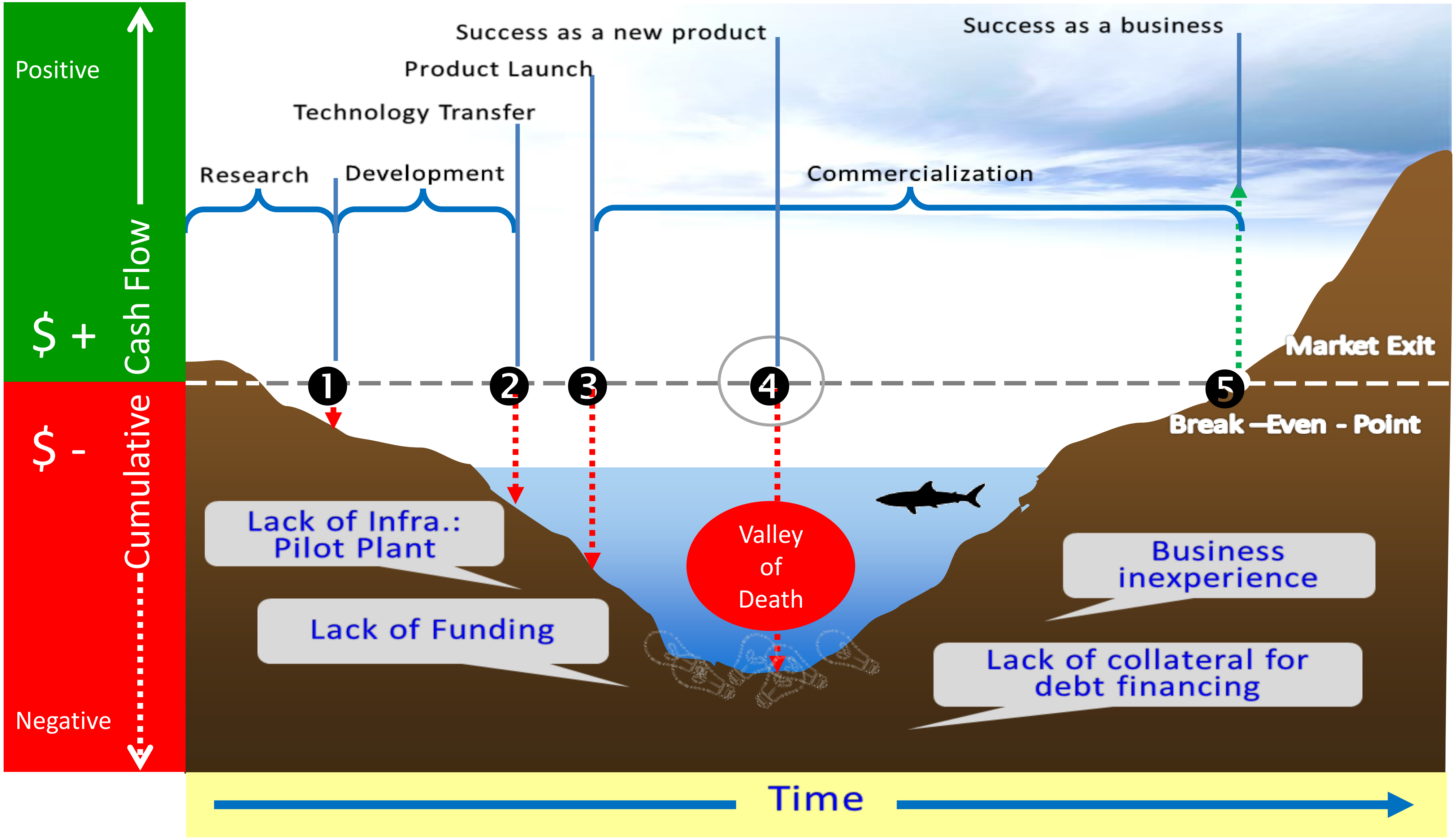
ความสำคัญ

เกี่ยวกับการประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) และการประยุกต์ใช้ TRL ในประเทศและต่างประเทศ

ดร.วรางคณา ปัญญากรวงศ์

นักวิจัยนโยบาย ฝ่ายบริหารกลยุทธ์และนโยบายองค์กร
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

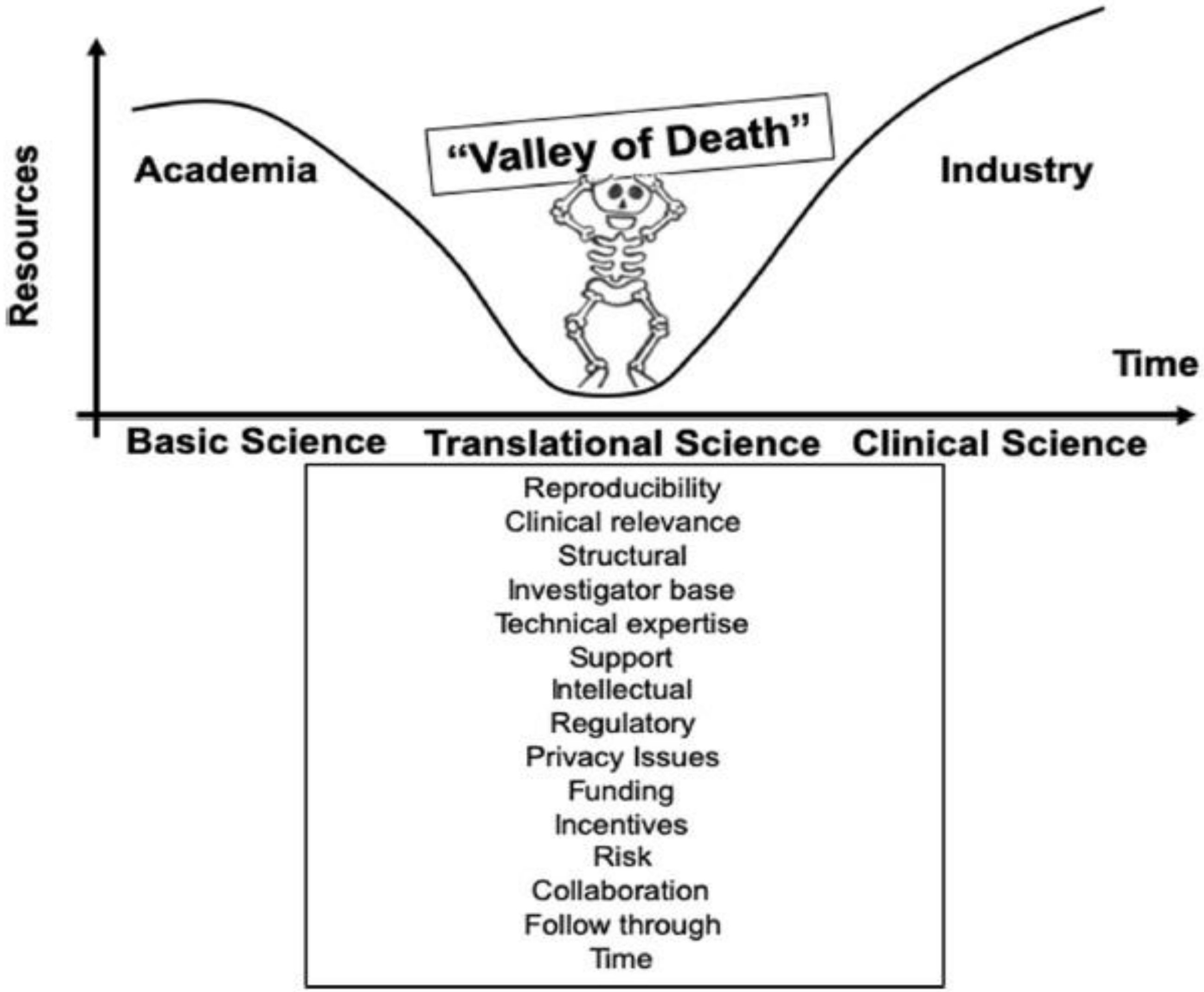
Crossing the Valley of Death



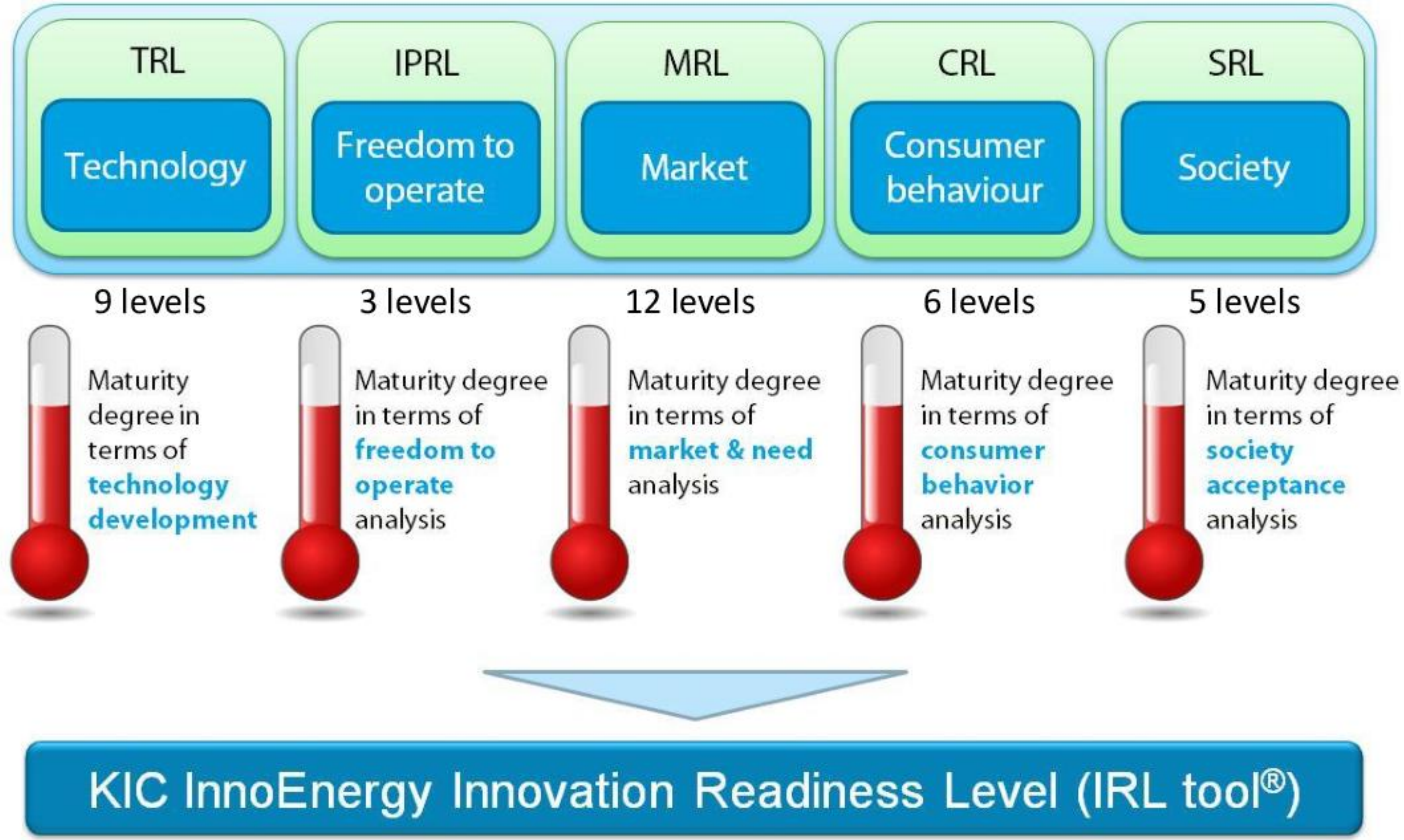
Source: Hugh ThaweesakKoanantakool, Ph.D.

Adapted from source: Osawa and Miyazaki, 2006

The Valley of Death in Biomedical Research



Source: Seyhan, Attila. (2019). Lost in Translational – Crossing the Valley of Death: challenges in bridging the preclinical and clinical worlds concepts)



Source: European Institute of Innovation and Technology promoted Knowledge and Innovation Communities, 2017

Technology Readiness Level (TRL): 9 **levels**, ranging from the *Fundamental research* up to the *Market certification and sales authorization*

IP Readiness Level (IPRL): 3 levels, which range from the *basic research based on IP Mapping* up to the *detailed and complete freedom to operate in a global framework*.

Market Readiness Level (MRL): 10 **levels**, which range from the *identification of an unsatisfied need* up to the *Business Model definition.*

Consumer Readiness Level (CRL): it identifies the level of knowledge about the consumer and to what extent it affects the product/service. This dimension is made up of **6 levels**, which range from the *consumer identification and needs* up to the *consumer co-development*

Society Readiness Level (SRL): it identifies the level of knowledge about the stakeholders' interests and concerns and to what extent the product/service impacts on society. This dimension is made up of 5 levels, which range from the recognition of the stakeholders up to the involvement of the stakeholders.

Source: METHODOLOGY FOR LINKING TECHNOLOGY INNOVATION TO ENERGY SYSTEM MODELS, 2017

	Definition	Limitations
Innovation Readiness Level tool (IRL tool ™) First identified source : Developed by EIT Kic Inno-energy	Composite measure built on various scales TRL, IPRL, MRL, CRL, SRL (see box 4).	Difficult to implement in practice in most innovation projects, being an advanced tool.
Innovation Readiness Level (IRL) First identified source : university of liege in the context of the H2020 project PROGRESSTT	IRL is designed to better shape technologies transfer programme. University of Liege has launched a Prove of concept programme to bring project from IRL 4 (prototype approved in labs.) to IRL5 (prototype approved in real environment). In contrast to the IRL tool developed by the EIT KIC Inno-energy, the intellectual property is considered apart.	The project has reformulated the Steps of TRL scale to better shape with innovation policies and instruments. A case study on assessing IP and technology at the university of Liege shows the relevance of such tool when designing a support measure.
Manufacturing Readiness Level (MRL) First identified source : US Department of Defence http://www.dodmrl.com/	MRL measures the maturity of manufacturing readiness, similar to how technology readiness levels (TRL). It can be used in general industry assessments or for more specific application in assessing capabilities of possible suppliers	Very specific to the manufacturing sector
Technology Readiness Index (TRI) First identified source : Parasurama A., 2000	Measure to assess people's general beliefs about technology. It is comprised of 4 dimensions: optimism, innovativeness, discomfort and insecurity.	Measure mainly used for digital technologies and products
Technology Acceptance model (TAM) First identified source : Davis and Bagozzi, 1989	TAM predicts the people's technology-adopting behaviour at work environments. Developed in the 80s, it assesses the acceptance of IT by asking individuals about their future intentions to use the IT.	Measure focussed on individual 'user' of IT

Source: European Commission, Drawingfundingandfinancingscenariosforeffectiveimplementationof SmartSpecialisationStrategies: *S2E Technical report, 2018*

	Definition	Limitations
Societal Readiness Level (SRL) Horizon2020-SWAFS (Science with and for Society) project "NewHoRRIzon" https://newhorrizon.eu/	SRL identifies the level of knowledge about the stakeholder's interests and concerns and to what extent affects the product/service to the society. SRL includes adequate legislation and governance arrangements to mitigate adverse effects; and the existence of mechanisms to ensure involvement of citizens and societal actors in the production and assessment of new knowledge and technologies.	The limitations of the use of TRL considering that technological readiness levels are actually always sociotechnical, i.e. include economic and social (and sometimes political) readiness)
Human Readiness Level (HRL) First identified source : US Naval Postgraduate School (NPS)	HRL Measures the likelihood of usable, fit-for-purpose systems being delivered to the end-users is getting every closer	First developed for military purposes, no other use identified
Societal Readiness Level (SRL) First identified source : Innovation Fund Denmark	SRL assess the level of societal adaptation of, for instance, a particular social project, a technology, a product, a process, an intervention, or an innovation (social or technical) to be integrated into society.	No other use of SRL scale identified
System readiness level (SRL) First identified source : Sauser et al,2002	SRL incorporates the current TRL scale, and introduce the concept of an integration readiness level (IRL) to dynamically calculate a SRL index	Technology oriented and potentially difficult to use for policy purpose
Market readiness level (MRL)(2)	MRL(2) measures the need of a technology in the market from the identification of an unsatisfied need to the full commercialization and scaling	MRL (2) is related to TAM and TRI. MRL(2) should be used ex-ante the implementation of R&I policies. MRL should have been taken into account upstream when S3 specialisation is decided through the entrepreneurial discovery process.
Demand Readiness Level (DRL) First identified source : Paun F., 2011	DRL addresses the Market Pull approach while doing technology transfer and technological innovation	DRL is similar to MRL. DRL and MRL should be considered at broader level than region itself. European and international demand/market should be considered.

Source: European Commission, DrawingfundingandfinancingscenariosforeffectiveimplementationofSmartSpecialisationStrategies: *S2E Technical report, 2018*

Why use TRL?

