

คู่มือการประยุกต์ใช้
การประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี
(Technology Readiness Level: TRL)
ของ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
(สวทช.)

เพื่อเผยแพร่หน่วยงานภายนอก

เมษายน 2559

1. วัตถุประสงค์ของคู่มือ

คู่มือการประยุกต์ใช้ Technology Readiness Level: TRL ของ สวทช. จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เป็นแนวทาง (Guideline) ในการบริหารจัดการงานวิจัยและพัฒนา เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนด โดยเป็นการประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยีของงานวิจัยและพัฒนาตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ ติดตามความก้าวหน้า และปิดโครงการ

2. Technology Readiness Level (TRL) กับการบริหารงานวิจัยของ สวทช.

การประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) คิดค้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1974 โดยองค์การนาซ่า (National Aeronautics and Space Administration - NASA) โดยในช่วงแรกได้มีการแบ่งระดับ TRL เป็น 7 ระดับ จนกระทั่งในทศวรรษ 1990 NASA ได้กำหนดคำจำกัดความ TRL เป็น 9 ระดับอย่างเป็นทางการ

TRL คือ การบ่งชี้ระดับความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีตามบริบทการใช้งาน ตั้งแต่เป็นวัตถุดิบ องค์ประกอบสำคัญ อุปกรณ์ และกระบวนการทำงานทั้งระบบก่อนที่จะมีการบูรณาการเทคโนโลยีเป็นระบบ

TRL เป็นเครื่องมือบริหารจัดการโครงการหรือโปรแกรมที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกันระหว่างนักเทคโนโลยีกับผู้ที่จะนำเทคโนโลยีไปถ่ายทอดสู่ลูกค้า

ปัจจุบันองค์กรวิจัยและพัฒนาของประเทศพัฒนาแล้วในหลายประเทศได้ประยุกต์ใช้ TRL ในการให้ทุนวิจัย เช่น

(1) *สหรัฐอเมริกา: NASA* ใช้ TRL เป็นกลไกในการให้ทุนวิจัยโปรแกรมการวิจัยระบบเชิงบูรณาการ (Integrated Systems Research Program) และโปรแกรม Small Business Innovation Research (SBIR) โดยเน้นการให้ทุนวิจัยกับโครงการที่ต้องการพัฒนาจากงานวิจัยที่มีระดับ TRL ต่ำไปสู่งานวิจัยที่มีระดับ TRL ที่สูงขึ้น

(2) *ยุโรป: Horizon 2020* ในด้านพลังงานคาร์บอนต่ำ ระบุให้ข้อเสนอโครงการนำเสนอแนวทางแก้ปัญหา (technology solutions) ในการจัดการกับประเด็นความท้าทายเฉพาะด้านเทคโนโลยี เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานจากมหาสมุทร พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น โดยเป็นการยกกระดุมจากระดับ TRL 3-4 เป็นระดับTRL 4-5

(3) **สหราชอาณาจักร: Natural Environment Research Council** ระบุให้ข้อเสนอโครงการที่ต้องการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เป็นโครงการที่มีระดับ TRL 1-4 และหน่วยงาน **Department of Energy and Climate Change** ระบุว่าหน่วยงานจะสนับสนุนโครงการที่ส่งมอบผลงานเทคโนโลยีที่ระดับ TRL 6-9 เป็นต้น

(4) **สิงคโปร์: National Research Foundation** ระบุขอบเขตการให้ทุนวิจัยในด้านวิศวกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านข้อมูลและการสื่อสารที่มุ่งพัฒนาจากการพัฒนาเทคโนโลยีและผ่านการทดสอบในสภาพแวดล้อมห้องปฏิบัติการ (TRL 1-4) ไปเป็นการทดสอบต้นแบบในระดับสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง (TRL 5-6)

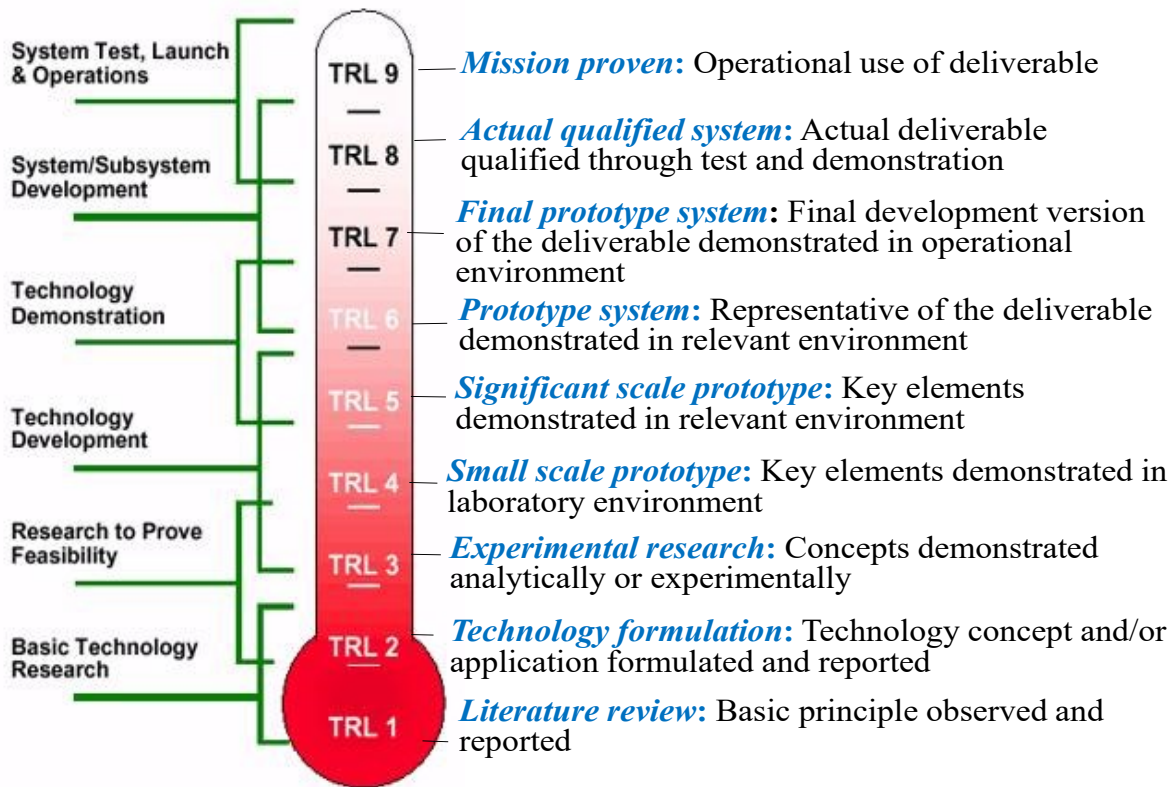
3. คำจำกัดความ TRL ของ สวทช

สวทช. ได้แต่งตั้ง “คณะทำงานพัฒนาแนวทางการประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี” ในปี 2555 ให้ศึกษาแนวทางการประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) รวมทั้งพัฒนาคู่มือ และผลักดันให้เกิดการขยายผลการประยุกต์ใช้แนวทางนี้เพื่อการสร้างผลงานวิจัยและพัฒนาบนฐานนวัตกรรมแบบเปิด (Open Innovation) คณะทำงานฯ จึงได้จัดทำคู่มือการประยุกต์ใช้ Technology Readiness Level: TRL ของ ทั้งนี้ สวทช. มีนโยบายในการประยุกต์ใช้ TRL เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการงานวิจัย โดย TRL จะเป็นเครื่องมือในการสื่อสารระดับความพร้อมเชิงเทคโนโลยีของผลงานวิจัยระหว่างแหล่งทุนวิจัยกับนักวิจัย ตั้งแต่การกำหนดเป้าหมายของโครงการวิจัยและผลผลิตที่โครงการวิจัยจะส่งมอบเมื่อปิดโครงการ

