

ระดับความพร้อมของเทคโนโลยี

TRL : Technology Readiness Level

ระดับความพร้อมของเทคโนโลยี หรือ TRL เป็นเครื่องมือบ่งชี้ความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีตามบริบทหรือสิ่งแวดล้อมการใช้งาน แบ่งเป็น 9 ระดับ

การประเมิน TRL

ต้องคำนึงถึง 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ตัวเทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมที่เทคโนโลยีพร้อมใช้งาน

เทคโนโลยี/สิ่งส่งมอบ		สิ่งแวดล้อมที่พร้อมใช้งาน	คำอธิบายความพร้อมใช้งาน	
TRL 9	ผลิตภัณฑ์จริง (Product)	สภาวะการทำงานจริง (Operational environment)	ผลิตภัณฑ์จริงมีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง	Product on shelf
			การบูรณาการเข้ากับระบบของลูกค้า / การผลิตภายใต้ระบบของลูกค้า	
TRL 7	ต้นแบบผลิตภัณฑ์ (Prototype)	สภาวะเลียนแบบที่ใกล้เคียงการทำงานจริง (Relevant environment)	ต้นแบบขั้นสุดท้ายผ่านการทดสอบการใช้งานจริงโดยลูกค้า	Prototype development
TRL 6			ต้นแบบที่พร้อมเป็นสิ่งส่งมอบผ่านการทดสอบการใช้งานในสภาวะเลียนแบบฯ	
TRL 5	องค์ประกอบสำคัญของเทคโนโลยี (Key element)	ห้องปฏิบัติการ	องค์ประกอบสำคัญที่ประกอบเข้ากับองค์ประกอบสนับสนุนผ่านการทดสอบการใช้งานในสภาวะเลียนแบบฯ	
TRL 4			องค์ประกอบสำคัญผ่านการทดสอบการทำงานหลักๆ ในห้องปฏิบัติการ	
TRL 3	องค์ความรู้	ห้องปฏิบัติการ	การพิสูจน์ความเป็นไปได้ของแนวคิดทฤษฎีวิจัย	Basic research
TRL 2			การสร้างแนวคิดทฤษฎีวิจัย วิธีการวิจัยพัฒนา และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี	
TRL 1			การศึกษาหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี	

ประโยชน์ของ TRL

- ประเมินความพร้อมใช้งานของเทคโนโลยี: ตั้งแต่ระดับพื้นฐาน เช่น ผ่านการพิสูจน์แนวคิด จนถึงความพร้อมใช้งานในสภาวะการทำงานจริง
- สื่อสาร: TRL เป็นเสมือนภาษาสากลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างทีมวิจัย แหล่งทุน และผู้รับเทคโนโลยี
- บริหารงานวิจัย: นักวิจัยใช้ในการวางแผน พัฒนาข้อเสนอโครงการ ติดตามความก้าวหน้า และบริหารงานให้เป็นไปตามเป้าหมาย
- ประเมินต้นทุนค่าใช้จ่าย: นักวิจัยใช้ในการบริหารทุนวิจัย ประเมินงบประมาณโครงการ ตลอดจนต้นทุนการซื้อขายเทคโนโลยี
- ประเมินความเสี่ยง: ได้แก่ ความเสี่ยงของความพร้อมใช้งาน และโอกาสสำเร็จในการพัฒนาต่อยอด ที่แตกต่างกันใน TRL แต่ละระดับ
- คัดเลือกเทคโนโลยี: ลูกค้าหรือผู้รับเทคโนโลยีคัดเลือกเทคโนโลยีจากระดับความพร้อมใช้และต้นทุนของเทคโนโลยี ให้เหมาะสมกับระดับความพร้อมและความต้องการของตนเอง

ข้อสังเกตของการประยุกต์ใช้ TRL

- ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีไม่ใช่ระดับความยากของเทคโนโลยี
- ถ้าจะนำเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้วและมี TRL ระดับหนึ่งแล้วมาใช้กับบริษัทใหม่ ต้องประเมิน TRL ใหม่ให้เข้ากับบริษัทใหม่
- ถ้าเทคโนโลยีนั้นมีหลายเทคโนโลยีย่อย ต้องประเมินให้ระดับ TRL ของเทคโนโลยีหลักเท่ากับ TRL ของเทคโนโลยีย่อยที่ระดับความพร้อมต่ำที่สุด
- การถ่ายทอดเทคโนโลยีสามารถเกิดขึ้นได้ทุกระดับ TRL ขึ้นอยู่กับความพร้อมของผู้รับเทคโนโลยี ถ้าจะถ่ายทอดเทคโนโลยีให้ผู้รับเทคโนโลยีที่มีความสามารถสูง ก็สามารถเลือกเสนอผลงานที่มี TRL ต่ำได้ แต่หากผู้รับเทคโนโลยีมีศักยภาพไม่สูงนัก ก็ต้องลงทุนพัฒนางานวิจัยจนถึงระดับ TRL ที่สูงก่อนการส่งมอบ

