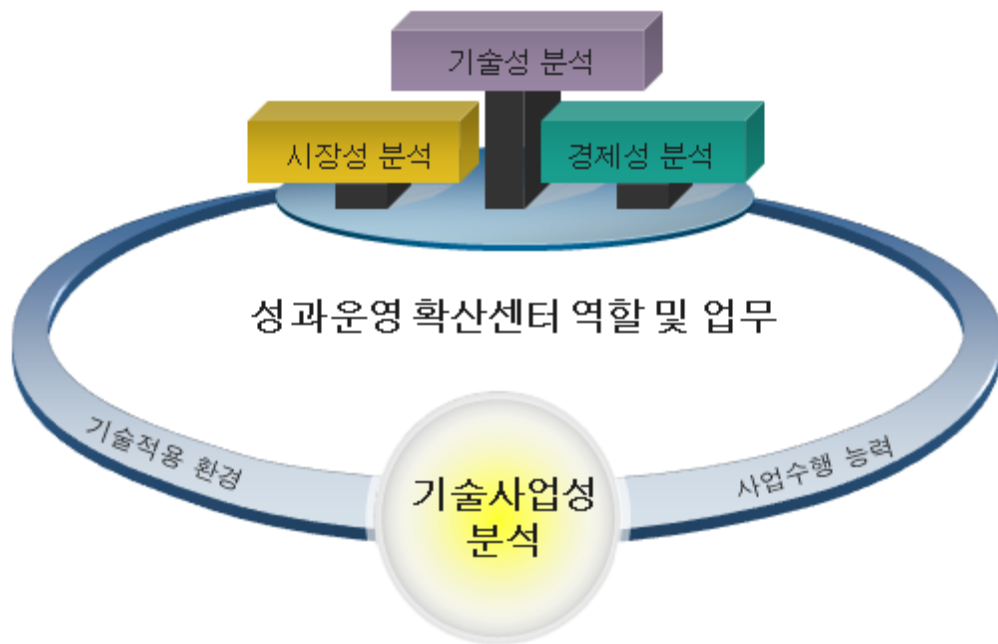


그림 5-6. 성과운영확산센터의 역할 및 업무

분석 대상 아이템에 대한 시장성 분석은 시장의 유무 여부, 시장의 크기, 예상되는 시장 점유율, 아이템 혹은 유사 아이템의 현재 가격, 향후 시장의 성장 전망, 아이템 가격의 변동 추이 등 일반적인 분석은 물론 이를 통해 얻어진 수체데이터로부터 최종적으로는 해당 사업의 금전적 가치를 산출할 수 있을 정도의 상세한 경제성 분석까지를 포괄하는 것이다.

기술성이란 제품의 상품화 가능성을 분석하는 것이다. 여기서 제품이란 R&D와 양산과정을 통해 시장에 내놓게 되는 물품으로 제품에 대한 성능 및 품질 등이 중요한 요소이다. 한편 상품은 소비자가 판단하는 제품의 가치를 포함하는 개념으로 아무리 좋은 성능의 제품이라 할지라도 시장에서 외면을 당할 수 있다. 이에 따라 기술성 분석은 수요자의 관점에서 검토되어야 하며, 이는 기술성 분석이 단순히 제품의 목표 성능을 달성했는지 여부를 검토하는 수준에 그치는 것이 아님을 의미한다.

경제성 분석은 미래의 사업전망을 현재의 관점에서 관찰하여 사업성에 대한 경제적인 지표를 산출하는 과정이며, 이는 사업성 여부 및 사업화 추진 결정의 기준이 된다. 시장성과 기술성을 경제적인 의미를 갖는 수치로 변화시켜 사업성을 표현하는 과정으로, 향후의 전망을 통해 얻어진 수치적인 결과를 현재의 의사결정에 반영하는 것이다. 따라서 경제성 분석에서는 손익전망의 판단이 핵심적인 활동이 되는데, 이는 투자수익률 및 손익분기점 분석 등을 통해 판단하는 과정을 포함한다.

표 5-5. 성과운영확산센터의 기술사업성 분석

시장성 분석	
항 목	세 부 항 목
시장성 및 판매 전망	시장의 특성과 구조
	국내외 수요동향 및 중장기 전망
	해외시장 분석(수출 가능성)
	목표시장 선정 및 판매 전략
	경쟁상황 및 향후 경쟁기관 출현 가능성
	가격구조 및 동향
	판매처, 판매조직 및 유통 경로
	기타 시장성 요소
기술성 분석	
항 목	세 부 항 목
기술적 타당성	기존 상품과의 비교(우위성)
	기술 및 기술인력 확보
	생산능력 및 조업 계획
	생산설비 내역 및 규모
	재원 조달 및 재원 수량 산정
	품질 및 개선 가능성
	기타 기술 및 생산관련 타당성
경제성 분석	
항 목	세 부 항 목
수익성 및 경제성	사업의 경제성 평가
	손익전망
	투자수익률 및 손익 분기점 분석
	사업가치 분석
	기타 경제적, 재무적 타당성 분석

* 출처: 손수현 외 2인, 연구기획평가실무자를 위한 기술사업화

성과운영확산을 위해서는 시장성, 기술성, 경제성과 함께 사업수행 능력과 기술적용 환경 분석을 통해 해당 개발기술의 전략방향을 판단하게 된다. 이때에 판단되는 지표는 크게 경제적 수익성과 기술 혁신성으로 나뉘며, 해당 지표의 고저차에 따라 상품화 전략 방향 혹은 기술혁신 전략 방향을 취하여 상품화 및 기술혁신 모두를 실현하는 사업화 전략으로 방향을 설정하게 된다.

방향 수립은 Allied Signal Decision Grid 방식을 통해 그 방향 여부가 결정된다. 경제적 수익성이 기술혁신성보다 상대적으로 높은 기술의 경우는 상품화 전략방향 설정으로 통해 해당 기술의 상품으로서의 가치를 높이고 시장진출을 할 수 있도록 지원하는 방향을 취하게 되며, 반대로 기술혁신성이 경제적 수익성보다 상대적으로 높은 것으로 분석되는 기술에 대해서는 기술혁신 전략방향을 통해 기술확산 시스템 및 가치 평가 시스템의 개선과 지원을 통해 해당 기술의 판매 시장 활성화를 실현하는 전략방향을 취하게 된다.(그림 5-7 참조)

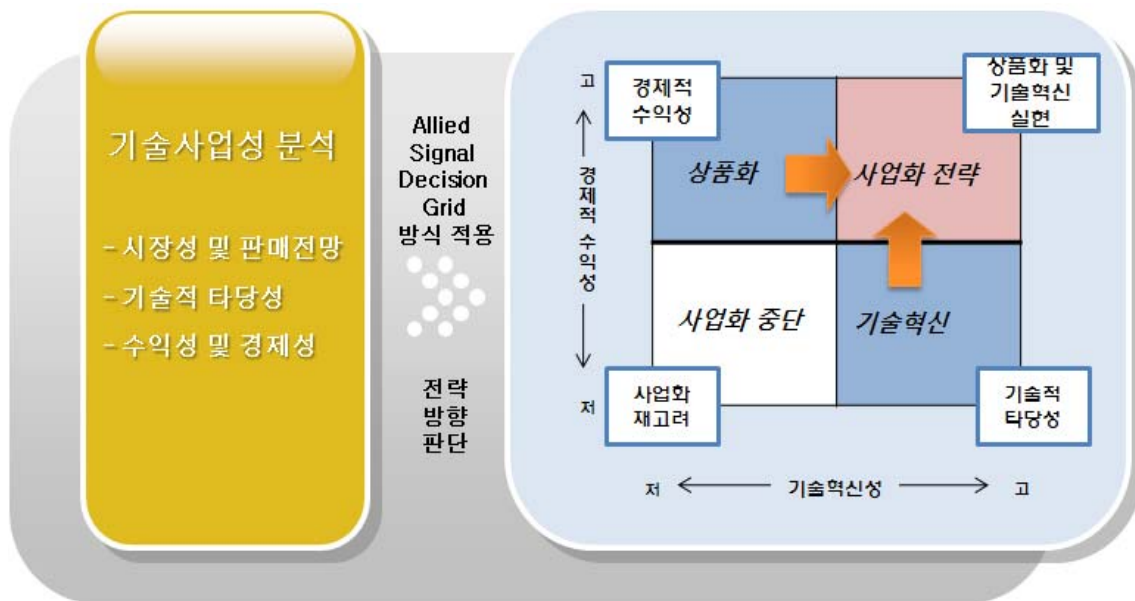


그림 5-7. 기술사업성 분석을 통한 기술사업화 전략방향 설정

본 연구에서는 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화 전략수립에 앞서 기술의 사업화에 대한 방향을 수립하였다. 건설기술이 가지고 있는 공공성 때문에 사실 실용화, 사업화, 상품화를 위한 전략을 수립하는 것은 쉽지 않다. 또한 아직 설립되지 않는 성과활용운영센터의 기능을 중심으로 한 전략은 실용성이 떨어질 수 있다. 따라서 본 보고서에서는 기술이전 및 실용화 전략을 건설기술의 상품화, 제품화를 전제로 기존 문헌의 전략을 접목하여 작성하였다. 이는 건설기술에 대한 막연한 이해보다는 명확한 상품으로서의 건설기술을 정의하여 그 실용화, 상업화를 분명하게 하기 위해서이다.

건설교통 R&D 기술사업화 지원체계 전략은 TRL의 단계별 특성을 반영한 단기, 중기, 장기 전략의 수립에서 시작된다. 다만 TRL의 기술적용 순서는 초기일 수록 제품화, 상품화와 거리가 있기 때문에 오히려 처음에는 장기 전략을, 그리고 나중에는 단기 전략을 적용하는 것이 적합하다. 전략을 기간별로 구분한 다음 각 단계에서의 실용화체계에 대한 전략을 제시한다. 정리하면 제안하는 전략들은

실용화를 목표로 하고 있기 때문에 상품화가 가능한 건설기술을 대상으로 하고 있고 그 주요내용을 요약하면 <표 5-6>과 같다.

표 5-6. 건설교통 R&D 기술사업화 지원 전략

전략 실행 기간	전략 방향	건설교통 R&D 기술사업화 전략	주요 내용
단기전략	상품화	전략 1. 기술상품의 시장진출 지원	기술혁신 중소기업의 창업초기 판로개척 및 글로벌 마케팅 지원을 위해 기술친화형 시장을 조성하고, 대기업-중소기업 간의 상생문화를 형성
	기술혁신	전략 2. 기술확산 시스템 및 프로세스 혁신	지역별 기술사업화 혁신거점 및 협력 네트워크를 구축함으로써, 국가 기술사업화 수준제고와 관련 서비스 산업 및 전문인력 육성
중기전략	상품화	전략 3. 기술금융의 원활한 공급	신기술 제품의 사업화 촉진, 혁신선도 중소기업의 글로벌 성장 지원을 위해 필요한 자금의 원활한 공급체계 구축
	기술혁신	전략 4. 기술가치평가 시스템의 구축	국제적 수준의 공신력 있는 기술가치평가 제도를 구축하고, 기술가치평가의 수요기반 확충을 통해 기술평가 시장 활성화
장기전략	사업성(시장성, 수익성, 기술적 타당성) 증대	전략 5. 사업성 높은 기술의 개발 및 발굴	시장에서 활용가치가 우수한 기술을 개발 및 발굴하고 지적자산화 함으로써 사업화 가능성이 높은 기술을 확보

1. 건설기술상품의 시장진출 지원

해외 건설시장을 보면 대기업과 중소기업 간의 협력적인 사업을 추진하려는 노력이 있다. 건설 기술에 대해서도 중소기업의 창업초기 기술 판매와 글로벌 마케팅 지원을 위해 기술친화형 시장을 조성하고, 대기업-중소기업 간의 “상생문화”를 형성하여 건설기술의 시장을 창출하는 것이 필요하다. 개발된 기술에 대한 활용은 단기 전략에 해당하는 것으로 마치 제조업에서 물건을 팔듯이 국내에서 개발된 건설기술상품을 대기업의 국내외 건설현장에서 구매하여 사용하는 것을 의미한다.

(1) 신기술제품 시장 창출 및 확대

기술상품의 시장진출을 지원하기 위해서는 기술혁신이 유망한 분야에 대해 정책적 차원에서 시장을 창출함으로써 기술혁신제품 개발을 가속화하여야 한다.⁴⁹⁾ 이는

49) 산업자원부, 기술사업화 촉진 종합대책(안), 2004

건설기술의 특성상 기업주도의 시장형성에 한계가 있는 만큼, 건설기술의 공공성을 고려하여 정부정책을 통한 시장창출 및 건설기술혁신 선도 프로그램이 필요하기 때문이다. 시장 및 고용창출을 목적으로 공공분야 주도로 추진되는 대규모 시범사업을 총칭하는 시장 선도 프로젝트 등을 통해 공공성이 강해 민간의 독자추진이 어려운 산업 분야나 첨단기술의 테스트베드를 통해 국제 표준 주도가 가능한 분야에 있어서 시장선도를 추진할 수 있다.

건설기술상품을 거래할 수 있는 시장의 형성은 기술을 활용할 수 있는 기회를 제공하는 것이기 때문에 개발된 건설기술상품의 활용에 있어 직접적이고 단기적으로 적용할 수 있는 전략이라고 할 수 있다. 본 보고서에서 제시하고 있는 TRL은 기술의 성숙도 관리를 통해 진정한 건설기술의 상품화와 그 확산을 목표로 하고 있기 반드시 필요한 단기 전략이다.

(2) 대기업 - 중소기업 협력을 통한 제품개발 촉진

혁신기술 상품의 글로벌 시장 진출을 추진하기 위해 대기업 또는 종합상사 등의 네트워크를 활용한 중소 및 벤처 건설기업의 해외진출을 지원한다. 이는 대기업의 해외네트워크를 활용하여 중소기업의 수출마케팅 지원을 적극 유도하는 것으로 국내 자동차 생산기업의 사례를 보면 협력 중소기업을 해외 대기업에 납품될 수 있도록 주선함으로써 부품기업의 경쟁력을 강화하고 품질향상을 도모하였다. 건설기술 역시 경험과 역량을 갖춘 대기업이 기술개발을 통해 특화된 건설기술 상품을 가지고 있는 중소기업이 해외에 진출할 수 있도록 지원하는 것이 필요하다. 산업별, 지역별, 기업규모별, 마케팅 역량별 차별화된 프로그램의 개발을 통해 세계 산업 및 기술동향 정보를 지속적으로 축적하고 다양한 글로벌 마케팅을 지원하여 해외 시장 개척을 가속화한다.

1. 기술 확산 시스템 및 프로세스 혁신

실용화를 통해 개발된 기술에 대해 지역별 기술사업화 혁신거점 및 협력 네트워크를 구축함으로써, 국가 기술사업화 수준을 제고하고 이와 함께 관련 서비스산업 및 전문 인력을 육성한다. 건설기술의 확산은 성과운영확산센터를 중심으로 진행한다. 건설교통기술평가원은 과제를 발주하고 관리하고 평가하는 기관으로 개발된 기술에 대한 활용을 전담하기에는 어려운 점이 있다. 따라서 기술을 확산할 수 있는 프로세스를 개발하고 이를 활용하는 거점 및 네트워크를 구축하는 것은 시장형성과 함께 초기 단계에 반드시 적용해야 할 전략이라고 할 수 있다.



그림 5-8. 기술상품의 시장진출 지원

(1) 기술사업화에 관한 정책 역량 확충 및 산업기술혁신 모니터링

기술사업화에 관한 정책 역량 확충을 위해서는 기술이전·사업화 예산 확대 및 부처 간 협력체계가 구축되어야 한다. 국토해양부 중심의 건설신기술인증제도 뿐만 아니라 「기술사업화정책심의회」를 통해 부처별로 산재되어 있는 기술이전·사업화 촉진 사업에 대한 조사, 분석, 평가를 실시하고 유관사업의 통합, 조정을 추진하는 등의 범 정부차원의 기술이전·사업화 추진체계가 확립되어야 건설기술이 가지고 있는 공공성을 확보할 수 있다. 공공성에 대한 부분은 성과운영혁신센터를 운영하는데 있어 하나의 축이 국토해양부의 역할이다. 정책과 제도는 사업을 추진하는데 있어 기본이면서도 필수 필요사항이기 때문이다.

산업기술 혁신체계의 효과성 및 효율성을 제고하기 위하여 산업기술 분야의 혁신 수준을 객관적, 정량적으로 평가하기 위한 측정 지표인 「기술성숙도 총족지표」를 개발하여야 하며, 개별지표는 정량적 측정과 지속적 평가와 자료 수집을 할 수 있도록 구성되어 설계되어야 한다. 하지만 건설기술상품화에 대한 평가를 단순한 지표만으로 측정하는 것은 문제가 있다. 따라서 평가지표의 활용은 상품화 및 상업화가 가능한 특정 프로젝트에 대해 특정 비율에 따라 적용하는 것이 중요하다.

(2) 기술사업화 거점 및 협력 네트워크 구축

성과혁신 운영센터는 기술이전 컨소시엄과 기술사업화에 관한 지역거점 구축을 통해 기술사업화 및 기술혁신거점 네트워크로 활용하고, 유사기관 업무의 통합 조정을 실시한다. 이를 통해 시장메커니즘에 입각한 건설기술 수용에 따른 전문서비스를 제공하기 위한 노력을 해야 한다. 이는 국가 기관의 운영에 있어 민간기업 경영시스템 도입 및 민간 전문기관 활용으로 전문적인 기술사업화

서비스를 제공할 수 있어야하며 이로 인해 기술혁신기관에 기술사업화 역량을 파급하고 전반적인 기술사업화 역량을 강화 할 수 있다.