สวทช. ได้พัฒนาคำจำกัดความ TRL 9 ระดับของ สวทช. โดยประยุกต์ใช้ คำจำกัดความ TRL ของ ศูนย์ทดลองแห่งชาติซานเดีย (Sandia National Laboratories) สหรัฐอเมริกา เพราะสามารถประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีที่หลากหลายและใกล้เคียงกับภารกิจของ สวทช. มากที่สุด

ข้อสังเกตสำคัญ

- ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีไม่ใช่ระดับความยากของเทคโนโลยี
- ถ้าจะนำเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้วและมี TRL ระดับหนึ่งแล้วมาใช้กับบริบทใหม่ ต้องประเมิน TRL ใหม่ให้เข้ากับบริบทใหม่
- ถ้าเทคโนโลยีนั้น ประกอบด้วยหลายเทคโนโลยีย่อยหลายเทคโนโลยี แม้ว่าเทคโนโลยีย่อยอันหนึ่งจะมีความพร้อมถึงระดับ TRL9 แล้ว แต่ TRL ของเทคโนโลยีหลักจะเท่ากับ TRL ของเทคโนโลยีย่อยที่ต่ำที่สุด
- การถ่ายทอดเทคโนโลยีสามารถเกิดขึ้นได้ทุกระดับ TRL ขึ้นอยู่กับความพร้อม/ศักยภาพของลูกค้าในการรับถ่ายทอดเทคโนโลยี ถ้า สวทช. จะถ่ายทอดเทคโนโลยีให้เอกชนที่มีความสามารถสูง ก็สามารถเลือกเสนอผลงานที่มี TRL ต่ำได้ แต่หากจะถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับเอกชนหรืออุตสาหกรรมที่มีศักยภาพไม่สูงนัก สวทช. ก็ต้องลงทุนพัฒนางานวิจัยจนไปถึงระดับ TRL ที่สูง



ที่มา: Adapted from Sandia National Labs “Measuring the Maturity of a Technology : Guidance on Assigning a TRL”, October 2007.

Adapted from <https://www.spacecomm.nasa.gov/spacecomm/programs/technology/> (สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2556)

สรุปภาพรวมของ TRL 9 ระดับคือ

TRL 1-3 เป็นการพัฒนาคำความรู้และการวิจัยพื้นฐาน

TRL 4-7 เป็นการพัฒนา และทดสอบต้นแบบในระดับต่างๆตามความเข้มข้นและสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ต้นแบบห้องปฏิบัติการ ต้นแบบภาคสนาม

TRL 8 คือ มีการทดลองผลิตในปริมาณที่เหมาะสม หรือทดสอบความมีเสถียรภาพของระบบในระยะเวลาที่เหมาะสม และผ่านการทดสอบคุณภาพ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง หรือ กรณีที่ผลงานไม่จำเป็นต้องมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ให้ใช้ข้อกำหนดที่เป็นที่ยอมรับได้ระหว่างผู้ผลิตกับผู้ใช้

TRL 9 คือ เทคโนโลยีหรือผลิตภัณฑ์ถูกนำไปใช้งานจริงโดยลูกค้า อย่างต่อเนื่องในตลาดหรือมีการใช้งานในเชิงพาณิชย์ หรือหลักฐานอื่นที่แสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้งานจริงและได้รับการยอมรับ

อย่างไรก็ตาม ขอบเขตการประเมิน TRL ไม่ครอบคลุมงานวิจัยทางสังคมศาสตร์และการบริการ วิเคราะห์ทดสอบหรือการให้คำปรึกษารายครั้ง

ตารางที่ 1 : คำจำกัดความ TRL ของ สวทช. และตัวอย่างผลงาน

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
<p>TRL 1: Basic principles observed and reported</p> <p>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.</p>	<p>TRL 1 : หลักการพื้นฐานได้รับการพิจารณาและมีการรายงาน</p> <p><i>คำอธิบาย</i> มีการพิจารณาหลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ โดยมีการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (literature review/prior art)</p> <p><input type="checkbox"/> เอกสารสรุปผลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีดังกล่าวที่เคยมีในอดีต โดยระบุอ้างอิงว่ามีใคร ทำการศึกษาเรื่องอะไร ได้ผลอย่างไร ที่ใด และเมื่อใด (literature review/prior art)</p>	<p>แสดงถึงแนวคิดการวิจัยพื้นฐานที่สามารถประยุกต์ใช้ในซอฟต์แวร์ หรือคุณสมบัติพื้นฐานของอัลกอริทึม ซึ่งจะมีในข้อเสนอโครงการ</p>	<p>เอกสารสรุปผลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการพัฒนาพันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์ โดยระบุอ้างอิงว่ามีใคร ทำการศึกษาเรื่องอะไร ได้ผลอย่างไร ที่ใด และเมื่อใด</p>
<p>TRL 2: Concept and/or application formulated</p> <p>Practical applications are beginning to be invented or identified. Applications are still speculative and there is no proof or detailed analysis to support</p>	<p>TRL 2 : มีการสร้างแนวคิดด้านเทคโนโลยี และ/หรือ การประยุกต์ใช้</p> <p><i>คำอธิบาย</i> เริ่มทำการศึกษาวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อยืนยันหลักการพื้นฐานทางเทคโนโลยีและความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ โดยยังไม่มี การพิสูจน์หรือวิเคราะห์ในรายละเอียดเพื่อสนับสนุนสมมติฐาน</p>	<p>แสดงแนวคิดที่จะพัฒนา และสรุป การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์</p>	<p>มีการสร้างแนวคิดด้านเทคโนโลยี และ/หรือ การประยุกต์ใช้ด้านพันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์</p>

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
assumptions. Examples might include applied research in a field of potential interest.	<input type="checkbox"/> เอกสารสรุปการศึกษาความเป็นไปได้ของแนวคิด/ การประยุกต์ใช้ ซึ่งประกอบด้วย <ul style="list-style-type: none"> ✓ แนวคิด/การประยุกต์ใช้ของเทคโนโลยี ขอบเขตงานวิจัย ซึ่งมีการกำหนดรายละเอียดทางเทคนิค (specification) อย่างชัดเจน ✓ บทวิเคราะห์อ้างอิงเอกสารที่สนับสนุนความไปได้ของแนวคิด/การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ดังกล่าว ความจำเป็นหรือประโยชน์ในการทำวิจัย และระบุ technical challenge ว่างานชิ้นนี้มีความยาก ความท้าทาย และความใหม่อย่างไร 		
<p>TRL 3: Concepts demonstrated analytically or experimentally</p> <p>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</p>	<p>TRL 3 : แนวคิดได้ถูกสาธิตด้วยการวิเคราะห์หรือด้วยการทดลอง</p> <p><i>คำอธิบาย</i> มีผลการศึกษาวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์ว่าหลักการนั้นเป็นไปได้ (proof-of-concept) โดยอาจเป็นการวิเคราะห์ หรือด้วยการทดลอง</p> <p><input type="checkbox"/> บันทึกผลการวิเคราะห์ หรือผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวคิดนั้นเป็นไปได้ (proof-of-concept) หรือแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองน่าจะเป็นไปตามที่</p>	แสดงการวิเคราะห์หรือผลการทดลองในแนวคิดใหม่	สร้างประชากร หรือ คู่ผสมพันธุ์พืชหรือสัตว์ได้สำเร็จแล้ว

