임무중심형 평가제도에서 출연연구기관의 기술개발단계(TRL) 지표 활용

안은영*

I. 서론

국가과학기술위원회(2011)는 과학기술분야 출연연구기관에 대한 획일적 서열화를 지양하여 절대평가 방식인 기관 임무중심의 기관평가 도입을 제시하였다. 이에 따라 미래창조과학부는 2013년부터 과학기술분야 출연, 직할 연구기관에 대해 임무중심형 평가를 실시하였다. 연구기관은 임무중심형 평가에 따라 기관장 임기 중 달성해야 할 경영부문과 연구부문의 성과목표를 포함한 경영성과계획서를 수립하고, 이후 중간컨설팅 및 종합평가를 받고 있다. 임무중심형 평가제도는 2015년 이후에도 지속되어, 국가과학기술위원회(2015)는 핵심 성과지표 위주의 평가 간소화와 성과정보 공시제도 시행을 제시하였다. 연구기관 성과정보 공시제도는 성과정보와 평가정보를 공개하는 것으로, 임무중심형 평가를 도입한 기관은 2016년부터 성과정보를 온라인에 공개한다. 이에 따라 연구기관들은 평가위원 뿐만 아니라 기술개발자, 연구관리기관 종사자, 일반인 등에게도 이해할 수 있는 성과목표와 성과지표를 제시하는 것이 중요하게 되었다. 또한 국가과학기술위원회(2016)가 성과목표 별 평가지표를 3개 이내로 제한함에 따라 연구개발 내용 및 성능목표(specification)를 압축적으로 제시할 수 있는 방법이 요구된다. 미래창조과학부(2013, 2014)은 국가연구개발사업 표준 성과지표에서 사업 수명주기를 고려하여 최종목표를 결정하고, 최종목표 달성을 위한 단계별 시기와 수준을 고려하여 성과목표를 제시하게 하였다. 산업기술연구회(2009)에서 사용한 NASA 기술개발단계(기술성숙도 혹은 기술준비도, Technology Readiness Level, TRL)는 연구개발 진행단계에 따라 9단계로 제시한다. 본 연구는 과학기술 출연연구기관의 임무중심형 평가에 NASA 기술개발단계(TRL)를 적용하여 정량화된 연구개발 성과지표를 제시하고자 한다.

II. NASA 기술개발단계 개념 및 연구개발 적용

1. NASA 기술개발단계 개념

NASA 기술개발단계(TRL)는 NASA(미항공우주국)의 Sadin 외(1988), Mankins(1995)에서 개발되어 미국방부(DoD, 2011) 및 미에너지부(DoE, 2011)에서 사용되고 있으며, 국내에는 홍진원 외(2009), 김남균 외(2012)의 국토정보, 건설교통기술 분야에서도 연구된 바 있다. 국가 연구개발 관리에서 한국산업기술평가관리원(2009)이 기술개발단계(TRL)을 도입하였다. 산업기술연구회(2009, 2010)는 성과목표기술서(현. 경영성과계획서) 작성지침으로 기술개발단계(TRL)을 연차 개념을 제시하였으나, 세부 성과지표로 제시하지 않았다.

TEC-SHS(2008)의 유럽우주국 기술개발단계(TRL) 편람에서는 기술개발단계(TRL)를 특정 기술분야에 대한 것이 아니라 기술개발 분야에서 연구개발 행정자, 연구개발 관리자, 연구개발자 사이에서 연구개발 단계에 대한 면밀한 의사소통 도구로 제시한다. 안상진(2012)은 전문 연구사업 관리기관의 사업담당자 및 주관연구기관의 연구책임자를 대상으로 한 설문조사에서 연구개발 단계에 따라 현황 및 목표 수준을 평가하기 위해 기술개발단계(TRL)을 사용한 바 있다. 황지호(2014)의 예비타당성조사 표준지침에서 기술추세분석의 도구로 기술개발단계(TRL)를 제시하고 있으며, 기술개발단계(TRL)를 기술개발에 대한 시작과 종료시점에서의 기술적 목표달성 정도를 효과적으

* 안은영, 한국지질자원연구원 선임연구원, 042-868-3062, eyahn@kigam.re.kr

로 표현하고 평가하기 위한 도구라고 하였다.