또한 연구개발자와 수요자, 지원기관(기술금융, 기술경영) 등 기술혁신 프로세스상의 다양한 혁신주체들이 성과운영확산센터를 구축하고 정보를 공유함으로써 기술사업화를 촉진할 수 있고 이를 통해 신기술에 대한 투자를 중개하고 기술사업화 전문 인력을 양성하고 교육할 수 있으며, 기술사업화의 애로사항 및 정책 수요를 발굴하여 정부를 대상으로 정책을 건의하는 등의 효과를 가져올 수 있다.

또한 개발된 실용화 건설기술에 대한 기술이전설명회, 기술상담회, 기술발표회, 세미나 및 포럼 등 기술이전·사업화와 관련된 다양한 행사를 집중적으로 운영함으로써 기술공급자와 수요자, 기술중개자, 기술투자자간의 실질적 만남 및 교류의 장을 조성하고, 이를 통해 기술수요자는 기술탐색비용을 절감할 수 있고 전략적인 기술 아웃소싱이 가능하게 되며, 기술혁신거점을 중심으로 기술이전·거래의 전국적 네트워크를 구축 및 활성화 할 수 있다.



그림 5-9. 기술확산 시스템 및 프로세스 혁신

2. 건설기술금융의 원활한 공급

새로운 기술 제품의 사업화 촉진, 혁신선도 중소기업의 글로벌 성장 지원을 위해 필요한 자금의 원활한 공급체계를 구축한다. 건설의 경우는 연구 개발자와 관리자 간에 사업화 비용에 대한 생각의 차이가 존재한다. 앞서 기술했던 것처럼 개발자는 실용화에 대한 이해가 부족하고 특히 기술금융에 대한 생각이 관리자보다 적다.

관리자는 기술에 대한 이해가 적다. 그런 이유로 기술금융에 대한 필요성을 인식하지 못하고 건설기술의 상품화가 이루어지지 못한 것이다.

(1) 기술투자 성공사례 창출을 통한 기술금융의 선진화 계기 마련

신기술 제품의 사업화 촉진을 위해서는 사업화 초기단계의 기술투자가 확대되어야 한다. 성과운영확산센터에 참여하는 투자자의 역할이기도 하다. 건설기술금융은 타 산업과 마찬가지로 「건설기술 실용화 전문투자펀드」 조성을 통해 실현될 수 있다.

해당 펀드의 성격은 신기술의 사업화 초기단계에 투자하는 고위험/고수익으로서 펀드운영은 신기술사업화 추진 및 인큐베이팅 경험이 풍부한 전문 펀드매니저를 지정하여 운영하도록 한다. 이러한 투자 상품 조성을 통해 신기술 사업화 기업과 프로젝트를 대상으로 장기간 집중 투자를 하는 것이 가능하게 된다.

기술펀드의 구축은 성과운영확산센터에 참여하는 주체들의 역할에 따라 결정된다. 정부는 제도적 유인책 마련에 집중하고, 펀드 구성과 운영은 민간의 투자은행 및 자산운용사에서 주도하도록 한다. 이를 통해 기술혁신형 중소기업이 추가 기술개발 및 신규 사업개발, 해외시장 진출 등으로 글로벌 경쟁력을 확보하는데 필요한 자금을 투자할 수 있게 되며, 기술혁신형 중소기업들 간의 M&A 또는 해외기업등과의 조인트 벤처 설립 등에 필요한 자금을 공급할 수 있게 된다.

(2) 기술을 담보로 자금공급이 가능한 금융시스템 구축

기술보증기금의 전문성 강화와 기술평가보증의 확대 시행을 통해 기술평가 전문화를 도모하고 기술보증기금의 기술평가보증비율을 확대 추진하도록 한다. 이를 통해, 기술가치평가제도와 연계가 가능하고 신기술 창업분야의 지원을 강화할 수 있게 된다. 또한 보증의 경우, 중소기업은 주기적 상환부담을 갖고 금융기관은 투자 수익이 미미하기 때문에 기술에 대한 투자라는 의미의 기술금융에는 부적합한 형태를 띠는 현재의 보증은 투자개념으로 전환하는 다양한 상품을 개발하도록 한다. 보증 받는 기업의 주식을 보증수수료로 받는 방안 등의 보증과 투자개념이 결합된 복합파생상품을 개발 및 운용하도록 한다.

(3) 회수시장 활성화를 통한 투자시장의 선순환 구조 회복

기술이전 및 사업화는 기술투자 회수시장의 활성화를 통해 가능하다. 이를 위해서는 중소 및 벤처기업의 M&A의 법적 근거 마련을 위해 제정된 「벤처기업특별조치법및동시행령」을 기술사업화 추진 기업에 확대 적용하는

방안이 필요하다. 이를 통해 상장기업, 비상장 주식회사, 유한회사, 개인사업자 등 모든 형태의 기술사업화 추진 주체(기술사업화 인수주체 및 피인수주체들)간의 자유로운 M&A를 허용하게 되며, 기술사업화 기업의 M&A시 주식, 지적재산권 및 기술인력 등 다양한 형태의 현물 출자를 인정하는 방안이 필요하다.

또한 건설기술상품을 개발하는 기업에 적합한 조직인 유한회사에 대한 활용도가 매우 저조한 국내 실정을 변화시키고 이에 대한 설립을 활성화 할 수 있는 방안을 강구하여야 한다. 유한회사는 주식회사에 비해 인적 결속력이 강하므로 기술보유자와 자본의 결합이 용이하고 기술·기능축적 등 핵심역량 강화에 유리하다. 건설기술상품의 특성 상 사용하는 대상자가 명확하고 그 목적이 분명하기 때문에 유한회사 설립 활성화로 핵심 기술을 보유한 인력의 기술출자를 인정하여 핵심 인력의 유지 및 동기부여를 촉진 시킬 수 있으며, 법인세를 면제 또는 감면하여 법인세와 개인 소득세의 이중과세 문제를 해결할 수 있다.

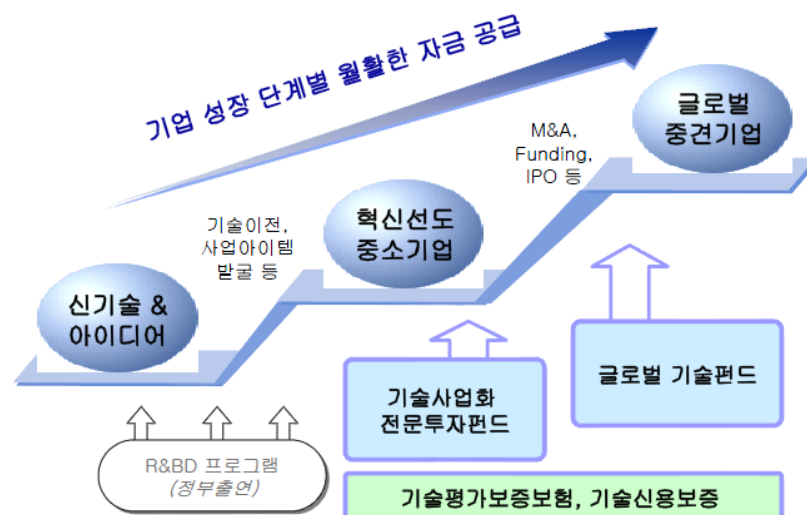


그림 5-10. 기술금융의 원활한 공급

3. 기술가치평가 시스템의 구축

건설기술에 대한 가치평가는 매우 미흡한 것이 현재 상황이다. 건설교통기술이 가지고 있는 공공성과 대규모성도 그 이유 중에 하나이다. 그렇다 하더라도 TRL을 통해 기술의 상용화가 실현되었다면 국제적 수준의 공신력 있는 기술가치평가 제도를 구축하고, 기술가치평가의 수요기반 확충을 통해 기술평가 시장활성화를 도모해야 한다.

(1) 공신력 있는 기술가치평가기관을 통한 평가 및 인프라 조성

기술이전·사업화의 주체들의 판단을 지원하기 위해서는 기술가치평가 시스템이 필수적이며, 이에 공신력 있는 국가 기술사업화 중심기관의 평가를 통해 객관성과 공정성이 확립된 기술가치평가 모델 개발 및 평가업무를 수행하고 기술사업화전문 자산운영 및 기술투자조합을 관리하며 기술사업화 프로그램, 국가기술은행 등의 기술거래 인프라를 조성하도록 한다.

기술가치평가 시스템 인프라 조성을 위해서는 국내 실정에 적합한 건설기술 가치평가모델을 개발하여야 한다. 기존에 한국과학기술정보기술원에서 사용하고 있는 기술가치평가 시스템은 건설기술에 적용하기에 적합하지 않은 부분이 있다. 우선 건설기술에 대한 데이터베이스가 부족하다. 특히 시장에 대한 가치를 추정할 수 있는 자료가 부족하기 때문에 제대로 된 기술의 가치를 측정하는 것은 어렵다. 따라서 건설교통 기술·산업 분야별 평가 수행목적별 특성에 따라 전문화된 신뢰성 있는 다양한 건설기술가치 평가모델이 개발되어야 하며, 기업가치평가, 신제품개발 타당성 평가, 라이선싱 협상, 기술개발전략 등이 이루어져야 한다. 또한 개발된 기술가치평가 모델은 기술가치평가 시행의 확대를 통하여 경험과 활용사례 데이터베이스를 구축하고 지속적으로 수정 및 보완하여 평가의 신뢰성을 제고함으로써 보급의 확대를 추진하여야 한다.

또한 기술거래사, 기술가치평가사, 기업가치평가사 등 기관별로 분산된 자격의 수준, 부여방법, 보수·관리 등 기술가치평가 자격제도의 전반적 정비를 통해 건설교통분야에 대한 전문성을 제고하도록 한다. 이를 통해 전문직업으로서의 평가사의 업무범위 및 책임과 의무에 대해 법정화를 실시하는 등 정부의 공신력을 부여하고 국제협력 및 자격상호인증을 추진하는 등의 효과를 가져올 수 있다.

(2) 근거법령 정비 등 제도혁신 및 인프라 조성

기술사업화를 활성화 하고 해당 정책의 영향권을 확대하기 위해서는 법적 근거를 마련하여야 하며, 이를 위해서 「기술이전촉진법」을 「기술사업화촉진법」으로 확대 개편하여야 한다. 「기술사업화촉진법」을 통해 기술거래소를 기술가치평가 전문기관으로 개편하고 기술가치평가모델을 개발 및 운영하여 전문인력을 양성하고 기술사업화전문투자펀드 조성, R&BD 프로그램의 도입 등 기술사업화 촉진을 위한 지원사업의 추진이 가능하게 된다. 또한 정부 및 공공기관에 대해 R&D 과제 및 보유기술의 기술가치평가 및 사업화 촉진의 책무가 부여된다. 부가적으로 기술사업화 혁신지표를 개발하고 운용하며 기술이전 및 사업화 기여자에 대한 인센티브를 강화 할 수 있다.

국내 산업계의 혁신기술 개발을 촉진하여 기술이전 및 사업화를 활성화하기 위해서는 기술가치평가에 대한 기술개발 보상금제도가 연계되어야 한다. 이는 구체적이고 정량화된 기술개발목표를 설정하고 이를 위한 기술개발 소요비용 및 개발 후 경제적 파급효과 등을 감안하여 기술평가 전문기관을 통해 해당기술에 대한 가치평가 및 보상금을 책정하는 제도로써 기술 개발 선두 주체에 대한 개발 보상금을 지급하여 기술가치평가 시스템을 확립하고 기술이전 및 사업화를 활성화하는 제도적 장치를 마련한다.

(3) 기술가치평가 수요기반 확충

기술가치평가 시스템이 구축되고 운영되기 위해서는 수요기반이 확충되어야하며 이는 기술가치평가와 기술금융, 기술마케팅 등의 유기적 연계시스템 구축을 통해 실현될 수 있다. 기술거래기관 또는 연구개발 전문기업이 대학, 연구소, 기업 등으로부터 기술을 구매하여 추가개발 및 타 기술과의 접목을 통해 개량한 후 기업 등에 판매하는 기술구매·개량사업(P&D, Purchase & Development)을 통해 기술가치평가와 연계한 기술구매·개량 사업을 추진하고 기술자체의 해외를 겨냥으로 한 고부가가치화 및 상품화 전략의 수립이 가능하다. 성과운영확산센터의 주요기능이기도 하다.



그림 5-11. 기술가치평가 시스템의 구축

4. 사업성 높은 기술의 개발 및 발굴

TRL에 의한 건설교통 기술개발은 초기의 기획이 매우 중요하다. TRL로 성과관리를 한다는 것은 단순한 연구목적은 아니다. TRL 1~3단계는 일반적인 연구개발의 초기단계와 같은 기능을 하지만 그 활용도나 목적은 완전히 다르다. 건설교통기술상품을 개발하여 판매하고 시장에서 활용가치가 우수한 기술을 개발 및 발굴하고 지적자산화 하기 위한 것을 목적으로 하기 때문이다. 따라서 사업화 가능성이 높은 기술을 확보하는 것은 장기적으로 봤을 때 매우 중요하다고 할 수 있다.

(1) 정부 R&D 주 과정에서 사업성 검토를 강화

시장지향형 R&D 시스템을 구축하기 위해서는 연구 기획 및 선정단계에 있어서 경제성 평가 및 사업화 타당성 평가가 강화될 필요가 있다. 이를 위해서는 연구기획에 대한 충분한 예산배정을 통해 충실한 사전 연구 기획을 수행하여야 하며, 프로젝트 전반에 있어 체계적인 기획·추진·관리가 이루어져야 한다. R&D 수행에 앞서 철저한 시장 분석과 기술의 사업화 타당성 평가를 체계적으로 추진함으로써 R&D의 기술이전 및 기술사업화 성공확률을 제고하는 효과를 기대할 수 있다.⁵⁰⁾

성과운영확산센터에 건설교통기술평가원과 같은 전문기관이 참여해야 하는 이유이다. 건설교통기술의 개발에 앞서 기획단계는 건설교통 R&D사업의 성공여부를 판단하는 결정적인 단계이기도 하지만 실용화 상품화를 위해서는 연구개발자가 스스로 CTE를 설정하고 활용할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 초기 단계에서의 사업성 검토는 경제성 검토와 함께 기술의 상업화 여부도 고려하는 것이 중요하다.

(2) 국가지적재산 전략수립 및 특허관리·보호체제 구축

사업성 높은 기술을 개발하기에 앞서 개발 예정인 기술 및 기술자원의 관리·보호 시스템 구축이 선행되어야 한다. 이를 위해서는 먼저 공공연구기관의 기술 관리조직 및 기술마케팅체계가 구축되어야 한다. 또한 대학 산학협력단, 출연(연)의 TL0 등 기술 관리조직이 특허관리·보호에 대한 전문성을 확보하도록 교육·훈련프로그램 등이 제공되어야 한다. 기술보안 운영매뉴얼을 개발하여 보급하는 것 또한 지적재산 관리·보호체제 구축에 필요하다.

50) 교육과학기술부, 출연(연) 개발기술 실용화 촉진전략 수립방안, 2008

이러한 체제 구축을 통해 첨단기술, 고급지식·정보를 지식재산권으로 보호함으로써 기술사업화 과정에서의 특허로 인한 분쟁발생을 미연에 방지할 수 있으며, 효과적 기술보안체제 구축을 유도할 수 있다.

(3) 국가 보유기술 및 해외 기술자원의 효율적 활용 촉진

건설교통기술의 복잡성과 대형화에 따라 기초기술과 응용기술 간의 경계가 불분명해지고, 기술수명주기 또한 단축됨에 따라, 초기 연구기획 단계부터 사업화를 고려한 TRL기반의 기술개발 전략의 수립이 필요하다. 이러한 전략 수립을 위해서는 국가 보유 기술에 대한 효율적 활용이 촉진되어야 하며, 이에 따라 부처 간 연구 성과의 연계 및 공동기획 프로그램이 확대되어야 하며, 기초연구 단계에서부터 부처 간 연계를 강화하여야 한다. 건설교통기술 분야에 대해서는 대형 연구프로그램의 체계적 추진 및 부처 협력을 확대시키고 파급효과를 고려하여 민간과의 공동출자를 통해 집중 지원함으로써 기술사업화 전략 및 산업육성 전략과 연계 추진하는 방안이 필요하다.

또한, 선진국 및 원천기술 보유국과의 해외 기술협력 거점 확대 및 글로벌 기술협력 강화를 통해 구체적인 기업지원 및 가시적인 성공사례 도출이 가능하도록 성과운영확산센터를 운영해야 한다. 중소기업의 해외기술정보 획득 및 국제기술협력 전략수립을 지원함으로써 진출국 기술시장 정보 및 기술거래·사업화 현황을 파악하고 거래중개 및 알선 등을 지원하고 이를 통해 기술수출 및 마케팅 지원 프로그램을 개발 및 운영하는 효과를 가져 올 수 있기 때문이다.