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
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.	คาดการณ์		
<p>TRL 4: Key elements demonstrated in laboratory environment</p> <p>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.</p>	<p>TRL 4 : องค์ประกอบที่สำคัญ ได้ถูกสาธิตในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว</p> <p><i>คำอธิบาย</i> องค์ประกอบที่สำคัญ ได้ถูกประกอบเข้ากัน เพื่อให้ชิ้นส่วนทำงานด้วยกันได้ และต้นแบบผ่านการสาธิตในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถแก้ไขปัญหาเฉพาะเรื่อง รวมทั้งแสดงให้เห็นมุมมองของการทำงานหลักๆ ของต้นแบบว่าสามารถทำงานได้ตามที่คาดหวังได้</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> เอกสารประกอบของต้นแบบระดับ TRL 4 ซึ่งประกอบด้วย <input checked="" type="checkbox"/> วิธีการทดลอง และผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการที่สอดคล้องกับความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งาน 	<p>แสดงว่าแต่ละองค์ประกอบหรือระบบย่อยได้มีการต่อเชื่อมกัน และผ่านการทดสอบในสภาพแวดล้อมห้องปฏิบัติการ</p>	<p>พันธุ์พืชหรือสัตว์ผ่านการคัดเลือกประชากรที่มีลักษณะตามเป้าหมาย โดยการปลูกหรือเลี้ยงทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ/โรงเรือน (Green house)/ฟาร์มปิด</p>
<p>TRL 5: Key elements demonstrated in relevant environments</p>	<p>TRL 5 : องค์ประกอบที่สำคัญ ได้ถูกสาธิตในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง</p>	<p>แสดงว่าแต่ละองค์ประกอบหรือระบบย่อยได้มีการต่อเชื่อมกัน และผ่านการทดสอบ</p>	<p>พันธุ์พืชหรือสัตว์ผ่านการคัดเลือกประชากรที่มีลักษณะตามเป้าหมาย โดย</p>

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
<p>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.</p> <p><i>Notice</i></p> <p><i>Who is the customer?</i></p> <p><i>Describe how these requirements meet the customer's needs.</i></p> <p><i>Describe the environmental requirements including abnormal or extreme events.</i></p>	<p>คำอธิบาย องค์ประกอบที่สำคัญได้ถูกประกอบเข้ากันด้วยองค์ประกอบที่สนับสนุนจริง เพื่อให้เทคโนโลยีสามารถถูกทดสอบและสาธิตในสภาวะที่เลียนแบบที่ใกล้เคียงสภาพแวดล้อมจริง</p> <p><input type="checkbox"/> เอกสารประกอบของต้นแบบระดับ TRL 5 ซึ่งประกอบด้วย</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> วิธีการทดลอง และผลการทดสอบระบบย่อย/องค์ประกอบสำคัญซึ่งถูกประกอบเข้ากันกับองค์ประกอบสนับสนุนอื่นๆ ในสภาวะแวดล้อมที่เลียนแบบ โดยผลการทดสอบสอดคล้องกับความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งาน</p>	<p>ในสภาพแวดล้อมที่เลียนแบบ เช่น ถ้าเป้าหมายคือทำงานได้อยู่บนมือถือ ก็ทดสอบบน Emulator ให้ผ่าน</p>	<p>การปลูกหรือเลี้ยงทดสอบในระดับสถานีทดลอง (แปลงที่มีการดูแล/ควบคุม)</p>
<p>TRL 6: Representative of the deliverable demonstrated in relevant environments</p> <p>Represents a major step in a technology's demonstrated readiness.</p>	<p>TRL 6 : ตัวแทนสิ่งที่จะส่งมอบ ได้ถูกสาธิตในสภาวะที่เกี่ยวข้อง</p> <p>คำอธิบาย ตัวแทนสิ่งที่จะส่งมอบ (ต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว) ได้ถูกทดสอบและสาธิตในสภาวะที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสภาวะที่เกี่ยวข้อง (relevant environment) หมายถึง ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผล</p>	<p>แสดงว่าระบบเทคโนโลยีหรือต้นแบบผ่านการทดสอบในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้ใช้งานกำหนดว่าต้องใช้งานได้บน Windows Vista, Windows7, Windows 8 ก็จะต้องทดสอบให้ผ่านทั้งหมด</p>	<p>พันธุ์พืชหรือสัตว์ผ่านการคัดเลือกประชากรที่มีลักษณะตามเป้าหมาย โดยการปลูกหรือเลี้ยงทดสอบในระดับสถานีที่มีการ challenge ด้วยลักษณะที่ต้องการจำนวนหลายพื้นที่ (Multi- location)</p>

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
<p>Examples include testing a prototype or representative of a deliverable in a high fidelity laboratory environment or in a simulated operational environment.</p> <p><i>Notice</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. 	<p>เกี่ยวข้องกับความสำเร็จ/ล้มเหลวในการทำงานของระบบ ได้ถูกควบคุมให้เหมือนกับสภาวะทำงานจริง</p> <p><input type="checkbox"/> เอกสารประกอบของต้นแบบระดับ TRL 6 ซึ่งประกอบด้วย</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ วิธีการทดลอง และผลการทดสอบระบบต้นแบบ (prototype system) ในสภาวะที่เกี่ยวข้อง โดยผลการทดสอบสอดคล้องกับความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งาน 		
<p>TRL 7: Final development version of the deliverable demonstrated in operational environment</p> <p>Development version of the deliverable is near or at the planned operational system. This represents a significant step beyond TRL 6 and requires the</p>	<p>TRL 7 : ผลของการพัฒนาขั้นสุดท้าย ได้ถูกสาธิตในสภาวะทำงานจริง</p> <p><i>คำอธิบาย</i> ผลของการพัฒนาขั้นสุดท้ายผ่านการสาธิตในสภาวะทำงานจริง ซึ่งสภาวะทำงานจริง (operational environment) หมายถึงสภาพแวดล้อมจริงในการทำงานของระบบ ซึ่งไม่สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องกับความสำเร็จ/ล้มเหลวในการทำงานของ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● เทคนิคคอมพิวเตอร์วาดลายเส้นเซฟา โลเมตริกซ์ บนแผ่นภาพเอกซเรย์ ● การจำลองใบหน้าด้านข้าง หลังการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันและผ่าตัด ● การวิเคราะห์แบบจำลองฟันใน 2 มิติ และการจำลองกะโหลกศีรษะใน 3 มิติ จากภาพรังสีด้านหน้าและ 	<p>พันธุ์พืชหรือสัตว์ผ่านการคัดเลือกประชากรที่มีลักษณะตามเป้าหมาย โดยการปลูกทดสอบหรือเลี้ยงในระดับแปลงเกษตรกร</p>