<표 1> NASA 기술개발단계(TRL, Technology Readiness Level) 및 적용 사례

Readiness Level	NASA			DoD(2011)	DoE(2011)				
	구분[1]		TRL 정의 및 설명[2]	정의	구분	시험 스케일	충실도	환경	정의
TRL 1	기초 기술 연구	-	응용 및 개발을 위한 기초 원리가 확인, 보고됨	동일	기초 기술 연구	-	문헌 수준	-	동일
TRL 2		유용성 증명 연구	기술적 개념 및 응용성이 확인됨			-	문헌 수준	-	
TRL 3	기술 개발		수치적, 실험적으로 기술 개념의 주요기능/특성이 입증됨		유용성 증명 연구	실험실	개별 기능 수준	모사	
TRL 4		-	실험실 환경에서 구성요소/실험모형(breadboard)의 성능이 입증됨(충실도가 낮은(low-fidelity) 상태)		기술 개발	실험실	개별 기능 수준	모사	실험모형 삭제, 시스템 대상
TRL 5		기술 실증	유사 환경에서 구성요소/실험모형(breadboard)의 성능이 입증됨(충실도가 높은(high-fidelity) 상태)			실험실	유사 수준	유사 환경	구성요소/실험모형 삭제, 유사(similar)시스템 대상
TRL 6	시스템/서브시스템 개발		유사 환경(ground or space)에서 시스템/서브시스템 모델 또는 시제품(prototype)이 시현됨	ground or space 삭제	기술 실증	(1/10 풀스케일), 엔지니어링/파일럿	유사 수준	유사 환경	ground or space/시스템/서브시스템 모델 삭제, 엔지니어링/파일럿 스케일 및 유사시스템(시제품) 대상
TRL 7		-	우주(실제) 환경에서 시스템 시제품(prototype)이 시현됨	space 삭제, operational	시스템 시운전	Full	유사 수준	유사 환경	유사환경에서 풀스케일/유사시스템(시제품) 시현됨(prototype full scale system)
TRL 8		시스템 시험/보급/운용	시험 및 시현(ground or space)을 통해 실제 시스템(actual system) 성능이 입증 및 인증(completed and flight qualified)	ground or space, flight 삭제		Full	입증 수준	운용 환경 (제한 범위)	ground or space, flight 삭제
TRL 9	-		성공적인 임무 운용(mission operations)을 통해 실제 시스템(actual system) 입증 (flight proven)		시스템 운용	Full	입증 수준	운용 환경 (실제)	기대환경에서 풀스케일의 실제 시스템(actual system) 운용

1) Mankins(1995) 2) Mankins(1995), 홍진원 외(2009), 김예상(2012), 한국항공우주연구원(2015) 참고작성

기술개발단계(TRL)는 기존의 영국 OST(1993), OECD(2002)의 기초연구, 응용연구, 개발연구의 구분과 달리 기초기술연구, 유용성 증명연구, 기술개발, 기술실증, 시스템/하부시스템 개발, 시스템 테스트/보급/운용의 흐름으로 제시되었다(표 1). NASA Mankins(1995), 미에너지부(DoE, 2011) 모두 TRL 4 단계를 실험실 환경 성능입증 단계로 정의하며, TRL 5 단계를 유사환경에서 실험실 규모의 성과품 입증으로 제시하였다. 실험실 규모 성과품과 유사환경의 정의에 대해 두 기관에서 상세하게 제시하지 않았으나, 한국산업기술평가관리원(2009, 2014)에서는 TRL 5 단계를 소재/부품/시스템 시작품(1-수개 샘플) 제작 및 성능 평가, TRL 6 단계를 파일롯 규모(복수-양산규모 1/10) 시작품 제작 및 성능 평가로 제시한 바 있다. 에너지 감축, 피해예방, 기술규격 마련 등 공공복지의 사회적 효과가 나타나는 기술개발의 경우, 유사환경이 실제 현장 중 일부에 해당 하는 경우가 있어, 본 연구는 TRL 5 단계에서 현장에서 시험적용도 포함한다. 따라서 현장 시험적용의 경우 시작품 하나 내지 여러 개로 볼 수 있어, TRL 5 단계에서 시작품(1-수개 샘플) 제작의 기준에 포함된다. 한국산업기술평가관리원(2009, 2014)에서 다음 단계인 TRL 6에서 파일롯 규모로 제시한 복수 개의 시작품과 양산규모 1/10의 시작품에는 세미 파일롯이라는 중간 단계가 존재하며, NASA Mankins(1995)는 TRL 6~8 단계에서 시스템 및 서브시스템의 개발이 제시되고 있다. 본 연구에서는 TRL 6 단계를 세미 파일롯 규모로, TRL 7 단계를 규모 1/10의 파일롯 플랜트로 제시한다. NASA Mankins(1995)는 TRL 7 단계를 실제 환경에서 시스템 시제품 시현으로 정의하나,