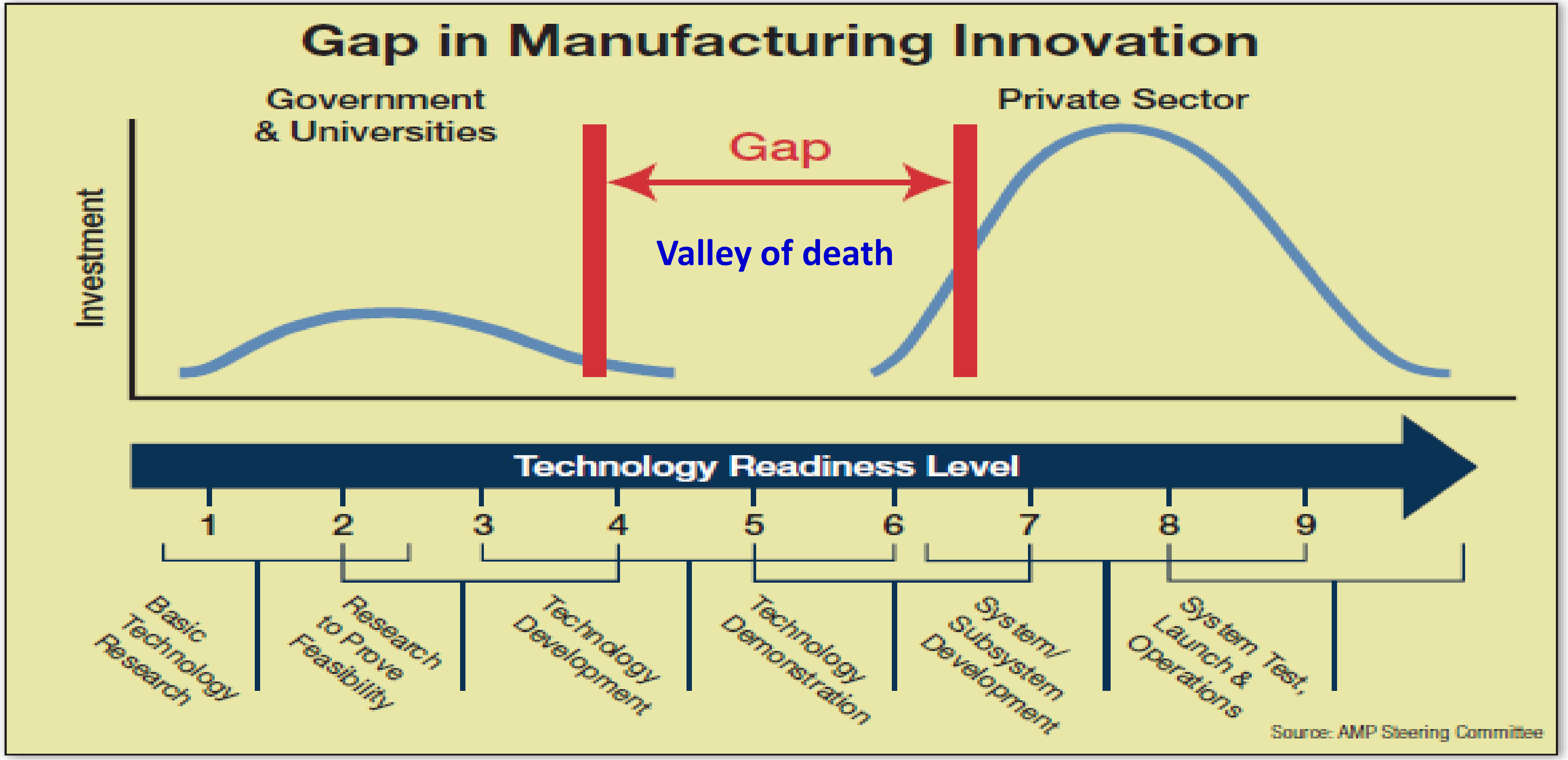
- A Technology Readiness Level (TRL), describes the maturity of a given technology relative to its development cycle.
- At its most basic, it is defined at a given point in time by what has been done and under what conditions.

- TRL is used as
  - » a program management tool
    - – a common understanding of science and technology exit criteria
    - – a consistent comparison of maturity between different types of technology
    - – a communication tool between technologists and managers

ที่มา: Ikeda, M., Kurata, M, Minato, K., et al. **Technology Readiness Levels for Partitioning and Transmutation of Minor Actinides in Japan, San** Francisco, USA, 1-4 November 2010.

James Bilbro ., et al. **Status of the development of an International Standards Organization (ISO) definition of the Technology Readiness Levels (TRL) and their criteria of assessment**, 2010.

TRL and Valley of death

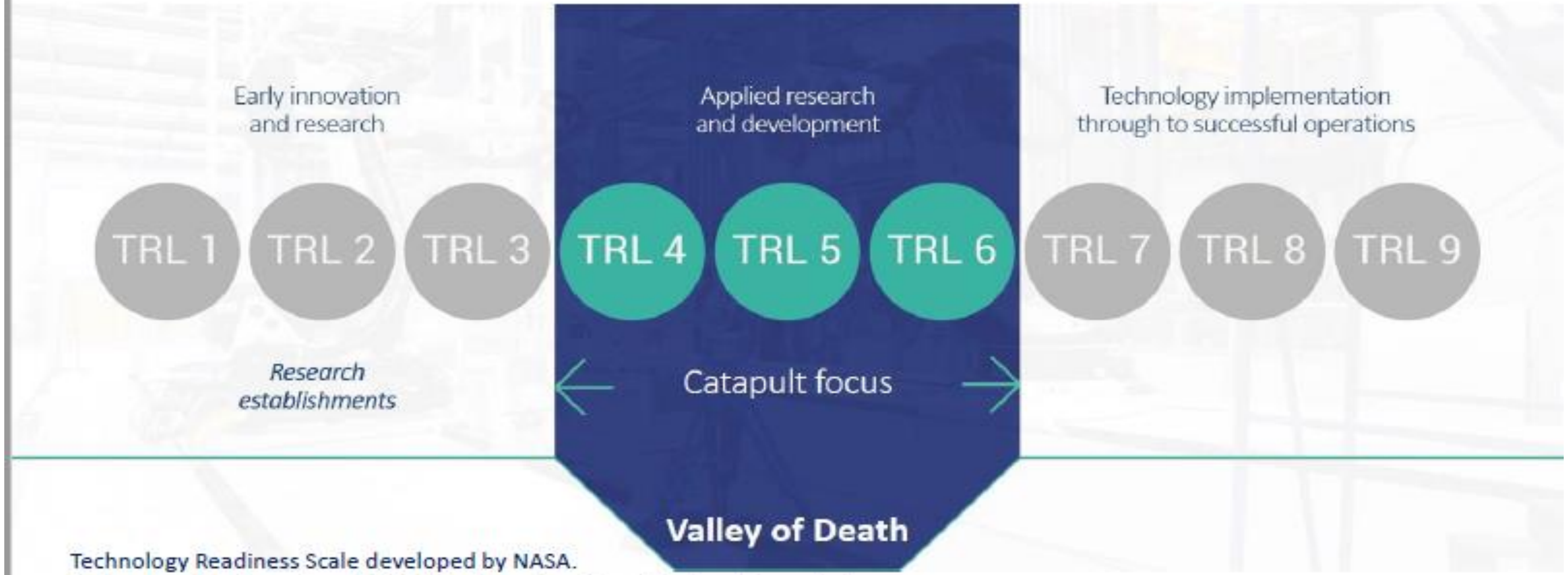


TRL 1-3	TRL 4-5	TRL 6	TRL 7-9	TRL 10
Discovery Preliminary scientific evidence	**Feasibility** ▪ Evidence for scalability ▪ Labscale validation	**Practicality**	**Applicability** Product performance Verified, scaled, adapted	**Production Ready**

Source: Dr. Tapan Kumar Khura,Division of Ag. Engg. , ICAR-IARI New Delhi

Market failure: Bridging the Valley of Death

CATAPULT
High Value Manufacturing



Technology Readiness Scale developed by NASA.
Technology Readiness Level 1-3 is the stage from idea to interesting prototype.
This often takes place in a research institution, university or laboratory.
TRL 4-6 is the translational space which moves the prototype to proof of commercial viability
TRL 7-9 is where private investment turns the proven concept into industrial scale manufacturing activity.
The translational activity is the risky, expensive stage, often involving significant investments without any guarantee of success.
It is estimated that 80% of innovations fail in this so-called Valley of Death.
Other countries recognise this market failure and have put in place support mechanisms.
The NCC a member of the UKs High Value Manufacturing catapult fit in the translational space.

NATIONAL COMPOSITES CENTRE

CATAPULT
High Value Manufacturing

© National Composites Centre. All rights reserved. Confidential and proprietary document. Parent PowerPoint Template

Source: National Composite Centre, 2016

TRL และการประยุกต์ใช้ในองค์กร/หน่วยงานต่างประเทศ

การบ่งชี้ระดับความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีตามบริบทการใช้งาน ตั้งแต่เป็นวัตถุดิบ องค์ประกอบสำคัญ อุปกรณ์ และกระบวนการทำงานทั้งระบบก่อนที่จะมีการบูรณาการเทคโนโลยีเป็นระบบ

ค.ศ. 1974

TRL ถูกคิดค้นครั้งแรก โดย Mr. Stan Sadin องค์การนาซ่า เพื่อใช้เป็นเครื่องมือประเมินระดับความพร้อมของการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ในโปรแกรมการบิน โดยในช่วงแรกมี 7 ระดับ

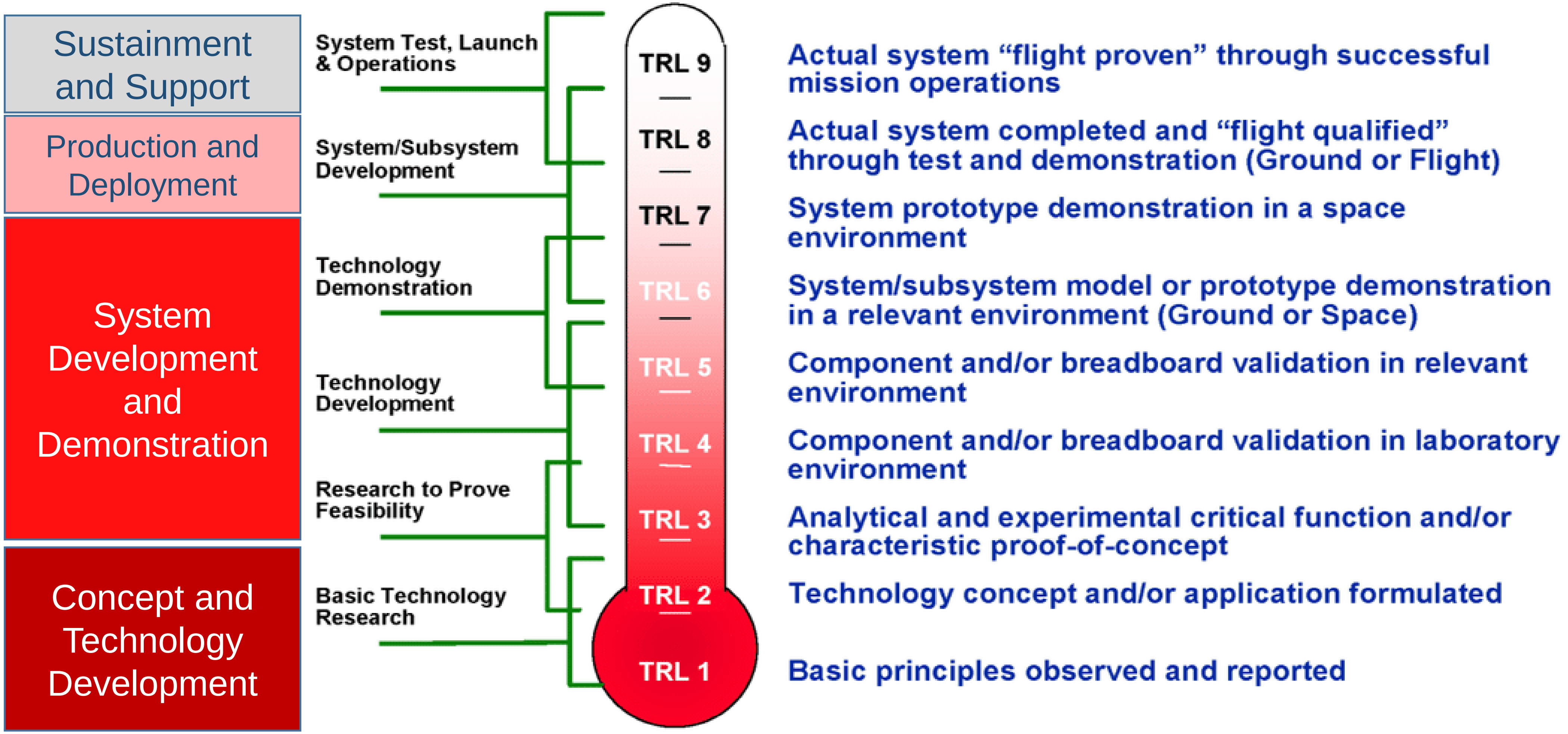
ค.ศ. 1990

องค์การนาซ่า ได้ขยายเพิ่มเติมคำจำกัดความของ TRL เป็น 9 ระดับ และเป็นครั้งแรกที่มีการประยุกต์ใช้ TRL ทั้งภายในและภายนอกองค์การนาซ่า

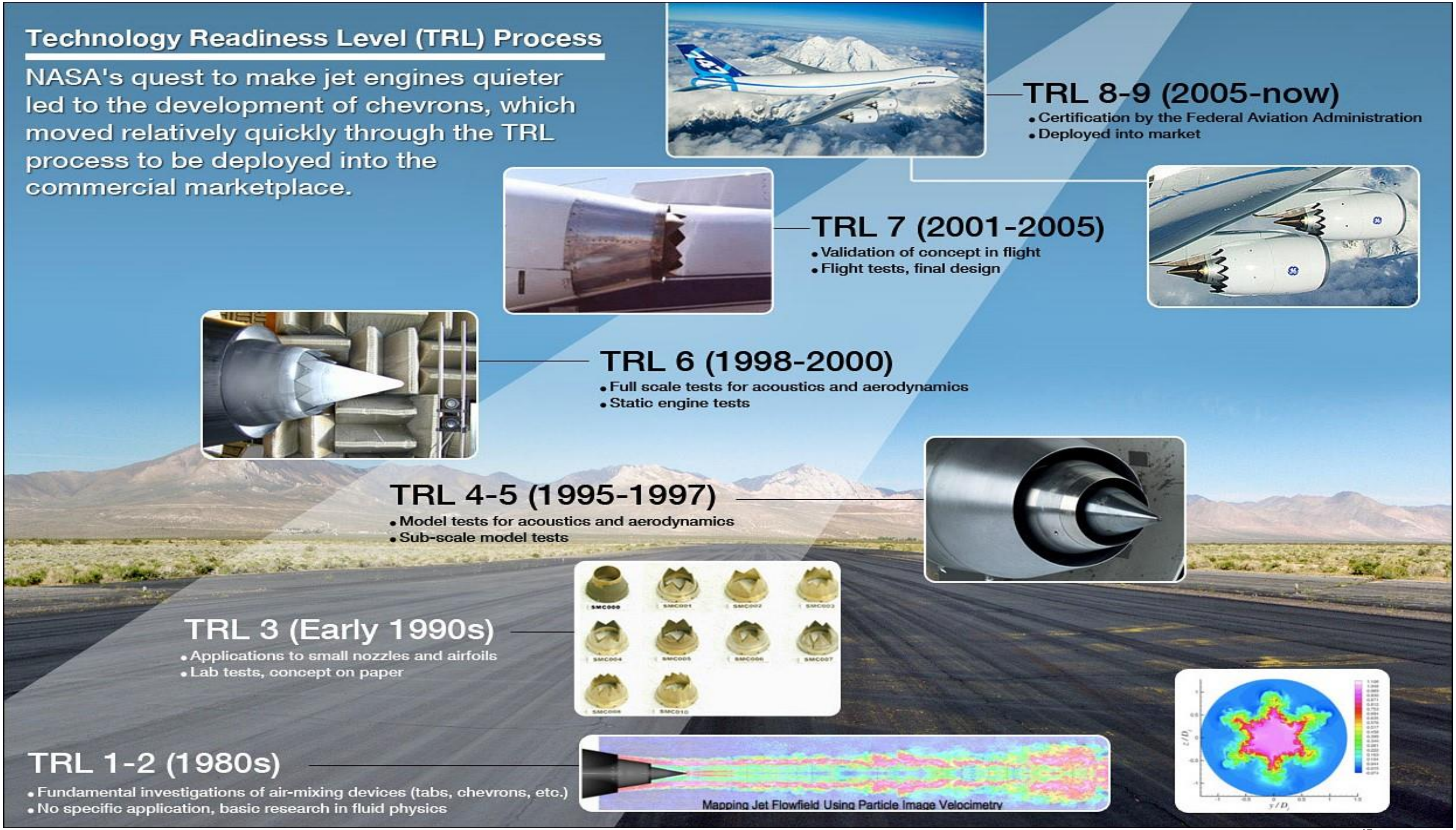
ค.ศ. 1995

Mr. John C. Mankins ได้มีตีพิมพ์เผยแพร่คำจำกัดความและคำอธิบายรายละเอียดของ TRL แต่ละระดับอย่างเป็นทางการใน white paper

NASA Definitions of each TRL Level



NASA, HRST Technology Assessments Technology Readiness Levels, Chart.



https://serkanbolat.com/2014/11/03/technology-readiness-level-trl-math-for-innovative-smes/

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ TRL ใน หน่วยงานวิจัยต่างประเทศ

สวทช NSTDA

- Ministry of Industry-the Technology Demonstration Program (TDP)
- Goverment of canada the build in canada Innovation Program (BCIP)

DLR

National aerospace center

cnes CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

cente national d' Etudes spatiales

esa European Space Agency

European Space Agency (ESA)

EARTO IMPACT DELIVERED

European Association of Research and Technology Organizations

NASA

National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Department of Homeland Security (DHS)

INL Idaho National Laboratory

NATO OTAN

North Atlantic Treaty Organization

United States Department of Defense (DOD)

Department of Energy (DOE)

Sandia National Laboratories

JAXA

Japan Aerospace Exploration Agency

ARENA

Australian Government

Australian Renewable Energy Agency

UK RI Natural Environment Research Council

Ministry of defence (MOD)

MIDA

Malaysian Investment Development Authority (MIDA)