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
<p>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.</p> <p><i>Notice</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. 	<p>ระบบได้</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> เอกสารประกอบของต้นแบบระดับ TRL 7 ซึ่งประกอบด้วย <input checked="" type="checkbox"/> วิธีการทดลอง และผลการทดสอบระบบต้นแบบ (prototype system) ในสถานะแวดล้อมการทำงานจริง (operational environment) ที่สอดคล้องกับความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งาน 	<p>ด้านข้าง</p>	
<p>TRL 8: Actual deliverable qualified through test and demonstration</p> <p>The technology has been proven to</p>	<p>TRL 8 : สิ่งที่ส่งมอบจริง ได้ผ่านการทดสอบและสาธิต</p> <p>คำอธิบาย ต้นแบบผ่านการทดสอบคุณภาพการใช้งาน และมาตรฐานคุณภาพที่เกี่ยวข้อง พร้อมส่งมอบให้ลูกค้า</p>	<p>ผ่านการทดสอบด้านความแม่นยำการใช้งานจริงกับมนุษย์โดยทันตแพทย์ ซึ่งจะต้องมีการขออนุมัติจากอนุกรรมการจริยธรรมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง</p>	<p>พันธุ์พืชหรือสัตว์ได้รับการขึ้นทะเบียน รับรองพันธุ์ หรือรับรองมาตรฐานคุณภาพที่เกี่ยวข้อง ตามที่ลูกค้า/ผู้ใช้คาดหวัง พร้อมส่งมอบให้ลูกค้า</p>

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
<p>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.</p> <p><i>Notice</i> How does the customer's approach to product acceptance correlate with agreed-upon requirements?</p>	<p>/ผู้ใช้งาน หรือถูกบูรณาการเข้ากับระบบของลูกค้า/ผู้ใช้งานแล้ว</p> <p><input type="checkbox"/> เอกสารประกอบของต้นแบบระดับ TRL 8 ซึ่งประกอบด้วย</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ มีการทดลองผลิต ในปริมาณที่เหมาะสม หรือทดสอบความมีเสถียรภาพของระบบในระยะเวลาที่เหมาะสม ✓ ผ่านการทดสอบคุณภาพ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง หรือ ✓ กรณีที่ผลงานไม่มีมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ให้ใช้ข้อกำหนดที่เป็นที่ยอมรับได้ระหว่างผู้ผลิตกับผู้ใช้ 		
<p>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</p>	<p>TRL 9 : การใช้งานของสิ่งที่ส่งมอบ <i>คำอธิบาย</i> เทคโนโลยีหรือผลิตภัณฑ์ถูกนำไปใช้งานจริง และติดตามผลการใช้งานอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เหมาะสม โดยหากมีข้อบกพร่อง ต้องดำเนินการแก้ไขให้เรียบร้อย</p> <p><input type="checkbox"/> ข้อมูลป้อนกลับ (feedback) จากการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เหมาะสมโดยผู้ใช้งานจริง ซึ่งประกอบด้วยการแก้ไขจุดบกพร่อง</p>	<p>ได้มีการใช้งานจริงไประยะเวลาหนึ่ง จนเป็นที่ยอมรับเรียบร้อยแล้ว</p>	<p>พันธุ์พืช/สัตว์ถูกนำไปขยายผลจริงในแปลงเกษตรกร</p>

คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาอังกฤษ	คำจำกัดความ TRL ฉบับภาษาไทย และข้อมูลสนับสนุน (Supporting Information)	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
<p>under operational mission conditions. This TRL does not include ongoing or planned product improvement of reusable systems.</p> <p><i>Notice</i> <i>Describe the successful deployment of the product in terms of the customer's volume and frequency of use.</i></p>	<p>ต่างๆที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งาน หรือ จดหมายรับรองว่า มีการใช้งานผลิตภัณฑ์ได้จริงอย่างต่อเนื่องในตลาดหรือมีการใช้งานในเชิงสาธารณสุขประโยชน์หรือหลักฐานอื่นที่แสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้งานจริงและได้รับการยอมรับ</p>		

ที่มา: Adapted from Sandia National Labs “Measuring the Maturity of a Technology : Guidance on Assigning a TRL”, October 2007.

Technology Readiness Levels in the Department of Defense (DoD) http://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level

NASA Small Business Innovation Research & Technology Transfer 2012 Program Solicitations http://sbir.gsfc.nasa.gov/SBIR/sbirstr2012/solicitation/forms/appendix_B.pdf

4. ตัวอย่างผลงาน สวทช. แต่ละระดับ TRL

ผลงานระดับ TRL2

- วัสดุเซรามิกเพียโซอิเล็กทริกไร้ตะกั่วในระบบสารละลายบิสมีสโซเดียมไททานेटโพแทสเซียมโซเดียมไนโอเบต (BNT-KNN)

ที่มา: สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง

คุณสมบัติ: การเตรียมและหาลักษณะเฉพาะของสารเซรามิกระบบ BNT-KNN และสารเซรามิกระบบ BNT-KNN ที่ถูกเจือด้วยสารออกไซด์ MnO_2 Sb_2O_5 และ Li_2Co_3 งานวิจัยดำเนินการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการสังเคราะห์สารละลายระบบบิสมีสโซเดียมไทเทเนต-โพแทสเซียมโซเดียมไนโอเบต (BNT-KNN) ด้วยเทคนิคการผสมออกไซด์แบบดั้งเดิม ที่มีต่อพฤติกรรมการศึกษาอิทธิพลของสารเจือออกไซด์ชนิดต่างๆ เช่น Li_2Co_3 Sb_2O_5 และ MnO_2 ในระบบ BNT-KNN เพื่อปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน และศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบ BNT-KNN ที่สามารถประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

ผ่านระดับ TRL 2: เพราะมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบ BNT-KNN ที่สามารถประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

ผลงานระดับ TRL3

- เส้นใยสององค์ประกอบที่มีสมบัติหยักในตัว

ที่มา: สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง

คุณสมบัติ: เป็นเส้นใยสององค์ประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนและเอธิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ ชนิด side by side ซึ่งมีสมบัติความหยักในตัว (self-crimped) เมื่อทำการขึ้นรูปเส้นใยจากกระบวนการหลอมอัดฉีดแล้วเส้นใยสามารถเกิดการหยักเป็นเกลียวภายหลังการดึงยึดเต็มที่โดยไม่ต้องผ่านความร้อนหรือกระบวนการเพิ่มเติมในการทำรอยหยักดังเช่นที่ใช้อยู่ในกระบวนการผลิตเส้นใยหยักที่มีในปัจจุบัน

ผ่านระดับ TRL 3: มีรายงานเชิงเทคนิคที่ระบุการทดลองเพื่อพิสูจน์แนวคิด กล่าวคือ ต้นแบบเส้นใยที่พัฒนานี้แสดงแนวโน้มในการออกแบบเส้นใยเพื่อให้มีสมบัติพิเศษที่ต้องการได้โดยใช้หลักการของเส้นใยสององค์ประกอบและการเลือกชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้

(*ยังไม่มี การทดสอบการใช้งานในสถานะจำลองในห้องปฏิบัติการเนื่องจากปริมาณเส้นใยที่ได้จากเครื่องมือขึ้นรูปต้นแบบที่มีในปัจจุบันไม่เพียงพอสำหรับการทอขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบสิ่งทอ จึงยังอยู่ระหว่างการพัฒนาระบบการปั่นหลอมเส้นใยสององค์ประกอบต่อเพื่อให้สามารถผลิตเส้นใยในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งรวมถึงการสร้างระบบเครื่องมือปั่นหลอมฉีดเส้นใยสององค์ประกอบระดับห้องปฏิบัติการ)