미에너지부(DoE, 2011)는 유사환경에서 풀스케일/유사시스템(시제품) 시현으로 제시하고 있다. 기술이 실현되는 현장과 기술개발 규모가 차이가 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 TRL 7 단계에 대한 정의는 두 가지 정의를 모두 포함한다. 기초기술연구를 포함하는 TRL 3 단계 이전과 TRL 8, 9 단계에 대해서는 연구개발 특성과 함께 분석한다.

2. 연구개발에 기술개발단계(TRL) 적용

한국산업기술평가관리원(2009, 2014)는 TRL 1 단계를 정부 R&D로 지원하지 않는 영역으로 제시한다. 조일구(2013) 또한 TRL 1 단계는 기초논문 수준의 과학적 연구단계로 보아 정부 R&D 지원대상에서 제외하고 있다. 조일구(2013)는 TRL 2 단계에서 응용논문과 특허가 도출되며, 기대성과가 크고 위험성이 높은 연구사업(High-Risk, High-Return)을 TRL 2~5 단계로 보았다. 임현 등(2014)은 TRL 1~3을 기초연구사업으로 보았다. TRL 1 단계를 기술의 근본적 특성에 관한 논문연구로 제시하였으며, TRL 2는 추론적 응용 개념이 제시되나 가정을 뒷받침하는 증명이나 상세한 해석이 제시되지 않는 단계로 보았다. TRL 3은 해석/실험에 의한 핵심기능/개념의 특성을 입증하는 단계이다. NASA Mankins(1995), 미에너지부(DoE, 2011) 모두 TRL 1~2 단계를 기초기술연구 단계로 보았으나, 실제로 과학적 성과가 나타나는 단계는 수치적, 실험적인 연구가 필요하므로 기초연구의 범위보다는 넓은 TRL 1~3 단계로 보는 것이 적합하다.

한국산업기술평가관리원(2009, 2014)은 TRL 8, 9 단계 또한 정부 R&D로 지원하지 않는 영역으로 보고 있다. 조일구(2013)는 기대성과가 크고 위험성이 낮은 연구사업(Low-Risk, High-Return)인 TRL 5~8단계의 연구를 강조한 바 있다. TRL 8, 9 단계에서 연구개발과 산업 활동의 구분이 어려울 수 있다. OECD(2002)의 프라스카티 매뉴얼(Frascati Manual, 연구개발 조사 표준지침)은 연구개발을 관련 활동과 구별하는 기준을 제시하였다. OECD(2002)에 의하면 한국산업기술평가관리원(2009, 2014)와 달리 피드백 연구개발(feedback R&D), 엔지니어링 개발, 운영개발의 경우도 연구개발에 포함되므로, 시스템 보급/운용에 대한 연구개발은 TRL 8~9 단계로 포함할 수 있다.