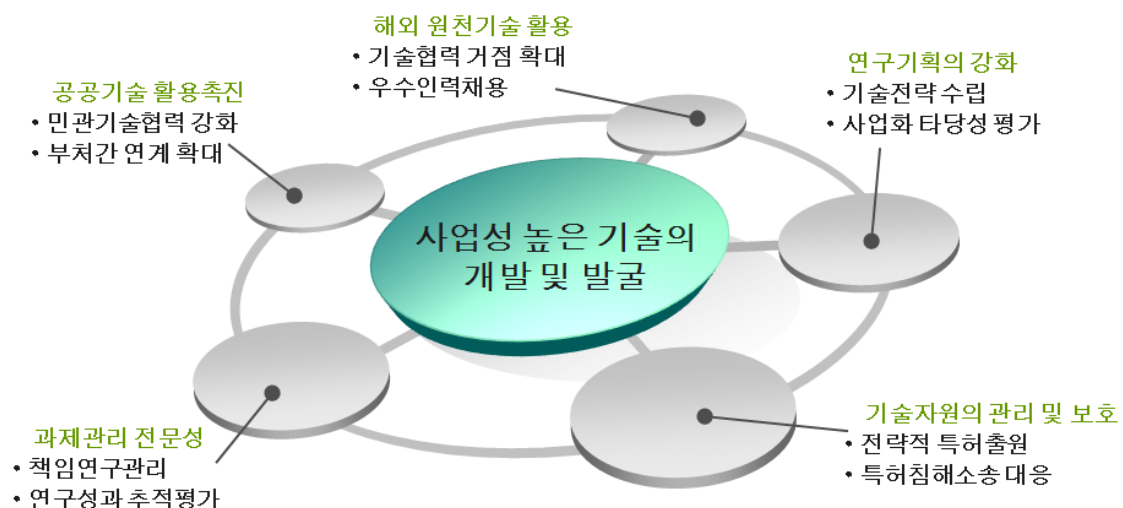


그림 5-12. 사업성 높은 기술의 개발 및 발굴

제6장 결론

건설교통 R&D사업은 특성 상 공공기술을 대상으로 하기 때문에 실용화 전략을 수립하기 어렵고, 이로 인해 건설교통 R&D성과물이 실용화되어 현장에 적용되는 건수는 점점 줄어들고 있다. 그러므로 공공기술을 실용화하기 위해서는 개별 R&D사업의 특성에 따른 기술이행단계별 평가체계의 확립이 필요하며 실질적인 성과를 창출할 수 있는 실용화 방안이 수립되어야 한다.

본 연구에서는 건설교통 R&D 사업의 기술이행단계별 성과관리 체계 확립하고자 미 항공우주국(NASA), 미국방부(DoD), 미에너지부(DoE) 등에서 활용되고 있는 기술성숙도(Technology Readiness Level: 이하 TRL) 및 기술성숙도평가(Technology Readiness Assessment: 이하 TRA) 개념을 도입한 평가모델을 제시하고자 한다. 또한 기존 건설교통 R&D의 성과관리 운영상의 문제점을 파악하여 본 연구에서 제시한 평가모델을 활용한 성과관리 전략을 R&D 성과관리의 단계별로 나누어 수립하고 건설교통 R&D 사업의 실용화 향상 방안을 모색하는데 그 목적이 있다.

본 연구를 통해 건설교통 R&D 사업의 평가 체계 및 성과 관리 체계를 분석하고, 건설교통 R&D 사업의 특성을 반영한 ‘기술성숙도 기반의 건설교통 R&D 평가 지침서’를 작성하였고 건설교통 R&D의 성과관리 전략과 기술이전 및 기술사업화 지원체계 전략을 수립하였다.

■ TRL 및 TRA 개념 연구

미국 NASA, DoD, DoE 등에서 R&D사업의 기초연구부터 실용화 또는 사업화에 이르기까지 단계별 기술수준을 판단할 수 있는 정량화된 측정지표를 제시하기 위해, 활용되고 있는 TRL 및 TRA의 적용 현황을 조사하였다.

이를 통해, TRL은 개발자와 최종 사용자간의 공통된 의사소통 수단이며, 기술 성숙의 의미는 그 기술이 어느 정도의 능력이 있는가를 의미하는 것이 아니라, 최종 목적물에 응용되어 쓰일 수 있기까지 어느 정도 준비가 되어 있는가를 의미하는 것으로, 기술 자체의 가치나 능력과는 근본적으로 관련이 없다는 것과, TRL은 확인된 결과를 토대로 제품개발을 위한 구체적인 성능, 사양, 비용 등의 목표가 결정되는 민간기업의 ‘Bottom-up 기술 개발방식’과 달리 최종 사용자(End user)의 요구사항을 기반으로 하는, 제품개발의 요구조건에 맞추어 기술개발 목표가 결정되는 ‘Top-Down 기술 개발방식’에 맞추어 개발된 평가지표라는 특징을 확인하였다.

TRL 및 TRA를 통한 성과관리는 기존의 성과관리와 비교하여, 연구 결과물을 기술 중심의 정량적인 단계로 표현하고, 기술적 검토를 통하여 이해 관계자들 사이의 공통된 정보 교환 및 의사소통수단으로 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이를 통해 현재 시점까지 진행된 R&D 결과가 최종적인 실용화에 도달하기까지 기술개발이 얼마나 진척되어 있고 향후 어떻게 관리하여야 하는지를 보여주는 도구로서, 실용화 수준과 거리가 먼 성과지표에 의해 평가가 수행되던 기존 R&D 사업 평가체계의 패러다임을 본질적으로 변화시키고 실용화 달성율을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

■ 건설교통 R&D 사업 TRA 기반 R&D 평가 모델 수립 및 Case study

TRL은 궁극적으로 기술의 실용화 가능 여부를 판단하는 기준이 되므로 TRA는 기술의 최종 사용자 관점에서 이루어져야 한다. 예를 들어 국방분야의 경우, R&D를 통해 개발하는 최신 무기체계는 연구수행자가 누구인가와는 관계없이 완성된 최종 성과물의 사용자가 국방부가 될 것이므로 일관된 평가가 가능하다. 하지만, 국가 건설교통 R&D사업의 경우, 정부가 해당사업을 지원하고 관리하는 전문기관이 하고 있지만, R&D 성과물에 대한 최종 사용자가 국토해양부나 전문기관이 아니므로 이러한 운용환경의 차이점을 고려한 관리체계가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 건설교통 R&D 사업의 특성을 반영한 TRA 체계 적용을 위하여, 먼저 건설교통 R&D 사업을 5가지 유형으로 분류하고, 각각의 유형별 TRL 9단계를 정의하고, 건설교통 R&D 사업의 성패를 좌우하는 핵심요소기술들(CTEs)을 하드웨어, 소프트웨어, 시스템으로 분류하여 각각의 유형에 맞는 TRL 체크리스트를 작성하였으며, 이를 전문기관에서 활용할 수 있도록 기존 R&D 평가 프로세스를 분석하여 TRL 적용 프로세스와 사후 조치 방안을 포함한 ‘기술성숙도(TRL) 기반의 건설교통 R&D 평가 지침서’를 작성하였다.

또한, 건설교통 R&D 사업에의 TRL 및 TRA 개념 적용의 적정성 여부를 판단하기 위해, 기 종료 된, 연구단 규모의 건설교통 R&D 사업을 대상으로 Case study를 진행하였다. TRA 수행을 위한 전문가 구성은 해당 R&D 과제에 대해서 가장 많은 지식을 가지고 있는, 각 세부 과제의 담당자들로 선정하여, 해당 과제의 CTE들을 선정하여 기초평가와 상세평가를 실시하였다. 그 결과 상세평가의 기술성숙도 결과가 기초평가보다 높거나 낮은 성숙도로 판정된 부분이 있으나, 그 차이가 한 단계 Level 내·외로, 대부분 기초평가와 비슷한 결과를 나타냈다. 이는 연구자가 TRL 개념을 이용하여 자신의 R&D 결과물을 자체 평가할 경우, 비교적 객관적으로 자체 평가가 이루어질 수 있을 것이라는 예상을 가능하게 한다.

■ 건설교통 R&D 사업의 실용화 향상을 위한 TRL 적용 연구의 시사점

건설교통 R&D 사업에 TRL 및 TRA 개념의 효과적인 적용을 통한 실용화 향상을 위해서는, 1) 건설교통 R&D 사업 참여 주체들이 기술성숙도평가를 상호간의 정확한 정보교환을 위한 의사소통수단으로 인식해야 하며, 2) 발주기관은 기획 단계부터 해당 R&D 사업의 결과물에 대한 목표성능 및 요구사항을 명확하게 제시해야 하고, 3) 연구자는 R&D 진행에 따라 단계별로 어떤 환경에서, 어떻게 결과물을 구현했는지에 대하여 명확하게 제시해야 한다. 4) 마지막으로, 연구 결과물의 TRL 판정 결과가 해당 R&D 사업의 중요 의사결정 요소로 활용되어야 한다.

앞서 언급된 많은 장점을 가진 TRL을 이용한 R&D 사업의 평가는 개별 기술의 성숙도를 평가하는 데에는 대단히 유용한 도구이나, 전체적인 시스템의 수준평가나 개별 기술을 복합적으로 평가하는 분야에 적용하기 위해서는 또 다른 개념의 성숙도 수준 평가 방법을 고려할 수 있다. 즉, 제조성숙도(Manufacturing Readiness Level: MRL, 시스템성숙도(System Readiness Level: SRL) 등이 대표적인 예로, 건설교통 R&D의 다양한 특성을 포괄적으로 다루기 위해 향후 이에 대한 연구와 적용이 필요할 것으로 판단된다.

■ 건설교통 R&D 개발 기술의 실용화를 위한 성과관리 및 기술사업화 전략수립

건설교통 R&D기술의 성과관리 전략을 수립은 현재 건설교통 R&D의 성과관리 현황을 연구사업의 진행단계별로 구분하여 분석하였다. 연구사업의 기획단계에서는 성과창출보다는 결과지향적인 불명확하고 중복성을 나타내는 일회성 지표로 인해 연구성과가 과장되는 문제점이 나타났다. 연구가 진행 중일 때에는 단기성과에 치중한 성과관리와 활용 시스템의 부족이 조사되었고 연구 종료 후 사후단계에서는 연구성과의 성공/실패 판단 여부가 어렵고 기술실용화 가능성을 판단하기 힘들다는 것이 문제점으로 도출되었다. 본 연구에서는 이런 문제를 해결하기 위해 TRL 과정을 성과관리 프로세스에 적용하여 건설교통 R&D 핵심 요소 기술을 다섯 가지 유형으로 분류(공법·기법, 장치·장비, 재료·자재, 소프트웨어, 시스템)하였고 연구 진행 단계별로 사전관리, 중간관리, 사후관리의 성과관리를 사용자·발주자, 연구자, 관리자의 연구 주체별 나누어 서로 간의 역할과 적용방안 제시하였다. 또한 건설교통 R&D의 핵심 연구인력을 육성하는 요소로서, 적정연구비 확보, 고용안정, 성장가능성 제시, 지속적 정부지원의 네 가지를 도출하였고, 핵심 연구인력 육성 요소의 문제점은 제도적인 측면과 관리 방식적인 측면으로 나누어 핵심 연구 인력의 효율적인 활용방안을 제시하였다.

건설교통 R&D의 기술이전 및 기술사업화의 현황은 기술이전의 다양한 정의와 함께 현재 실시되고 있는 기술사업화의 유형과 각 유형별 주요 내용을 조사하여 파악하였다. 이를 통해 현 건설교통 R&D 기술이전 및 기술사업화의 운영에 있어서 시장 실패와 시스템 실패 그리고 예산, 구조, 법률상에 문제점이 있는 것을 확인하였고 이러한 문제점을 해결하기 위해 ① 사업성 높은 기술을 개발 및 발굴, ② 기술확산 시스템 및 프로세스를 혁신, ③ 기술가치평가 시스템을 구축, ④ 기술금융의 원활한 공급, 그리고 ⑤ 기술상품의 시장진출 지원과 같은 기술이전 및 기술사업화 활성화 사업전략 다섯 가지를 제시하였다.

건설교통 R&D는 개별기술로서 사업화하기는 어렵다. 하지만 TRL을 활용한 단계별 성과목표 설정하고 건설교통 R&D프로세스 상의 기획, 운영, 평가 단계에서 각 주체간의 역할에 따른 성과관리를 실시한다면 지금 보다 더 많은 기술실용화가 가능할 것으로 사료된다.

■ 관련 후속 연구과제 제안

본 연구를 통해 도출된, 건설교통 R&D분야에 TRL 및 TRA를 적용하기위한 기초연구로서 건설교통 R&D 사업 유형별 TRL 9단계와 TRA 수행을 위한 프로세스 및 체크리스트를 바탕으로, 건설교통 R&D 사업의 평가 및 성과관리에 TRL/TRA 개념을 구체적으로 실행하기 위하여 다음과 같은 후속 추진과제를 제안한다.

1) 건설교통 R&D 평가체계를 기반으로 TRL 평가 매뉴얼 작성

가. 본 연구에서 제시한 ‘기술성숙도 기반의 건설교통 R&D 평가 지침서’를 기반으로, 현행 평가체계 및 실제 조건을 고려한 상세한 실행 계획과 세부 지침이 포함된 TRL 평가 매뉴얼 작성이 요구된다. 매뉴얼은 전문기관의 평가자, 연구기관의 연구자들 각각의 역할이 명확하게 명시되도록 연구관리자용, 평가자용, 연구자용 별도로 작성되어야 한다.

나. TRL 평가체계가 현행 건설교통 R&D 평가 체계와 병행하여 실행될 수 있도록 기존 평가체계 수정 방안 제안

2) 매뉴얼 적용성 평가를 위한 건설교통 유형별 Case study 수행

가. 작성된 매뉴얼의 적용성을 판단하기 위하여, 장비/장치, 공법/기법, 재료/자재, 소프트웨어, 시스템의 5가지 유형을 대표하는 R&D를 선정하여, 시범적용을 통한 Case study 수행

나. 기 종료된 건설교통 R&D 사업 중, 실용화에 도달하지 못한 사업 전체를 대상으로 TRL 수준을 판단하는 작업 수행

3) 건설교통 R&D 결과물의 기술이전/사업화를 위한 정책 제언

가. TRL 수준이 판단된, 실용화에 도달하지 못한 기 종료 건설교통 R&D 사업들의 TRL 단계별 기술이전 및 사업화 전략 수립 방안

나. 수립된 전략이 공식적으로 규정될 수 있도록, 건설교통 R&D 결과물의 기술이전/사업화 정책 제언 필요

제7장 참고 문헌

- 1) 경제사회연구회, 선진국 연구기관 제도 및 운영사례, 해외연구기관 조사보고서, 2002
- 2) 고윤미, 김병태, 공공연구기관의 연구성과 관리 활용 현황 및 활성화 방안, 한국과학기술기획평가원, 2007
- 3) 고흥석 외, 국방기술수준조사의 이해와 실무, 2011
- 4) 과학기술혁신본부, 정부연구개발사업의 성과관리 현황과 향후과제, 2006
- 5) 교육과학기술부, 국가연구개발사업 성과관리 활용에 대한 조사 분석 및 개선방안 연구, 2008
- 6) 교육과학기술부, 개발기술 실용화 촉진전략 수립방안, 2008
- 7) 교육과학기술부 한국연구재단, 2011년 교과부 R&D 사업 성과관리 및 기술료 제도 설명회, 2011
- 8) 국방과학연구소, ADD 국방과학기술 플러스, 지식기반 획득을 위한 기술성숙도 평가 2007
- 9) 김성원, 국가연구개발 법제의 지재권성과 귀속과 활용에 관한 고찰 - 국가연구개발관사업 관리 등에 관한 규정내용을 중심으로 -, 정보통신연구진흥원 지재권 센터, 지적재산권 및 산기법센터 학술대회, 2009
- 10) 김중명, 국방연구개발 사업의 시스템 기술성숙도 평가 모델 개발, 아주대학교 대학원 시스템공학과 박사학위 논문, 2010
- 11) 김찬수, 박경진, 국방핵심기술 연구개발의 기술성숙도 평가 적용에 관한 연구, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 2009
- 12) 나경환, 국가연구개발 생산성 제고를 위한 이슈와 과제, 한국과학재단 국책연구단, 2007
- 13) 박노옥, 송호신, R&D 사업의 성과관리와 재정지원 개선 방안, 한국조세연구원, 2009
- 14) 박병무, 국가연구개발사업의 효율화를 위한 성과관리제도 개선 연구, 부경대학교 경영연구원, 2006
- 15) 박준수 외, 기술성숙도평가(TRA) 방법론 및 적용방안 연구, 국방기술품질원, 2009
- 16) 박환표, 건설 R&D 성과의 경제적 파급효과 분석, 한국건축시공학회 논문집 제10권 3호, 2010
- 17) 배경화, 중소기업 기술개발사업화 정책금융의 성과관리 및 운영방안, 한국과학기술평가원, 2011
- 18) 방위사업청, 제조성숙도평가(MRA) 업무지침, 2012
- 19) 서울시정개발연구원 부설 산학연지원센터, 2011년도 서울전략산업 지원사업 기획보고서, 2011