- การสังเคราะห์และพัฒนาวัสดุฉลาดประเภทโลหะผสมจำรูปสำหรับใช้งานทางด้านทันตกรรมจัดฟันและการแพทย์

ที่มา: สวทช. สนับสนุนทุนวิจัยแก่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คุณสมบัติ: โลหะผสมกลุ่ม NiTi ซึ่งเป็นวัสดุฉลาดประเภทโลหะผสมจำรูป เพื่อนำมาเป็นลวดจัดฟันที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมทั่วไป สามารถเพิ่มระยะเวลาการเคลื่อนฟันได้ปริมาณมาก เพิ่มประสิทธิภาพการจัดฟันให้ดีขึ้นมาก และช่วยลดเวลาจัดฟันลงได้ด้วย

ผ่านระดับ TRL 3: ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลในห้องปฏิบัติการ โดยเตรียมลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 มิลลิเมตรและขนาด 1 มิลลิเมตร ทดสอบสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.85 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นลวดที่แพทย์ใช้ฟันกระดุกอยู่ในปัจจุบันพบว่า ลวดนิกเกิล-ไทเทเนียมทั้งสองชนิดมีความแข็งแรงสูงสุดมากกว่า และมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม จึงไม่ทำลายกระดุกในขณะใช้งาน และช่วยลดความเสียหายของกระดุกจากการใส่แรงฟันมากเกินไปด้วย รวมทั้ง การเตรียมลวดกลมนิกเกิล-ไทเทเนียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.016 นิ้วและลวดเหลี่ยมนิกเกิล-ไทเทเนียมกว้าง 0.022 นิ้วหนา 0.016 นิ้ว และลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเดียวกันมาเชื่อมประสานกันด้วยเครื่องเชื่อมเลเซอร์ และทดสอบสมบัติที่อุณหภูมิ 37 °C พบว่าลวดทั้งสองมีแรงในการเปลี่ยนรูปที่ค่อนข้างคงที่และมีสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวด ซึ่งเหมาะสมอย่างมากสำหรับประยุกต์เป็นลวดจัดฟัน

ผลงานระดับ TRL 4

➤ แผ่นถักสานจากผักตบชวาสำหรับงานควบคุมการกัดเซาะหน้าดิน

ที่มา: สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง

คุณสมบัติ: ต้นแบบแผ่นถักสานลายขัดจากผักตบชวาซึ่งมีความแข็งแรงปานกลางและดูดซับน้ำได้ดี ซึ่งจะช่วยในการเติบโตของพืชที่ปลูกคลุมดิน สามารถย่อยสลายได้เมื่อพืชที่ปลูกบนหน้าดินเติบโต เป็นประโยชน์สำหรับทำหน้าที่ควบคุมการกัดเซาะหน้าดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ปลูกคลุมหน้าดินลาดชัน

ต้นแบบห้องปฏิบัติการ

ผ่านระดับ TRL 4: มีรายงานเชิงเทคนิคที่ระบุการทดสอบองค์ประกอบสำคัญในห้องปฏิบัติการ

***อยู่ระหว่างการพัฒนาเป็นต้นแบบแผ่นถักสานลายขัดจากผักตบชวาระดับภาคสนาม เพื่อทดสอบการใช้งานควบคุมการกัดเซาะหน้าดิน**

➤ การพัฒนาวัคซีนป้องกันโรคไข้เลือดออกชนิดเชื้อเป็นอ่อนฤทธิ์แบบพันธุวิศวกรรม

ที่มา: สวทช. โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร่วมมือกับ มหาวิทยาลัยมหิดล และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ศึกษาองค์ความรู้ขั้นพื้นฐานของโรคไข้เลือดออกอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดการพัฒนาวัคซีนตั้งกลุ่มใหม่

คุณสมบัติ: หัวเชื้อวัคซีนตั้งกลุ่มเชื้อเป็นอ่อนฤทธิ์ลูกผสม จำนวน 4 ซีโรทัยป์ มีส่วนที่กำหนดการสร้างโปรตีนโครงสร้างที่มีบทบาทในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันต่อโรคไข้เลือดออกจากไวรัสสายพันธุ์ปัจจุบัน วัคซีนที่สร้างได้จะป้องกันการติดเชื้อไวรัสตั้งกลุ่มสายพันธุ์ที่ระบาดอยู่ในปัจจุบันแต่ละซีโรทัยป์ได้ดีขึ้น

ต้นแบบห้องปฏิบัติการ

ผ่านระดับ TRL 4: จากการทดสอบประสิทธิภาพวัคซีนตัวเลือกในสัตว์ทดลอง พบว่ามีผลเป็นที่พอใจทั้งในด้านความปลอดภัยและการสร้างภูมิคุ้มกันไวรัสไข้เลือดออกได้ดี งานวิจัยพัฒนาวัคซีนตัวเลือกชุดดังกล่าว ได้รับความสนใจจากบริษัทเอกชนของไทยขอรับอนุญาตใช้สิทธิการนำหัวเชื้อวัคซีนไข้เลือดออกตัวเลือกชนิดเชื้อเป็นอ่อนฤทธิ์ลูกผสม (Chimeric Live-attenuated vaccine) ทั้ง 4 ซีโรทัยป์ที่สร้างขึ้นไปพัฒนาต่อเพื่อให้ได้วัคซีนป้องกันโรคไข้เลือดออกที่มีประสิทธิภาพต่อไป

- **การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปให้พลังงานต่ำที่อุดมด้วยสารสำคัญจากผักสามสีอบแห้ง**
ที่มา: สวทช. รับจ้างพัฒนาในส่วนของการรับสูตรผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปให้พลังงานต่ำที่อุดมด้วยสารสำคัญจากผักสามสีอบแห้ง และร่วมกันกับบริษัทในการปรับสูตร โดยการทดสอบรสชาติ ความคงตัวของส่วนผสมในอาหาร และ nutrient value
ต้นแบบห้องปฏิบัติการ
ผ่านระดับ TRL 4: มีรายงานผลการสกัดหาสารสำคัญด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ พร้อมผลการวิเคราะห์สูตรอาหารกึ่งสำเร็จรูปให้พลังงานต่ำในเรื่องของชนิดและปริมาณสารสำคัญ