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

INO TRL Definition

Phase of Development	• •	• •
Exploratory	TRL 1	The scientific research phase
	TRL 2	The applied research phase
Development	TRL 3	Analytical and experimental proof-of-concept for the critical functions of the technology
	TRL 4	The component and /or breadboard validation in done in a laboratory environment
	TRL 5	A higher fidelity breadboard is validated in the application specific or relevant product implementation environment
α Test	TRL 6	A representative model or prototype of the system (alpha prototype) is tested in the environment of the application
β Test	TRL 7	Demonstration of functionality of an actual prototype (beta system) in the intended operational environment
Pre-production	TRL 8	Pre-production phase
Production	TRL 9	Production phase

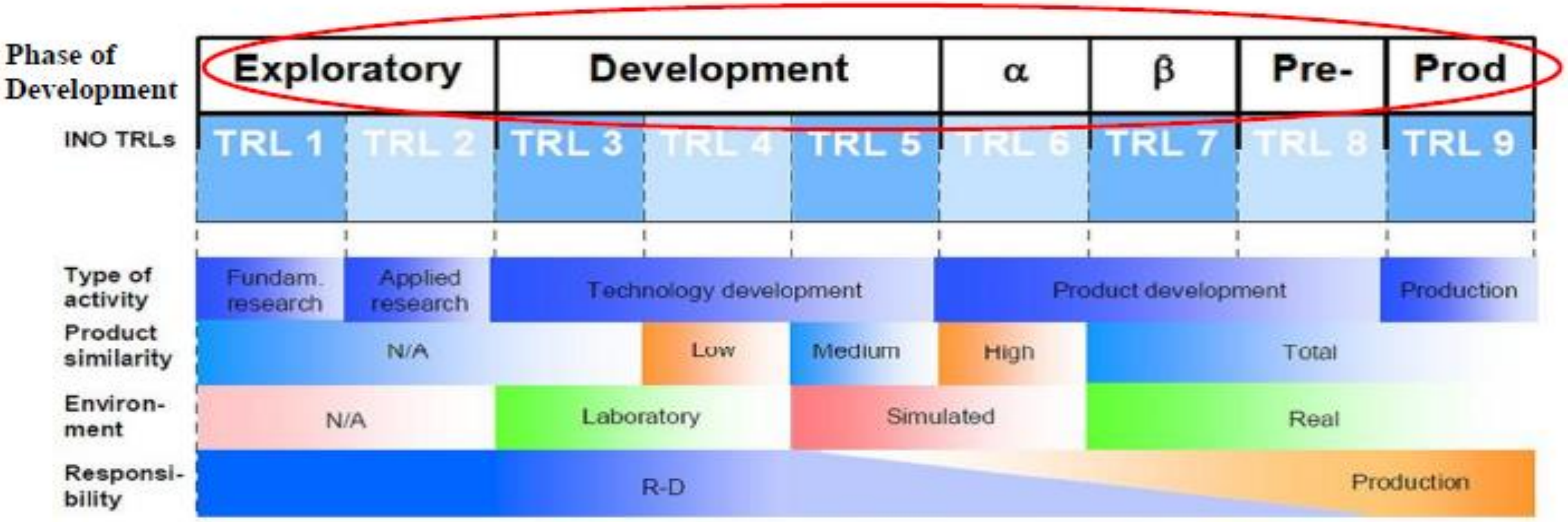
Source: Lewis Chen, New Venture Business Director CIS, ITRI, 2014

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Canada INO TRL Definition

- **TRL1~9 : Exploratory/Development/α test/β test/Pre-Production/Product**

Figure 1 INO TRL description.



INO :Institut national d'optique

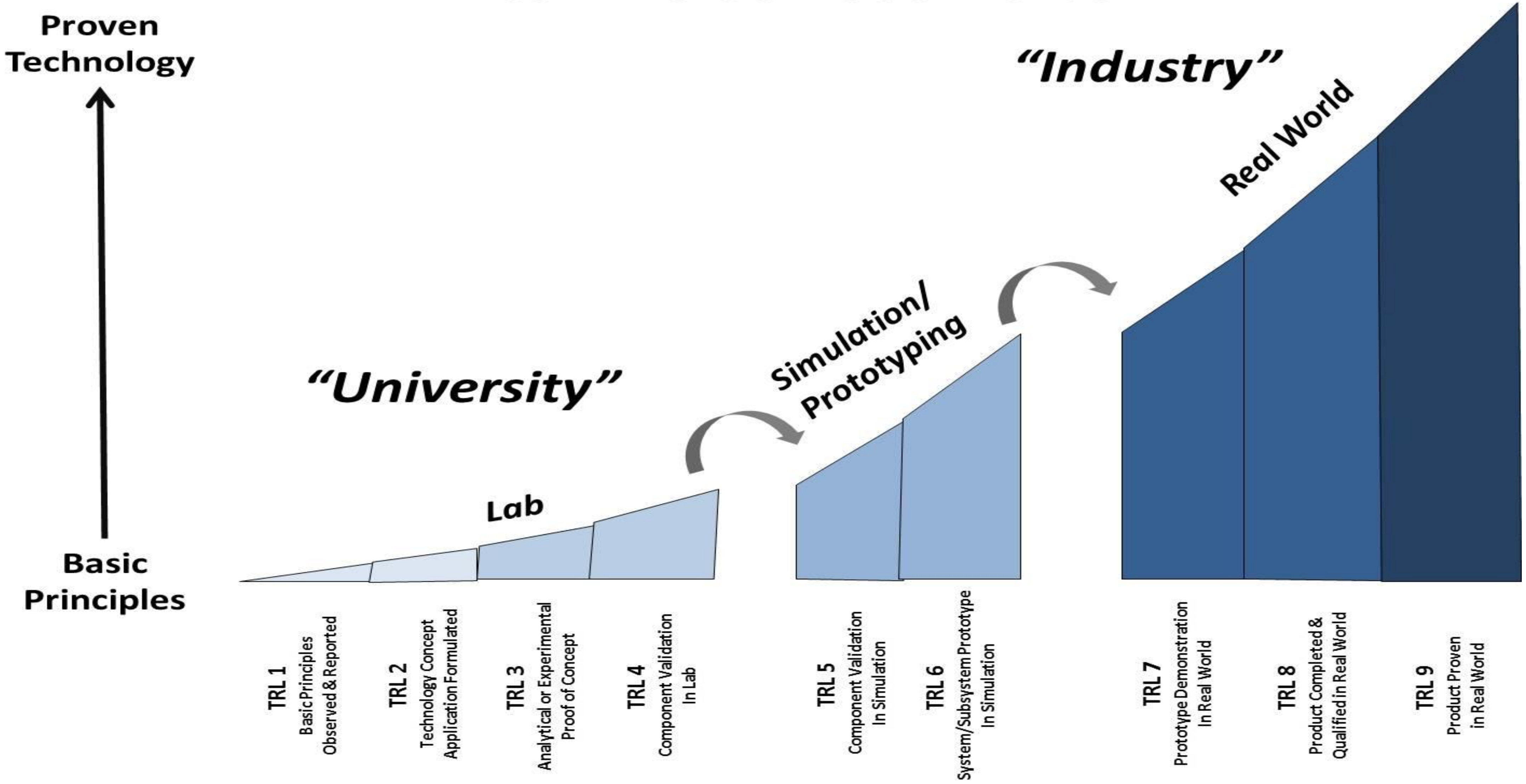
Source: Lewis Chen, New Venture Business Director CIS, ITRI, 2014

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Strengthen the Technology Innovation Management

Phase of Development	Exploratory		Development			α test	β test	Pre-production	Production
	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
	Basic Research	Applied Study	Technology Development			Product/System Development			Mass Production
Degree to Commodification	N/A			Low	Medium	High	Overall		
Verification Environment	N/A		Laboratory Environment		Analog Environment		Actual Environment		
Task	R&D							Application Promotion	
Plan Management (Risk Mgmt included)	Flexible Management (lighter PM) **keep innovation germinant**						Precise Management(classical PM)		
Partner	Academia-research Cooperation ←→							Industry-research Cooperation	
Patent Deployment	Basic-innovative Patent Deployment			Product/System Applied Patent Deployment & Manufacturing Patent Deployment					
Resource	Advanced Technology Program Owned Funds		Government Resource(R&D Program, BOE R&D Program…) VC Resource Injection					Industry Resource	

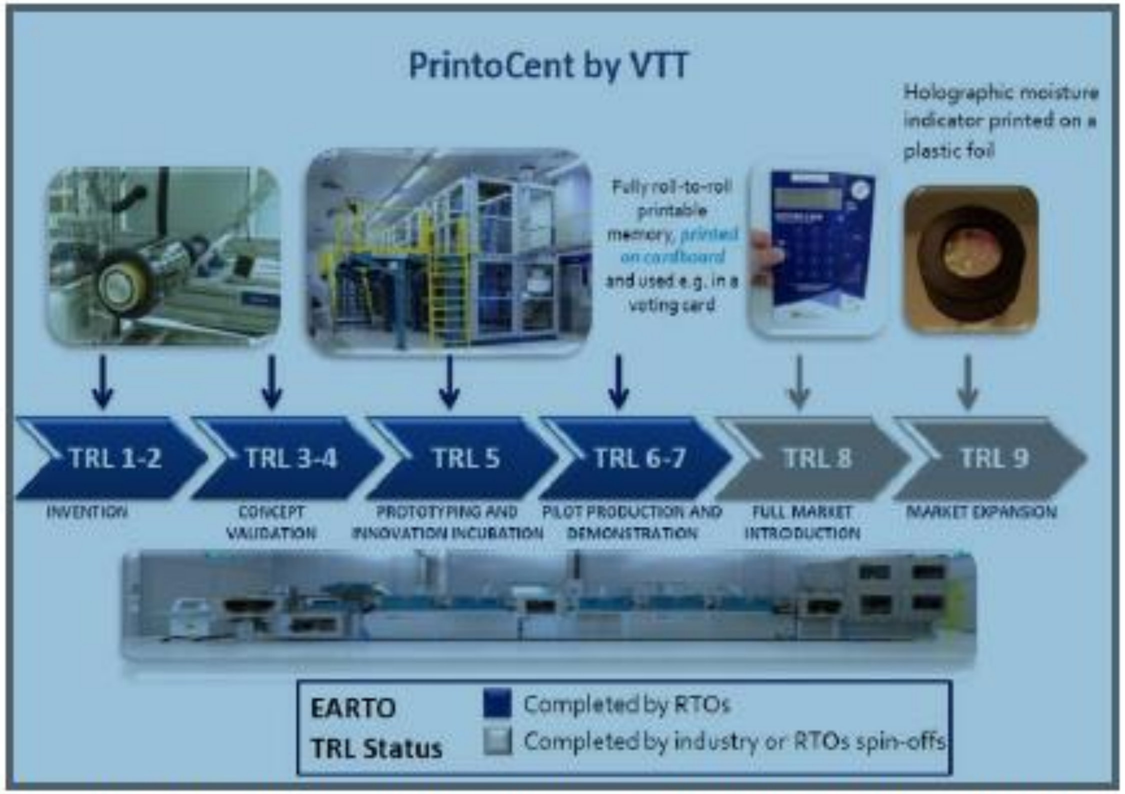
Commercialization Chasm



https://alopexoninnovation.com/2013/09/10/innovation-diffusion-from-university-rd/

EXAMPLES OF Research and Technology Organisations (RTOs) WORKING ALONG THE WHOLE VALUE CHAIN (1)

New printed intelligence into PrintoCent pilot factory



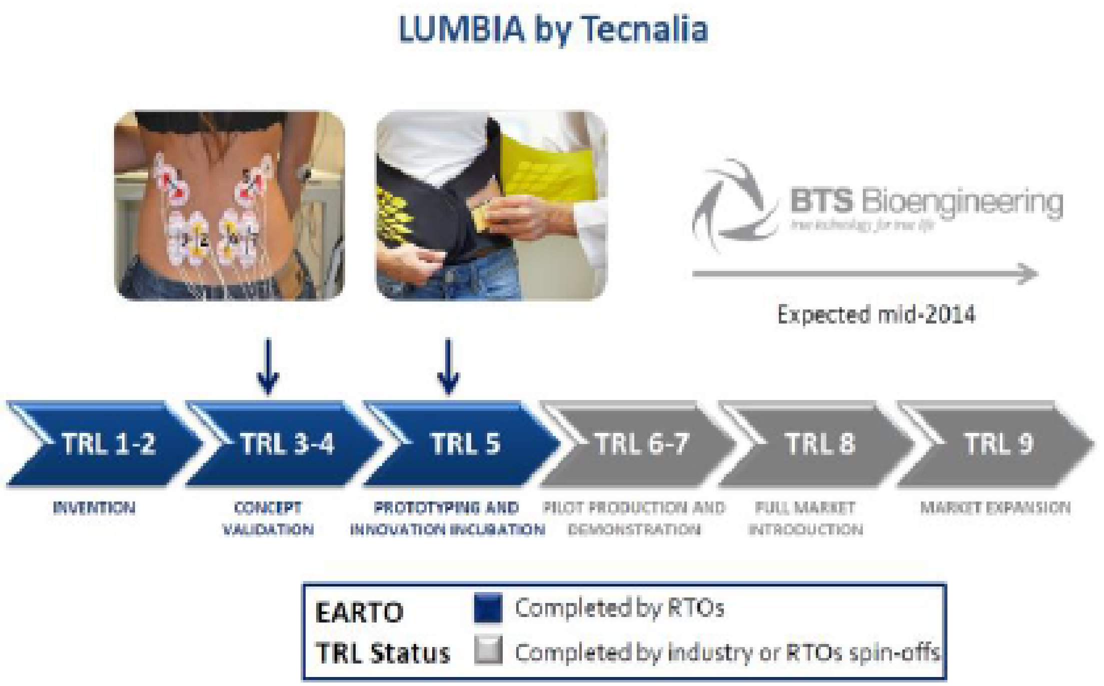
The idea of printed intelligence originated from RTOs and companies rather than from basic research. Idea development required formulation of the scale (What kind of material can be used as ink? What kind of components would be needed? On what kind of material can the inks be printed?). All of those were crucial questions that needed to be answered before massive pilot lines could be thought of. Nowadays this research has led to a whole new industrial branch. After basic scales of printing process and materials were assessed, the actual components were designed and constructed at VTT in Oulu in order to validate the technology. First product ideas were formulated and a manufacturing line for their pilot production prepared. The research and development work has led to a unique collection of several pilot production that enable even piloting mass production. Several product families have been tested (photovoltaics, bio-based printable power sources, printable diagnostics). A total of 14 spin-off companies have been or are currently supported by the pilot facility, and new ideas and refinements are constantly developed.

ที่มา: EARTO, The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool, EARTO Recommendations, 2014.

EXAMPLES OF RTOS WORKING ALONG THE WHOLE VALUE CHAIN (2)

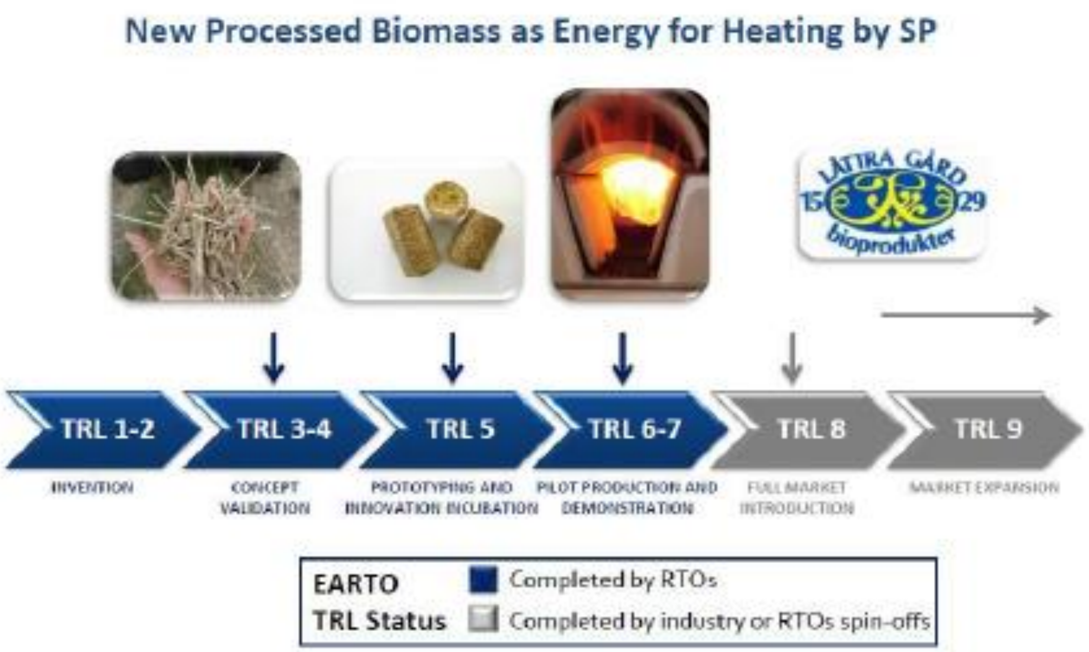
LUMBIA, Re-education system against low back pain

Low Back Pain (LBP) is the leading cause of activity limitation and work absence throughout much of the world. Tecnalia, by means of the FIK initiative (private fund for R&D) and with the crucial contribution of the company BTS Bioengineering, has created LUMBIA, a wearable postural re-education device based on electromyography (EMG), for the assessment, prevention and treatment of low back pain. It acts by alerting the user via on-spot vibro-tactile feedback, when the unaided muscular activation pattern is not adequate. As an assessment tool, LUMBIA is a non-invasive tool that can be used during educational interventions, back training programs, cognitive behavioral treatment plans and multidisciplinary bio- psychosocial rehabilitation plans. In order to be able to bring a device to the market in the EU, the device must meet the essential requirements of the Medical Devices Directive as well as the standards related to its device class. For the US market, any new product needs to meet the Food and Drug Administration's requirements. This step is currently being done by BTS Bioengineering to reach a TRL level 8 stage before full deployment in the market by BTS Bioengineering.