<표 2> 연구개발 실용화 단계 기준 기술개발단계(TRL)별 성과목표

TRL 단계 및 구분		성과목표	
기초연구 (Basic Research)	TRL 1	기본원리이해	- 기초 이론 및 실험 연구(기초논문 도출)
	TRL 2	개념 형성	- 응용분야 도출, 응용방법 설정(응용논문, 특허 도출) - 실험장 확보
실험실 연구 (Laboratory Experiments)	TRL 3	기능실험 /특성입증	- 응용연구개발 시작단계 - 기능 실험 및 기술 특성 입증
	TRL 4	실험실환경 성능입증	- 요소기술 고도화단계(실험실 환경) - 응용방법의 구체화 및 유효성 검증
시제품 개발/적용 (Prototype Development, Pilot application)	TRL 5	현장모의실험 /시범적용*	- 요소기술 고도화 단계(실험실 외 환경) - **시제품(샘플 1-복수 개) 제작, 현장모의실험, 현장시험적용**, 응용기술의 결과 확인
	TRL 6	세미파일롯 /시제품 성증 시현*	- 응용기술의 향상, 오류수정 및 보완을 통한 기술 업그레이드 - **세미 파일롯 플랜트 규모 공정기술** 확보
현장 적용 (Field Application)	TRL 7	파일롯 /현장실험*	- 수정 및 보완된 기술의 확인, **시스템기술 현장 시험적용** - **파일롯 플랜트(양산규모 1/10 수준) 설치 및 시현**
	TRL 8	실제시스템 구현	- 시스템기술 현장 본격적용/시험, 기술응용의 자립화 완성을 위한 부대 장비 등 개발 - 실제환경에서 기술적용, 기술상용화 초기단계
	TRL 9	시스템 보급 /운용	- 개발기술의 최종확인 및 모든 결과 검증 - **상용화기술의 적용**, 실현 및 기술이전

* 기술성능(specification) 제시 필요

본 연구에서 제시하는 연구개발 실용화 단계 기준 기술개발(TRL) 단계별 성과목표는 표 2와 같다. 기초연구사업에서 제시한 것과 같이 TRL 3 단계까지는 논문, 특허로 평가가 가능하며 TRL 4

단계 연구사업부터는 실험실 환경 성능 입증, 현장모의실험 등 기술개발단계(TRL)를 고려한 목표 설정이 가능하다. 또한 한국산업기술평가관리원(2009, 2014)의 사례와 같이 파일롯 규모의 성과품에 생산량, 생산용량, 수율, 불량률 등 기술성능(specification)을 제시할 필요가 있다.

Ⅲ. 임무중심형 평가제도에 기술개발단계(TRL) 적용

1. 임무중심형 평가제도 연구사업 유형별 기술개발단계(TRL) 적용

임무중심형 평가제도에서 정부출연연구원은 고유임무 유형인 기초·미래선도형(R형), 공공·인프라형(R&D형), 산업화형(실용화형)(R&BD형), 연구·교육형(R&E형), 정책연구·지원형(R&P형)에 따라 연구사업을 배치해고 해당 성과목표와 성과지표를 제시하고 있다. 또한 성과지표 개발 시에는 국가연구개발사업 표준성과지표를 준용하도록 하고 있으며, 제시하는 국가R&D사업은 출연연 고유임무 유형과 차이가 있다. 산업화형(실용화형)(R&BD형)은 명확하게 응용 및 개발연구로 볼 수 있으며, 기초·미래선도형(R형)은 앞서 기초연구사업에서 제시한 것과 같이 TRL 1~3 단계의 기초연구 및 원천연구, 선도형연구로 볼 수 있다. 공공·인프라형(R&D형)은 명백한 기초연구사업을 제시한 응용 및 개발연구로 볼 수 있다.