ผลงานระดับ TRL 5

- **ฐานข้อมูลความหลากหลายทางพันธุกรรมและชาติพันธุ์ของประชากรมนุษย์ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก**
ที่มา: คณะนักวิจัย ห้องปฏิบัติการชีวสถิติและสารสนเทศ หน่วยวิจัยเทคโนโลยีจีโนม ร่วมวิจัยกับคณะนักวิจัยภายใต้ The HUGO Pan-Asian SNP Consortium
คุณสมบัติ: ฐานข้อมูล PanSNPdb <http://www4a.biotec.or.th/PASNP> เป็นแหล่งข้อมูลที่มีการเปรียบเทียบความหลากหลายทางพันธุกรรมแบบสลับและซีเอ็นวีที่มีความหลากหลายของกลุ่มประชากรมากที่สุด และถือเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยทางด้านโครงสร้างประชากรมนุษย์ในแถบภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกที่สำคัญ
ต้นแบบห้องปฏิบัติการ
ผ่านระดับ TRL 5: ฐานข้อมูล PanSNPdb ประกอบด้วยข้อมูลจีโนทัยป์ของความหลากหลายทางพันธุกรรมแบบสลับของกลุ่มประชากรในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกจำนวน 1,928 คน ใน 75 กลุ่มประชากร มีการแสดงข้อมูลความถี่อัลลีลของสลับในแต่ละกลุ่มประชากรเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลสาธารณะอื่นๆ ได้แก่ HapMap3, JSNP, dbSNP และ DGV แสดงผลการวิเคราะห์ฮาเอปโพลทัยป์บล็อก (Haplotype block) รวมทั้งสลับที่เป็นตัวแทนของบล็อก (htSNP) โดยนำเสนอข้อมูลของทุกกลุ่มประชากรเปรียบเทียบกันบนจีโนมในรูปแบบภาพกราฟิกโดยใช้เทคโนโลยีสร้างภาพแบบ SVG (Scalable Vector Graphic) แสดงให้เห็นถึงความคล้ายคลึงและแตกต่างกันของฮาเอปโพลทัยป์ในแต่ละกลุ่มประชากรที่ชัดเจน มีการค้นหาความหลากหลายทางพันธุกรรมแบบซีเอ็นวีและแสดงผลในรูปแบบกราฟิกบนโครโมโซมเปรียบเทียบกันโดยใช้ทั้งซอฟต์แวร์ CNAT และ CNAG รวมทั้งมีการจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับคำนวณวิเคราะห์ฮาเอปโพลทัยป์และแอลดี (LD) ของแต่ละกลุ่มประชากรจากข้อมูลจีโนทัยป์ของสลับที่อยู่ในยีน ฐานข้อมูล PanSNPdb นี้ถือเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญสำหรับการศึกษาวิจัยด้านโครงสร้างประชากรในแถบภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก (<http://www4a.biotec.or.th/PASNP>) โดยได้ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร *Science* ปี 2009 และ *PLoS ONE* ปี 2011 นอกจากนี้ได้เปิดโอกาสให้นักวิจัยที่สนใจสามารถ

ค้นหาและลงทะเบียนเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลจีโนมด้วย โดยมินักวิจัยลงทะเบียนเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลจำนวน 548 ราย มีการสืบค้นข้อมูลจำนวน 11,510 ครั้ง บทความได้รับการอ้างอิงแล้ว 20 บทความ

➤ **สตอริโอลิโทกราฟีเรซินสำหรับสร้างชิ้นงานทางการแพทย์ด้วยเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วที่ใช้แสงเลเซอร์สีน้ำเงิน**

ที่มา: สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง

คุณสมบัติ: อะคริลิกเรซินที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เมื่อถูกแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ในช่วงแสงสีน้ำเงิน ซึ่งเมื่อเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปด้วยเทคนิค RP โดยการใช้แสงก็จะเกิดการแข็งตัวทีละชั้นจนเป็นชิ้นงานตามต้องการได้ สตอริโอลิโทกราฟีเรซินที่เตรียมขึ้น สามารถใช้กับเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วแบบสตอริโอลิโทกราฟี ที่มีแหล่งกำเนิดแสงในช่วงแสงสีน้ำเงิน โดยใช้ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสำหรับทดแทนกระดูกบริเวณกะโหลกศีรษะและใบหน้า ในลักษณะเดียวกับการใช้งานของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลท หรืออาจใช้ขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการศัลยกรรม (surgical guide) ซึ่งต้องมีลักษณะตรงตามกายวิภาคของคนไข้

ต้นแบบห้องปฏิบัติการ

ผ่านระดับ TRL 5: มีรายงานเชิงเทคนิคที่ระบุการทดสอบในสัตว์ทดลอง

(ข้อมูลเพิ่มเติม คือ ต้นแบบมีสมบัติทั้งทางกายภาพและเชิงกลดีเทียบเท่ากับพอลิเมทิลเมทาคริเลทที่ใช้อยู่ในงานศัลยกรรม ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ และยังไม่พบผลผิดปกติเมื่อฝังอยู่ในสัตว์ทดลอง ผ่านการทดสอบความเป็นพิษตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากมาตรฐานของ USP 24 และ การทดสอบวัสดุในสัตว์ทดลอง)

ผลงานระดับ TRL 6

➤ **โคมไฟผ่าตัดชนิดใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง**

ที่มา: สวทช. รับจ้างวิจัยกับบริษัทเอกชน

คุณสมบัติ: เป็นโคมไฟผ่าตัดที่มีแหล่งกำเนิดแสงจากหลอด LED จำนวน 52 หลอดที่ให้ค่าความสว่างสูงสุดตรงจุดกึ่งกลางที่ระยะ 1 เมตรห่างจากตัวหลอดจะมีค่าไม่น้อยกว่า 160,000 lux

ต้นแบบห้องปฏิบัติการ

ผ่านระดับ TRL 6: มีรายงานเชิงเทคนิคที่ระบุการทดสอบในสภาวะจำลองเลียนแบบสภาวะที่คาดหวัง คือ การนำเทคนิคการคำนวณทางแสงด้วยวิธีการตามลำแสงเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์ส่องสว่างของโคมไฟผ่าตัดโดยใช้หลอด LED เพื่อช่วยเป็นแนวทางในการจัดวางตำแหน่งของโคมไฟ ซึ่งการทดสอบ จะทำการวิเคราะห์หาค่าความสว่างของโคมไฟผ่าตัดต้นแบบโดยจำลองการติดตั้งโคมไฟให้เหมือนลักษณะการใช้งานจริง คือ ทำการจำลองการทดสอบโคมไฟผ่าตัดตามที่มาตรฐานของ IEC 131/2000 วัดค่าความสว่างอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ พบว่าต้นแบบที่จัดทำขึ้นให้ค่าความสว่างใกล้เคียงกับโคมไฟผ่าตัดแบบใช้หลอด LED ที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

ผลงานระดับ TRL 7

➤ **สารชีวภัณฑ์เพื่อการควบคุมแมลงศัตรูพืชจากเชื้อรา *Beauveria bassiana***

ที่มา: สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง

คุณสมบัติ: เชื้อราจาก *Beauveria bassiana* ที่มีประสิทธิภาพดีเทียบเท่ากับการใช้สารเคมีฆ่าแมลงใน การควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าว เพลี้ยอ่อนในไร่อ้อยฝักยาวและคะน้า และเพลี้ยแป้งในไร่มันสำปะหลังในระดับภาคสนาม

ต้นแบบภาคสนาม

ผ่านระดับ TRL 7: (1) การผลิตเชื้อรา *Beauveria bassiana* ในระดับห้องปฏิบัติการได้สมัปรมากกว่า 10^{12} สปอร์ต่อกิโลกรัมอาหารแห้ง (TRL5) (2) สูตรผลิตภัณฑ์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและคง ประสิทธิภาพของเชื้อราได้อย่างน้อย 3 เดือน (TRL5) และ (3) การใช้สารชีวภัณฑ์จาก *Beauveria bassiana* ควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าว เพลี้ยอ่อนในแปลงอ้อยฝักยาว เพลี้ยอ่อนในแปลงคะน้า และเพลี้ยแป้งในไร่มันสำปะหลังในระดับภาคสนาม ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้สารเคมีฆ่าแมลง (TRL7)

➤ โปรแกรมวิเคราะห์โซเชียลมีเดีย (Social Sensing : S-SENSE)

ที่มา : สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง

คุณสมบัติ : เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลโดยมีรูปแบบการทำงานของระบบ 3 ส่วน ดังนี้