ขั้นตอนการประเมินระดับ TRL

1. **ตรวจสอบประเภทสิ่งส่งมอบ** ต้องเป็น ผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้

- ☞ มีโจทย์ทางเทคโนโลยีที่ชัดเจน หมายถึง ใช้เทคโนโลยีในการแก้ไขโจทย์วิจัยและมีขั้นของการพัฒนาเทคโนโลยี (หมายเหตุ TRL ไม่เหมาะกับการประเมินผลงานที่ไม่ใช้การพัฒนาเทคโนโลยี เช่น การจัดการ การตรวจประเมิน การจัดทำฐานข้อมูล การจัดทำมาตรฐาน การจัดทำคู่มือ เป็นต้น)

2. **พิจารณาตอบคำถามให้ชัดเจนว่า**

- ☞ ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ที่ระดับ TRL9) ควรเป็นอย่างไร
- ☞ Core technology คืออะไร และมี Key element (องค์ประกอบที่สำคัญ) ประกอบด้วยอะไรบ้าง
- ☞ Intended use (ข้อบ่งใช้) ของเทคโนโลยี คืออะไร
- ☞ กลุ่มเป้าหมาย หรือลูกค้าตัวจริงที่คาดว่าจะรับเทคโนโลยีนั้น เป็นใคร
- ☞ สิ่งแวดล้อมการใช้งาน และสภาวะการผลิตจริง เป็นอย่างไร
- ☞ Specification หรือข้อกำหนดคุณลักษณะทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ ควรเป็นอย่างไร
- ☞ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นการพัฒนา (แต่ละขั้น TRL) ควรเป็นอย่างไร จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ตาม Specification (จะได้ข้อกำหนดส่งมอบและสภาวะการทดสอบของแต่ละระดับ TRL นั้น)
- ☞ จัดทำแผนผัง/ขั้นตอนการดำเนินงานในแต่ละขั้น TRL ให้ชัดเจน (State gate)

3. **พิจารณาความพร้อมใช้งานของสิ่งส่งมอบ**

- ☞ ใช้ **Checklist ประเมินระดับ TRL** พิจารณาส่งที่ที่ต้องดำเนินการในแต่ละระดับต่อไปนี้ โดยการรายงานว่าเป็น TRL ระดับใด ต้องดำเนินการครบทุกรายการในระดับนั้น และควรมีหลักฐานเชิงคุณภาพที่จำเป็นครบทุกรายการ (เป็นแนวทางกลางในการประเมินระดับ TRL อาจต้องปรับใช้ให้เหมาะสมกับแต่ละเทคโนโลยี)