- 20) 산업자원부, 2006년 기술이전사업화백서, 2006
- 21) 성과혁신포럼, 성과평가 및 관리 매뉴얼 2009
- 22) 성균관대학교 김경환, 해외선진국의 기술사업화 정책 및 시사점, 2008
- 23) 유명희, 제2차 연구성과 관리·활용 기본계획(안), 국가과학기술위원회 운영위원회, 2010
- 24) 유희열, 국가연구개발사업 및 정책에 대한 성과평가체계 구축, 물리학과 첨단기술, 2005
- 25) 이길우, 김홍범, 장인호, 정부 R&D 성과 관리 활용 체계 현황진단과 시사점 - 연구자 인식도 조사를 중심으로 -, 한국과학기술기획평가원, 2012
- 26) 이재호, 조용현, 미국의 연구개발사업 평가에 관한 고찰, 한국개발연구원, 2002
- 27) 이희정, 김승동, 연구개발 성과관리체계 구축: 실용적 접근법, 2008
- 28) 전략기술경영연구원, R&BD 평가방법의 적용과 해석실무, 2009
- 29) 전략기술경영연구원, R&D 전략 기획 실무매뉴얼, 2004
- 30) 정지윤 외, 건설교통 R&D 성과 현장 활용 제고방안 연구, 한국건설교통기술평가원, 2011
- 31) 지식경제부, 2011년 성과관리시행계획, 2010
- 32) 최정현, 국가 R&D과제 평가의 개선 방향, 산업기술정책동향지 제2-2호, 2008
- 33) 포스텍 산학협력연구소, 미국, 일본의 기술사업화 관련 정책동향 분석, 2006
- 34) 한국건설교통기술평가원, 성과관리 매뉴얼(건설교통 연구개발 사업), 2009
- 35) 한국건설교통기술평가원, 건설교통기술 연구개발 사업 사업단과제 관리지침 개정(안), 2009
- 36) 한국건설교통기술평가원, 건설교통 R&D 기술제고조사 및 활용방안 수립, 2011
- 37) 한국건설교통기술평가원, 건설교통R&D 혁신로드맵 보고서, 2006
- 38) 한국건설교통기술평가원, 건설연구개발 성과분석 연구, 2006
- 39) 한국건설교통기술평가원, 한국해양과학기술진흥원, 국토해양기술 연구개발사업 시행계획, 2011
- 40) 한국건설기술연구원, 건설교통 R&D 성과 현장 활용성 재고방안 연구, 2009
- 41) 한국과학기술기획평가원, 연구개발활동 조사보고서, 2010
- 42) 한국과학기술기획평가원, 정부 R&D성과 관리 활용 체계 현황 진단과 시사점, 2012
- 43) 한국과학기술정보연구원, 해외 연구개발 성과평가 제도 동향 및 사례 분석, 2004
- 44) 한국기술혁신학회 춘계 콜로키움, 기술사업화 문제와 처방, 2009
- 45) 한국화학연구원, 기술이전 사례를 통해 살펴 본 국가 R&D 제도의 문제점, 2008
- 46) 한미경, 국가연구개발프로그램의 성과관리와 예산연계에 대한 연구, 과학기술부 조사평가과, 정부회계연구 제3권 제2호, 2005

- 47) 효산경영연구원, 국가 R&D 동향, 2009
- 48) Defense Acquisition University, Defense Acquisition Guidebook, 2011
- 49) DoD Directive 5000.01 “DEFENSE ACQUISITION GUIDEBOOK” , 2007
- 50) Dr. Cynthia Dion-Schwarz, How the Department of Defense Uses Technology Readiness Levels, 2009
- 51) Dries Faems, Bart Van Looy, Koenraad Debackere, Interorganizational Collaboration and Innovation : Toward a Portfolio Approach , Product innovation Management 22 238-250, 2005
- 52) Edouard Kujawski, PhD, The trouble with the System Readiness Level(SRL) index for managing the acquisition of defense systems, 2010
- 53) Han van der Meer, Open Innovation – The Dutch Treat : Challenges in Thinking in Business Models, Creativity and innovation management(Vol 16), 2007
- 54) Homeland Security Institute,, Department of Homeland Security Science and Technology Readiness Level Calculator (ver 1.1) Final Report and User’ s Manual, 2009
- 55) NCHRP(National Cooperate Highway Research Program), Report 698, Application of Accelerated Bridge Construction Connections in Moderate-to-High Seismic Regions, 2011
- 56) NIST, Development, Commercialization, and Diffusion of Enabling Technologies, NIST, 2000
- 57) NSF, GPRA Performance Plan FY1999~FY2003(각 년도)
- 58) NSF, GPRA Performance Report FY1999~FY2001(각 년도)
- 59) NSF, FY2002 Performance and Accountability Report
- 60) NSF, GPRA Strategic Plan FY2001~2006 (Sep. 2000)
- 61) NSF, GPRA Strategic Plan FY2003~2008 (Jun. 2003)
- 62) NSF, GPRA Strategic Plan FY2011~2016 (Apr. 2011)
- 63) NSF, Strategic Plan for Fiscal Years(FY) 2011~2016, 2010
- 64) PCAST, Report on Technology Transfer of Federally Funded R&D, 2003
- 65) US DoD, “Technology Readiness Assessment(TRA) Deskbook. 2009
- 66) U. S. DoD, Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance, 2011
- 67) U. S. DoE, Technology Readiness Assessment (TRA) / Technology Maturation Plan (TMP) Process Guide, 2011
- 68) U. S. DoE, Technology Maturation Plan for the Waste Treatment and Immobilization Plant, 2007
- 69) US NASA, “Technology Readiness Levels Demystified” , www.nasa.gov

[별첨 Ⅰ]

기술성숙도 기반의 건설교통 R&D 평가 지침서

Guide for
Construction & Transportation R&D Projects
Based on Technology Readiness Level(TRL)& Technology
Readiness Assessment(TRA)

2012.6.

목 차

1. 지침서의 목적 ...	1
2. TRL기반 건설교통 R&D사업 평가체계의 적용 원칙 및 범위 ...	1
3. 서로 다른 유형의 건설교통 R&D 사업에 대한 TRL기반 평가체계의 적용 방침 ...	2
4. 용어의 정의 ...	7
5. R&D사업 기획 및 공고 단계에서의 관련 업무 ...	9
6. R&D사업 선정평가 단계에서의 관련 업무 ...	18
7. TRA 실행단계에서의 관련 업무 ...	19

부록 ...	27
--------	----

1. 지침서의 목적

본 지침서는 실용화를 목표로 한국건설기술교통평가원(이하 전문기관)이 발주·관리하는 건설·교통 R&D사업에 대해 각 R&D사업이 기술성숙도(Technology Readiness Level; TRL) 차원에서 계획대로 추진되고 있는지를 평가하고, 궁극적으로 연구성과물의 실질적인 실용화 목표달성을 위한 도구로 개발되었다.

R&D사업의 기술성숙도 수준 설정과 평가는 각 사업의 유형과 특성에 따라 사전에 계획되고 연구 진행에 맞추어 수행되어야 하며 이를 위해 전문기관, 연구기관, 평가위원회 등 R&D사업의 관련 주체 모두가 본 지침서의 내용을 숙지하고 각자의 역할을 수행하여야 한다.

2. TRL기반 건설교통 R&D사업 평가체계의 적용 원칙 및 범위

본 지침서에 의한 「기술성숙도(TRL) 건설교통 R&D사업 평가체계」는 다음과 같은 적용 원칙 및 범위에 근거하여 적용한다.

- TRL의 의미는 해당 기술이 기술개발 생명 주기의 어느 단계에 있는지를 판정하는 기준이므로 논문·특허 등의 연구성과물, 연구비 사용의 효율성, 연구의 질적 수준 등, 기존 평가기준에 의한 평가와는 개념을 달리하며, 기술 자체의 가치나 능력에 대한 평가는 배제한다.
- TRL은 해당 기술이 일련의 발전과정을 거쳐 실용화 수준에 이르렀는가를 평가하는 것을 목표로 한다. 따라서 실용화에 따른 해당 기술의 경제성, 시장성, 파급효과 등에 대한 평가와는 관련이 없다.
- TRL은 연구자, 관리자, 평가자간의 의사소통 수단이 된다. 따라서 해당 R&D사업의 관련주체에게는 평가절차와 방법에 대한 공통의 이해가 필수적이며 기획단계에서부터 모든 평가과정의 연속성이 확보되어야 한다.
- TRL 기반 R&D사업 평가체계는 실용화 달성을 목적으로 하므로 전문기관이 발주하는 R&D사업 유형 중 「제도/정책」분야를 제외한 「장비/장치」, 「공법/기법」, 「재료/자재」, 「시스템」 「소프트웨어」의 R&D사업에 적용하는 것을 원칙으로 하며, 실용화 수준에는 이르지 못할 것으로 예상되나 건설·교통분야 기술발전에 필수적일 것으로 판단되는 기초·기반기술에 대해서도 적용하지 않는다. 단, 장기적인 계획 하에 기초·기반기술이 실용화 기술개발의 일부로 추진될 경우는 본 평가체계를 적용할 수 있다.

3. 서로 다른 유형의 건설교통 R&D 사업에 대한 TRL기반 평가체계의 적용 방침

TRL 및 TRA의 본래 취지는 이 모든 단계를 거쳐 최종 성과물이 실용화될 수 있는가를 판단하는 것이므로 응용단계까지 수행되고 특히 실용화를 목적으로 하는 연구에 국한하여 적용하는 것이 가장 적합하다.

그러나 정부의 건설교통 R&D사업 연구비 지원규모와 기간 등 관리적 제약요소와 향후 TRA 중심의 관리체계로 전환하고자 하는 전문기관의 의지 등을 감안할 때 전체 R&D 사업을 여러 단계로 나누어 단계별로 TRA를 적용하는 방법, 또는 이미 완료되었거나 현재 진행 중인 R&D 사업에의 적용하는 방법 등을 고려할 수 있다. 각각의 개요와 특징은 아래와 같다.

(1) 실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업

연구개발의 착수 시점에서부터 TRL 9 단계를 목표로 동일연구기관에 의해 지속적으로 수행되며, 주어진 연구비 예산과 기간 안에 실용화가 가능할 것으로 판단되는 연구에 해당된다. 전문기관은 R&D과제 기획단계에서 TRL 프레임워크 및 대략적인 TRA 마일스톤 계획을 수립하여 RFP를 공고하고 연구제안 기관은 연구제안서와 함께 TRL 및 TRA 수행에 필요한 사항들을 계획해 제출하며, 전문기관은 다시 이를 기반으로 연구가 종료될 때까지 TRA를 진행한다.

이때 연구기관이 TRL 및 TRA 수행에 필요한 사항들을 계획하는 책임을 담당하게 되는 것은, 연구의 방법과 절차, 세부적인 기술적 사항들은 연구기관의 권한이자 노하우에 해당되므로, CTE도출, 마일스톤 계획 등이 연구자 중심으로 이루어져야 하기 때문이다.

(2) 실용화 추진 장기계획에 의한 단계별 발주 R&D 사업

궁극적으로 TRL 9 단계 및 실용화를 목표하나 연구비 규모가 상대적으로 커서 집중적인 R&D 예산 편성에 문제가 있거나 장기간의 연구기간이 소요될 것으로 예상되는 사업, 혹은 연구개발의 필요성은 절대적이나 연구과정 중에 새로운 기술의 출현, 또는 개발기술의 효용성 변경 등으로 단계적인 계획과 검토가 필요한 사업 등에 대하여 전체 라이프 사이클에 대한 연구계획은 수립하되 단계별로 R&D 사업을 발주해가는 형태를 말한다. 이 경우 각 단계별로 연구기관이 변경될 수도 있으므로 TRL 및 TRA 운영에 대한 전문기관의 초기 기획과 단계별로 완성된 R&D 성과물에 대한 철저한 관리가 필수적이다.

이 경우 기획단계에서 최종적인 R&D 성과물의 목표와 성능을 사전에 설정하고 있음을 전제로 하므로 전문기관은 필수적인 CTE의 도출과 TRL 및 TRA 수행계획에 더 많은 책임을 진다. R&D 사업의 단계별 발주는 초기 기획단계에서 수립한 TRA 프레임워크 및 마일스톤에 기반을 두어 진행하도록 한다.

(3) 기(既) 종료되었거나 현재 수행 중인 R&D 사업

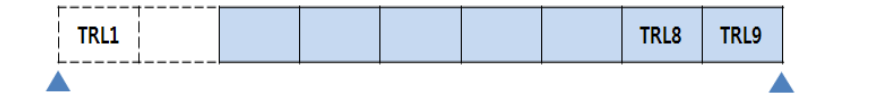

TRL 기반의 기술성숙도 평가 방식을 적용하기 위해서는 연구의 기획단계에서부터 그 개념이 올바르게 적용될 수 있도록 주요 핵심기술의 체계와 연구진행 프로세스를 수립하는 것이 필요하다. 이러한 개념 하에 시작된 연구과제가 아니라면 연구체계의 구성과 CTE를 도출하기 위한 WBS 체계가 상이하거나 기존의 평가체계에 의해 평가결과는 성공으로 판정되었지만, 실제로는 TRL 9 수준에 미치지 못하는 등 TRA 적용에 여러 가지 문제점이 발생할 수 있다.

건설교통 분야 R&D에는 아직 TRL 기반 평가체계가 도입되지 않은 상태이므로 이미 종료된 사업이나 현재 수행 중인 사업 모두가 이러한 경우에 해당되는데, 그럼에도 불구하고 향후 TRL 기반의 연구관리로 전환할 경우 사업별로 지금까지의 기술성숙도 수준을 판단하고 후속연구의 추진이나 성과확산을 목적으로 TRL 기반 기술성숙도 평가를 적용할 수 있다. 단, 이와 같은 평가는 후속연구 또는 성과관리를 위한 참고자료로서만 활용되어야 하며, 연구의 성패를 다시 판정하는 수단으로 사용되어서는 안 된다.

평가를 위한 WBS 구축 및 CTE 도출 등은 연구기관이 주도적으로 수행하며 전문기관은 이에 대한 객관적인 검증 역할을 수행한다.

본 지침서는 위의 사업유형 중 「실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업」에 적용하는 것을 원칙으로 하며, 그 외의 사업유형에 대해서는 <표 1> 및 <표 2>의 원칙과 역할분담에 근거하여 TRL 기반 평가체계를 적용하도록 한다.

표 1. R&D 사업 추진 방법 및 TRA 적용 방침 개요

사업 유형	R&D 사업 추진방법 및 TRA 적용 개요	R&D 사업의 특징
<p>실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • R&D사업 착수시점에서의 TRL 분석 • TRL 9 목표의 연구계획·TRA 수행계획 수립 • TRL9 최종 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ● 연구개발의 착수 시점에서부터 TRL 9 단계를 목표로 동일연구기관이 지속적으로 수행 ● 주어진 연구비 예산과 기간 안에 실용화가 가능할 것으로 판단되는 연구사업 ● 최종 연구성과에 대한 평가 및 관리 중심 ● 연구자가 TRA 수행계획 주도
<p>실용화 추진 장기계획에 의한 단계별 발주 R&D 사업</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • R&D사업 착수시점에서의 TRL 분석 • R&D사업 라이프 사이클 기획 • 단계별 R&D 발주 및 TRA 수행계획 수립 • 1단계 TRL 평가 • 2단계 사업 지원 여부 결정 및 추후 단계 연구계획 업데이트 • 2단계 R&D 발주 • n단계 TRL 평가 • n+1단계 사업 지원여부 결정 및 추후 단계 연구계획 업데이트 • n+1 단계 R&D 발주 • TRL9 최종 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ● 궁극적으로 TRL 9단계 및 실용화가 목표이나 서로 다른 연구기관이 단계별로 수행가능 ● 연구비 규모가 크거나 연구기간이 오래 소요될 것으로 예상되어 일괄지원이 어려운 사업 ● 새로운 기술의 출현, 또는 개발기술의 효용성 변경 등으로 단계적인 계획과 검토가 필요한 사업 ● 단계별 연구성과에 대한 평가 및 관리 중심 ● 전문기관이 연구기획 및 TRA 수행계획 주도

사업 유형	R&D 사업 추진방법 및 TRA 적용 개요	R&D 사업의 특징
실용화 추진 장기계획에 의한 기초·기반분야 R&D 사업	<p>• 기초 R&D사업 계획 및 목표 TRL 설정 • 1단계 TRA 수행계획 수립</p> <p>• 1단계 TRL 평가 • 2단계 성과를 기반으로 한 중장기 R&D 계획 수립</p> <p>• 2단계 R&D 발주 • n+1 단계 R&D 발주</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 현재 기술수준으로는 TRL 9단계 및 실용화가 불투명하나 장기적으로 건설교통 R&D에 필수적일 것으로 판단되는 기초 및 기반 분야 R&D 사업 ● 1단계 기존의 TRA 프레임워크와 마일스톤 설정 ● 1단계 목표 TRL 달성 후 2단계 또는 실용화를 위한 연구계획 수립 및 발주 ● 전문기관이 연구기획 및 TRA 수행계획 주도
종료 또는 수행 중인 R&D 사업	<p>• 기 종료 R&D사업 • 연구종료 시점에서의 TRL 평가 • 주후 단계 연구지속 여부 결정</p> <p>• 미 종료 R&D사업 • 현재 연구수행 시점에서의 TRL 평가 • 연구종료 시점까지의 TRA 수행계획 수립</p> <p>• 주후 단계 R&D 발주</p> <p>• 미 종료 R&D사업 • 연구종료 시점에서의 TRL 평가 • 주후 단계 연구지속 여부 결정</p> <p>• 주후 단계 연구 지속 시 TRL9 최종 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 이미 종료된 과제와 TRL 기반 평가체계 이전 R&D 사업 대상 ● 기(既) 수행된 과제를 기술성숙도 수준에서 평가하고 후속연구의 추진 또는 성과확산 계획의 근거 자료로 활용 ● 해당 연구자가 TRA 평가 주도

표 2. TRA 적용 R&D 사업 유형별 관련주체의 역할

사업 유형	핵심 업무	전문 기관	연구 기관	평가 위원회	비고
실용화 목표 달성을 위한 일괄발주 R&D 사업	TRL·TRA 적용성	평가 및 기획	-	-	
	TRA 프레임워크·마일스톤 결정	계획 수립	수정안 제출	-	
	WBS 구축 및 CTE 도출	검토 조정	계획 및 수행	평가 조정	
	마일스톤 TRL 평가	진행여부 평가	자체 평가	검정 평가	
	단계별 TRL 평가	N/A	N/A	N/A	해당사항 없음
	최종 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	
실용화 추진 장기계획에 의한 단계별 발주 R&D 사업	TRL·TRA 적용성	평가 및 기획	-	-	
	TRA 프레임워크·마일스톤 결정	계획 수립	-	-	
	WBS 구축 및 CTE 도출	계획 수립	조정 협의	-	
	마일스톤 TRL 평가	진행여부 평가	자체 평가	검정 평가	필요시
	단계별 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	
	최종 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	
실용화 추진 장기계획에 의한 기초·기반분야 R&D 사업	TRL·TRA 적용성	평가 및 기획	-	-	
	TRA 프레임워크·마일스톤 결정	계획 수립	-	-	
	WBS 구축 및 CTE 도출	계획 수립	조정 협의	-	
	마일스톤 TRL 평가	진행여부 평가	자체 평가	검정 평가	필요시
	단계별 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	후속 발주 여부 결정
	최종 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	검정 평가	9단계 추진시
종료 또는 수행 중인 R&D 사업	TRL·TRA 적용성	N/A	N/A	N/A	해당사항 없음
	TRA 프레임워크·마일스톤 결정	N/A	N/A	N/A	해당사항 없음
	WBS 구축 및 CTE 도출	검토 조정	계획 수립	-	
	마일스톤 TRL 평가	진행여부 평가	자체 평가	-	
	단계별 TRL 평가	N/A	N/A	N/A	해당사항 없음
	최종 TRL 평가	분석 및 사후조치	자체 평가	-	

4. 용어의 정의

본 지침서에서 「TRL 기반 건설교통 R&D사업 평가체계」를 이해하기 위해 숙지하여야 할 주요 용어는 아래와 같다.