- (1) ส่วนการรวบรวมข้อมูลระบบจะทำการติดตามและรวบรวมข้อความที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์/บริการ หรือเนื้อหาที่ผู้ใช้สนใจจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ได้แก่ เครือข่ายสังคมออนไลน์ (เช่น Facebook หรือ Twitter) เว็บบอร์ด (เช่น Pantip) หรือสำนักข่าวออนไลน์ เป็นต้น
- (2) ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ (1) วิเคราะห์คำสำคัญ (Keywords) คำบ่งบอก คุณลักษณะของสินค้าหรือบริการ (Feature Words) หรือคำที่มีการกล่าวถึงบ่อยครั้ง (Frequent Words) (2) วิเคราะห์จุดประสงค์ของข้อความว่าข้อความที่รวบรวมมาเป็นข้อความประเภทใด (Intention Analysis) เช่น ร้องเรียนปัญหา คำถามและร้องขอ หรือข้อความแสดงความคิดเห็น และ วิเคราะห์ความคิดเห็นของข้อความว่าเป็นแง่บวกหรือลบ (Sentiment Analysis)
- (3) ส่วนการแสดงผลของการวิเคราะห์จะถูกแสดงในรูปแบบต่างๆเช่น กราฟ หรือ Tag Cloud ผ่าน Interactive Dashboard เพื่อให้ง่ายและสะดวกแก่การใช้งานของผู้ใช้พูดถึงคำนั้นๆมาน้อยเพียงใด

ต้นแบบอุตสาหกรรม

ผ่านระดับ TRL-7 เป็นนวัตกรรมพร้อมถ่ายทอดเทคโนโลยีในรูปแบบโซลูชันที่สามารถปรับตามความต้องการของผู้ใช้ (Customize) และให้บริการ Engine ของโมดูลการวิเคราะห์ความคิดเห็น (Sentiment Analysis) ในรูปแบบของ Web Service

➤ ผลิตภัณฑ์ห้ามเลือดแผลภายนอกร่างกาย

ที่มา: สวทช.ดำเนินการร่วมกับบริษัทเอกชน ซึ่งเป็นบริษัทที่ได้รับการอนุญาตให้ใช้สิทธิใช้ประโยชน์ ผลงานวิจัยเพื่อการผลิตและจำหน่าย “ผลิตภัณฑ์ห้ามเลือดสำหรับใช้ภายนอกร่างกาย” ภายใต้ โครงการวิจัย “การขยายระดับการผลิตผลิตภัณฑ์ห้ามเลือดสำหรับใช้ภายนอกร่างกายจากระดับ ห้องปฏิบัติการสู่ระดับอุตสาหกรรม”

คุณสมบัติ: ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแผ่นผ้าปิดแผลที่เคลือบด้วยสารที่มีคุณสมบัติห้ามเลือด ผ่านการทดสอบทางคลินิกไม่เกิดความระคายเคืองและการแพ้ต่อผิวหนัง ให้ผลการห้ามเลือดที่ดีกว่าในแผลที่เกิดจากการตัดผิวเพื่อการปลูกถ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นผ้าที่ไม่เคลือบสารห้ามเลือด

ต้นแบบภาคสนาม

ผ่านระดับ TRL-7: ผ่านการทดสอบทางคลินิก มีสัญญาอนุญาตให้สิทธิใช้ประโยชน์ในผลงานวิจัยกับบริษัทเอกชน และนำมาทดสอบในสมมติต่างๆ ที่สำคัญเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการยื่นขอการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ในอนาคต

ผลงานระดับ TRL 8

➤ **ต้นแบบ Dental Platform สำหรับคนพิการและผู้สูงอายุที่ใช้ wheelchair**

ที่มา: สวทช. ร่วมวิจัยกับสถาบันทันตกรรม กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

คุณสมบัติ: เป็นชุดอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อให้บริการทางด้านทันตกรรมแก่ผู้สูงอายุและผู้พิการทางการเคลื่อนไหวที่นั่งเก้าอี้โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายจากเก้าอี้ล้อเลื่อนไปยังเก้าอี้ทำฟัน รับน้ำหนักได้ 350 กิโลกรัม ปรับเอนได้ 45 องศา ต้นแบบนี้ช่วยเพิ่มความสะดวกและลดความเสี่ยงของการเคลื่อนย้ายผู้สูงอายุหรือผู้พิการที่อาจเกิดขึ้นได้ และช่วยเพิ่มความมั่นใจและรู้สึกปลอดภัยให้ผู้รับบริการ

ผ่านระดับ TRL 8: มีการทดสอบผ่านมาตรฐานของเครื่องมือเครื่องใช้ภายในบ้าน IEC-60335 และ CISPR 11 มีการทดสอบโดยสถาบันทันตกรรมและส่งมอบงานให้สถาบันทันตกรรมแล้วในปี 2554 ปัจจุบันมีการถ่ายทอดให้เอกชนนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

➤ **ต้นแบบการวางแผนและจำลองการผ่าตัด**

ที่มา: สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง

คุณสมบัติ: ห้องปฏิบัติการฯ ได้นำเทคโนโลยีการวางแผนการผ่าตัดและการจำลองการผ่าตัดโดยใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายทางการแพทย์มาประยุกต์ใช้ในกลุ่มผู้ป่วย ตลอดจนการใช้งานร่วมกับหุ่นจำลองทางการแพทย์ทำให้การผ่าตัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้ป่วยได้รับความปลอดภัยมากขึ้น สามารถลดระยะเวลาในการผ่าตัดลงได้ ตลอดจนเป็นการเพิ่มความมั่นใจให้แก่ศัลยแพทย์ในการผ่าตัดผู้ป่วย

ผ่านระดับ TRL 8: มีรายงานเชิงเทคนิค และสัญญาร่วมกับบริษัทเอกชน เพื่ออนุญาตให้สิทธิใช้ประโยชน์ในการนำผลงานวิจัยเพื่อนำผลงาน “กระบวนการการวางแผนการผ่าตัดและจำลองการผ่าตัดในโปรแกรมภาพถ่ายทางการแพทย์และหุ่นจำลองทางการแพทย์” ซึ่งเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีต้นแบบรวดเร็วทางการแพทย์ (medical rapid prototyping) ไปใช้ทำการตลาดในรูปแบบเอกชน

(ข้อมูลเพิ่มเติม คือ ศัลยแพทย์ให้การยอมรับในกระบวนการนี้และมีความมั่นใจในการทำงาน ทำให้แนวโน้มความต้องการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในหลากหลายสาขา ไม่ว่าจะเป็นการผ่าตัดผู้ป่วยประเภทต่างๆ เพื่อแก้ไขความบกพร่องบริเวณกะโหลกศีรษะใบหน้า และขากรรไกร การศัลยกรรมออร์โธปิดิกส์ ตลอดจนงานด้านทันตกรรม เนื่องจากสามารถตอบโจทย์ความต้องการในการใช้งานของศัลยแพทย์ในแขนงต่างๆ และผู้ป่วยได้เป็นอย่างดี)

➤ **ต้นแบบการขยายพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมกับการปลูกในพื้นที่น้ำน้อย**

ที่มา: สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง โดยได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร มีความร่วมมือกับศูนย์วิจัยข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน และบริษัทเอกชน