EXAMPLES OF RTOS WORKING ALONG THE WHOLE VALUE CHAIN (3)

Innovative Production Process: Processed Biomass, from seed to heat



Låttra Farm Bioproducts is an agricultural business which has been operating a small-scale commercial briquetting plant in Sweden since 1994. In light of increasing woodchip prices and growing competition for raw material, the plans to start local production of reed canary grass (RCG) briquettes began in 2003. Today, the company has equipment to incorporate RCG as raw material in briquette production; but, more work was needed to achieve an optimal production chain for commercial operations. SP Technical Research Institute of Sweden has worked together with Låttra Farm and local energy providers to develop and optimize the production and briquetting of RCG to achieve high-grade solid fuel which can be used in new and existing heating plants. Work is continuing to further improve the efficiency production and briquetting as a sustainable use of processed biomass from the field to commercial application in building heating.

ตัวอย่างคำนิยาม TRL ในต่างประเทศ

	NASA,USA.	Horizon 2020, EU	Office of Environmental Management U.S. Department of Energy	Sandia National Lab, USA.
TRL 1	Basic principles observed and reported	Basic principles observed	Basic principles observed and reported	Basic principles observed and reported
TRL 2	Technology concept and/or application formulated	Technology concept formulated	Technology concept and/or application formulated	Concept and/or application formulated
TRL 3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of concept	Experimental proof of concept	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept	Concepts demonstrated analytically or experimentally
TRL 4	Component and/or breadboard validation in laboratory environment	Technology validated in lab	Component and/or system validation in laboratory environment	Key elements demonstrated in laboratory environment
TRL 5	Component and/or breadboard validation in a relevant environment	Technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)	Laboratory scale, similar system validation in relevant environment	Key elements demonstrated in relevant environments
TRL 6	System/subsystem model or prototype demonstration in a a relevant environment	Technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)	Engineering/pilot-scale, similar (prototypical) system validation in relevant environment	Representative of the deliverable demonstrated in relevant environments
TRL 7	System prototype demonstration in a space environment	System prototype demonstration in operational environment	Full-scale, similar (prototypical) system demonstrated in relevant Environment	Final development version of the deliverable demonstrated in operational Environment
TRL 8	Actual system completed and "flight qualified" through test and demonstration (ground or flight)	System complete and qualified	Actual system completed and qualified through test and demonstration.	Actual deliverable qualified through test and demonstration
TRL 9	Actual system "flight proven" through successful mission operations	Actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)	Actual system operated over the full range of expected conditions.	Operational use of deliverable

Source: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html
http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf
Technology Readiness Assessment Report, Office of Environmental Management U.S. Department of Energy, 2010
Sandia National Labs "Measuring the Maturity of a Technology : Guidance on Assigning a TRL", October 2007.

หน่วยงานบริหารจัดการโปรแกรม PMU และหน่วยงานให้ทุนอื่นๆ

TRL เงื่อนไขในการขอรับทุนวิจัย

1 2 3 4 5 6 7 8 9

วช. NRCT วช 5G

บพค.

PMU B

NIA สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ

บพท

PMU A

บพข.

PMU C

ตัวอย่าง เงื่อนไขการให้ทุนหน่วยงานภายนอก

1. โจทย์วิจัยมีความเป็นไปได้ทางการตลาด มีความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยีการผลิตและมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมีนักวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญตรงตามความต้องการ
2. โจทย์วิจัยมาจากความต้องการของภาคอุตสาหกรรม
3. มีภาคเอกชน หรือ หน่วยงานร่วมดำเนินการวิจัยอย่างน้อย 1 ราย
4. ภาคเอกชนต้องร่วมทุนไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 (in cash และ in kind) โดยภาคเอกชนลงทุนเป็น in-cash อย่างน้อยร้อยละ 10 ของมูลค่าโครงการ
5. อย่างน้อยร้อยละ 20 (In cash + In Kind) เพื่อให้มีส่วนร่วมในการทำงานอย่างจริงจัง และยืนยันความตั้งใจในการนำผลงานไปใช้ประโยชน์จริงในเชิงพานิชย์ Matching funm private sector
6. **งานที่ดำเนินการควรอยู่ใน Technklogy Readiness Level ขั้นต่ำที่ Level 3 หรือมีแผนการพัฒนาธุรกิจอย่างชัดเจน**
7. การบริการจัดการโปรแกรม ข้อตกลงเรื่องลิขสิทธิความเป็นเจ้าของและการใช้ประโยชน์จากทรัพย์สินทางปัญญาร่วมกับภาคเอกชน เป็นไปตามระเบียบของ วช.

อ้างอิงข้อมูลจาก สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบฟอร์มข้อเสนอโครงการของ สวก.

หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.)

ข้อเสนอโครงการฉบับสมบูรณ์ (Full Proposal) ปีงบประมาณ 2564

แพลตฟอร์ม (Platform)	3 การวิจัยและสร้างนวัตกรรมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขัน
โปรแกรม (Program)	10 ยกระดับความสามารถการแข่งขันและวางรากฐานทางเศรษฐกิจ
เป้าหมาย (Objective)	....
ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (หลัก)	....
ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (รอง)	....

ตัวอย่างการกรอกระดับ TRL ในข้อเสนอโครงการ

11. ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี และสังคม (ดูคำอธิบายในภาคผนวก)
    - Technology Readiness Level; TRL

      TRL ณ ปัจจุบัน ระดับ ....

      รายละเอียด (ให้แนบหลักฐานที่แสดงว่าอยู่ใน TRL ระดับนั้นๆ เช่นผลการทดสอบ)

      TRL เมื่องานวิจัยเสร็จสิ้นระดับ..

      รายละเอียด ....

ตัวอย่างเอกสาร TRL ที่ใช้อ้างอิงในการกรอก

อ้างอิงจาก สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1

คำอธิบายระดับความพร้อมของเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรม

(TRL: Technology Readiness Levels Definitions)

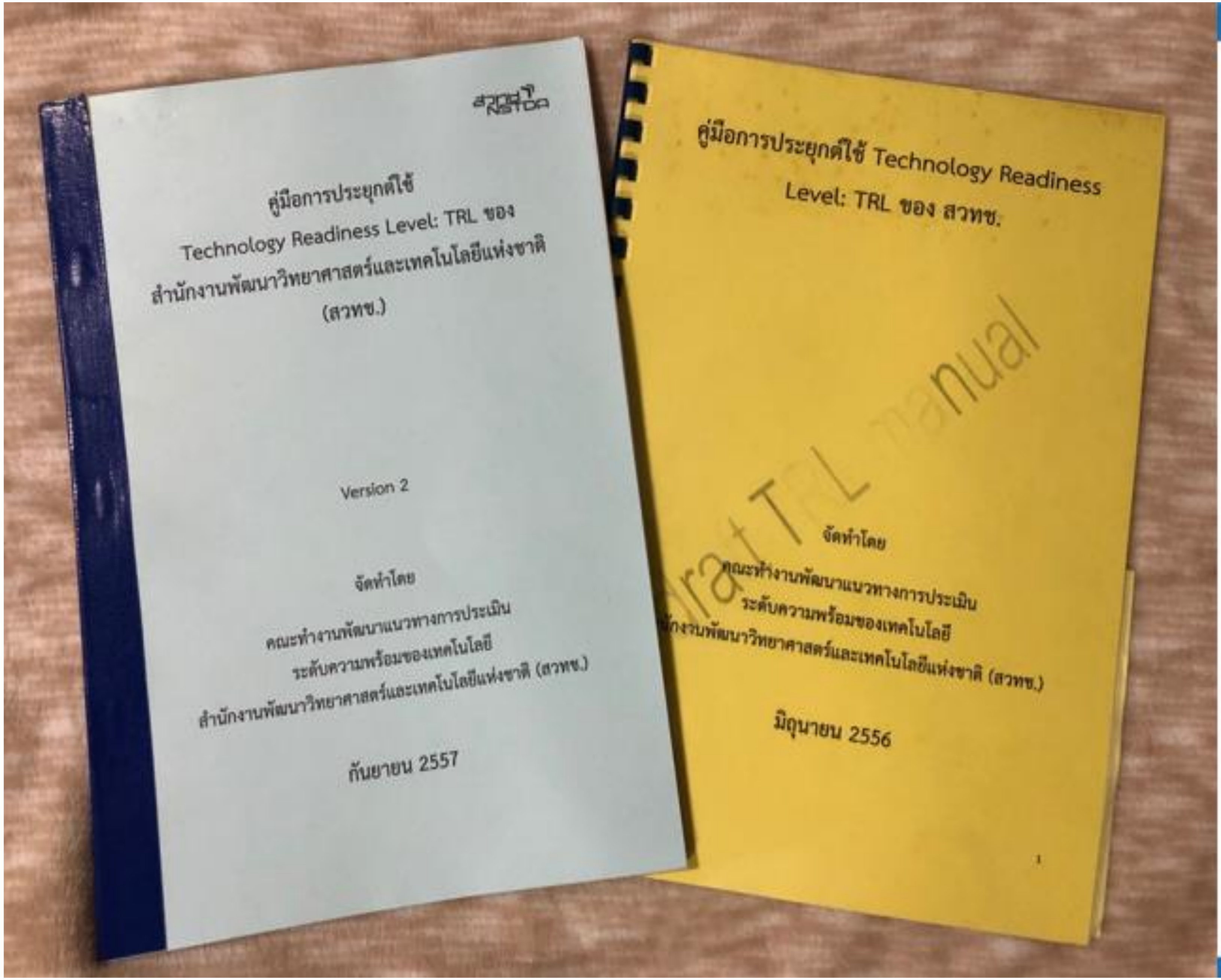
ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้านพันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
1	Basic principles observed and reported.	**การศึกษาค้นพบและข้อสังเกตพื้นฐาน:** เป็นงานวิจัยที่มีระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีต่ำที่สุด โดยเป็นงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ขั้นเริ่มต้นก่อนการเปลี่ยนแปลงไปสู่งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ซึ่งอาจรวมถึงเอกสารการศึกษาองค์ประกอบขั้นพื้นฐานของเทคโนโลยี	แสดงถึงแนวคิดการวิจัยพื้นฐานที่สามารถประยุกต์ใช้ในซอฟต์แวร์หรือคุณสมบัติพื้นฐาน	เอกสารสรุปผลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการพื้นฐานของเทคโนโลยี

การประเมิน
ระดับความพร้อมของเทคโนโลยี
(Technology Readiness Level: TRL)
ของ สวทช.

ดร.วรางคณา ปัญญากรวงศ์

นักวิจัยนโยบาย

ฝ่ายบริหารกลยุทธ์และนโยบายองค์กร สวทช.



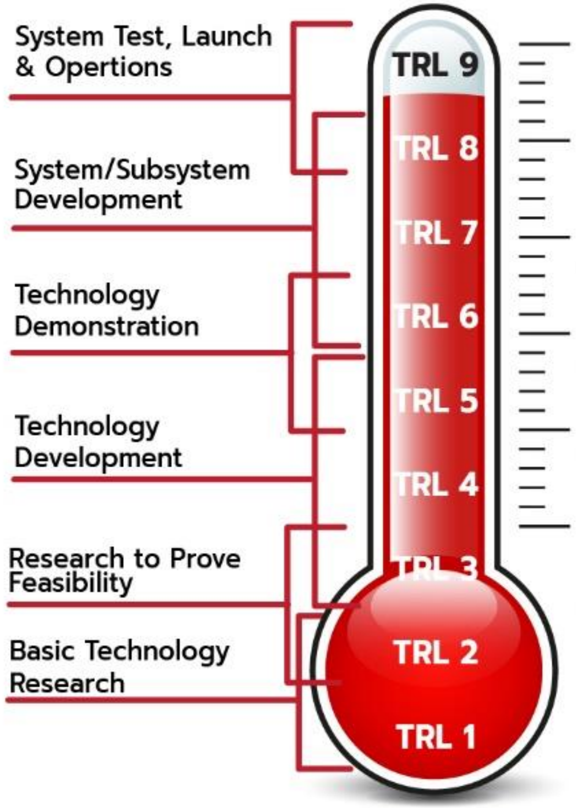
ตุลาคม 2555 สวทช. ตั้ง

“คณะทำงานพัฒนาแนวทางการประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี” ขึ้นเพื่อพัฒนาคู่มือการประยุกต์ใช้ TRL ก่อนจะมีการประกาศใช้ TRL ในการระบุสถานภาพของโครงการวิจัย

คู่มือประยุกต์ใช้ TRL ของ สวทช.

สวทช. NSTDA

TRL มี 9 ระดับ



Technology	Condition	ระดับต้นแบบ
Operational use of deliverable		
Actual deliverable qualified through test and demonstration		
Final development version of the deliverable demonstrated in	Operational environment	ภาคสนาม
Representative of the deliverable demonstrated in	Relevant environment	
Key elements and/or breadboard demonstrated in	Relevant environment	ห้องปฏิบัติการ
Key elements and/or breadboard demonstrated in	Laboratory environment	
Concepts demonstrated analytically or experimentally		องค์ความรู้/งานวิจัยพื้นฐาน/Research to Prove Feasibility
Technology concept and/or application formulated		
Basic principle observed and reported		

ที่มา: Adapted from Sandia National Labs "Measuring the Maturity of a Technology : Guidance on Assigning a TRL", October 2007
Adapted from Technology Readiness Levels in the Department of Defense (DoD) http://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level
Adapted from NASA Small Business Innovation Research & Technology Transfer 2012 Program Solicitations http://sbir.gsfc.nasa.gov/SBIR/sbirsttr2012/solicitation/forms/appendix_B.pdf

ข้อสังเกตในการประยุกต์ใช้ TRL

1. ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีไม่ใช่ระดับความยากของเทคโนโลยี
2. เมื่อเปลี่ยนแปลงบริบทสิ่งแวดล้อมใหม่ ต้องทำการประเมิน TRL ใหม่ให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมนั้นๆ
3. ผลงานวิจัย/เทคโนโลยี ของ สวทช. ไม่จำเป็นต้องพัฒนาเอง ตั้งแต่ระดับ TRL 1-9 การส่งมอบผลงานวิจัย/เทคโนโลยีขึ้นอยู่กับศักยภาพความพร้อมของลูกค้า (เอกชนมีศักยภาพสูง = สวทช. ส่งมอบผลงานที่มี TRL ระดับต่ำได้ เอกชนมีศักยภาพต่ำ สวทช. ก็ต้องลงทุนพัฒนางานวิจัยจนไปถึงระดับ TRL ที่ค่อนข้างสูง)
4. TRL หมายถึงเทคโนโลยีหรือต้นแบบผลิตภัณฑ์/กระบวนการมีความพร้อมใช้ แต่จะมีลูกค้าหรือผู้นำไปใช้งานหรือไม่นั้นเป็นอีกประเด็นหนึ่ง ดังนั้นไม่ควรผูกระดับ TRL กับการถ่ายทอดเทคโนโลยี/ Licensing
5. การประเมินระดับ TRL ส่งมอบ ควรประเมิน ณ เวลาที่ส่งมอบงาน

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)
TRL 1: Basic principles observed and reported **This is the first level of technology readiness and includes fundamental scientific research. At this level, basic scientific principles are being studied analytically and/or experimentally. Examples might include paper studies of a technology's basic properties.**	TRL 1 : หลักการพื้นฐานได้รับการพิจารณาและมีการรายงาน คำอธิบาย มีการพิจารณาหลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนหลักการสำคัญของเทคโนโลยี โดยมีการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review/Prior art) ☐ เอกสารสรุปผลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เคยมีในอดีต โดยระบุอ้างอิงว่ามีใคร ทำการศึกษาเรื่องอะไร ได้ผลอย่างไร ที่ใดและเมื่อใด (Literature review/Prior art)
TRL 2: Concept and/or application formulated **Practical applications are beginning to be invented or identified. Applications are still speculative and there is no proof or detailed analysis to support assumptions. Examples might include applied research in a field of potential interest.**	TRL 2 : มีการสร้างแนวคิดด้านเทคโนโลยี และ/หรือ การประยุกต์ใช้ คำอธิบาย เริ่มทำการศึกษาวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อยืนยันหลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ โดยยังไม่มีการพิสูจน์หรือวิเคราะห์ในรายละเอียดเพื่อสนับสนุนสมมติฐาน เอกสารสรุปการศึกษาความเป็นไปได้ของแนวคิด/การประยุกต์ใช้ TRL 2 ประกอบด้วย ☐ ผลสรุปแนวคิดจากการวิเคราะห์ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ☐ ผลสรุปความเป็นไปได้ทางวิทยาศาสตร์ของแนวคิด/การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี โดยมีการระบุ Technical challenge ว่างานชิ้นนี้มีความยาก ความท้าทาย และความใหม่อย่างไร ☐ กำหนดโจทย์วิจัย, ขอบเขตของงานวิจัย และวิธีการดำเนินงานวิจัย ☐ ข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) หรือ คุณลักษณะ (Feature) เบื้องต้นของผลงานวิจัย เป้าหมาย หรือสมมุติฐานของงานวิจัย (Hypothesis)* หรือ การออกแบบแบบแผนการทดลอง/การวิจัย (Experimental design)* *ในกรณีที่เป็นงานวิจัยทางด้านองค์ความรู้ ที่ไม่มีข้อกำหนดทางเทคนิคที่ชัดเจน

ที่มา: คู่มือการประเมินระดับความพร้อมเทคโนโลยี (TRL)สวทช. เวอร์ชั่น 2.2

29

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

TRL-1
continued

MUST DO:

- Expand section in core proposal on societal, environmental, or economic need that will be addressed: identify relevant market, target customers, customer needs, direct and indirect competitors, competitive advantages.
- Outline commercialization plan.
- Develop "elevator speech" and "pitch deck" to summarize key concepts / TRL-1 results for potential investors / funders.
- Prepare peer-reviewed paper, if appropriate.
- Begin preparing business plan.