<표 3> 임무중심형 기관평가제도의 출연연 고유임무 유형

연구유형	개념
기초·미래선도형(R형)	창조적 지식창출 또는 미래 신산업 창출을 위한 연구
공공·인프라형(R&D형)	사회현안해결 및 국방목적 등 국책사업 또는 연구지원 인프라 분야에 대한 연구
산업화형(실용화형)(R&BD형)	기술사업화 및 중소기업지원 등 직·간접적으로 산업육성을 목표로 하는 연구
연구·교육형(R&E형)	인력양성, 전문 교육 훈련 등 이공계 관련 우수 인적자원 육성에 관련된 연구 및 활동
정책연구·지원형(R&P형)	국가정책연구 및 시책지원

출처 : 산업기술연구회(2014)

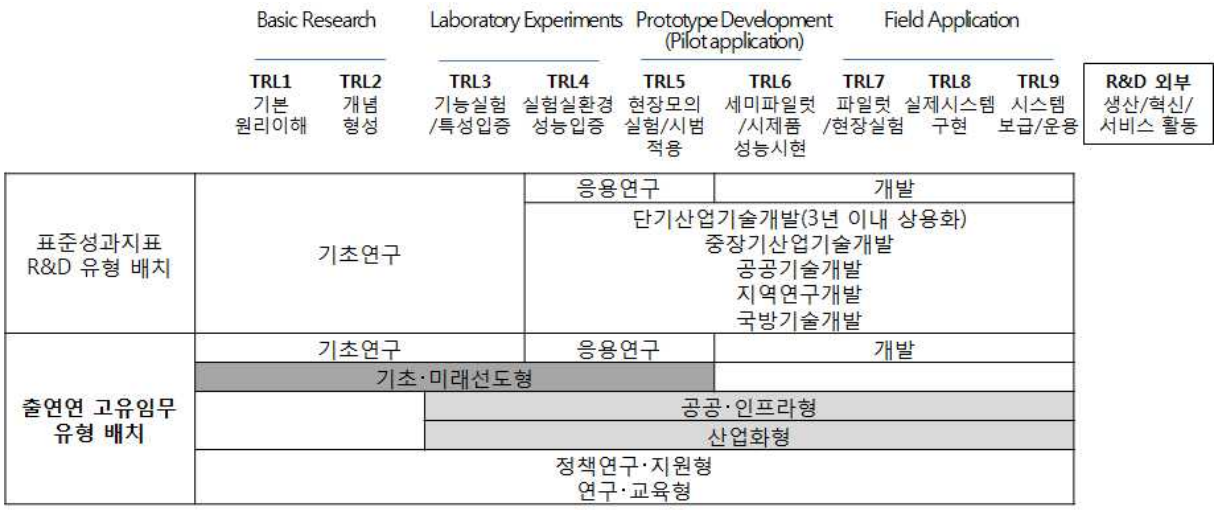
<표 4> 국가연구개발업 표준성과지표의 연구사업 분류(일부 생략)

성격	유형	개념 및 분류 기준
1. 연구개발	1. 기초연구	- 자연현상의 원리규명, 새로운 현상의 분석 등을 통해 창조적 지식 획득 연구(**순수기초형**) - 현재 또는 미래에 광범위한 응용을 목적으로 문제해결의 근본원리 및 창의적 지식창출 연구(**목적기초형**)
	2. 단기산업 기술개발	- 단기간 내(3년 이내) 상용화를 목표로 한 신기술 및 신제품 개발을 위한 **응용·개발 연구사업**
	3. 중장기산업 기술개발	- 중·장기적(3년 이상) 상용화를 목표로 추진 중인 **응용·개발 연구사업**
	4. 공공기술개발	- **응용·개발단계 연구개발사업** 중 최종적인 성과가 국민 건강증진, 재난방지 등 국민 삶의 질에 기여하는 형태로 나타나는 사업

* 미래창조과학부(2014)에서 연구기반조성 분야 및 지역기술개발, 국방기술개발 생략

미래창조과학부(2013, 2014) 성과목표 및 성과지표 설정 가이드라인에서는 연구개발의 시기와 수준을 고려하여 성과목표를 설정하게 하였다. 기존 기술성능(specification)으로 목표를 제시한 경우, 연구개발 단계별 목표 수준과 목표기한을 제시하지 않아 연구개발의 진행단계를 알 수 없는 한계가 있다. 기술개발단계(TRL)를 적용 시, 마지막 단계인 TRL 9 단계를 고려하게 한다면 연구개발