- 기술성숙도(Technology Readiness Level; 이하 TRL): 실용화를 최종 목표로 하는 R&D사업에서 기술개발의 시작단계에서부터 실용화에 이르는 과정을 여러 단계 또는 수준으로 나누어 놓은 것을 말한다. 이때 기술성숙의 의미는 그 기술의 우수성과는 전혀 관계가 없고 단지 실용화까지 어느 정도 준비가 되어 있는지를 의미하며 기술성숙도는 해당 기술이 기술개발 과정의 어느 단계에 있는지를 판정하는 기준이 된다.
- 기술성숙도 평가(Technology Readiness Level; 이하 TRA): R&D사업의 목표달성을 위해 해당 사업의 핵심기술요소(CTE)을 식별하고, 주요 평가시점에서 연구된 결과물들의 TRL 수준을 평가하는, 공식적이고 책임 있는 일련의 과정을 말한다.
- 기술성숙계획(Technology Maturation Plan; 이하 TMP) TRA 수행 결과, 미성숙으로 판정된 기술에 대한 보완 또는 조치 계획으로 R&D사업 종료 시점에서 미성숙 기술로 인해 연구사업이 실용화에 실패하는 위험을 사전에 방지하기 위해 수립한다.
- 목표성숙도(Target TRL: 이하 목표 TRL): TRA 과정의 각 마일스톤 시점에서 평가대상 기술이 어느 정도 수준에 도달하여야 할 것이라고 사전에 설정해놓은 기술성숙도 수준 또는 각 마일스톤 시점에 부여한 대상 기술의 기술성숙도 수준을 말한다.
- TRL 평가 체크리스트(TRL Checklist): 각 CTE가 TRL 단계의 정의를 만족하는지 즉, 기술성숙도의 조건을 충족하였는지를 측정하기 위해 수립된 체크리스트를 말한다.
- TRL 프레임워크(framework): 기술이 개발되어 제품 등에 상용화되기까지 일련의 생애주기를 선행단계, 시제품 제작단계, 현장 적용 단계, 실용화 단계 등과 같이 단계별로 구분해 놓은 체계를 말한다. 일반적으로 프레임워크의 각 단계가

종료되는 시점에 TRA 마일스톤을 배정한다.

- TRA 마일스톤(milestone): 프레임워크에서 설정된 단계의 진행 여부를 판단해야 하는 중요한 의사 결정 시점, 즉 실질적인 TRA가 수행되는 시점을 의미한다. 이는 TRL의 매 단계마다 TRA를 수행하여야 하는 번거로움을 배제하고 프로젝트의 효율적인 평가가 가능하도록 하는 것을 목적으로 한다.
- 기술분류체계(Technology Work Breakdown Structure; 이하 기술 WBS): CTE를 찾아내기 위해 전체 또는 최종 기술을 단계적으로 분류해나가는 체계를 말한다. 연구과제의 내용 또는 수행주체의 구성 체계와는 별개의 개념으로 이해되어야 하며, CTE에 해당되는 수준의 기술에 이를 때까지 분류해간다.
- 핵심기술요소(Critical Technology Element; 이하 CTE): 목표로 하는 기술개발의 성공을 위해 반드시 완성되어야 할 핵심적인 세부 기술을 말한다. CTE는 전체 기술의 일부분으로, 기술 WBS 구축 후 CTE 체크리스트를 통해 일정 조건을 충족할 때 선정되며 가장 낮은 기술성숙도를 갖는 핵심기술요소가 전체 기술의 기술성숙도를 제어한다.
- CTE 체크리스트: 기술 WBS를 통해 분류된 세부 기술이 CTE로서 적합한가를 판단하기 위한 도구로, 개발기술의 목표를 충족하는데 결정적인 영향을 주는 기술인지, 또는 새로운 방식, 환경, 요구조건에 맞추어 개량할 필요가 있는 기술인지의 판단에 따라 구성된다.
- CTE 기초평가: 연구제안 또는 각 평가시점에서 TRA의 효율성을 꾀하기 위해 각 선정된 각 CTE의 기술성숙도를 평가하는 것으로 연구수행자나 전문가의 판단에 의해 작성한다.
- CTE 상세평가: CTE 기초평가 결과를 토대로 세부적인 기술성숙여부를 판단하기 위한 평가로 TRL 평가 체크리스트를 활용한다. 기초평가에서 판단된 TRL 단계가 상세평가에서도 충족되면 그 보다 한 단계 상위에 추가로 상세 평가를 실시하고, 만약 기초 평가와 상세 평가의 결과가 일치하지 않을 경우, 그 아래의 단계에 상세평가를 실시하는 방식으로 적정 기술성숙도를 판정한다.

5. R&D사업 기획 및 공고 단계에서의 관련 업무

5.1. TRL 평가를 위한 프레임워크 및 마일스톤 수립

전문기관은 R&D과제 기획단계에서 해당 연구사업이 「TRL 기반 건설교통 R&D사업 평가체계」 적용에 적합한가를 판단하고, 평가체계 적용이 요구될 경우 해당 R&D사업의 특성, 규모, 기간 등을 고려하여 TRL 프레임워크를 설정한다.

- 「TRL 기반 건설교통 R&D사업 평가체계」 적용의 적합성 판단 기준
 - 해당과제의 최종성과품이 실용화를 목표로 하는가?
 - 주어진 연구비와 기간 등에 비추어 해당 사업이 목표로 하는 실용화가 가능한가?
 - 실용화를 달성하기 위한 사전연구와 사례는 충분한가?
 - 해당과제 최종성과품의 특성이 CTE 도출을 포함한 TRL·TRA의 기본 원리와 원칙 적용에 적합한가?

TRL 프레임워크는 「선행단계」, 「시제품 제작 및 시연 단계」, 「현장 적용 단계」, 「제품화/실용화 단계」로 구분하고, 전체 연구기간과 일반 과제평가 시점을 고려하여 목표 TRL 4, 6, 7의 평가가 요구되는 시점을 마일스톤을 부여한다. 단, 해당 연구사업의 특성을 고려하여 프레임워크 단계의 구성, 목표 TRL의 수준 및 평가 횟수 등은 유연하게 조정하여 적용한다.

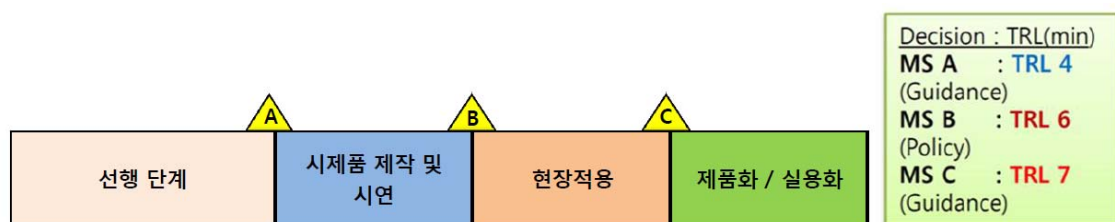


그림 1. 건설·교통 R&D사업의 TRL 프레임워크 및 TRA 마일스톤

전문기관은 해당 R&D사업의 RFP 공고 시에 기획단계에서 수립된 TRL 프레임워크 및 TRA 마일스톤을 제시하고 연구제안 기관은 이를 토대로 연구제안서와 함께 「TRL 및 TRA 수행계획서」를 제출하도록 한다.

5.2. 「TRL 및 TRA 수행계획서」의 작성 및 제출

연구제안 기관은 연구제안서와 함께 「TRL 및 TRA 수행계획서」를 제출하여야 하며 여기에 포함되어야 할 내용은 다음과 같다.

- 「TRL 및 TRA 수행계획서」의 주요 내용
 - 해당 연구과제의 기술 WBS
 - 후보 CTE
 - 연구제안 시점에서의 CTE 기초 평가 결과
 - 전문기관이 제시한 TRL 프레임워크 및 TRA 마일스톤의 검토 의견 및 수정계획

(1) 해당 연구과제의 기술 WBS 구축

연구제안기관은 해당 연구과제의 최종성과물과 세부과제의 구성, 연구수행 조직, 등을 고려하여 기술 WBS를 구축하여야 한다. 단, 기술 WBS 구축의 목적은 CTE를 도출하기 위한 것으로 과제수행 조직구성 체계를 따르거나 제안서에 서술된 주요 연구 내용의 모두를 포함할 필요는 없으며, 기술 WBS는 최종성과물을 Level 1으로 하여 Level 3~4의 수준으로 구성한다.

(2) 후보 CTE의 도출

기술 WBS가 구축되면 연구제안기관은 가장 하위 Level에 있는 기술들을 대상으로 CTE 체크리스트를 적용하여 후보 CTE를 선정한다. 이때 선정된 후보 CTE는 선정평가 결과 연구기관으로 선정되면 전문기관과 협의를 거쳐 수정·보완하고 이를 근거로 추후 TRA를 수행한다.

표 3. CTE 도출을 위한 체크리스트

단계	CTE 체크리스트	기준
Set (I)	1. 해당 기술이 운용 요구사항, 비용, 일정 등에 중대한 영향을 주는가?	반드시 충족
Set (II)	2. 해당 기술을 개발하거나 시연하는데 중대한(실패) 위험이 예상되는가?	적어도 하나 이상 충족
	3. 해당 기술이 새롭거나 독창적인가?	
	4. 기존의 성공적으로 적용된 이후에 금번 개발 시 변경된 기술이 있는가?	
	5. 해당 기술이 새로운 유사환경(relevant environment)에 적용될 수 있는가?	
	6. 원래의 설계목적이나 시범된 능력을 뛰어넘는 환경조건과 성능의 충족이 요구되는가?	

(3) 현재 CTE의 기초평가

연구기관은 각 CTE별로 연구제안 시점에서의 TRL을 전문가로서 판단하여 제시한다. CTE 기초평가는 건설·교통 R&D사업의 유형에 따른 TRL 정의 및 평가 체크리스트를 기반(부록 1 참조)으로 CTE의 특성에 부합하는 체크리스트를 선정하여 실시하며, 그 근거를 함께 제출하도록 한다.

(4) TRL 프레임워크 및 TRA 마일스톤의 검토 의견 및 수정계획

연구제안기관은 도출된 후보 CTE와 현재 CTE 기초평가 결과를 토대로 전문기관이 제시한 TRL 프레임워크 및 TRA 마일스톤에 대해 검토하여야 하며, 이에 대해 수정이 필요할 경우, 그 근거와 함께 수정계획을 연구제안서와 함께 제출하여야 한다.

표 4. TRL 9단계 정의 예시 (장비/장치 유형)

TRL	장비/장치 Definition	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

표 5. TRL 체크리스트 예시

하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 1 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술 개발이 개괄적인 개념 수준에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 소프트웨어 상에서 구현할 수 있을 것으로 예상되는 개념을 가지고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 새로운 기술에 적용되는 물리적 법칙과 가정이 정의되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구를 통해 기술에 적용되는 기본적인 원리를 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 연구 가설이 수립되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술개발을 위한 원칙과 절차에 대한 기본적인 아이디어를 보유하고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 예상되는 연구개발의 성과가 어떻게 활용될 수 있을지 파악되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구를 통해 연구성과의 활용이 실현 가능함을 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 이론적 혹은 실험적인 설계방법을 명확하게 알고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 초기 분석을 통해서 어떠한 주요 기능들이 있어야 하는지 파악되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계 - 계속				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 상세 분석을 통해서 기본 원리를 검증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 개별 요소기술들이 작동됨을 확인하였다. (개별 요소 간 통합은 시도되지 않음)	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 어떤 결과물이 도출 될지 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 어떤 실험을 수행해야 하는지 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
H/W	• 기술을 구성하고 있는 기본요소들을 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 각 요소의 성능이 예측되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 모델링 및 시뮬레이션을 통해서 물리적 원칙을 검증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 3 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 이론적인 수준에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실험실 실험을 통해 기술활용의 실현 가능성을 입증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구 결과, 기술 구성요소들이 통합적으로 작동되어야 함을 알 수 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술개발에 대한 측정 기준이 확립되어있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술에 대한 과학적인 타당성이 충분히 증명되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기존 최신기술들의 분석을 통해 기술개발의 필요성이 확인되었다.	□	□	□
[관련근거] :				
H/W	• 모델링 및 시뮬레이션을 통해 기술개발의 성패를 결정짓는 요소들이 무엇인지 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 4 실험실 환경에서 [Bench Scale모델, 테스트 용 샘플, 시작품]의 성능 및 신뢰성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 최종 사용자의 기술활용을 위해 전체 시스템에 대한 요구조건이 무엇인지 확인 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적으로 활용될 기술의 요구조건이 문서화 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 대략적인 시스템 통합과 엔지니어링이 완성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 기술의 개별 구성요소들에 대한 시험이 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 시험을 통해 가용한 기술 구성요소들이 함께 작동함을 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 5 유사환경에서 [Bench Scale모델, 테스트 용 샘플, 시작품]의 성능 평가 및 신뢰성 시험단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 인터페이스에 대한 요구조건들을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 운영환경과 유사하게 실험실 환경을 수정하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제와 유사한 환경 또는 모의환경에서 적용할 수 있을 정도로 시스템 통합 실험이 충실히 수행되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 기술에 대한 물리적인 WBS가 작성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 6 유사환경에서 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 공학적인 타당성이 모두 검증되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 7 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 7 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계 - 계속				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 8 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 인터페이스 제어 프로세스가 완성되었다 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다, 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 9 완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 운용 개념이 성공적으로 구현되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모든 시스템의 기능을 운영적 관점에서 문서화하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 시스템에 대한 모든 시연이 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 성공적인 운용을 통해서 전 현장에 적용 가능함을 검증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

표 6. 제안 연구의 후보 CTE 선정 및 평가표 예시

연구과제명						과제 유형								
Level 1 최종 연구 성과물 []	Level 2 기술	Level 3 기술 (후보 CTE)		기술유형 구분	기술개요 (서술)	CTE 체크리스트 판정 결과						최종 CTE 적합 여부		현재 TRL 자체평가
		CTE 1-1				1	2	3	4	5	6	적합 <input type="checkbox"/>	부적합 <input type="checkbox"/>	
		CTE 1-2				1	2	3	4	5	6	적합 <input type="checkbox"/>	부적합 <input type="checkbox"/>	
		CTE 1-3				1	2	3	4	5	6	적합 <input type="checkbox"/>	부적합 <input type="checkbox"/>	
		CTE 2-1				1	2	3	4	5	6	적합 <input type="checkbox"/>	부적합 <input type="checkbox"/>	
		CTE 2-2				1	2	3	4	5	6	적합 <input type="checkbox"/>	부적합 <input type="checkbox"/>	
		CTE 2-3				1	2	3	4	5	6	적합 <input type="checkbox"/>	부적합 <input type="checkbox"/>	
	※ CTE 체크리스트 1. 해당 기술이 운용 요구사항, 비용, 일정 등에 중대한 영향을 주는가? 2. 해당 기술을 개발하거나 시연하는데 중대한(실패) 위험이 예상되는가? 3. 해당 기술이 새롭거나 독창적인가? 4. 기존의 성공적으로 적용된 이후에 금번 개발 시 변경된 기술이 있는가? 5. 해당 기술이 새로운 유사환경(relevant environment)에 적용될 수 있는가? 6. 원래의 설계목적이나 시범된 능력을 뛰어넘는 환경조건과 성능의 충족이 요구되는가?													

표 7. 프레임워크 및 TRA 마일스톤 계획

연구과제명				과제 유형			
프레임워크		선행단계		시제품 제작 및 시연	현장적용	제품화/실용화	
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			A	B	C	최종평가	
마일스톤 일정		2012.1.1	20 . . .	20 . . .	20 . . .	20 . . .	
CTE No.	기술 명						
CTE 1-1	○○○ 기술	3	4	6	7	9	
CTE 1-2	□□□ 기술	2	4	6	7	9	
CTE 1-3	△△△ 기술	5	-	6	7	9	
CTE 2-1						9	
CTE 2-2						9	
CTE 2-3						9	
CTE 3-1						9	
CTE 3-2						9	
CTE 3-3						9	

6. R&D사업 선정평가 단계에서의 관련 업무

6.1. 「TRL 및 TRA 수행계획서」의 평가

전문기관은 해당 연구사업에 「TRL 기반 건설교통 R&D사업 평가체계」 적용이 필요하다고 판단하였을 경우, 선정평가 시 기존의 평가체계에 다음의 평가기준을 포함하여 연구기관을 선정한다. 「TRL 및 TRA 수행계획서」 평가의 배점은 전체 제안서 평가의 20% 내외로 한다.