Adobe Stock 55123326 Licensed to American Diversified Energy, LLC

- *Farming and Ranching: agricultural safety, agricultural technology, farmer education, organic agriculture, small and family farms, sustainable agriculture*
- *Food Science: food quality, food safety International: global food security*
- *Natural Resources: air, forests, grasslands and rangelands, soil, water*
- *Plants: crop production, pest management, plant breeding, plant health*

- **U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE (DOD)**
  More than 1,000 grant opportunities are offered each year by the DOD through its various branches of service, medical units, laboratories, research projects, engineering divisions, environmental cleanup and restoration programs, business and inventory management divisions, and energy security initiatives. These include:
  - **Defense Advanced Research Projects (DARPA)**
    DARPA's mission is "to make pivotal investments in breakthrough technologies and capabilities for national security." DARPA has repeatedly delivered on that mission, transforming revolutionary concepts and even seeming impossibilities into practical capabilities. The results have included not only game-changing military capabilities such as precision weapons and stealth technology, but also such icons of modern civilian society such as the Internet, automated voice recognition and language translation, and Global Positioning System receivers small enough to embed in myriad consumer devices.

    DARPA explicitly reaches for transformational change instead of incremental advances. It is looking for promising technologies within science and engineering research communities. These new designs and technologies have to radically improve military capabilities, offering "strategies to surprise our adversaries," with payoffs for non-military uses afterwards (such as the computer, ceramic bearings, and insulators). The DARPA investment has to fundamentally reshape existing fields or create entirely new disciplines and transform these initiatives into profoundly new, game-changing technologies for U.S. national security and the commercial and private sectors

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

NEXT UP: Basic Research *(continued)* **/ Research to Prove Viability**

TRL-2
Invention begins

<u>The application, utilization, and operation of the technology, concept, process, or approach is formulated</u>. Design and novel features are validated through model or small-scale testing in a laboratory environment. Technical and business potential are confirmed.

SUCCESSFUL COMPLETION:
when it is shown that the proposed technology, concept, process, or approach can meet specified acceptance criteria with additional testing.

MUST-DO:

- Update core proposal, along with feasibility, risk and solution measures, based on TRL-2 results.
- Prepare value proposition.
- Expand economic and market analysis: conduct market study to flesh out details on target customers, customer needs, competitors, and competitive advantages.
- Complete descriptions of company, management, proposed products and services, and market analysis sections of business plan.
- Refine "elevator speech" and "pitch deck."
- Assess intellectual property value of R&D in case the idea, concept, process, or approach is ultimately not ready for commercialization.

Federal funding opportunities:

- **NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (NSF)**
  See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA)**
  - **National Institute of Food and Agriculture (NIFA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE (DOD)**
  See description of financial support under TRL-1 above
  - **Defense Advanced Research Projects (DARPA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
  - **Defense Innovation Unit Experimental (DIUx)**
    DIUx is a Silicon-Valley based and inspired, fast-moving government entity that provides non-dilutive capital to companies to solve national defense problems. It can move from initial presentation to approval of a funding award in as little as 90 days. It seeks to contract with companies offering disruptive, game-changing solutions in a range of areas – from autonomy and artificial intelligence to human systems, information technology, and space – to solve a host of defense problems. View the PBS NewsHour special on DIUx that aired on August 15, 2018 at: https://www.pbs.org/newshour/show/how-the-pentagon-joins-forces-with-silicon-valley-startups.
  - **Other DOD grant opportunities**
    See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE)**
  DOE funding for ideas, concepts, and approaches in the TRL-2, -3, and -4 stages of development typically come through the DOE's SBIR/STTR program, which issue SBIR/STTR funding solicitations twice per year tied to specific areas of focus from its various offices, except for ARPA-E. (See the Phase I SBIR/STTR description below.) Each DOE office also issue periodic Funding Opportunity Announcements (FOAs) targeted to a wide range of TRLs for research, development, and demonstration in the fields of interest related to their missions. These include:
  - **Advanced Research Program Agency – Energy (ARPA-E)**
    See description of financial support under TRL-1 above

TRL-2

https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/10/15/federal-funding-opportunities-for-each-of-the-nine-technology-readiness-levels-part-1-trls-1-3/

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)
TRL 3: Concepts demonstrated analytically or experimentally **Active research and development is initiated. This includes analytical and laboratory-based studies to physically validate analytical predictions of key elements of the technology. These studies and experiments should constitute "proof-of-concept." validation of the applications/concepts formulated at TRL 2. Examples include the study of separate elements of the technology that are not yet integrated or representative.**	TRL 3 : แนวคิดได้ถูกสาธิตด้วยการวิเคราะห์ จำลอง หรือทดลอง คำอธิบาย ผลการศึกษาวิจัย จำลอง ทดลอง หรือ วิเคราะห์เพื่อพิสูจน์ว่าหลักการนั้นเป็นไปได้ (Proof-of-concept) เอกสาร/หลักฐานเชิงคุณภาพ TRL 3 ประกอบด้วย ☐ รายงานผลการวิเคราะห์ (เช่น Technology trends, IP landscape) จำลอง หรือ ทดลอง ที่พิสูจน์ว่าหลักการขององค์ประกอบหลักที่สำคัญมีความเป็นไปได้ (Proof of concept) หรือคาดว่าจะได้ผลตามที่คาดหวัง ☐ รายงาน/ผลการศึกษาว่ามีมาตรฐาน/กฎหมายอะไรที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่กำลังศึกษาวิจัย (ถ้าเกี่ยวข้อง) ☐ ผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการ (ถ้ามี) ☐ การจดทรัพย์สินทางปัญญา (ถ้ามี)

ที่มา: คู่มือการประเมินระดับความพร้อมเทคโนโลยี (TRL)สวทช. เวอร์ชั่น 2.2

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

Adobe Stock 108048373 Licensed to American Diversified Energy, LLC

The objective of Phase I is to establish the technical merit, feasibility, and commercial potential of an applicant's proposed research and research and development (R/R&D) efforts and to determine the quality of performance of the small business organization prior to providing further federal support in Phase II. SBIR Phase I awards normally do not exceed $150,000 (although, in a few cases, awards may go up to $225,000) and are for projects lasting 6 to 12 months. The agencies that offer SBIR grants are as follows.

- o U.S. Department of Agriculture (USDA)
- o U.S. Department of Commerce (DOC):
  - ▪ National Institute of Standards (NIS)
  - ▪ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
- o U.S. Department of Defense (DOD) – also offers Phase I STTR grants
- o U.S. Department of Energy (DOE) – also offers Phase I STTR grants
- o U.S. Department of Health and Human Services (HHS), including the National Institutes of Health (NIH) – also offers Phase I STTR grants
- o U.S. Department of Homeland Security (DHS)
- o U.S. Department of Transportation (DOT)
- o U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
- o National Aeronautics and Space Administration (NASA) – also offers Phase I STTR grants
- o National Science Foundation (NSF) – also offers STTR grants

NEXT UP: Research to Prove Feasibility *(continued)* / Technology Development

TRL-3

INITIATION OF ACTIVE R&D

Proof-of-concept studies and laboratory analyses are conducted to test and validate analytical and experimental critical functions and characteristics. Bench-scale, prototype, and model

Federal funding opportunities:

- • **NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (NSF)**
  See description of financial support under TRL-1 above
- • **U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA)**
  - o **National Institute of Food and Agriculture (NIFA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
- • **U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE (DOD)**
  - o **Defense Advanced Research Projects (DARPA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
  - o **Defense Innovation Unit Experimental (DIUx)**

8

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

TRL-3

continued

components, units, process reactors, and simulators are built and functionally demonstrated, individually or in series, through testing over a limited range of simulated or actual operating conditions.

SUCCESSFUL COMPLETION:

when it is shown that critical functions and characteristics operate or respond as projected.

MUST-DO:

- – Update core proposal, value proposition, and business plan based on TRL-3 results
- – Identify areas that need further development: concepts that have been thoroughly researched in the lab with no consideration given to scale-up challenges should be viewed as insufficiently de-risked. Conversely, a highly detailed design with an unproven core element should be dismissed.
- – Begin development of financial model: identify and quantify input and production costs.
- – If minimum cost is unacceptable, additional work will be required to identify different inputs, sources of inputs, and production methods to lower costs.
- – This step is necessary to validate the value proposition and commercial viability of the proposed technology, concept, process, or approach to give confidence to investors and other funders that it is ready for scale up.

See description of financial support under TRL-2 above

- o **Other DOD grant opportunities**
  See description of financial support under TRL-1 above
- • **U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE)**
  - o **Advanced Research Program Agency – Energy (ARPA-E)**
    See description of financial support under TRL-1 above
  - o **Office of Science (OS)**
    See description of financial support under TRL-1 above
  - o **Office of Fossil Energy (FE)**
    See description of financial support under TRL-2 above
  - o **Office of Energy Delivery and Reliability (OE) and Office of Cybersecurity, Energy Security, and Emergency Response (CESER)**
    See description of financial support under TRL-2 above
  - o **Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)**
    See description of financial support under TRL-2 above
- • **PHASE I SMALL BUSINESS INNOVATION RESEARCH (SBIR) AND SMALL BUSINESS TECHNOLOGY TRANSFER (STTR)**
  See description of Phase I financial support under TRL-2 above
  - o U.S. Department of Agriculture (USDA)
  - o U.S. Department of Commerce (DOC):
    - ▪ National Institute of Standards (NIS)
    - ▪ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
  - o U.S. Department of Defense (DOD)
  - o U.S. Department of Energy (DOE)
  - o U.S. Department of Health and Human Services (HHS), including the National Institutes of Health (NIH)
  - o U.S. Department of Homeland Security (DHS)
  - o U.S. Department of Transportation (DOT)
  - o U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
  - o National Aeronautics and Space Administration (NASA)

  - o National Science Foundation (NSF)

9

https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/10/15/federal-funding-opportunities-for-each-of-the-nine-technology-readiness-levels-part-1-trls-1-3/

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)
TRL 4: Key elements and/or breadboard demonstrated in laboratory environment **The key elements must be integrated to establish that the pieces will work together. The validation should be consistent with the requirements of potential applications but is relatively low-fidelity when compared to a final product. Examples include integration of ad-hoc hardware or software in the laboratory such as breadboards, low fidelity development components, and rapid prototypes.**	TRL 4 : องค์ประกอบที่สำคัญหรือบอร์ดทดลองอิเล็กทรอนิกส์จำลอง (Breadboard) ได้ถูกสาธิตและพิสูจน์ในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว คำอธิบาย องค์ประกอบที่สำคัญ ได้ถูกประกอบเข้ากันเพื่อให้ชิ้นส่วนทำงานด้วยกันได้ และต้นแบบผ่านการสาธิตและพิสูจน์ในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถแก้ไขปัญหาเฉพาะเรื่อง รวมทั้งแสดงให้เห็นมุมมองของการทำงานหลักๆ สามารถทำงานได้ตามที่คาดหวังได้ เอกสาร/หลักฐานเชิงคุณภาพ TRL 4 ประกอบด้วย ☐ วิธีการทดสอบเชิงวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือตาม Standard method ที่มีแหล่งอ้างอิง (อาทิเช่น Publication, Peer review) หากไม่มีแหล่งอ้างอิงควรมีรายละเอียดของหลักการ สมมติฐาน เงื่อนไข และขอบเขตของการทดสอบ ☐ ผลการทดสอบที่แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบที่สำคัญของต้นแบบผลิตภัณฑ์/กระบวนการถูกประกอบเข้าด้วยกันและทำงานร่วมกันได้ในระดับห้องปฏิบัติการ สอดคล้องกับข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) และทำซ้ำได้ (Reproducibility)

ที่มา: คู่มือการประเมินระดับความพร้อมเทคโนโลยี (TRL)สวทช. เวอร์ชั่น 2.2

Technology Readiness Levels (TRLs) | **Federal Funding Opportunities** *(continued)*

Installment #1

The first installment of this article, which covers TRLs 1-3, appeared in BioFuels Digest on _______________ / yesterday. You may view this article at [link].

Research to Prove Feasibility *(continued)* / Technology Development *(continued)*

TRL-4

Integration of Basic Components

The basic elements, components, and processes central to the technology, concept, process, or approach are integrated. **Component, process, and/or bench-scale validation is conducted in a laboratory** environment to establish that the pieces will work together.

Successful Completion: when it is shown that the pieces work together, and the new technology, concept, process, or approach is ready for first use.

Federal funding opportunities:

- **National Science Foundation (NSF)**
  See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. Department of Agriculture (USDA)**
  - **National Institute of Food and Agriculture (NIFA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. Department of Defense (DOD)**
  - **Defense Advanced Research Projects (DARPA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
  - **Defense Innovation Unit Experimental (DIUx)**
    See description of financial support under TRL-2 above
  - **Other DOD grant opportunities**
    See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. Department of Energy (DOE)**
  - **Advanced Research Program Agency – Energy (ARPA-E)**
    See description of financial support under TRL-1 above

Technology Readiness Levels (TRLs) | **Federal Funding Opportunities** *(continued)*

TRL-4

continued

Must-Do:

- Develop / refine initial flow sheets, schematics, heat, material, energy balances, etc.
- Refine financial models and costs
- Update core proposal, value proposition, and business plan based on TRL-4 results
- Ensure update presents a compelling story to investors and funders; moving to TRL-5 requires a significant investment to support additional technical labor and capital equipment.

Adobe Stock 114828033 Licensed to American Diversified Energy, LLC

- **Office of Science (OS)**
  See description of financial support under TRL-1 above
- **Office of Fossil Energy (FE)**
  See description of financial support under TRL-2 above
- **Office of Energy Delivery and Reliability (OE) and Office of Cybersecurity, Energy Security, and Emergency Response (CESER)**
  See description of financial support under TRL-2 above
- **Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)**
  See description of financial support under TRL-2 above

- **Phase II Small Business Innovation Research (SBIR) and Small Business Technology Transfer (STTR)**

The objective of Phase II is to continue the R/R&D efforts initiated in Phase I. Funding is based on the results achieved in Phase I and the scientific and technical merit and commercial potential of the project proposed in Phase II. Only Phase I awardees are eligible for a Phase II award. SBIR Phase II awards normally do not exceed $1.5 million in total costs for 2 years.

- U.S. Department of Agriculture (USDA)
- U.S. Department of Commerce (DOC):
  - National Institute of Standards (NIS)
  - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
- U.S. Department of Defense (DOD) - also offers Phase II STTR grants
- U.S. Department of Energy (DOE) - also offers Phase II STTR grants
- U.S. Department of Health and Human Services (HHS), including the National Institutes of Health (NIH) - also offers Phase II STTR grants
- U.S. Department of Homeland Security (DHS)
- U.S. Department of Transportation (DOT)
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) - also offers Phase II STTR grants
- National Science Foundation (NSF) - also offers Phase II STTR grants

NEXT UP: Technology Development *(continued)* / Technology Demonstration

https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/10/22/federal-funding-opportunities-for-each-of-the-nine-technology-readiness-levels-trls-part-2-trls-4-9/12/ 2

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)
TRL 5: Key elements and/or breadboard demonstrated in relevant environments **Fidelity of the key elements increases significantly. Key elements are integrated with realistic supporting elements so that the technology can be tested and demonstrated in simulated or actual environments.** **Notice** **Who is the customer?** **Describe how these requirements meet the customer's needs.** **Describe the environmental requirements including abnormal or extrema events.**	TRL 5 : องค์ประกอบที่สำคัญหรือบอร์ดทดลองอิเล็กทรอนิกส์จำลอง (Breadboard) ได้ถูกสาธิตและพิสูจน์ในสภาวะเลียนแบบที่ใกล้เคียงสภาวะแวดล้อมจริง คำอธิบาย องค์ประกอบที่สำคัญได้ถูกประกอบเข้าด้วยกันกับองค์ประกอบสนับสนุนของต้นแบบจริง และผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะเลียนแบบที่ใกล้เคียงสภาวะแวดล้อมจริง (Simulated environments)* (TRL 5 ยังไม่ใช่ต้นแบบภาคสนาม) เอกสาร/หลักฐานเชิงคุณภาพ TRL 5 ประกอบด้วย ☐ มาตรฐานการทดสอบ หรือวิธีการทดสอบที่น่าเชื่อถือตาม Standard method ที่มีแหล่งอ้างอิงตามหลักการหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หากไม่มีแหล่งอ้างอิงควรมีรายละเอียดของหลักการ สมมติฐาน เงื่อนไข และขอบเขตของการทดสอบ ☐ ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการในสถานการณ์จำลอง/ในสภาวะเลียนแบบที่ใกล้เคียงสภาวะแวดล้อมจริง* สอดคล้องตามความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งานของกลุ่มเป้าหมาย** ที่แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบที่สำคัญของต้นแบบผลิตภัณฑ์/กระบวนการสามารถทำงานร่วมกันกับองค์ประกอบสนับสนุนอื่นๆ ได้ รวมทั้งมีการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสมมติฐาน/ข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ที่ตั้งไว้ พร้อมปัญหาที่พบ * สภาวะแวดล้อมเลียนแบบที่ใกล้เคียงสภาวะแวดล้อมจริงของแต่ละเทคโนโลยีจะแตกต่างกัน เช่น ซอฟต์แวร์จะมีการทดสอบในระดับ Alpha versions เทคโนโลยีด้านพันธุ์พืชหรือสัตว์ จะหมายถึง การคัดเลือกประชากรที่มีลักษณะตามเป้าหมาย โดยการปลูกหรือเลี้ยงทดสอบในระดับสถานีทดลอง (แปลงที่มีการดูแล/ควบคุม) เป็นต้น ** กลุ่มเป้าหมาย เช่น ลูกค้าที่สนใจทดสอบต้นแบบ หรือ ลูกค้าที่คาดว่าจะเป็นผู้รับถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยลูกค้าควรเป็นผู้กำหนด Requirement หากไม่มีลูกค้า ควรให้ตัวแทนกลุ่มเป้าหมายที่น่าเชื่อถือ หรือ Third party ที่นักวิจัยและลูกค้ายอมรับ เป็นผู้กำหนด

ที่มา: คู่มือการประเมินระดับความพร้อมเทคโนโลยี (TRL)สวทช. เวอร์ชั่น 2.2

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

TRL-5

Validation of Operational Integrity

Component, process, and/or bench-scale validation is conducted in an actual or simulated relevant environment. The completion of TRL-5 marks the end of bench-scale work and the final reduction of scientific risk. For technologies, concepts, processes, or approaches that will produce an end product, continuous, integrated tests during TRL-5 should be designed to produce small lots of the end product with its intended formulations and specifications, which should them be validated through third-party testing and analysis. These test lots can be provided to investors, offtake partners, and regulatory agencies. Some developers in the food, biomaterials and personal-care spaces may have the opportunity in TRL-5 to provide free samples to the public and market test their acceptance.