의 현재 수준 및 종료 시기를 확인할 수 있다. 연구개발의 종료 연도 및 목표기한은 단기적으로 사업지원 기간에 따라서 결정되나, 중장기적으로 기술개발로드맵(TRM) 등을 통해 제시해야 할 것이다. 국가과학기술위원회/한국과학기술기획평가원(2012)의 제4회 과학기술예측조사(2012-2035)는 미래기술별 기술실현시기를 제시하였다. 이러한 기술실현시기를 TRL 9 단계 시점으로 보아, 최종단계에 도달하기 전에 실험실 환경실험, 현장모의실험, 세미파일럿 규모 시현, 파일럿 규모 실증시설 시현, 실제시스템 구현, 시스템보급/운용으로 성과목표를 제시할 수 있다.



(그림 1) 출연연 임무유형과 기술개발단계(TRL) 매칭

2. 임무중심형 평가의 기술개발단계(TRL) 적용한 성과지표 사례 분석

2013년 임무중심형 평가제도 도입 이후, 기관장 취임에 따라 과학기술 분야 정부출연연구원의 경영성과계획서가 작성되고 있다. 경영성과계획서를 입수할 수 있었던 기관 중 재료기술, 철도기술, 항공우주, 지질자원 분야의 정부출연연구기관에서 기술개발단계(TRL)을 성과지표로 활용하였다. 재료연구소(2015)은 기술개발단계(TRL)을 성과지표로 전반적으로 활용하고 기술성능(specification)도 함께 제시하였다. 기초·미래선도형은 TRL 2 단계부터 제시되었으며, 산업화형의 경우 TRL 4~6 단계가 주로 제시되고 TRL 7~8 단계의 성과목표도 제시되었다. 한국철도기술연구원(2014)은 성과지표 외에 2014-2017년 기술수준 비교에도 기술개발단계(TRL)를 활용하여 해당 자료도 함께 분석하였다. 정책연구·지원형, 공공·인프라형에 TRL 1 단계부터 목표가 제시되었으며, 산업화형에서 TRL 8~9 단계의 목표를 가지는 세부성과지표가 산업화형의 44% 정도 제시되었으며, TRL 7~9 단계는 산업화형의 67%에 해당하였다. 한국항공우주연구원(2015)은 공공·인프라형 2개 성과목표에만 TRL 3~6 수준의 기술개발단계(TRL)을 성과지표로 활용하였다. 한국지질자원연구원(2014)은 TRL 2~6에 세부성과목표가 집중되었다.

앞서 제시한 4개 과학기술 분야 정부출연연구원의 경영성과계획서를 통해 85개의 세부성과목표 성과지표로 기술개발단계(TRL)를 사용하고 있었다. 세부 임무유형별로 기초·미래선도형 17개, 공공·인프라형 38개, 산업화형 27, 정책연구·지원형 3개로 조사되었다. 공공·인프라형 1개와 기초·미래선도형 1개의 성과지표에서 TRL 1 단계를 제시하였다. 또한 기술개발단계(TRL)를 사용한 공공·인프라형과 산업화형 각각 10.5%, 18.5%의 성과지표가 TRL 8~9의 목표를 제시하고 있었다. 기초·미래선도형의 경우 분석된 17개 세부성과지표에서 15개인 88%가 TRL 2~6 단계로 제시되는 것을 확인할 수 있었다.

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 과학기술 전반에 적용할 수 있는 정량화된 기술개발단계(TRL)의 개념을 제시하여, 출연연 고유임무 유형을 배치하고 성과지표로 정량화된 연구개발 단계를 제시할 수 있게 하였다. 본 연구에서 제시한 연구개발 실용화 단계 기준 기술개발단계(TRL)별 성과목표가 임무중심형 평가제도의 출연연구기관에 적용할 수 있는지를 살펴보았다. 현재 임무중심형 평가제도를 시행하고 있는 과학기술 분야 정부출연연구원의 경영성과계획서에서 기술개발단계(TRL)을 성과지표로 활용한 재료기술, 철도기술, 항공우주, 지질자원 분야 정부출연연구기관 사례를 분석하였다. TRL 1 단계에서부터 활용되고 있으며, 임무형 특성에 따라 공공·인프라형과 산업화형에 TRL 8~9 단계의 성과목표를 제시한 것을 확인할 수 있었다. 국가과학기술위원회는 논문, 특허 등의 지표를 지양하고 기관 임무 및 연구개발 특성에 맞는 성과목표 및 성과지표 설정을 요구하고 있다. 기술개발자 및 경제 · 정책전문가의 기술개발로드맵에 기반한 기술개발 실용화 시점, 연구개발 단계에 대한 심도있는 논의가 요구된다.