- 해당 연구과제 기술 WBS의 적합성
- 최종 연구성과물의 실용화를 위한 후보 CTE의 적합성
- 후보 CTE의 실용화 실현 가능성
- 연구제안기관이 제시한 TRL 프레임워크 및 TRA 마일스톤 수정계획의 적정성
- 기타 TRL 및 TRA 평가에 필요한 사항

전문기관은 「TRL 및 TRA 수행계획서」 평가를 위해 별도의 평가위원회를 구성할 필요는 없으나, 반드시 해당 기술에 전문성을 갖춘 위원들을 선정하여 평가하도록 하여야 하며, 사전 오리엔테이션을 통해 평가위원으로 하여금 「TRL 기반 건설교통 R&D사업 평가체계」에 대한 내용을 숙지하도록 한다. 선정평가위원회의 구성은 추후 TRA 마일스톤에 의한 평가 시 평가의 연속성을 위해 가능한 한 유지하도록 한다.

6.2. 「TRL 및 TRA 수행계획서」의 수정·보완 및 협약

전문기관은 선정된 연구기관으로 하여금 선정평가 시 지적된 사항에 대해 「TRL 및 TRA 수행계획서」를 수정·보완토록 한다. 단, 평가위원회의 지적에 이의가 있을 경우 연구기관은 그에 대한 근거 또는 사유를 첨부하여 이의신청을 제기할 수 있으며 전문기관과 협의를 통해 최종 「TRL 및 TRA 수행계획서」를 연구제안서에 반영하도록 한다.

7. TRA 실행단계에서의 관련 업무

7.1. TRA 마일스톤에 의한 평가

전문기관은 「TRL 및 TRA 수행계획서」와 협약 시 결정된 TRA 마일스톤에 따라 해당 연구과제의 TRA를 실시하며 장기 과제로서 중간평가가 이루어지는 과제의 경우 일정은 가능한 한 이와 함께 수행될 수 있도록 조정하고 이때 TRA 평가위원회는 선정평가 시 참여하였던 평가위원으로 구성한다.

(1) 연구기관의 마일스톤 TRL 자체 평가

연구기관은 평가일 이전 정해진 기일 내에 각 CTE별로 마일스톤 평가 시점까지 수행된 기술 성숙도 현황에 대한 자체 평가서를 전문기관에 제출한다. 자체 평가서에는 해당 마일스톤에서 연구기관이 목표로 하였던 TRL과 TRL 체크리스트를 통해 판정된 충족도, 최종적인 자체 평가 TRL을 기입한다.

자체 평가는 「TRL 및 TRA 수행계획서」에서 계획한 목표 TRL을 기준으로 실시하며 당초 목표 TRL을 이미 충족하였을 경우 상위 단계에 대한 평가를 실시하고 만약 목표 TRL을 충족하지 못하였을 경우에는 하위 단계 TRL의 충족 여부를 평가하여야 하며, 평가결과의 근거로 TRL 체크리스트를 첨부하여 제출한다.

자체 평가서에 기입하는 내용은 다음과 같다.

- CTE 번호 및 기술명
- CTE 기술유형: 하드웨어(HW), 소프트웨어(SW), 시스템(S) 중 선택
- CTE 목표 TRL: 「TRL 및 TRA 수행계획서」상에서 마일스톤 시점에 목표로 했던 TRL
- 목표 TRL 체크리스트 충족도: 목표 TRL 체크리스트 항목의 평가결과. %로 표시
- 목표 TRL 판정: 80% 이상: Green(G) / 60% ~ 79%: Yellow(Y) / 59% 이하: Red(R)
- 하위 TRL: 목표 TRL 80% 미만 충족 시 하위단계 TRL 기입
- 하위 TRL 체크리스트 충족도: 목표 TRL 80% 미만 충족 시 하위단계 TRL 체크리스트 항목의 평가결과. %로 표시
- 마일스톤 TRL: 마일스톤 시점에서의 최종 TRL 자체평가 결과 - 80% 충족 기준
- CTE 자체 평가: 목표 달성 또는 미달의 평가, 근거, 사유, 보완 내용 등 자체 평가 내용을 기술
- 마일스톤 TRA 요약: 전체 CTE 대비 적합(G), 보완(Y), 미달(R) 판정결과 요약
- 총평: 자체 평가 결과에 대한 연구기관 관점에서의 총평 및 향후 연구수행 과정에서 TRL 달성을 위한 계획을 간단하게 서술

표 8. 마일스톤 TRL 자체 평가서 예시

연구과제명						과제 유형				마일스톤 및 평가일		A □ B □ C □ 최종평가 □	
												2012. . .	
CTE No.	기술 명		1	2	3	4	5	6	7	8			
			기술유형 구분	목표 TRL	목표 TRL 체크리스트 충족도(%)	목표 TRL 판정	하위 TRL	하위 TRL 체크리스트 충족도(%)	마일스톤 TRL	CTE 자체 평가			
CTE 1-1	○○○ 기술		HW	7	70%	Y	6	90%	6				
CTE 1-2	□□□ 기술		SW	7	90%	G	-	-	7				
CTE 1-3	△△△ 기술		S	7	50%	R	6	70%	5				
CTE 2-1													
CTE 2-2													
CTE 2-3													
CTE 3-1													
CTE 3-2													
CTE 3-3													
연구기관 TRA 요약		CTE	G(적합)	Y(보완)	미달(R)	총 평							
	개수												
	%	100											
1: 하드웨어(HW), 소프트웨어(SW), 시스템(S) 중 선택 2: 「TRL 및 TRA 수행계획서」 상에서 마일스톤 시점에 목표로 했던 TRL 3: 목표 TRL 체크리스트 항목의 평가결과. %로 표시 4: 80% 이상: 적합(Green, G) / 60% ~ 79%: 보완(Yellow, Y) / 59% 이하: 미달(Red, R) 5: 목표 TRL 80% 미만 충족 시 하위단계 TRL 기입 6: 목표 TRL 80% 미만 충족 시 하위단계 TRL 체크리스트 항목의 평가결과. %로 표시 7: 마일스톤 시점에서의 최종 TRL 자체평가 결과 - 80% 충족 기준 8: 목표 달성 또는 미달의 근거, 사유, 보완 내용 등 자체 평가 내용을 기술													

(2) 평가위원회의 마일스톤 TRL 평가 및 조치

전문기관은 연구기관이 제출한 마일스톤 TRL 자체 평가서 및 근거자료(체크리스트 등)를 평가위원들에게 사전 배포하여 검토하도록 하고, 평가위원회는 평가일에 최종 적인 마일스톤 TRL 충족여부를 판정한다. 전문기관은 필요시 연구기관에게 마일스톤 TRL 평가에 대한 설명 기회를 부여할 수 있으며, 평가위원회는 구성원 간의 합의에 의해 최종 판정을 내린다.

최종 판정의 등급은 「계속 지원」, 「상세보완계획 요청·검토 후 계속 지원」, 「상세보완계획 요청·검토 후 축소 지원」, 「지원 중단」으로 구분하며 각 등급의 판정 기준은 <표 9>과 같다.

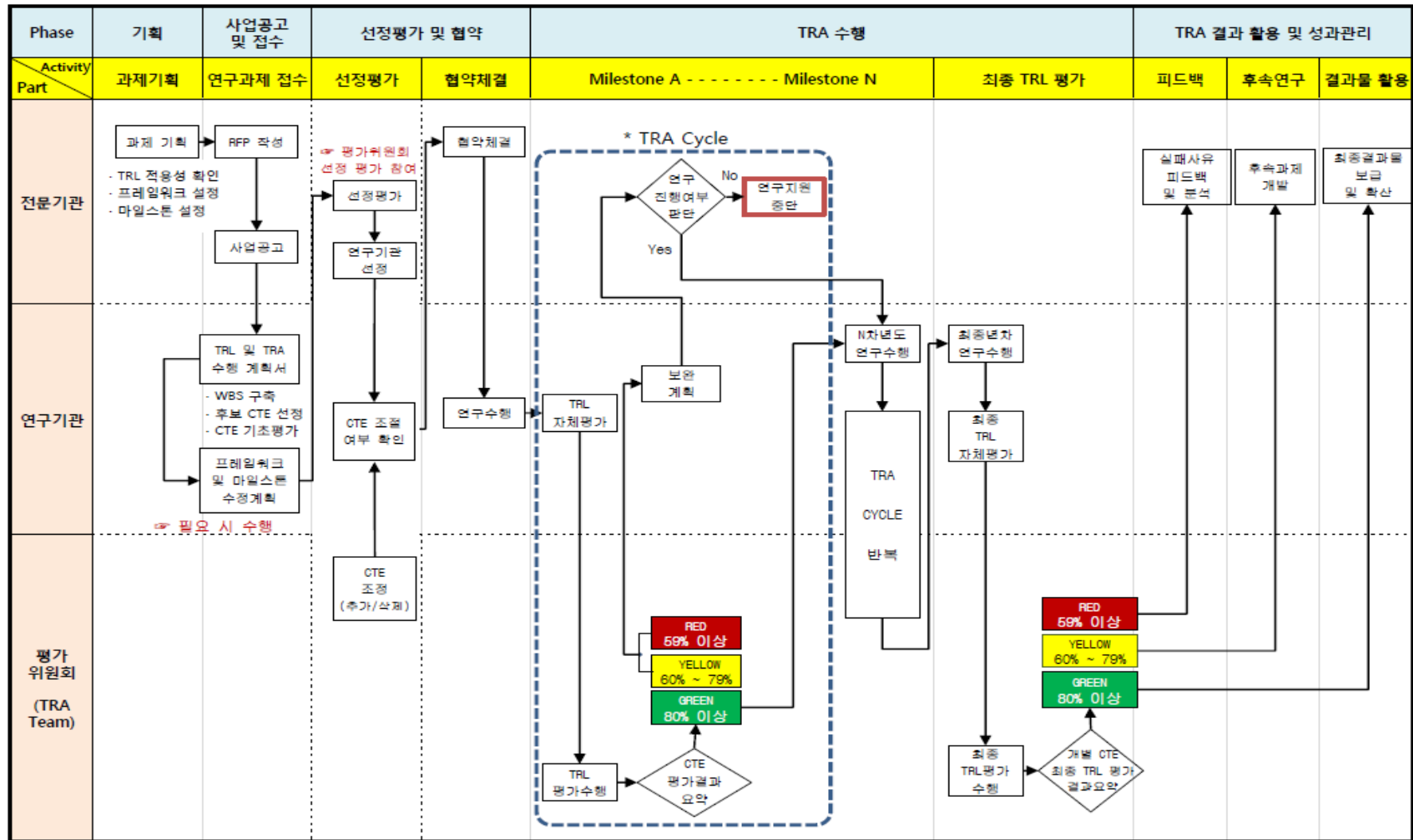
표 9. 평가위원회의 마일스톤 TRL 평가 판정 기준 및 조치

전체 CTE 중 적합(G) %	연구지원 판정	비고
80% 이상	<ul style="list-style-type: none"> 계속 지원 	단, 일부 CTE의 목표 TRL달성수준이 매우 낮아 전체 기술의 TRL달성이 불가능하다고 판단될 경우 상세보완계획 요청·검토 후 판정
79% ~ 60%	<ul style="list-style-type: none"> 상세보완계획 요청·검토 후 계속 지원 상세보완계획 요청·검토 후 축소 지원 	최종 TRL 달성은 어려울 것으로 예상되나 연구의 파급효과 또는 가치가 매우 높을 것으로 예상될 경우 축소지원
59% 이하	<ul style="list-style-type: none"> 상세보완계획 요청·검토 후 축소 지원 지원 중단 	

표 10. 평가위원회 마일스톤 TRL 평가서 예시

연구과제명						과제 유형				마일스톤 및 평가일		A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> 최종평가 <input type="checkbox"/>	
												2012. . .	
CTE No.	기술 명	기술유형 구분	연구기관 자체평가			평가위원회 평가			평가위원회 CTE 평가 의견				
			목표 TRL	마일스톤 TRL	목표 TRL 판정	목표 TRL	마일스톤 TRL	목표 TRL 판정					
CTE 1-1	○○○ 기술	HW	7	6	Y	7	5	R					
CTE 1-2	□□□ 기술	SW	7	7	G	7	7	G					
CTE 1-3	△△△ 기술	S	7	5	R	7	5	R					
CTE 2-1													
CTE 2-2													
CTE 2-3													
CTE 3-1													
CTE 3-2													
CTE 3-3													
평가위원 TRA 요약		CTE	G(적합)	Y(보완)	미달(R)	평가 위원회 총 평							
	개수												
	%	100											
마일스톤 평가조치	계속 지원 <input type="checkbox"/>												
	상세보완계획 요청·검토 후 계속 지원 <input type="checkbox"/>												
	상세보완계획 요청·검토 후 축소 지원 <input type="checkbox"/>												
	지원 중단 <input type="checkbox"/>												
최종평가 판정	성공 <input type="checkbox"/>												
	후속 관리 필요 <input type="checkbox"/>												
	실패 <input type="checkbox"/>												

그림 2. 건설교통 R&D 사업의 TRA 프로세스



7.2. TRL 최종 평가

전문기관은 과제 종료와 함께 해당 과제의 TRA를 실시하고 TRL 달성도를 평가한다. TRL 최종 평가는 마일스톤 평가와 동일하게 연구기관의 자체평가와 평가위원회의 평가로 진행하며, 각각에 필요한 서류 양식은 <표 8> 및 <표 10>을 사용하되 최종 평가에 해당되는 내용을 기입하도록 한다.

평가위원회의 최종 평가 판정은 「성공」, 「후속관리 필요」, 「실패」로 구분하며 각 판정에 대한 조치는 <표 11>와 같다.

표 11. 평가위원회의 TRL 최종 평가 판정 기준 및 조치

전체 CTE 중 적합(G) %	최종 평가 판정	내용 및 조치
80% 이상	성공	<ul style="list-style-type: none"> 실용화 수준을 달성 최종 성과물(기술)에 대한 보급 및 확산
79% ~ 60%	후속관리 필요	<ul style="list-style-type: none"> 연구결과가 실용화 수준을 완전히 달성하지는 못했으나 후속과제 등을 통해 실용화가 가시적 수준에 있거나 연관 기술개발에 중요한 발전을 가져온 경우 해당 연구와 관련된 연구동향 모니터링 해당 연구의 완성을 위한 후속 과제 개발
59% 이하	실패	<ul style="list-style-type: none"> 해당 연구기관의 추후 연구 시 불이익 부여 실패 사유 분석 및 피드백

7.3. 미성숙 CTE의 후속 조치

연구기관은 TRA 최종 자체평가 결과 목표 TRL에 도달하지 못한 미성숙 CTE에 대해 별도의 기술성숙계획(TMP)을 수립하여 평가위원회 최종 평가 전에 전문기관에 제출하여야 한다. TMP는 미성숙으로 판정된 기술에 대한 보완 또는 조치 계획으로 미성숙 기술로 인해 연구사업이 실용화에 실패하는 위험을 사전에 방지하는데 목적이 있으며, 평가위원회와 연구기관은 해당 연구과제의 최종평가에 TMP의 내용을 반영하도록 한다. 미성숙 CTE의 후속 조치 방안은 아래와 같다.