Successful completion:

when it is shown that the new technology, concept, process, or approach and its related processes, systems, hardware, and components operate as predicted in the intended environment and are ready to be integrated into a fully operational prototype.

Must-Do:

– Refine and expand technical and engineering capabilities (via new hires or by engaging outside firms).

– Update and expand core proposal; value proposition; cost breakdowns; financial model; business plan; flowsheets; heat, material, and energy balances; and feasibility, risk, and solution analyses based on TRL-5 results.

TRL-5

continued

Federal funding opportunities:

- **National Science Foundation (NSF)**
  See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. Department of Agriculture (USDA)**
  - **National Institute of Food and Agriculture (NIFA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. Department of Defense (DOD)**
  - **Defense Advanced Research Projects (DARPA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
  - **Defense Innovation Unit Experimental (DIUx)**
    See description of financial support under TRL-2 above
  - **Other DOD grant opportunities**
    See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. Department of Energy (DOE)**
  - **Advanced Research Program Agency – Energy (ARPA-E)**
    See description of financial support under TRL-1 above
  - **Office of Science (OS)**
    See description of financial support under TRL-1 above
  - **Office of Fossil Energy (FE)**
    See description of financial support under TRL-2 above
  - **Office of Energy Delivery and Reliability (OE) and Office of Cybersecurity, Energy Security, and Emergency Response (CESER)**
    See description of financial support under TRL-2 above
  - **Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)**
    See description of financial support under TRL-2 above
- **Phase II Small Business Innovation Research (SBIR) and Small Business Technology Transfer (STTR)**
  See description of Phase II financial support under TRL-4 above
  - U.S. Department of Agriculture (USDA)
  - U.S. Department of Commerce (DOC):
    - National Institute of Standards (NIS)
    - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
  - U.S. Department of Defense (DOD)
  - U.S. Department of Energy (DOE)
  - U.S. Department of Health and Human Services (HHS), including the National Institutes of Health (NIH)
  - U.S. Department of Homeland Security (DHS)
  - U.S. Department of Transportation (DOT)
  - U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
  - National Aeronautics and Space Administration (NASA)
  - National Science Foundation (NSF)

Adobe Stock 163392433 Licensed to American Diversified Energy, LLC

https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/10/22/federal-funding-opportunities-for-each-of-the-nine-technology-readiness-levels-trls-part-2-trls-4-9/12/

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)
TRL 6: Representative of the deliverable demonstrated in relevant environments **Represents a major step in a technology's demonstrated readiness. Examples include testing a prototype or representative of a deliverable in a high fidelity laboratory environment or in a simulated operational environment.** **Notice** **- Has a prototype been created that is consistent with all of the agreed-upon requirements? Describe how the prototype meets form, fit, and function requirements.** **- Has the prototype been demonstrated successfully in the customer's required environments? Describe the demonstration.**	TRL 6 : ต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่พร้อมเป็นสิ่งส่งมอบ ได้ผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานใน สภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานจริง คำอธิบาย ต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่พร้อมเป็นสิ่งส่งมอบได้ผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานจริง (Relevant environment) ซึ่งหมายถึง ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลเกี่ยวข้องต่อความสำเร็จ/ล้มเหลวในการทำงานของระบบต้นแบบ ได้ถูกควบคุมให้เหมือนกับสภาวะทำงานจริง เอกสาร/หลักฐานเชิงคุณภาพ TRL 6 ประกอบด้วย ☐ มาตรฐานการทดสอบ หรือวิธีการทดสอบที่น่าเชื่อถือตาม Standard method ที่มีแหล่งอ้างอิงตามหลักการหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หากไม่มีแหล่งอ้างอิงควรมีรายละเอียดของหลักการ สมมติฐาน เงื่อนไข และขอบเขตของการทดสอบ ☐ ผลการทดสอบที่แสดงให้เห็นว่าต้นแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่พร้อมเป็นสิ่งส่งมอบผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานจริง (Relevant environment) เปรียบเทียบกับสมมติฐาน / ข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ที่ตั้งไว้ และสอดคล้องกับความต้องการประยุกต์ใช้งานของกลุ่มเป้าหมาย* รวมทั้งสามารถทำซ้ำได้ (Reproducibility) เพื่อแสดงให้เห็นว่าต้นแบบพร้อมสำหรับการทดสอบในสภาวะทำงานจริง (Operational environment) ☐ หลักฐานแสดงการยอมรับของกลุ่มเป้าหมาย*ที่มีต่อต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการระดับ TRL6 * กลุ่มเป้าหมาย เช่น ลูกค้าที่สนใจทดสอบต้นแบบ หรือ ลูกค้าที่คาดว่าจะเป็นผู้รับถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยลูกค้าควรเป็นผู้กำหนด Requirement หากไม่มีลูกค้า ควรให้ตัวแทนกลุ่มเป้าหมายที่น่าเชื่อถือ หรือ Third party ที่นักวิจัยและลูกค้ายอมรับ เป็นผู้กำหนด

ที่มา: คู่มือการประเมินระดับความพร้อมเทคโนโลยี (TRL)สวทช. เวอร์ชั่น 2.2

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

– Update and expand core proposal; value proposition; cost breakdowns; financial model; business plan; flowsheets; heat, material, and energy balances; and feasibility, risk, and solution analyses based on TRL-5 results.

Adobe Stock 163392433 Licensed to American Diversified Energy, LLC

NEXT UP: Technology Development *(continued)* / Technology Demonstration *(continued)* / System / Subsystem Development

TRL-6

MODEL, PROTOTYPE, OR PILOT TESTING

A fully-integrated, fully-operational system / subsystem model, technology, prototype,process, or pilot is **demonstrated in a relevant environment**, with interface and functionality tests are conducted. There is no sharp transition between TRL-5 and TRL-6, which focuses on the design and operation of a prototype or pilot-scale (nominally 1/100th of commercial scale) testing unit. Prototype and pilot development may still take place in a laboratory, but experiments are carried out at engineering scale, rather than bench scale. Prototype and pilot-scale unit operations may be designed and procured while bench-scale work continues, with the larger units replacing smaller units as they are brought online

Federal funding opportunities:

As new technologies, concepts, processes, and approaches move into TRL-6, the pool of grants and grant sources falls off – significantly, by more than $10 billion – just as the costs for each TRL escalate. For example:

- **The 10,000+ grants and $7.5 billion of funding offered each year by NSF** *focus solely on basic and applied research. The bulk of NFS's solicitations are targeted to TRLs 1-3, with a smaller number of grants for TRLs-4 and -5.*
- **The $300 million or so in annual grants available from DOE's Office of Science and ARPA-E,** *with few exceptions, also focus on basic and applied research and technology development.*
- **Finally, the $2.5 billion offered each year through the SBIR/STTR program** *focus solely on stimulating innovation and moving promising ideas and concepts up through TRL-5. While the SBIR/STTR program is targeted to ideas and concepts that are initiated with a view toward eventual commercialization, its Phase III stage does not include any additional grant funding:*
- **PHASE III SMALL BUSINESS INNOVATION RESEARCH (SBIR) AND SMALL BUSINESS TECHNOLOGY TRANSFER (STTR)**
  The objective of the SBIR/STTR Phase III, where appropriate, is for the small business to pursue commercialization objectives resulting from the Phase I/II R/R&D activities. The SBIR program does not fund Phase III; instead, the agencies that participate in the SBIR/STTR program offer multiple grant and incentive

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

TRL-6

continued

and validated. Engineering-scale equivalents of all the unit operations that will be required at scale, including prototypes of any novel operations such as product separation.

SUCCESSFUL COMPLETION:

when it is shown that the technology, concept, process, or approach has demonstrated a sustained, consistent functionality and is ready for scale up. To the extent that there is a "valley of death" for proposed ventures moving up the TRL scale, it is most likely to occur inTRL-5/ -6. Careful selection and specification of pilot, protype, and process equipment in TRL-5, and a deep understanding of their operational nuances in TRL-6 is critical to a successful continuous run in TRL-7.

Adobe Stock 5547724 Licensed to American Diversified Energy, LLC

funding opportunities through their standing programs and other solicitations to fund further development of the technologies, concepts and approaches that show commercial promise in Phase 1/II R/R&D. For some federal agencies, Phase III may involve follow-on non-SBIR funded R&D or production contracts for products, processes, or services intended for use by the U.S. government.

Most of the agencies that participate in the SBIR/STTR program, therefore, are potential source of grants for TRL-6, -7, and -8:

- U.S. Department of Agriculture (USDA)
- U.S. Department of Commerce (DOC):
  - National Institute of Standards (NIS)
  - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
- U.S. Department of Defense (DOD)
- U.S. Department of Energy (DOE)
- U.S. Department of Health and Human Services (HHS), including the National Institutes of Health (NIH)
- U.S. Department of Homeland Security (DHS)
- U.S. Department of Transportation (DOT)
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
- National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Follow-on grants for projects funded at earlier TRL stages, as well as grants for projects applying for grants at TRL-6 also are available from:

- **U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA)**
  - **National Institute of Food and Agriculture (NIFA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE (DOD)**
  - **Defense Advanced Research Projects (DARPA)**
    See description of financial support under TRL-1 above
  - **Defense Innovation Unit Experimental (DIUx)**
    See description of financial support under TRL-2 above
  - **Other DOD grant opportunities**
    See description of financial support under TRL-1 above
- **U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE)**
  - **Office of Fossil Energy (FE)**
    See description of financial support under TRL-2 above
  - **Office of Energy Delivery and Reliability (OE) and**

https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/10/22/federal-funding-opportunities-for-each-of-the-nine-technology-readiness-levels-trls-part-2-trls-4-9/12/

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

TRL-6

continued

Must-Do:

– Update and expand all project specifications, proposals, analyses, economics, etc. based on TRL-6 results.

– The TRL-6 prototype, process, pilot, model, or approach will be used by an engineering, procurement, and construction

Continued below:

(EPC) or another appropriate firm to develop estimates for construction (or fabrication, development, or manufacturing) for the TRL-7 demonstration-scale prototype, process, model, approach, or plant (at 1/10th commercial scale) and develop relatively accurate (± 30-40 percent) capital / production cost estimates for the full-size, commercial-scale technology, plant, process, product, or approach.

- **Office of Cybersecurity, Energy Security, and Emergency Response (CESER)**
  See description of financial support under TRL-2 above
- **Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)**
  See description of financial support under TRL-2 above

• Other Federal Government Agencies beyond those listed above and those that participate in the SBIR/STTR program have grant programs and offer funding that may assist in, or supplement other grants, in carrying out TRL-6. For a list of these agencies, see TRL-7 below.

NEXT UP: Technology Demonstration *(continued)* / System / Subsystem Development *(continued)* / System / Subsystem Demonstration

TRL-7

Demonstration-Scale Testing

A fully-integrated, fully-operational system / subsystem model, technology, prototype, process, or pilot is demonstrated in an operational environment. Tests are conducted under sustained day-in and day-out operating conditions over a prolonged period (a continuous, steady-state run of 1,000 hours is the industry standard for new technologies, equipment, processes, and plants to instill confidence in investors and funders). Investors and funders will most likely employ independent

Federal funding opportunities:

See description of funding opportunities for TRL-6, above. Other funding opportunities may be available, if there is a fit with your technology, concept, process, or approach, from:

• **U.S. Department of Commerce (DOC)**
DOC has one overarching goal: ***Helping the American Economy Grow****. The DOC promotes job creation and economic growth, provides the data necessary to support commerce, oversees ocean and coastal navigation, and fosters innovation by setting standards and conducting foundational research and development. Of its nine bureaus, five provide occasional grant and funding opportunities that can assist with moving commerce-related and oceanic- and atmospheric-related technologies, concepts, and approaches through advanced TRLs. These include:*

- **Economic Development Administration (EDA)**
- **National Institute of Standards & Technology (NIST)**
- **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**
- **Institute of Standards & Technology (NIST)**

TRL-7

- **National Telecommunications & Information**

https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/10/22/federal-funding-opportunities-for-each-of-the-nine-technology-readiness-levels-trls-part-2-trls-4-9/12/

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)
TRL 7: Final development version of the deliverable demonstrated in operational environment **Development version of the deliverable is near or at the planned operational system. This represents a significant step beyond TRL 6 and requires the demonstration of an actual development version of the deliverable in the operational environment. Examples include integration and demonstration within the next assembly, and advanced concept technology demonstrations of integrated systems such as flight testing.** **Notice** **- Are the customer and supplier in full agreement that requirements are completely established and in final form? Please provide the final set of requirements.** **- Describe the demonstration and how the prototype integrates within the customer's system.**	TRL 7 : ต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการขั้นสุดท้าย ได้ผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะทำงานจริง คำอธิบาย ต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการขั้นสุดท้ายได้ผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะทำงานจริง (Operational environment) ซึ่งหมายถึง สภาพแวดล้อมจริงในการทำงานของระบบ (ต้นแบบ) ที่ไม่สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องต่อความสำเร็จ/ล้มเหลวในการทำงานของระบบได้ (TRL 7 ต้องมีลูกค้าจริง และมีความต้องการที่ชัดเจนของลูกค้า) เอกสาร/หลักฐานเชิงคุณภาพ TRL 7 ประกอบด้วย ☐ มาตรฐานการทดสอบ หรือวิธีการทดสอบที่น่าเชื่อถือตาม Standard method ที่มีแหล่งอ้างอิงตามหลักการหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หากไม่มีแหล่งอ้างอิงควรมีรายละเอียดของหลักการ สมมติฐาน เงื่อนไข และขอบเขตของการทดสอบ ☐ ผลการทดสอบที่แสดงให้เห็นว่าต้นแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะทำงานจริง (Operational environment) เปรียบเทียบกับสมมติฐาน / ข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ที่ตั้งไว้ และสอดคล้องกับความต้องการประยุกต์ใช้งานของกลุ่มเป้าหมาย* รวมทั้งสามารถทำซ้ำได้ (Reproducibility) ในสภาวะทำงานจริง (Operational environment) ☐ หลักฐานแสดงการยอมรับของลูกค้า (หรือ Third party ที่นักวิจัยและลูกค้ายอมรับ) เพื่อยืนยันว่าต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการขั้นสุดท้ายได้ผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะทำงานจริง โดยมีจำนวนการทดสอบและระยะเวลาที่เพียงพอที่สามารถยอมรับได้ทางสถิติ (Statistical confidence) * กลุ่มเป้าหมาย เช่น ลูกค้าที่สนใจทดสอบต้นแบบ หรือ ลูกค้าที่คาดว่าจะเป็นผู้รับถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยลูกค้าควรเป็นผู้กำหนด Requirement หากไม่มีลูกค้า ควรให้ตัวแทนกลุ่มเป้าหมายที่น่าเชื่อถือ หรือ Third party ที่นักวิจัยและลูกค้ายอมรับ เป็นผู้กำหนด

ที่มา: คู่มือการประเมินระดับความพร้อมเทคโนโลยี (TRL)สวทช. เวอร์ชั่น 2.2

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

TRL-6

continued

MUST-DO:

– Update and expand all project specifications, proposals, analyses, economics, etc. based on TRL-6 results.

– The TRL-6 prototype, process, pilot, model, or approach will be used by an engineering, procurement, and construction

Continued below:

- **Office of Cybersecurity, Energy Security, and Emergency Response (CESER)**
  See description of financial support under TRL-2 above
- **Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)**
  See description of financial support under TRL-2 above

• OTHER FEDERAL GOVERNMENT AGENCIES beyond those listed above and those that participate in the SBIR/STTR program have grant programs and offer funding that may assist in, or supplement other grants, in carrying out TRL-6. For a list of these agencies, see TRL-7 below.

(EPC) or another appropriate firm to develop estimates for construction (or fabrication, development, or manufacturing) for the TRL-7 demonstration-scale prototype, process, model, approach, or plant (at 1/10th commercial scale) and develop relatively accurate (± 30-40 percent) capital / production cost estimates for the full-size, commercial-scale technology, plant, process, product, or approach.