คุณสมบัติ: พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมกับการปลูกในพื้นที่น้ำน้อยจำนวนอย่างน้อย 3 สายพันธุ์
ผ่านระดับ TRL 8: ผลการทดสอบภาคสนามได้ต้นพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ปลูกได้ดีในสภาพพื้นที่น้ำน้อยจำนวน
อย่างน้อย 3 คู่ผสม ได้แก่จังหวัดหนองคาย จังหวัดสกลนคร จังหวัดน่าน จังหวัดชัยนาท

➤ **ผลงานระดับ TRL 9**

ข้าวเหนียว กข6 ต้านทานโรคไหม้ “ธัญสิริน”

ที่มา: การร่วมวิจัยระหว่าง ศช. สวทช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรมการข้าว มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

คุณสมบัติ : พันธุ์ข้าวเหนียว กข6 ต้านทานโรคไหม้ พัฒนาโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับยีน
ต้านทานโรคไหม้และคุณภาพหุงต้มในการคัดเลือกร่วมกับการปรับปรุงพันธุ์แบบวิธีมาตรฐาน ลักษณะเด่น
คือ ต้านทานโรคไหม้ แตกกอได้ดี ลำต้นแข็งไม่หักล้มง่าย ผลผลิตเฉลี่ย 600 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพการ
หุงต้มอยู่ในระดับดี อ่อนเหนียวนุ่ม ข้าวสุกเมื่อเย็นคงความนิ่มเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค ได้รับ
พระราชทานชื่อพันธุ์จากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ว่า “ธัญสิริน” เหมาะสม
สำหรับการปลูกในพื้นที่น้ำฝนในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีความเสี่ยงต่อการระบาดของ
ของโรคไหม้

ผ่านระดับ TRL 9: ได้รับการเผยแพร่ผ่านภาพถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวคุณภาพดีให้
เกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยร่วมมือกับมหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา
ลำปาง และหน่วยงานในพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานเกษตรจังหวัด สำนักงานเกษตรอำเภอ องค์การ
บริหารส่วนตำบล สำนักงานสภาเกษตรจังหวัด และการถ่ายทอดความรู้ให้เกษตรกรผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อ
ใช้เองและจำหน่ายในชุมชนทำให้เกิดกลุ่มผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวชุมชนขึ้นหลายแห่ง อาทิ กลุ่มวิสาหกิจชุมชน
ผลิตเมล็ดพันธุ์พืช ต. ฝ่ายแก้ว อ. ภูเพียง จ. น่าน กลุ่มผลิตเมล็ดพันธุ์บ้านสามขา อ. แม่ทะ จ. ลำปาง กลุ่ม
ผลิตเมล็ดพันธุ์ ต. เต่างออย อ. เต่างออย จ. สกลนคร

➤ **ระบบตรวจสอบสถานะของเครือข่ายและบริการ (Network Health Analysis and Monitoring: NetHAM)**

ที่มา: สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง

คุณสมบัติ: ระบบตรวจสอบและแสดงสถานภาพเครือข่ายอัตโนมัติ สำหรับห้างร้าน องค์กรขนาดเล็ก หรือ
โรงเรียน ซึ่งมีงบประมาณไม่มาก ใช้งานสะดวก มีระบบการแสดงผลด้วยภาพที่เข้าใจง่าย เหมาะสำหรับผู้ดูแล
เครือข่ายขนาดเล็ก มีการเก็บบันทึกค่าเชิงสถิติของบริการที่ตรวจวัดมาได้ สามารถเรียกดูข้อมูล
ย้อนหลัง และสามารถเข้ามาตรวจสอบสถานะของระบบได้จากทุกที่ผ่านอินเทอร์เน็ต

ผ่านระดับ TRL 9 ผ่านการทดสอบภาคสนาม และเปิดให้ผู้ใช้งานในภาคเอกชน หน่วยงานทั่วไป นำไปใช้
งานจริงเป็นระยะเวลาต่อเนื่องกว่า 3 ปี โดยมีข้อมูลผู้ใช้งานในปีแรก (ปี 2554) 684 ราย และมีหน่วยงาน
นำไปใช้ 14 หน่วยงาน มีการใช้งานต่อเนื่อง และมีการติดตามผลการใช้งานจากผู้ใช้ เพื่อปรับปรุงแก้ไข
ระบบให้ดีขึ้น

➤ **ต้นแบบหัวพ่นทรายเซรามิกส์ 12 มิลลิเมตร**

ที่มา: สวทช. ดำเนินการวิจัยเอง

คุณสมบัติ: เป็นหัวพ่นทรายอลูมินา 92% ทนต่อการสึกหรอ การเสียดสี และใช้เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในเครื่องพ่นทรายสำหรับขัดผิววัสดุเพื่อทำความสะอาดและตกแต่งให้เกิดความสวยงามที่ผิวของวัสดุในโรงงานผลิตล้อแม็กซ์ ผลิตแม่พิมพ์โลหะ ลวดลายกระจก

ต้นแบบอุตสาหกรรม

ผ่านระดับ TRL 9: มีรายงานเชิงเทคนิค และหลักฐานการจัดจำหน่าย โดยระบุรายชื่อตัวแทนจำหน่าย จำนวนยอดขาย และรายได้ ปัจจุบันมีการผลิตจริงที่ บริษัทแห่งหนึ่ง ซึ่งมีระบบเอกสารและ ISO 9000 รองรับกระบวนการจนเป็นที่ยอมรับในกลุ่มผู้ใช้งานภายในประเทศและมีการสั่งซื้อเข้ามาอย่างต่อเนื่อง โดยมีการรับถ่ายทอดเทคโนโลยีและสร้างผลงานให้เป็นที่ยอมรับภายในประเทศ ตลอดจนวางแผนการส่งออกหัวพ่นทรายไปจำหน่ายยังต่างประเทศด้วย

➤ **การพัฒนาแก้วพ่นเพื่อไถ่และปรับอากาศโดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากธรรมชาติ**

ที่มา: สวทช. รับจ้างวิจัยกับบริษัทแห่งหนึ่ง

คุณสมบัติ: สวทช. วิจัยและพัฒนาให้แก้วพ่นซึ่งเป็นของระดับตกแต่งสถานที่ ให้สามารถดูดซับน้ำมันหอมระเหยจากธรรมชาติ เพื่อลดการสัมผัสของสารไถ่กับสิ่งแวดล้อม และช่วยชะลอการระเหยของน้ำมันหอมระเหยสู่อากาศ เพื่อคงการออกฤทธิ์ได้ยาวนาน ถือเป็น การเพิ่มมูลค่าให้กับแก้วพ่นในการเป็นผลิตภัณฑ์ไถ่และมีความสะดวกในการใช้งาน

ต้นแบบอุตสาหกรรม

ผ่านระดับ TRL 9: มีรายงานเชิงเทคนิคประกอบ มีเอกสารแสดงภาระผูกพันกับบริษัทตามสัญญาจ้างวิจัย ต้นแบบมีคุณลักษณะตามความต้องการของบริษัทซึ่งเป็นข้อกำหนด มีการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่บริษัท และบริษัทนำไปผลิตจำหน่ายแล้วซึ่งมีเอกสารแจ้งยืนยันมูลค่าการลงทุนและผลกระทบที่ได้รับ และปัจจุบันทางบริษัทได้พัฒนาต่อยอดให้เป็นผลิตภัณฑ์แก้วพ่นที่มีกลิ่นหอมผ่อนคลายต่าง ๆ เพื่อใช้ในสปา และสถานที่ต่าง ๆ ตามต้องการ