- 목표성능 변경 - 최초 개발목표에 비해 미 성숙된 기술을 그대로 활용하나 현재까지 달성한 TRL 수준에 맞추어 그 기술을 적용할 수 있도록 전체 기술의 목표성능을 변경

- 기술적용 연기 - 최초 개발목표를 충족하는 수준에 이를 때까지 해당 CTE와 관련된 기술적용을 연기
- 대체기술의 활용 - 최초 개발목표를 충족하기가 불가능하다고 판단될 경우, 대체기술 활용방안을 모색

부 록

- A. 연구과제 유형별 TRL 정의 ... 28
- B. 기술 유형별 TRL 체크리스트 ... 31

A. R&D 기술 유형별 TRL 정의

■ 공법/기법 유형

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 Bench scale 규모의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 Bench scale 규모의 성능 평가 및 신뢰성을 시험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 공법/기법 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 공법/기법 프로토타입이 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 공법/기법 완제품이 제한된 실제현장에서 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 공법/기법 완제품이 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

■ 재료/자재 유형

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능 및 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 테스트용 샘플의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 테스트용 샘플의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 재료/자재 프로토타입 모델의 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 재료/자재 프로토타입의 실제 현장 사용 가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 재료/자재 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 재료/자재 완제품의 실제현장 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

■ 소프트웨어 유형

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 분석적 연구를 통해 개념/아이디어의 실현 가능성을 입증 및 실험실 환경에서 알고리즘 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈 실험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈의 통합 가능성 검증 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 실제 환경과 조건에서 통합된 S/W 프로토타입 모델의 적용 및 사용가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• S/W 완제품의 제한 된 실제현장에서 사용가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• S/W 완제품의 실제 현장에서 사용적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

■ 장비/장치 유형

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

■ 시스템 유형

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 구성 시스템의 성능평가 및 신뢰성 시험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사환경에서 구성시스템의 성능평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 시범운행을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 시스템 완제품의 제한 된 실제 환경에서 사용 가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 시스템 완제품의 실제 환경 사용적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

B. R&D 기술 유형별 Checklist

1. 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 1 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none">기술 개발이 개괄적인 개념 수준에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none">소프트웨어 상에서 구현할 수 있을 것으로 예상되는 개념을 가지고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none">새로운 기술에 적용되는 물리적 법칙과 가정이 정의되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none">문헌 또는 이론 연구를 통해 기술에 적용되는 기본적인 원리를 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none">연구 가설이 수립되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none">기술개발을 위한 원칙과 절차에 대한 기본적인 아이디어를 보유하고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none">예상되는 연구개발의 성과가 어떻게 활용될 수 있을지 파악되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none">문헌 또는 이론 연구를 통해 연구성과의 활용이 실현 가능함을 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none">이론적 혹은 실험적인 설계방법을 명확하게 알고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none">초기 분석을 통해서 어떠한 주요 기능들이 있어야 하는지 파악되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계 - 계속				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 상세 분석을 통해서 기본 원리를 검증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 개별 요소기술들이 작동됨을 확인하였다. (개별 요소 간 통합은 시도되지 않음)	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 어떤 결과물이 도출 될지 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 어떤 실험을 수행해야 하는지 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
H/W	• 기술을 구성하고 있는 기본요소들을 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 각 요소의 성능이 예측되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 모델링 및 시뮬레이션을 통해서 물리적 원칙을 검증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 3 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 이론적인 수준에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실험실 실험을 통해 기술활용의 실현 가능성을 입증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구 결과, 기술 구성요소들이 통합적으로 작동되어야 함을 알 수 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술개발에 대한 측정 기준이 확립되어있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술에 대한 과학적인 타당성이 충분히 증명되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기존 최신기술들의 분석을 통해 기술개발의 필요성이 확인되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
H/W	• 모델링 및 시뮬레이션을 통해 기술개발의 성패를 결정짓는 요소들이 무엇인지 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 4 실험실 환경에서 [Bench Scale모델, 테스트 용 샘플, 시작품]의 성능 및 신뢰성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 최종 사용자의 기술활용을 위해 전체 시스템에 대한 요구조건이 무엇인지 확인 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적으로 활용될 기술의 요구조건이 문서화 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 대략적인 시스템 통합과 엔지니어링이 완성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 기술의 개별 구성요소들에 대한 시험이 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기능적인 WBS가 작성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 시험을 통해 가용한 기술 구성요소들이 함께 작동함을 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 5 유사환경에서 [Bench Scale모델, 테스트 용 샘플, 시작품]의 성능 평가 및 신뢰성 시험단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 인터페이스에 대한 요구조건들을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 운영환경과 유사하게 실험실 환경을 수정하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제와 유사한 환경 또는 모의환경에서 적용할 수 있을 정도로 시스템 통합 시험이 충실히 수행되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 기술에 대한 물리적인 WBS가 작성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 6 유사환경에서 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 6 유사환경에서 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계 - 계속				
공통	<ul style="list-style-type: none"> 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 공학적인 타당성이 모두 검증되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 7 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 드문 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 8 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 인터페이스 제어 프로세스가 완성되었다 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다, 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 9 완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 운용 개념이 성공적으로 구현되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모든 시스템의 기능을 운영적 관점에서 문서화하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 시스템에 대한 모든 시연이 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 성공적인 운용을 통해서 전 현장에 적용 가능함을 검증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

2. 소프트웨어 유형 Checklist

TRL 1 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술 개발이 개괄적인 개념 수준에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 소프트웨어 상에서 구현할 수 있을 것으로 예상되는 개념을 가지고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 새로운 기술에 적용되는 물리적 법칙과 가정이 정의되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구를 통해 기술에 적용되는 기본적인 원리를 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 연구 가설이 수립되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술개발을 위한 원칙과 절차에 대한 기본적인 아이디어를 보유하고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
S/W	• 사용할 알고리즘에 대한 기본 원칙들이 정립되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 소프트웨어 내에서 구현될 수 있는 개념 식을 수리모델화 하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 소프트웨어가 일반적으로 어떤 기능을 수행하여야 하는지 파악 하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 예상되는 연구개발의 성과가 어떻게 활용될 수 있을지 파악되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구를 통해 연구성과의 활용이 실현 가능함을 확인하였다.	□	□	□
[관련근거] :				

TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계 - 계속				
공통	• 이론적 혹은 실험적인 설계방법을 명확하게 알고 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 초기 분석을 통해서 어떠한 주요 기능들이 있어야 하는지 파악되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 상세 분석을 통해서 기본 원리를 검증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 개별 요소기술들이 작동됨을 확인하였다. (개별 요소 간 통합은 시도되지 않음)	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 어떤 결과물이 도출 될지 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 어떤 실험을 수행해야 하는지 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
S/W	• 기본 원리 검증을 위한 소프트웨어 코딩이 완료되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 가상 데이터로 테스트를 수행 하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 소프트웨어가 탑재 될 하드웨어 조건이 파악되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 3 분석적 연구를 통해 개념/아이디어의 실현 가능성을 입증 및 연구실에서 알고리즘 수행 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 이론적인 수준에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실험실 실험을 통해 기술활용의 실현 가능성을 입증하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 문헌 또는 이론 연구 결과, 기술 구성요소들이 통합적으로 작동되어야 함을 알 수 있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술개발에 대한 측정 기준이 확립되어있다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술에 대한 과학적인 타당성이 충분히 증명되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 3 분석적 연구를 통해 개념/아이디어의 실현 가능성을 입증 및 연구실에서 알고리즘 수행 단계 - 계속				
공통	<ul style="list-style-type: none"> 기존 최신기술들의 분석을 통해 기술개발의 필요성이 확인되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모델링 및 시뮬레이션을 통해 기술개발의 성패를 결정짓는 요소들이 무엇인지 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> 분석을 통해 가정을 입증하고, 알고리즘을 개발하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 알고리즘에 대한 개요가 수립되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기초적인 코딩을 통해서 소프트웨어가 운용상의 요구사항을 충족시키는 지 검증하였다 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 일부의 표본데이터를 활용하여 테스트를 수행하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경의 테스트용 프로세서에서 알고리즘을 수행하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 유사기능을 수행하는 기존 소프트웨어가 무엇인지 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 현재 가용한 소프트웨어의 한계점을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 4 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈 실험 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 최종 사용자의 기술활용을 위해 전체 시스템에 대한 요구 조건이 무엇인지 확인 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적으로 활용될 기술의 요구조건이 문서화 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기능적인 WBS가 작성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> 분석을 통해 소프트웨어의 구체적인 기능을 상세하게 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 각 기능에 대한 요구사항들이 정의되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 4 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈 실험 단계
- 계속

S/W	<ul style="list-style-type: none"> 알고리즘이 의사코드(Pseudo-code)의 형태로 정의되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어가 해결해야 할 모든 문제에 대해 대표 데이터 세트를 가지고 테스트를 수행하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 개별적인 기능 또는 모듈을 검증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 일부 기능과 모듈의 임시적인 통합을 통해 전체적인 통합 작동이 가능함을 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 5 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈의 통합 가능성
검증 단계

구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 인터페이스에 대한 요구조건들을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 기술에 대한 물리적인 WBS가 작성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> 내부 인터페이스 필요조건에 대한 분석이 완료되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 개별 기능과 모듈에 대한 코딩이 완료되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 개별 기능들을 테스트하여 정상적으로 작동됨을 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 개별 기능과 모듈에 오류가 없는지를 시험하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 6 S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계

구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 6 S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계 - 계속				
공통	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
S/W	• 타이밍에 제약이 되는 요소들에 대한 분석을 완료하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 데이터베이스 구조 및 인터페이스 분석을 완료하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 광범위한 실제 문제들을 처리할 수 있는 프로토타입을 구현하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 알고리즘이 기존 하드웨어 및 소프트웨어와 부분적으로 통합되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 소프트웨어에 대한 문서화 작업이 일부 진행되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 7 실제 환경과 조건에서 통합된 S/W 프로토타입 모델의 적용 및 사용가능성 증명단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
S/W	• 운용 환경조건에서 알고리즘이 수행되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하여 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 8 S/W 완제품의 제한 된 실제현장에서 사용가능성 증명단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 인터페이스 제어 프로세스가 완성 되었다 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 오류의 검출(debug)이 완료되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 9 S/W 완제품의 실제 현장에서 사용적합성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 운용 개념이 성공적으로 구현되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모든 시스템의 기능을 운영적 관점에서 문서화 하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 소프트웨어 시스템을 완전히 시연하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 성공적인 운용을 통해서 실제환경에 적용 가능함을 검증 하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

3. 시스템 유형 Checklist

TRL 1 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발이 개괄적인 개념 수준에 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 상에서 구현할 수 있을 것으로 예상되는 개념들을 가지고 있다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 새로운 기술에 적용되는 물리적 법칙과 가정이 정의되어있다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 문헌 또는 이론 연구를 통해 기술에 적용되는 기본적인 원리를 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 연구 가설이 수립되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발을 위한 원칙과 절차에 대한 기본적인 아이디어를 보유하고 있다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 사용할 알고리즘에 대한 기본 원칙들이 정립되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 내에서 구현될 수 있는 개념 식을 수리모델화 하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어가 일반적으로 어떤 기능을 수행하여야 하는지 파악 하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 예상되는 연구개발의 성과가 어떻게 활용될 수 있을지 파악되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 문헌 또는 이론 연구를 통해 연구성과의 활용이 실현 가능함을 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 2 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계 - 계속				
공통	<ul style="list-style-type: none"> 이론적 혹은 실험적인 설계방법을 명확하게 알고 있다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 초기 분석을 통해서 어떠한 주요 기능들이 있어야 하는지 파악되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 상세 분석을 통해서 기본 원리를 검증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 개별 요소기술들이 작동됨을 확인하였다. (개별 요소 간 통합은 시도되지 않음) 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 어떤 결과물이 도출 될지 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 기술을 구성하고 있는 기본요소들을 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 각 요소의 성능이 예측되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모델링 및 시뮬레이션을 통해서 물리적 원칙을 검증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	<ul style="list-style-type: none"> 기본 원리 검증을 위한 소프트웨어 코딩이 완료되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 가상 데이터로 테스트를 수행하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어가 탑재 될 하드웨어 조건을 파악되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 3 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발이 이론적인 수준에서 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 실험을 통해 기술활용의 실현 가능성을 입증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 3 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계- 계속				
공통	<ul style="list-style-type: none"> 문헌 또는 이론 연구 결과, 기술 구성요소들이 통합적으로 작동되어야 함을 알 수 있다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발에 대한 측정 기준이 확립되어있다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기술에 대한 과학적인 타당성이 충분히 증명되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기존 최신기술들의 분석을 통해 기술개발의 필요성이 확인되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 모델링 및 시뮬레이션을 통해 기술개발의 성패를 결정짓는 요소들이 무엇인지 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> 분석을 통해 가정을 입증하고, 알고리즘을 개발하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 알고리즘에 대한 개요가 수립되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기초적인 코딩을 통해서 소프트웨어가 운용상의 요구 사항을 충족하는 지 검증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 일부의 표본 데이터 대상으로 활용하여 테스트를 수행하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경의 테스트용 프로세서에서 알고리즘을 수행하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 유사기능을 수행하는 기존 소프트웨어가 무엇인지 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 현재 가용한 소프트웨어의 한계점을 파악 하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 4 실험실 환경에서 구성 시스템의 성능평가 및 신뢰성 시험 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 최종 사용자의 기술활용을 위해 전체 시스템에 대한 요구조건이 무엇인지 확인 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 최종적으로 활용될 기술의 요구조건이 문서화 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 대략적인 시스템 통합과 엔지니어링이 완성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 기술의 개별 구성요소들에 대한 시험이 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 기능적인 WBS가 작성되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 시험을 통해 가용한 기술 구성요소들이 함께 작동함을 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> 분석을 통해 소프트웨어의 구체적인 기능을 상세하게 파악하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 각 기능에 대한 요구사항들이 정의되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 알고리즘이 의사 코드(Pseudo-code) 형태로 정의되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어가 해결하여야 할 모든 문제에 대해 대표 데이터 세트를 가지고 테스트를 수행하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실험실 환경에서 개별적인 기능 또는 모듈을 검증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 일부 기능과 모듈의 임시적인 통합을 통해 전체적인 통합 작동이 가능함을 확인하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

TRL 5 유사환경에서 구성시스템의 성능평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 인터페이스에 대한 요구조건들을 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실제 운영환경과 유사하게 실험실 환경을 수정하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실제와 유사한 환경 또는 모의환경에서 적용할 수 있을 정도로 시스템 통합 실험이 충실히 수행되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실제 기술에 대한 물리적인 WBS가 작성되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
S/W	• 내부 인터페이스 필요조건에 대한 분석이 완료되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 개별 기능과 모듈에 대한 코딩이 완료되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 개별 기능들을 테스트하여 정상적으로 작동됨을 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 개별 기능과 모듈에 오류가 없는지를 시험 하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 6 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 6 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계 - 계속				
	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
S/W	• 타이밍에 제약이 되는 요소들에 대한 분석을 완료하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 데이터베이스 구조 및 인터페이스 분석을 완료하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 광범위한 실제 문제들을 처리할 수 있는 프로토타입을 구현하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 알고리즘이 기존 하드웨어 및 소프트웨어와 부분적으로 통합되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 소프트웨어에 대한 문서화 작업이 일부 진행되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
TRL 7 시범운영을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실험실에서 구축 된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
H/W	• 드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			
	• 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다.	□	□	□
	[관련근거] :			
S/W	• 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하여 확인하였다.	□	□	□
	[관련근거] :			

TRL 8 시스템 완제품의 제한 된 실제 환경에서 사용 가능성 증명단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 인터페이스 제어 프로세스가 완성 되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 오류의 검출(debug)이 완료되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
TRL 9 시스템 완제품의 실제 환경 사용적합성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	<ul style="list-style-type: none"> 운용 개념이 성공적으로 구현되었다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 모든 시스템의 기능을 운영적 관점에서 문서화하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 실제 시스템에 대한 모든 시연이 이루어졌다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			
	<ul style="list-style-type: none"> 성공적인 운용을 통해서 전 현장에 적용 가능함을 검증하였다. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[관련근거] :			

[별첨 II] CASE STUDY 기술성숙도 설문결과

CASE STUDY

로보틱 크레인 기반 고층건물
구조체 시공 자동화 시스템 개발

[제1 세부과제 CTE 1-1] 통합시스템 인터페이스 연구

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [1세부] 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 기획 및 통합		
CTE # 1-1	- 통합시스템 인터페이스 연구	유형 구분	- 시스템

■ 시스템 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 구성 시스템의 성능평가 및 신뢰성 시험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사환경에서 구성시스템의 성능평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 시범운행을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 8	• 시스템 완제품의 제한 된 실제 환경에서 사용 가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 시스템 완제품의 실제 환경 사용적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 7 : 시스템 유형 Checklist

TRL 7 시범운행을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하여 확인하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- TRL 6 : 시스템 유형 Checklist

TRL 6 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 타이밍에 제약이 되는 요소들에 대한 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 데이터베이스 구조 및 인터페이스 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 광범위한 실제 문제들을 처리할 수 있는 프로토타입을 구현하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 알고리즘이 기존 하드웨어 및 소프트웨어와 부분적으로 통합되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 소프트웨어에 대한 문서화 작업이 일부 진행되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

* 공학적 타당성 : 나타난 현상을 수리적으로 해석할 때의 규명의 적합성

[제1 세부과제 CTE 1-2] 핵심기술 적용성 연구

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [1세부] 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 기획 및 통합		
CTE # 1-2	- 핵심기술 적용성 연구	유형 구분	- 시스템

■ 시스템 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 구성 시스템의 성능평가 및 신뢰성 시험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사환경에서 구성시스템의 성능평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 7	• 시범운영을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 시스템 완제품의 제한 된 실제 환경에서 사용 가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 시스템 완제품의 실제 환경 사용적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 6 : 시스템 유형 Checklist

TRL 6 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
S/W	• 타이밍에 제약이 되는 요소들에 대한 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 데이터베이스 구조 및 인터페이스 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 광범위한 실제 문제들을 처리할 수 있는 프로토타입을 구현하였다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	• 알고리즘이 기존 하드웨어 및 소프트웨어와 부분적으로 통합되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	• 소프트웨어에 대한 문서화 작업이 일부 진행되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

* 공학적 타당성 : 나타난 현상을 수리적으로 해석할 때의 규명의 적합성

TRL 7 : 시스템 유형 Checklist

TRL 7 시범운영을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하여 확인하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[제1 세부과제 CTE 1-3] 시공 자동화 시스템 성능평가 모듈 개발

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [1세부] 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 기획 및 통합		
CTE # 1-3	- 시공 자동화 시스템 성능평가 모듈 개발	유형 구분	- 시스템

■ 시스템 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 구성 시스템의 성능평가 및 신뢰성 시험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사환경에서 구성시스템의 성능평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 7	• 시범운영을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 시스템 완제품의 제한 된 실제 환경에서 사용 가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 시스템 완제품의 실제 환경 사용적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 6 : 시스템 유형 Checklist

TRL 6 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
S/W	• 타이밍에 제약이 되는 요소들에 대한 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 데이터베이스 구조 및 인터페이스 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 광범위한 실제 문제들을 처리할 수 있는 프로토타입을 구현하였다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	• 알고리즘이 기존 하드웨어 및 소프트웨어와 부분적으로 통합되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	• 소프트웨어에 대한 문서화 작업이 일부 진행되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

* 공학적 타당성 : 나타난 현상을 수리적으로 해석할 때의 규명의 적합성

[제2 세부과제 CTE 2-1] 건설공장(CF) 개발

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [2세부] 클라이밍 유압로봇 및 건설공장 구조체 기술 개발		
CTE # 2-1	- 건설공장(CF) 개발	유형 구분	- 장비/장치

■ 장비/장치 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 8	• 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 7 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 7 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 드문 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- TRL 6 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 6 유사환경에서 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[제2 세부과제 CTE 2-2] 유압로봇 기술