NEXT UP: Technology Demonstration *(continued)* / System / Subsystem Development *(continued)* / System / Subsystem Demonstration

TRL-7

DEMONSTRATION-SCALE TESTING

A fully-integrated, fully-operational system / subsystem model, technology, prototype, process, or pilot is demonstrated in an operational environment. Tests are conducted under sustained day-in and day-out operating conditions over a prolonged period (a continuous, steady-state run of 1,000 hours is the industry standard for new technologies, equipment, processes, and plants to instill confidence in investors and funders). Investors and funders will most likely employ independent

Federal funding opportunities:

See description of funding opportunities for TRL-6, above. Other funding opportunities may be available, if there is a fit with your technology, concept, process, or approach, from:

• **U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE (DOC)**
DOC has one overarching goal: ***Helping the American Economy Grow****. The DOC promotes job creation and economic growth, provides the data necessary to support commerce, oversees ocean and coastal navigation, and fosters innovation by setting standards and conducting foundational research and development. Of its nine bureaus, five provide occasional grant and funding opportunities that can assist with moving commerce-related and oceanic- and atmospheric-related technologies, concepts, and approaches through advanced TRLs. These include:*

- **Economic Development Administration (EDA)**
- **National Institute of Standards & Technology (NIST)**
- **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**
- **Institute of Standards & Technology (NIST)**

TRL-7

- **National Telecommunications & Information**

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

continued

engineers to scrutinize and validate the prototype and pilot runs.

SUCCESSFUL COMPLETION:
when it is shown that the fully-integrated technology, prototype, process, pilot, or approach and all of its components, systems, and subsystems operate as intended.

MUST-DO:

– Documentation is critical in TRL-7, requiring that data be carefully recorded and compiled, including which operations were running when, for how long, and how they performed.

– Flowsheets; heat, material, and energy balances; detailed engineering and design; cost analyses; etc. should be refined to near final form, with a very high level of detail. Investors and funders.

– This, along with information and lessons gained from the operation, design, construction, start up, and operation of the demonstration system, technology, prototype, process, plant, or approach will be used through external EPC resources to develop detailed construction, fabrication, manufacturing, or development estimates for the commercial plant, product, technology, or approach.

Administration (NTIA)

• **U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR (DOI)**
DOI manages the nation's lands. Its current priorities are to maintain and expand conservation stewardship on public lands, sustainably develop the nation's energy and natural resources, modernize the infrastructure overseen by DOI, and promote economic development for Tribal Nations and ensure their sovereignty. Several of DOI's nine bureaus offer grants to support energy innovation, adoption, and deployment, including:

- **Bureau of Indian Affairs (BIA)**
- **Bureau of Land Management (BLM)**
- **Bureau of Ocean Energy Management (BOEM)**
- **Bureau of Reclamation (BOR)**
- **National Park Service (NPS)**
- **Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement**
- **U.S. Fish and Wildlife Service (FWS)**
- **U.S. Geological Survey (USGS)**

• **U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (DOT)**
DOT has embarked on an aggressive program to promote sustainability in its policies, operations, investments and research, and ensure that by 2020 not less than 20 percent of electric energy consumed by DOT comes from renewable energy sources. DOT also has made a commitment to pursue opportunities for the national transportation system that will promote energy and natural resource conservation, decrease emissions of greenhouse gases (GHGs), reduce dependence on fossil fuels, and increase energy efficiency.

One innovative program, the Smart Cities Challenge, selected Columbus, Ohio, in June 2016, to receive $40 million from DOT to become the first U.S. city to fully integrate innovative technologies – self-driving cars, connected vehicles, and smart sensors – into its transportation network. Another DOT initiative is exploring Renewable Energy Uses in Highway Rights of Way.

NEXT UP: System / Subsystem Development *(continued)* / System / Subsystem Demonstration *(continued)* /

https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/10/22/federal-funding-opportunities-for-each-of-the-nine-technology-readiness-levels-trls-part-2-trls-4-9/12/

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)
TRL 8: Actual deliverable qualified through test and demonstration **The technology has been proven to work in its final form under expected conditions. In almost all cases, this TRL represents the end of true system development. Examples include developmental test and evaluation of the actual deliverable in its intended application to validate that it meets design specifications.** **Notice** **How does the customer's approach to product acceptance correlate with agreed-upon requirements?**	TRL 8 : เทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการที่ส่งมอบจริง ได้ผ่านการทดสอบและสาธิต คำอธิบาย เทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการที่ส่งมอบจริง ผ่านการทดสอบคุณภาพการใช้งานตามมาตรฐานของผู้ใช้/มาตรฐานคุณภาพที่เกี่ยวข้อง (ถ้ามี) / กฎหมายที่เกี่ยวข้อง (ถ้ามี) หรือถูกบูรณาการเข้ากับระบบของลูกค้า/ผู้ใช้งานแล้ว (TRL8 ต้องทำให้ได้คุณภาพตามที่ขายได้ทั่วไป) เอกสาร/หลักฐานเชิงคุณภาพ TRL 8 ประกอบด้วย ☐ ผลทดสอบการใช้งานในสภาวะแวดล้อมการทำงานจริงอย่างต่อเนื่องจนลูกค้ามั่นใจในคุณภาพ และผลการยอมรับว่าสิ่งส่งมอบมีลักษณะที่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือความต้องการจริง* ของกลุ่มเป้าหมาย อยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งเป็นการทดสอบโดยกลุ่มเป้าหมาย เช่น ลูกค้าเป้าหมาย หรือผู้ที่ต้องการใช้ (*ควรระบุความต้องการอย่างครบถ้วนสมบูรณ์ในเอกสารทางการ เช่น สัญญาว่าจ้าง หรือ หนังสือแสดงความต้องการใช้งาน) ☐ คู่มือสำหรับการผลิต/คู่มือสำหรับการใช้งาน ☐ ผลการรับรองมาตรฐานหรือข้อกำหนดทางกฎหมายที่จำเป็นสำหรับสิ่งส่งมอบ พร้อมแนบมาตรฐานกำกับกระบวนการผลิต (หรือมีข้อพิสูจน์ว่ากระบวนการผลิต ได้ผลผลิตเหมือนเดิม) (ถ้ามี) ☐ รายงานผลการทดสอบ พร้อมปัจจัยสำหรับทดสอบเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ (Shelf life) และบริการในสภาพจริง อยู่ในเกณฑ์ดี ☐ กรณีส่งมอบให้ลูกค้าที่เป็นผู้ผลิต หรือ มี Production unit ควรมี Quality report** **องค์ประกอบของ Quality report: 1. Product name (or Service name) 2. Build quantity / Period / Site 3. Product version / Associated BOM 4. Process flow 5. Critical process parameters / Specifications 6. Critical process monitoring / Results 7. Critical process yield (for each process step) 8. Product test results 9. Final product yield

ที่มา: คู่มือการประเมินระดับความพร้อมเทคโนโลยี (TRL)สวทช. เวอร์ชั่น 2.2

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

System Preparation for Launch & Operations

TRL-8

PRECOMMERCIAL DEMONSTRATION: PROOF OF OPERATIONAL TECHNOLOGY, CONCEPT, OR APPROACH

A full- or near-full-size operational system is completed, troubleshot, operated continuously, and qualified through test and demonstration. Operating conditions are explored to prove the technology, process, or approach within and outside of normal parameters. Deviations from the predictions made during the pilot stage are identified and mitigation plans are developed. Simulations are finalized and scaled up to commercial scale.

Federal funding opportunities:

See TRL-7 above.

Pexels photo 371938

Continuation of TRL-8 description:

SUCCESSFUL COMPLETION: when it is shown that the technology, process, or approach is proven to work at full or near-full-size commercial scale.

MUST-DO: Using analyses of demonstration-scale operability, final costs will be determined for operations and production, and for construction, fabrication, or manufacturing. Commercial-scale detailed engineering and design will be completed.

THE FINAL STEP: System Launch & Operations

TRL-9

FIRST COMMERCIAL DEPLOYMENT

Application of the technology, process, or approach in its final form. The fully-developed technology, process, or approach is completed, built, operated, and deployed for the first time at full commercial / final scale to provide proof of

Federal funding opportunities:

- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA)
  - Rural Development
    - *Section 9003 Biorefinery, Renewable Chemical, and Bioproduct Manufacturing Assistance Loan Guarantee*
- U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE (DOD)
  - Defense Advanced Research Projects (DARPA)
    See description of financial support under TRL-1 above
  - Defense Innovation Unit Experimental (DIUx)
    See description of financial support under TRL-2 above
  - Other DOD grant opportunities

https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/10/22/federal-funding-opportunities-for-each-of-the-nine-technology-readiness-levels-trls-part-2-trls-4-9/12/

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)
TRL 9: Operational use of deliverable **Application of the technology in its final form and under mission conditions such as those encountered in operational test and evaluation. In almost all cases, this is the end of the last bug fixing aspects of true system development. Examples include using the deliverable under operational mission conditions. This TRL does not include ongoing or planned product improvement of reusable systems.** **Notice** **Describe the successful deployment of the product in terms of the customer's volume and frequency of use.**	TRL 9 : การใช้งานเทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการอย่างต่อเนื่อง คำอธิบาย เทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการถูกนำไปใช้งานจริง และติดตามผลการใช้งานอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เหมาะสม โดยหากมีข้อบกพร่อง ต้องดำเนินการแก้ไขให้เรียบร้อย เอกสาร/หลักฐานเชิงคุณภาพ TRL 9 ประกอบด้วย ☐ เอกสารสรุปข้อมูลสำคัญของสิ่งส่งมอบ เช่น แนวคิด หลักการ วิธีการวิจัยและพัฒนา ข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) หรือ คุณลักษณะ (Feature) มาตรฐานการทดสอบ หรือวิธีการทดสอบที่เชื่อถือได้ ผลการทดสอบเทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการก่อนการวางตลาดหรือก่อนใช้อย่างต่อเนื่องในเชิงสาธารณประโยชน์ ที่สามารถยืนยันข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) และความต้องการ (Requirement) ในการประยุกต์ใช้ เป็นต้น ☐ ผลิตภัณฑ์มีจำหน่ายในท้องตลาด หรือหลักฐานการนำไปใช้จริงในเชิงพาณิชย์หรือในเชิงสาธารณประโยชน์ เช่น • จดหมายยืนยันจากผู้รับถ่ายทอดเทคโนโลยีว่าได้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีและนำไปใช้จริง • ข้อมูลแสดงยอดขาย หรือจำนวนลูกค้าของผลิตภัณฑ์ • Brochure/Catalog หรือรายการโฆษณา ผลิตภัณฑ์ (ถ้ามี) • หนังสือขอบคุณจากหน่วยงานที่รับเทคโนโลยี (ถ้ามี) ☐ หลักฐานการเป็นที่ยอมรับ เช่น • รางวัลต่างๆ ที่ผลิตภัณฑ์ของลูกค้าได้รับ (ถ้ามี) • ข้อมูลแสดงการยอมรับของผู้บริโภคภายหลังการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้อย่างต่อเนื่อง (ถ้ามี) • ข้อมูลแสดงความต่อเนื่องของยอดขายหรือปริมาณขายหรือจำนวนลูกค้า (ถ้ามี)

ที่มา: คู่มือการประเมินระดับความพร้อมเทคโนโลยี (TRL)สวทช. เวอร์ชั่น 2.2

ที่มา: - Adapted from Sandia National Labs "Measuring the Maturity of a Technology : Guidance on Assigning a TRL", October 2007.
- Adapted from Technology Readiness Levels in the Department of Defense (DoD) http://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level
- Adapted from NASA Small Business Innovation Research & Technology Transfer 2012 Program Solicitations http://sbir.gsfc.nasa.gov/SBIR/sbirsttr2012/solicitation/forms/appendix_B.pdf
- คำจำกัดความ คำอธิบาย และหลักฐาน จากการประชุมหารือผู้เกี่ยวข้องและคณะทำงานพัฒนาระบบบริหารคุณภาพการวิจัย ปีงบประมาณ 2563

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

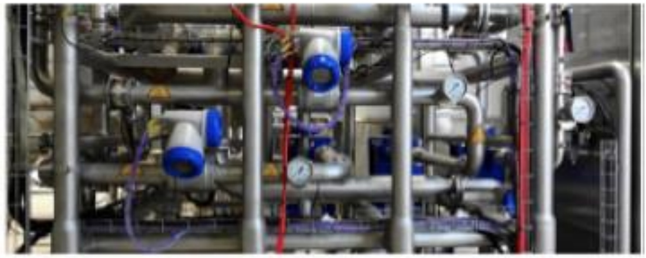
System Preparation for Launch & Operations

TRL-8

Precommercial Demonstration: Proof of Operational Technology, Concept, or Approach

A full- or near-full-size operational system is completed, troubleshot, operated continuously, and qualified through test and demonstration.
Operating conditions are explored to prove the technology, process, or approach within and outside of normal parameters. Deviations from the predictions made during the pilot stage are identified and mitigation plans are developed. Simulations are finalized and scaled up to commercial scale.

Federal funding opportunities:
See TRL-7 above.



Pexels photo 371938

Continuation of TRL-8 description:

Successful completion: when it is shown that the technology, process,
or approach is proven to work at full or near-full-size commercial scale.

Must-Do: Using analyses of demonstration-scale operability, final costs will be determined for operations and production, and for construction, fabrication, or manufacturing. Commercial-scale detailed engineering and design will be completed.

THE FINAL STEP: System Launch & Operations

TRL-9

First Commercial Deployment

Application of the technology, process, or approach in its final form. The fully-developed technology, process, or approach is completed, built, operated, and deployed for the first time at full commercial / final scale to provide proof of

Federal funding opportunities:

- U.S. Department of Agriculture (USDA)
  - Rural Development
    - *Section 9003 Biorefinery, Renewable Chemical, and Bioproduct Manufacturing Assistance Loan Guarantee*
- U.S. Department of Defense (DOD)
  - Defense Advanced Research Projects (DARPA)
    See description of financial support under TRL-1 above
  - Defense Innovation Unit Experimental (DIUx)
    See description of financial support under TRL-2 above
  - Other DOD grant opportunities

Technology Readiness Levels (TRLs)	Federal Funding Opportunities *(continued)*

successful operation of the actual system in an operational environment.

TRL-9

continued

Successful completion:
when deployment in its final form demonstrates that it is operationally, economically, and functionally superior to other existing or similar technologies, processes, or approaches and is replicable, marketable, and financeable.

Must-Do:
– A full-time engineering staff will continuously monitor operations to verify that they are meeting cost, yield, efficiency, and productivity

targets.

Adobe Stock 46792261 Licensed to American Diversified Energy, LLC

See description of financial support under TRL-1 above

- U.S. Department of Energy (DOE)
  - Loan Program Office (LPO)
    - *Title 17 Loan Guarantee Program*
      - Renewable Energy and Energy Efficiency Projects
      - Advanced Fossil Energy Projects
      - Advanced Nuclear Energy Projects
      - Tribal Energy Projects
    - *Advanced Technology Vehicle Manufacturing (ATVM) Direct Loan Program*
- U.S. Treasury
  - Investment Tax Credit (ITC)
    The ITC reduces federal income taxes based on capital investment in innovative and renewable energy projects (measured in dollars). The ITC is earned when the equipment is placed into service.
  - Production Tax Credit (PTC)
    The PTC reduces federal the *income taxes of innovative and renewable energy projects based on the electrical output (measured in kilowatt-hours, or kWh) of grid-connected renewable energy facilities.*
  - Modified Accelerated Cost-Recovery System (MACRS)
    *Or **Bonus Depreciation** allows businesses and project developers to reduce their federal taxes through a deduction for depreciation when renewable energy equipment or facilities producing renewable energy are placed into service. With passage of the 2017 **Tax Cuts and Jobs Act**, the first-year depreciation allowance was increased from 50 percent to 100 percent. Several other types technologies and properties that incorporate innovative concepts also are now eligible for MARCS program bonus depreciation.*

The End

Development is Complete, Commercial Roll-Out

Federal funding opportunities:

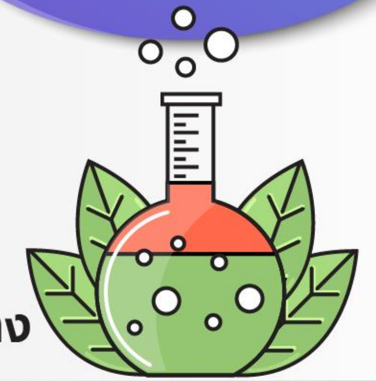
- U.S. Department of Agriculture (USDA)
  - Rural Development Business Programs
    - Business & Industry (B&I) Loan Guarantees
    - Value Added Producer Grants

https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/10/22/federal-funding-opportunities-for-each-of-the-nine-technology-readiness-levels-trls-part-2-trls-4-9/12/

Environment/Test Conditions + Sample size & Test method

สวทช NSTDA

TRL4: Lab Environment (Key elements)	Sample size	จำนวนครั้งของการทดสอบ	ความเชื่อมั่นทางสถิติของผลการทดสอบ (ทดสอบกี่ครั้งก็ได้ performance ของ Spec เหมือนเดิม)
ตัวอย่าง	20 ✓	30 ครั้ง ✓	**Spec คือ ทนความร้อนได้ 40 องศา** ผลการทดสอบแต่ละชิ้นใน 20 ครั้ง สามารถทนความร้อนได้ 40 องศา



TRL 5: Relevant Environment (Key elements)	Sample size	จำนวนครั้งของการทดสอบ	ความเชื่อมั่นทางสถิติของผลการทดสอบ (ทดสอบกี่ครั้งก็ได้ performance ของ Spec เหมือนเดิม)
ตัวอย่าง	20 ✓	30 ครั้ง ✓	**Spec คือ ทนความร้อนได้ 50 องศา** ผลการทดสอบแต่ละชิ้นใน 20 ครั้ง สามารถทนความร้อนได้ 50 องศา

หมายเหตุ: จำนวนครั้งและจำนวนตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ ที่จะมีระดับความเชื่อมั่นแตกต่างกัน