[참고문헌]

국가과학기술위원회 (2011), “제2차 국가연구개발 성과평가 기본계획(2011-2015)”.
국가과학기술위원회 (2015), “제3차 국가연구개발 성과평가 기본계획(2016-2020)”.
국가과학기술위원회 (2016), “2017년 국가연구개발 성과평가 실시계획”.
국가과학기술위원회/KISTEP (2012), 「제4회 과학기술예측조사(2012-2035)」.
김남균·안병호·이현석·최재홍·박상혁·김예상 (2012), “국가 건설교통 R&D 사업의 실용화 향상을 위한 기술성숙도평가 기반 R&D 평가모델 수립에 관한 연구”, *한국건설관리학회 논문집,* 13(4) : 110-119.
김예상 (2012), 「건설교통 R&D 기술단계별 실용화 추진전략 수립에 관한 연구」, 국토해양부 한국건설교통기술평가원.
미래창조과학부 (2013), “국가연구개발사업 표준성과지표(3차 개정)”.
미래창조과학부 (2014), “국가연구개발사업 표준성과지표(4차 개정) - 성과목표 · 지표 설정 안내서”.
산업기술연구회 (2009), “2009년도 성과목표기술서 양식”.
산업기술연구회 (2010), “산업기술연구회 소관 정부출연(연) 3개년(2010-2012) 성과목표기술서 주요사업분야”.
산업기술연구회 (2014), “정부출연연구기관 경영성과계획서 작성 가이드라인”.
안상진 (2012), 「R&D부문 총사업비 관리체계 적용가능성과 효과에 대한 실험적 연구」. KISTEP.
재료연구소 (2015), 「2015-2017 경영성과계획서」.
조일구 (2013), “고위험(High Risk)에 대한 R&D 투자 활성화 방안”, *한국산업기술평가관리원 PD 이슈리포트,* 13(3) : 97-122.
한국과학기술기획평가원 (2014), 「프라스카티 매뉴얼-연구개발 조사 표준지침」.
한국산업기술평가관리원 (2009, 2014), “산업원천 전략기술별 TRL 평가지표”.
한국지질자원연구원 (2014), 「2013-2016 경영성과계획서」.
한국철도기술연구원 (2014), 「2014-2017 경영성과계획서」.
한국항공우주연구원 (2015), 「2015-2017 경영성과계획서」.
홍진원·박승욱·서우종·박지만 (2009), “대규모 국가 연구개발 과제를 위한 기술준비수준 모델 개발”, *한국산업정보학회논문지,* 14(3) : 58-75.
황지호 (2014), 「연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(2판)」. KISTEP.
Department of Defense (DoD) (2011), “Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance”, Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering (ASD(R&E)).
Department of Energy (DoE) (2011), “U.S. Department of Energy Technology Readiness Assessment Guide”.
Mankins, J. C. (1995), “Technology Readiness Levels: A White Paper”, Advanced Concepts Office. Office of Space Access and Technology, NASA.
Office for Science and Technology (OST) (1993), “Realising Our Potential: A Strategy for Science, Engineering and Technology”.
Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2002), *Frascati Manual: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development.*
Sadin, S. R., Povinelli, F. P., Rosen, R. (1988), “The NASA technology push towards future space mission systems”, *Proceedings of International Astronautical Congress, 39th.*
TEC-SHS (2008), “Technology readiness levels handbook for space applications”, European Space Agency (esa), https://artes.esa.int/sites/default/files/TRL_Handbook.pdf.