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [2세부] 클라이밍 유압로봇 및 건설공장 구조체 기술 개발		
CTE # 2-2	- 유압로봇 기술	유형 구분	- 장비/장치

■ 장비/장치 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 9	• 장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 8 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 8 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스 제어 프로세스가 완성 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- TRL 9 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 9 완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 운용 개념이 성공적으로 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 모든 시스템의 기능을 운영적 관점에서 문서화하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 시스템에 대한 모든 시연이 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 성공적인 운용을 통해서 전 현장에 적용 가능함을 검증하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[제2 세부과제 CTE 2-3] 무인자재 설치 기술

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [2세부] 클라이밍 유압로봇 및 건설공장 구조체 기술 개발		
CTE # 2-3	- 무인자재 설치 기술	유형 구분	- 장비/장치

■ 장비/장치 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 9	• 장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

TRL 8 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 8 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스 제어 프로세스가 완성 되었다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	• 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

TRL 9 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 9 완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 운용 개념이 성공적으로 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 모든 시스템의 기능을 운영적 관점에서 문서화하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 시스템에 대한 모든 시연이 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 성공적인 운용을 통해서 전 현장에 적용 가능함을 검증하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[제3 세부과제 CTE 3-1] 조립 자동화 로봇 시스템

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [3세부] 로봇틱 크레인 기반의 자재설치 핵심기술 개발		
CTE # 3-1	- 조립 자동화 로봇 시스템	유형 구분	- 장비/장치

■ 장비/장치 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 8	• 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 7 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 7 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- TRL 6 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 6 유사환경에서 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[제3 세부과제 CTE 3-2] 지능형 조작을 위한 HMI/ITA 기술

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [3세부] 로봇틱 크레인 기반의 자재설치 핵심기술 개발		
CTE # 3-2	- 지능형 조작을 위한 HMI/ITA 기술	유형 구분	- 시스템

■ 시스템 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 구성 시스템의 성능평가 및 신뢰성 시험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사환경에서 구성시스템의 성능평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 시범운행을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 8	• 시스템 완제품의 제한 된 실제 환경에서 사용 가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 시스템 완제품의 실제 환경 사용적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 7 : 시스템 유형 Checklist

TRL 7 시범운행을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하여 확인하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- TRL 6 : 시스템 유형 Checklist

TRL 6 유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 타이밍에 제약이 되는 요소들에 대한 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 데이터베이스 구조 및 인터페이스 분석을 완료하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 광범위한 실제 문제들을 처리할 수 있는 프로토타입을 구현하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 알고리즘이 기존 하드웨어 및 소프트웨어와 부분적으로 통합되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 소프트웨어에 대한 문서화 작업이 일부 진행되었다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

* 공학적 타당성 : 나타난 현상을 수리적으로 해석할 때의 규명의 적합성

[제3 세부과제 CTE 3-3] 로봇레일 및 상하구동장치기반 이동기술

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [3세부] 로봇틱 크레인 기반의 자재설치 핵심기술 개발		
CTE # 3-3	- 로봇레일 및 상하구동장치기반 이동기술	유형 구분	- 장비/장치

■ 장비/장치 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 8	• 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• 장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 7 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 7 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실험실에서 구축된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 또는 모의 운용환경에서 모든 통합이 이루어진 프로토타입을 시연하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 드른 경우이긴 하지만, 시스템 상에 가용하지 못한 몇몇 구성요소들에 대해 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 개발된 기술의 구성요소들은 그대로 생산가능하다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- TRL 6: 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 6 유사환경에서 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 시스템 통합에 대한 문제점이 해결 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 시스템(기술)에 대한 실제운용 환경을 파악하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 운영환경에서 이뤄지는 시스템의 성능을 예측하기 위해 모델링과 시뮬레이션을 사용하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 최종적인 운용환경은 아니지만, 실험실 외부에 실제와 유사한 운용환경을 구축하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 대표적인 모델 또는 프로토타입을 충실도가 높은 실험실 또는 모의 운용환경에서 테스트하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H/W	• 공학적인 타당성이 모두 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[제4 세부과제 CTE 4-1] 실시간 진도관리 기술

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [4세부] 무선인식 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설자재 조달시스템		
CTE # 4-1	- 실시간 진도관리 기술	유형 구분	- S/W

■ S/W 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 분석적 연구를 통해 개념/아이디어의 실현 가능성을 입증 및 실험실 환경에서 알고리즘 수행 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈 실험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈의 통합 가능성 검증 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 실제 환경과 조건에서 통합된 S/W 프로토타입 모델의 적용 및 사용가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• S/W 완제품의 제한 된 실제현장에서 사용가능성 증명단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 9	• S/W 완제품의 실제 현장에서 사용적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 8 : 소프트웨어 유형 Checklist

TRL 8 S/W 완제품의 제한 된 실제현장에서 사용가능성 증명단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스 제어 프로세스가 완성 되었다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 소프트웨어 오류의 검출(debug)이 완료되었다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- TRL 7 : 소프트웨어 유형 Checklist

TRL 7 실제 환경과 조건에서 통합된 S/W 프로토타입 모델의 적용 및 사용가능성 증명단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실험실에서 구축 된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 운용 환경조건에서 알고리즘이 수행되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하여 확인하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[제4 세부과제 CTE 4-2] 타워크레인 네비게이션 시스템

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [4세부] 무선인식 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설자재 조달시스템		
CTE # 4-2	- 타워크레인 네비게이션 시스템	유형 구분	- S/W

■ S/W 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 분석적 연구를 통해 개념/아이디어의 실현 가능성을 입증 및 실험실 환경에서 알고리즘 수행 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈 실험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈의 통합 가능성 검증 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 실제 환경과 조건에서 통합된 S/W 프로토타입 모델의 적용 및 사용가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• S/W 완제품의 제한 된 실제현장에서 사용가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 9	• S/W 완제품의 실제 현장에서 사용적합성 증명 단계	<input checked="" type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 9 : 소프트웨어 유형 Checklist

TRL 9 S/W 완제품의 실제 현장에서 사용적합성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 운용 개념이 성공적으로 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 모든 시스템의 기능을 운영적 관점에서 문서화하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 소프트웨어 시스템을 완전히 시연하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 성공적인 운용을 통해서 실제환경에 적용 가능함을 검증하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[제4 세부과제 CTE 4-3] 양중경로 추적 시스템

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [4세부] 무선인식 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설자재 조달시스템		
CTE # 4-3	- 양중경로 추적 시스템	유형 구분	- 장비/장치

■ 장비/장치 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 실험실 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 유사 환경에서 장비/장치 모델 또는 시작품의 성능평가 및 신뢰성 시험단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• 유사 환경에서 장비/장치 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 장비/장치 프로토타입 모델의 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• 장비/장치 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 9	• 장비/장치완제품의 실제현장에서 사용 적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

TRL 8 : 하드웨어 유형 Checklist (공법/기법 & 재료/자재 & 장비/장치)

TRL 8 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명 단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스 제어 프로세스가 완성 되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[제4 세부과제 CTE 4-4] 다차원 모니터링 기술

■ CTE 개요 및 유형구분

과제명	- 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발		
세부과제	- [4세부] 무선인식 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설자재 조달시스템		
CTE # 4-4	- 다차원 모니터링 기술	유형 구분	- S/W

■ S/W 유형 TRL 평가

1) CTE 기초평가 : TRL 정의표를 이용한 기초평가 실시

TRL	정 의	선택
TRL 1	• 기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	<input type="checkbox"/>
TRL 2	• 기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 3	• 분석적 연구를 통해 개념/아이디어의 실현 가능성을 입증 및 실험실 환경에서 알고리즘 수행 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 4	• 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈 실험 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 5	• 테스트 과정의 일부로 일부데이터를 대상으로 개별적인 기능 및 모듈의 통합 가능성 검증 단계	<input type="checkbox"/>
TRL 6	• S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계	<input type="checkbox"/>
TRL 7	• 실제 환경과 조건에서 통합된 S/W 프로토타입 모델의 적용 및 사용가능성 증명단계	<input type="checkbox"/>
TRL 8	• S/W 완제품의 제한 된 실제현장에서 사용가능성 증명단계	<input checked="" type="checkbox"/>
TRL 9	• S/W 완제품의 실제 현장에서 사용적합성 증명 단계	<input type="checkbox"/>

2) CTE 상세평가 : Checklist를 이용한 상세평가 실시

- TRL 8 : 소프트웨어 유형 Checklist

TRL 8 S/W 완제품의 제한 된 실제현장에서 사용가능성 증명단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 개발된 기술의 구성요소들은 전체 운용 시스템과 모든 면에서 잘 부합한다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 모의 운용환경에서 모든 기능이 시연되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스 제어 프로세스가 완성 되었다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실제 상황에서 시험평가를 통해 시스템의 품질이 검증되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 사용성 평가가 완료되었으며, 시스템이 모든 요구사항을 충족한다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 소프트웨어 오류의 검출(debug)이 완료되었다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- TRL 7 : 소프트웨어 유형 Checklist

TRL 7 실제 환경과 조건에서 통합된 S/W 프로토타입 모델의 적용 및 사용가능성 증명단계				
구분	Checklist	충족	미충족	N/A
공통	• 기술개발이 실제 운용환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 인터페이스를 변칙적이고 한계적인 상황에서 시험을 하였다.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 기술시연을 위한 대부분의 기능이 모의 운용환경에서 구현되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 실험실에서 구축 된 기술의 운용 테스트가 가장 전형적인 환경에서 이루어졌다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• 운용 환경조건에서 알고리즘이 수행되었다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하여 확인하였다.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[별첨 III]

NASA TRL Checklist

Level 1 : NASA TRL Checklist

H/S/B	Level 1 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
Both	• Research hypothesis formulated?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Basic scientific principles observed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Scientific knowledge generated underpinning hypothesis?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Peer reviewed publication of studies confirming basic principles?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
H/W	• Physical laws and assumptions underpinning observations defined?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Physical laws and assumptions underpinning observations verified?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Basic elements of technology identified?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
S/W	• Algorithmic functions and assumptions underpinning observations defined?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Algorithmic functions and assumptions underpinning observations verified?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Basic mathematical formulations identified?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

Level 2 : NASA TRL Checklist

H/S/B	Level 2 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
Both	• A concept formulated?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Basic scientific principles underpinning concept identified?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Preliminary analytical studies confirm basic concept?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Application identified?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Preliminary design solution identified?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Preliminary system studies show application to be feasible?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Preliminary performance prediction made?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Modeling & Simulation used to further refine performance predictions and confirm benefits?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Benefits formulated?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Research & Development approach formulated?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Preliminary definition of Laboratory tests and test environments established?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Concept/application feasibility & benefits reported in scientific journals/conference proceedings/technical reports?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
S/W	• Basic properties of algorithms, representations & concept identified?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Basic principles coded?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Experiments performed with synthetic data?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

Level 3 : NASA TRL Checklist

H/S/B	Level 3 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
Both	<ul style="list-style-type: none"> Preliminary performance metrics established for key parameters? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Critical functions/components of the concepts/application identified? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Subsystem or component analytical predictions made? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Subsystem or component performance assessed by Modeling and simulation? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Laboratory tests and test environments established? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Analysis of test results completed establishing key performance metrics for components/subsystems? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Analytical verification of critical functions from proof-of-concept made? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> Laboratory test support equipment and facilities completed for component/proof-of-concept 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Component acquisition/fabrication completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Component tests completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	<ul style="list-style-type: none"> Laboratory test support equipment and computing environment completed for component/proof-of-concept testing? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Component acquisition/coding completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Component V&V completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

Level 4 : NASA TRL Checklist

H/S/B	Level 4 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
Both	<ul style="list-style-type: none"> Preliminary definition of operational environment completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Analysis of test results completed verifying performance relative to predictions? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Preliminary system requirements defined for end users' application? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Critical test environments and performance predictions defined relative to the preliminary definition of the operating environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Relative test environment defined? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> Concept/application translated into detailed system/subsystem/component level breadboard design? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Laboratory tests and test environments defined for breadboard testing? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Pre-test predictions of breadboard performance in a laboratory environment assessed by Modeling and Simulation? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Key parameter performance metrics established for breadboard laboratory tests? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Laboratory test support equipment and facilities completed for breadboard testing? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> System/subsystem/component level breadboard fabrication completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Breadboard tests completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Breadboard performance results verifying analytical predictions and definition of relevant operational 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

H/S/B	Level 4 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
	environment documented?			
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> • Concept/application translated into detailed system/subsystem/component level software architecture design? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratory tests and test environments defined for integrated component testing? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> • Pre-test predictions of integrated component performance in a laboratory environment assessed by Modeling and Simulation? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> • Key parameter performance metrics established for integrated component laboratory tests? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratory test support equipment and computing environment completed for integrated component testing? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> • System/subsystem/component level coding completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> • Integrated component tests completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> • Integrated component performance results verifying analytical predictions and definition of relevant operational environment documented? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> • Integrated component tests completed for used code? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

Level 5 : NASA TRL Checklist

H/S/B	Level 5 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
Both	<ul style="list-style-type: none"> Critical functions and associated subsystems and components identified? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Relevant environments finalized? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Scaling requirements defined & documented? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Facilities, GSE, STE available to support testing in a relevant environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Modeling & Simulation pre-test performance predictions completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> System level performance predictions made for subsequent development phases? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Successful demonstration documented along with scaling requirements? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
H/W	<ul style="list-style-type: none"> Critical subsystems and components breadboards/brassboards identified and designed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Subsystem/component breadboards/brassboards built? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> breadboards/brassboards successfully demonstrated in a relevant environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> Critical subsystems and components implementations identified and designed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Subsystem/component integrations and implementations completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Subsystems/integrated components successfully demonstrated in a relevant environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

Level 6 : NASA TRL Checklist

H/S/B	Level 6 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
Both	• System requirements finalized?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Operating environment definition finalized?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Subset of relevant environments identified that address key aspects of the final operating environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Modeling & Simulation used to simulate system performance in an operational environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Modeling & Simulation used to simulate system/subsystem engineering model/prototype performance in the relevant environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Scaling requirements finalized?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
H/W	• Analysis of test results verify performance predictions for relevant environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• External interfaces baselined?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Facilities, GSE, STE available to support engineering model testing in the relevant environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Engineering model or prototype that adequately addresses critical scaling issues fabricated?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Engineering model or prototype that adequately addresses critical scaling issues tested in the relevant environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Test performance demonstrating agreement with performance predictions documented?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

H/S/B	Level 6 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
S/W	<ul style="list-style-type: none"> Hardware/software interfaces baselined? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Facilities, computing environment available to support software model testing in the relevant environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Software model or prototype built that adequately addresses critical scaling issues? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Software model or prototype built that adequately addresses critical scaling issues tested in the relevant environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Prototype implementation of the software demonstrated on full-scale realistic application? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Initial draft of required software documentation completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Test performance documented demonstrating agreement with performance predictions? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Engineering feasibility fully demonstrated and documented? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

Level 7 : NASA TRL Checklist

H/S/B	Level 7 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
Both	• Design addresses all critical scaling issues?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Modeling & simulation used to predict performance in the operational environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• All performance specifications verified by test or analysis?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• All final acceptance testing plans/procedures/criteria have been baselined?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
H/W	• The flight hardware design baselined?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Facilities, GSE, STE available to support prototype and qualification testing of flight demonstrator?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Fully integrated engineering model or scaled prototype unit that adequately addresses all critical scaling & external interfaces built?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Qualification tests for flight demonstrator completed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Fully integrated prototype unit successfully demonstrated in operational environment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Successful flight demonstration documented?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
S/W	• Hardware interfaces baselined?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	• Facilities, computing environment available to support prototype and qualification testing of operational software?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

H/S/B	Level 7 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
S/W	<ul style="list-style-type: none"> Fully integrated software model or scaled prototype system coded that adequately addresses all critical scaling issues and component and hardware interfaces ? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> All software testing/V&V specified in software development plan completed and results documented? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Fully integrated prototype software successfully demonstrated in operational environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Intermediate draft of required software documentation completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Successful operational demonstration documented? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

Level 8 : NASA TRL Checklist

H/S/B	Level 8 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
H/W	• All flight hardware subsystems design complete? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• All flight hardware interface defined? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Flight system design complete? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Flight and ground operational plans baselined? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• All flight system qualification tests completed? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• All system performance specifications verified by either test or analysis? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• All components/subsystem/system flight hardware system acceptance testing completed? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• All flight hardware delivered for integration? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Final system integration complete? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• System readiness for launch/operation documented? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S/W	• All software components and hardware interfaces defined and design complete? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Software operations, maintenance and retirement baselined and draft documentation prepared? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• All software testing/V&V completed as specified in project plans and results documented, reviewed and approved by appropriate authorities? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• All defects and software issues, including impacts on requirements either fixed or resolved, and results documented? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• All components/subsystem/hardware interface system acceptance testing completed? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Software readiness for launch/operation documented? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• All required software user documentation, version description, and maintenance documentation completed? [Basis] :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Level 9 : NASA TRL Checklist

H/S/B	Level 9 (Check all that apply)	Yes	No	N/A
H/W	<ul style="list-style-type: none"> Flight system inserted into operational environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Flight system operated in operational environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Flight system performance analyzed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Flight system performance verified as meeting operational requirements? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
S/W	<ul style="list-style-type: none"> Software fully integrated and operated in the operational environment? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Software performance analyzed, verified and documented as meeting operational requirements? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> All required software documentation completed? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Sustaining software engineering support in place? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			
	<ul style="list-style-type: none"> Software operations, maintenance and retirement procedures finalized and documented? 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	[Basis] :			

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설교통 R&D 정책·인프라사업 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.