สวทช NSTDA

TRL6

ต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่พร้อมเป็นสิ่งส่งมอบ ได้ผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานจริง

ระบุสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

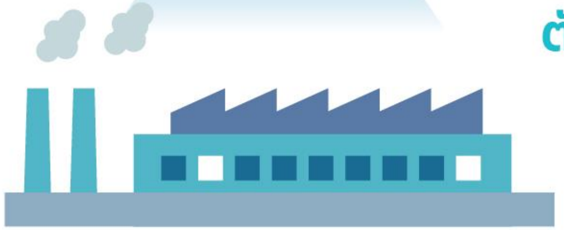
สภาพแวดล้อมทางกายภาพที่ควบคุมให้เหมือนสภาพแวดล้อมจริง (Operational Environment) อาทิ เครื่องจักร อุปกรณ์ ช่วง (Range between... and...) ของอุณหภูมิ ความชื้น การสิ้นเปลืองพลังงาน ความสั่นสะเทือน ระดับเสียงรบกวน และการคลายสิ่งที่เป็นภัยของสิ่งแวดล้อม (Emission)

Test Method

วิธีการทดสอบ เพื่อให้ได้ผลการทดสอบตาม Specification ที่กำหนด

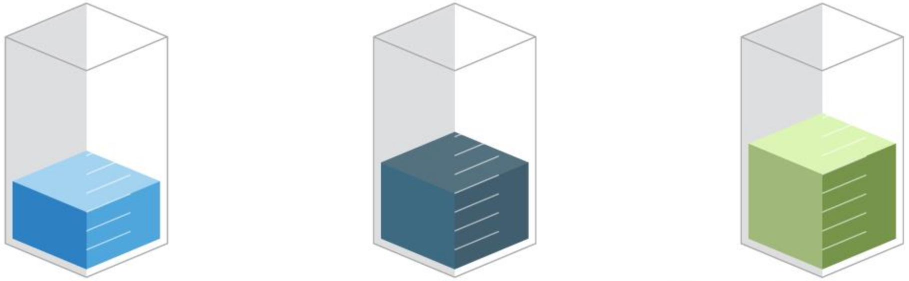
Test Reports

- แสดงหลักฐานให้เห็นว่าต้นแบบฯ ผ่านการพิสูจน์การใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง โดยเปรียบเทียบกับข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ที่ตั้งไว้
- แสดงหลักฐานว่าสามารถทำซ้ำได้ (Reproducibility)



Customer Acceptance

ตัวอย่าง



จำนวนครั้งของการทดสอบ	Reproducibility	ความเชื่อมั่นทางสถิติ
40 ครั้ง	กรรมวิธีเหมือนกัน 100% ในการผลิต	Spec คือ ทนความร้อนได้ 60 องศา ผลการทดสอบแต่ละชิ้นทนความร้อนได้ 60 องศา

TRL7

ต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการขั้นสุดท้าย ได้ผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะทำงานจริง

ระบุสภาวะแวดล้อมจริง (Operational Environment)

สภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องต่อความสำเร็จ/ล้มเหลวในการทำงานของระบบได้

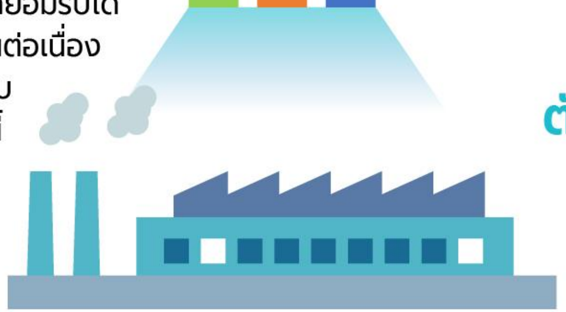
TRL7 = TRL6+หลาย parameters ที่ไม่ได้ควบคุมตามสภาพแวดล้อมจริงที่ทดสอบ

Test Method

วิธีการทดสอบ เพื่อให้ได้ผลการทดสอบตาม Specification ที่กำหนด มีจำนวนการทดสอบและระยะเวลาที่เพียงพอที่สามารถยอมรับได้ทางสถิติ (Statistical Confidence) เช่น การทำงานต่อเนื่อง 1,000 ชั่วโมง[1] ถือเป็นมาตรฐานที่อุตสาหกรรมยอมรับสำหรับเทคโนโลยี/อุปกรณ์หรือกระบวนการใหม่ ทั้งนี้หากเป็นการลงทุนที่มีความเสี่ยงสูง ระยะเวลาการทดสอบอยู่ที่ประมาณ 12 เดือน

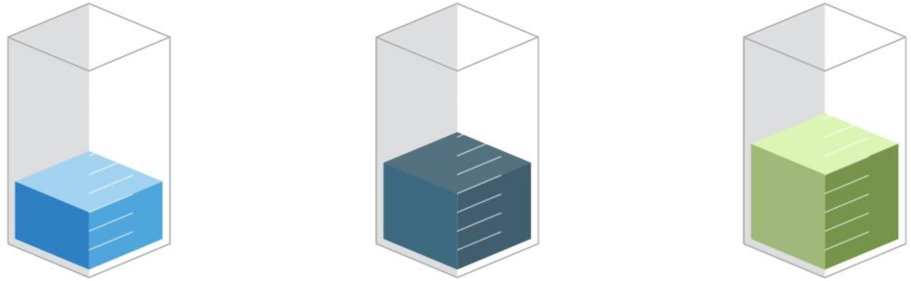
Test Reports

- แสดงหลักฐานให้เห็นว่าต้นแบบฯ ผ่านการพิสูจน์การใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง โดยเปรียบเทียบกับข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ที่ตั้งไว้
- แสดงหลักฐานว่าสามารถทำซ้ำได้ (Reproducibility)
- Flowsheets: heat, material, and energy balances; detailed engineering and design; cost analyses; etc.



Customer Acceptance

ตัวอย่าง



จำนวนครั้งของการทดสอบ	Reproducibility	ความเชื่อมั่นทางสถิติ
80 ครั้ง	กรรมวิธีเหมือนกัน 100% ในการผลิต	Spec คือ ทนความร้อนได้ 60 องศา ผลการทดสอบแต่ละชิ้นทนความร้อนได้ 60 องศา

1 = C.J. Evans: Federal Funding Opportunities for Each of the Nine Technology Readiness Levels (TRLs) Part 2: TRLs 4-9, 2018

Automatic hospital bed

eit Health

TRL 7	System prototype demonstration in an operational environment	Could be the same prototype as TRL 6 below but tested in an actual hospital environment for an extended period of time.
TRL 6	Technology demonstration in a relevant environment	Pototype that resembles final product in both function and form
TRL 5	Technology validation in a relevant environment	Heavy, clumsy, full scale prototype that proves that the cincept will work tehnically. Not made to resemble a final product in other aspects than function.

Source: Gustav Notander

https://www.wmahsn.org/storage/resources/documents/EIT_Health_KIC_A_guide_to_TRL-EIT_health.pdf

สวทช NSTDA

TRL8

เทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการที่ส่งมอบจริง ได้ผ่านการทดสอบและสาธิต

Pre-commercial Demonstration

เทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการที่ส่งมอบ ถูกบูรณาการเข้ากับระบบของลูกค้า/ผู้ใช้งานแล้ว

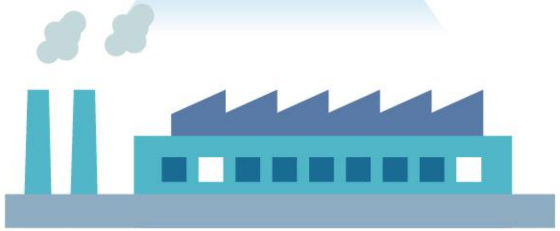
*ควรมีเอกชน เป็นผู้ร่วมอย่างชัดเจน เพื่อให้เกิดการทดสอบตลาด และยื่นเอกสารต่อหน่วยรับรองมาตรฐานที่เกี่ยวข้องให้ผลิตภัณฑ์สามารถผลิตในระดับ Mass Production ได้

Relevant Standards/ Customer Standard

ผลการรับรองมาตรฐานหรือข้อกำหนดทางกฎหมายที่จำเป็นสำหรับสิ่งส่งมอบ พร้อมแนบมาตรฐานกำกับกระบวนการผลิต (หรือมีข้อพิสูจน์ว่ากระบวนการผลิต ได้ผลผลิตเหมือนเดิม)

Test Reports

- ในระดับ TRL8 นี้ สินค้าถูกผลิตเหมือนจริงแล้วส่งให้หน่วยงานภายนอกทดสอบมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
- รายงานผลการทดสอบ พร้อมปัจจัยสำหรับทดสอบเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ (Shelf life) และบริการในสภาพจริง อยู่ในเกณฑ์ดี
- คู่มือการผลิต/คู่มือการใช้งาน



Customer Acceptance

System Preparation for Launch

หมายเหตุ: เอกชนถูกบังคับจากตลาดว่า หากจะผลิตสินค้าในระดับ Mass Production จำเป็นต้องได้รับรองมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

TRL9

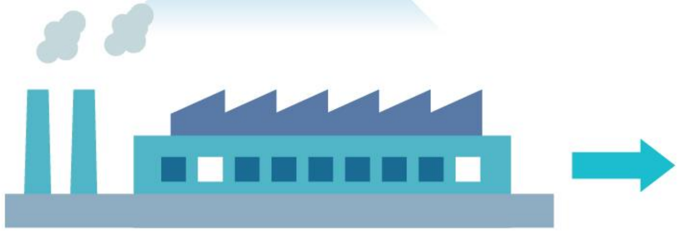
การใช้งานเทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการอย่างต่อเนื่อง

Production operated over the full range of expected conditions in industrial scale

- ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด
- เทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการถูกนำไปใช้งานจริง และติดตามผลการใช้งานอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เหมาะสม โดยหากมีข้อบกพร่อง ต้องดำเนินการแก้ไขให้เรียบร้อย

ผลิตภัณฑ์มีจำหน่ายในท้องตลาด/มีหลักฐานการนำไปใช้จริงในเชิงพาณิชย์หรือในเชิงสาธารณประโยชน์

- จดหมาย/เอกสารยืนยันจากผู้รับถ่ายทอดเทคโนโลยีว่าผลิตภัณฑ์/กระบวนการมีการขายแล้วอย่างต่อเนื่องในตลาดหรือมีการใช้งานในเชิงสาธารณประโยชน์ อย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เหมาะสมในแต่ละผลิตภัณฑ์
- ข้อมูลแสดงความต่อเนื่องของยอดขายหรือปริมาณขายหรือจำนวนลูกค้า ไม่มีการร้องเรียนอย่างน้อย 12 เดือน



Customer Acceptance

- ข้อมูลแสดงการยอมรับของผู้บริโภคภายหลังการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้อย่างต่อเนื่อง /การประเมิน Negative Lists หรือ ข้อร้องเรียนจากลูกค้าเกี่ยวกับ Performance หรือความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์/กระบวนการ
- Brochure/ Catalogue หรือรายการโฆษณา ผลิตภัณฑ์ (ถ้ามี)
- รางวัลต่างๆ ที่ผลิตภัณฑ์ของลูกค้าได้รับ (ถ้ามี)

TRL for MA Partitioning Processes (1/2)

Full-scale:	1-10 kg-MA/day
Engineering scale:	0.1-10 kg-MA/day
Laboratory-scale:	1-100 g-MA/day
Bench-scale:	mg-10 g-MA

TRL	Category	
9 :	Proof of Performance	Actual facili [illegible] ations :
6	Proof of Principle	*Full-scale* unit operations testing with *actual spent fuel* Process equipment design validated
5		*Engineering scale* unit operations testing with *actual spent fuel* Simulation models validated
4		*Engineering scale* unit operations testing with *simulated materials* Separations chemistry models developed
3	Concept Development	*Laboratory-scale* batch testing with *simulated materials* Preliminary testing of equipment design concepts
2		*Bench-scale* batch testing with *simulated materials* Preliminary selection of process equipment
1		Basic principles observed and formulated

ที่มา:
K. Minato, Y. Morita, K. Tsujimoto, S. Koyama M. Kurata, T. InoueK. Ikeda. Technology Readiness Levels for Partitioning and Transmutation of Minor Actinides in Japan, 2010

Example 1: RENEWABLE ALTERNATIVE FUELS – FINAL GUIDANCE DOCUMENT

Checkpoints

TRL3

Once readiness level 3 has been achieved, the applied technological concept has been defined. This means:

- The concept is tested through laboratory scale;
- Parameters characterizing the fuel or the technology are measured/calculated;
- First proof-of-concept prototype is ready and preliminarily tested;
- Verification of the proof of concept through consolidated simulation tools and cross-validation of the numerical models thanks to literature data (if applicable) is done.
- Qualitative assessment of advantages (e.g. environmental, technological, economical) of the new concept, fuel or system is demon strated.

TRL2

Once readiness level 2 is achieved, the applied technological concept has been defined. This means:

- Technical analysis of the concept is investigated;
- Interactions between components are qualitatively assessed;
- Qualitative assessment of advantages (e.g. environmental, technological, economical) of the new concept, fuel or system is done;
- Proof of concept approach and preliminary technical specifications (e.g. technologies, compositions, limitations) is defined.

TRL1

Once readiness level 1 is achieved, the scientific concept is observed and documented. This means:

- Identification of possible materials, components and systems and relevant risks and hazards;
- Preliminary concept design
- Preliminary evaluation of the potential benefits and technological gaps of the new concept over the existing ones.

Source: Technology readiness level: Guidance principles for renewable energy technologies : final report, European Commission, 2017

Example 1: RENEWABLE ALTERNATIVE FUELS – FINAL GUIDANCE DOCUMENT

Checkpoints

TRL5

Once readiness level 5 has been achieved, the technology is ready to move forward to pilot scale. This means:

- A large scale laboratory prototype is realized and tested in intended working environment;
- The manufacturing process parameters are defined;
- Information to perform environmental and socio-economic sustainability assessment is available;
- Life cycle analysis could be done;

TRL4

Once readiness level 4 has been achieved, the applied technological concept is experimented and validated. This means:

- The fuel or the process is tested and validated at laboratory scale;
- The prototype characteristics are defined;
- The prototype can achieve repeatable/stable performance;
- Integration with complementing subsystems is done;
- Quantitative assessment of advantages (e.g. environmental, technological, economical) of the new concept, fuel or system is demonstrated;
- The hazards associated to the technology should be identified.

Source: Technology readiness level: Guidance principles for renewable energy technologies : final report, European Commission, 2017

Example 1: RENEWABLE ALTERNATIVE FUELS – FINAL GUIDANCE DOCUMENT

สวทช NSTDA

Checkpoints

TRL7

Once readiness level 7 is achieved, the technology concept is validated at demonstration scale.
This means:

- System/technology demonstrated in field under different working conditions;
- Manufacturing approach is demonstrated;
- Life cycle assessment and life cycle costing are re-evaluated;
- Regulatory aspects are analysed and followed.

TRL6

Once readiness level 6 is achieved, the technology is enlarged to pilot scale. This means:

- The technology is demonstrated in working environment conditions;
- Fuel characteristics are stable;
- The process is safe and reliable;
- Realization of a pilot scale prototype that could be integrated with other subsystems and fine-tuned on field;
- Measurement of pilot scale prototype performance in different and relevant extreme conditions;
- Performance matches the KPIs;
- Social acceptance is evaluated.

Source: Technology readiness level: Guidance principles for renewable energy technologies : final report, European Commission, 2017

Example 1: RENEWABLE ALTERNATIVE FUELS – FINAL GUIDANCE DOCUMENT

Checkpoints

TRL9

Readiness level 9 is achieved, once:

- Technology available for the market;
- Full rate production readiness;
- Business plan is available.

TRL8

Readiness level 8 is achieved, once:

- Technology is proven in its final form and under expected conditions;
- Production is potentially commercially viable;
- Compliance with legal obligations of the technology is in place

Source: Technology readiness level: Guidance principles for renewable energy technologies : final report, European Commission, 2017

Example 2: DMTC (Defence Material Technology Centre) was established in 2008 under the Australian Government's Defence Future Capability Technology Centre Program.

สวทช NSTDA

Example Case Studies

Vehicle Bumper

Technology: Anew light weight bumper bar for a new defence land vehicle (e.g. Hawei).

TRL1	Study of possible materials to reduce weight for bumpers
TRL2	Established concept for bumper design
TRL3	Bumper CAD model Tested with FEA
TRL4	CAD model validated with materials testing in laboratory
TRL5	Weight, mounting and corrosion control consideration for vehicle bumper are integrated into design
TRL6	Prototype bumper manufactured and tested
TRL7	Bumper tested on vehicle
TRL8	Bumper certified/qualified for production
TRL9	Bumper a component on defence vehicle

Robotic welding cell

Technology: A robotic welding cell that utilises automated offline programming to determine welding paths and then applied to the bushmaster welding operationas at Thales

TRL1	Study of state of autonomous welding processes
TRL2	Established concept for autonomous welding system incorporating automated offline programming, identifying technology gaps
TRL3	Development of algorithms for robot to map three dimensional geometries
TRL4	Laboratory demonstration of robot mapping dimensional geometries and identifying joints
TRL5	Demonstration of autonomous robotic mapping of geometries then welding of joints
TRL6	Autonomous robotic welding cell welds joints with geometries representative of final application
TRL7	Autonomous robotic welding cell at end user site demonstrates new technology
TRL8	Autonomous robotic welding defined at standard operating procedure for specific welding applications
TRL9	Autonomous robotic welding routinely used with production of Bushmaster vehicles

Source: https://dmtc.com.au/wp-content/uploads/2017/03/DMTC-JSF-Program-Technology-Readiness-Level-Guideline.pdf