TRL	คำจำกัดความและสิ่งที่ต้องการดำเนินการ	หลักฐานเชิงคุณภาพ (โดยย่อ) ประกอบการรายงาน TRL
1	หลักการพื้นฐานได้รับการพิจารณาและมีการรายงาน	
	<ul style="list-style-type: none">☐ ศึกษาหลักการพื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์ที่สำคัญของเทคโนโลยีที่สนใจ☐ หาความต้องการของผู้ใช้ หรือกำหนดข้อบ่งใช้ (Intended use)	<ul style="list-style-type: none">☐ สรุปผล Literature & IP review☐ รายงานเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง
2	การสร้างแนวคิดด้านเทคโนโลยี และ/หรือการประยุกต์ใช้	
	<ul style="list-style-type: none">☐ วิเคราะห์โอกาส สร้างแนวคิด/โจทย์วิจัยใหม่ (ยังไม่พิสูจน์สมมติฐาน)☐ มีรายละเอียดของแนวคิดและ/หรือเทคโนโลยีใหม่เพียงพอสำหรับการออกแบบข้อกำหนดต่าง ๆ ในการพัฒนาเทคโนโลยี	<ul style="list-style-type: none">☐ สรุปแนวคิด โจทย์วิจัย และผลวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแนวคิด/การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี☐ ขอบเขตงานวิจัย วิจัยวิจัย☐ ข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) และวิธีทดสอบที่น่าเชื่อถือสำหรับยืนยัน Specification
3	แนวคิดได้ถูกสาธิตด้วยการวิเคราะห์ จำลอง หรือทดลอง	
	<ul style="list-style-type: none">☐ พิสูจน์ความเป็นไปได้ของแนวคิดของเทคโนโลยี และ/หรือการประยุกต์ใช้ จากพารามิเตอร์ที่สำคัญ โดยวิเคราะห์ หรือจำลอง หรือทดลอง☐ ศึกษามาตรฐาน/กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่กำลังศึกษาวิจัย	<ul style="list-style-type: none">☐ ผลการวิเคราะห์ หรือจำลอง หรือทดลอง ที่แสดง Proof of concept☐ รายชื่อข้อกำหนด/มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง☐ ผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการ และ/หรือการจดทรัพย์สินทางปัญญา (IP) (ถ้ามี)
4	องค์ประกอบที่สำคัญหรือองค์ประกอบย่อยได้ถูกสาธิตและพิสูจน์ในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว	
	<ul style="list-style-type: none">☐ ประกอบองค์ประกอบที่สำคัญ (Key element) เข้าด้วยกัน เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาเฉพาะเรื่องหรือพิสูจน์การทำงานหลัก ๆ ของเทคโนโลยีตามที่คาดหวังได้☐ ทดสอบองค์ประกอบที่สำคัญด้วยวิธีที่น่าเชื่อถือในระดับห้องปฏิบัติการ	<ul style="list-style-type: none">☐ วิธีการทดสอบที่มีแหล่งอ้างอิงน่าเชื่อถือ☐ ผลการทดสอบตาม Specification ในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ยอมรับได้ทางสถิติ และทำซ้ำได้ (Reproducibility)
5	องค์ประกอบที่สำคัญหรือองค์ประกอบย่อยได้ถูกสาธิตและพิสูจน์ในสภาวะเลียนแบบที่ใกล้เคียงการทำงานจริง	
	<ul style="list-style-type: none">☐ ได้รับความต้องการและประสิทธิภาพการใช้งานที่คาดหวังจากกลุ่มเป้าหมาย/ลูกค้าตัวจริง (ถ้ามี)☐ กำหนดสภาวะที่ใช้ทดสอบใกล้เคียงกับการใช้งานจริง (ยังคงควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จและล้มเหลวในการใช้งาน)☐ ประกอบองค์ประกอบที่สำคัญเข้ากับองค์ประกอบสนับสนุนของเทคโนโลยี☐ ทดสอบองค์ประกอบที่สำคัญด้วยวิธีที่น่าเชื่อถือ ในสภาวะเลียนแบบที่ใกล้เคียงการทำงานจริง☐ ปรับปรุง/แก้ไขปัญหาตามที่คาดหวัง หากมีข้อเสนอแนะจากกลุ่มเป้าหมาย/ลูกค้าตัวจริง (ถ้ามี)	<ul style="list-style-type: none">☐ วิธีการทดสอบที่มีแหล่งอ้างอิงน่าเชื่อถือ☐ ผลการทดสอบตาม Specification และสามารถทำซ้ำในสถานการณ์จำลอง หรือในสภาวะเลียนแบบที่ใกล้เคียงการทำงานจริง สอดคล้องตามความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งานของกลุ่มเป้าหมาย*
6	ต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่พร้อมเป็นสิ่งส่งมอบ ได้ผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานจริง	
	<ul style="list-style-type: none">☐ ได้รับความต้องการและประสิทธิภาพการใช้งานที่คาดหวังจากกลุ่มเป้าหมาย/ลูกค้าตัวจริง (ถ้ามี)☐ กำหนดสภาวะที่ใช้ทดสอบใกล้เคียงกับการใช้งานจริงยิ่งขึ้น (ยังคงควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จและล้มเหลว)☐ พัฒนาต้นแบบสอดคล้องตามความต้องการ และพร้อมเป็นสิ่งส่งมอบ ทั้งในแง่การใช้งาน (Function) รูปแบบ (Form) ความพอดี (Fit)☐ ทดสอบต้นแบบด้วยวิธีที่น่าเชื่อถือในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานจริง☐ ประเมินความพร้อมพอใจ/การยอมรับของกลุ่มเป้าหมาย/ลูกค้า☐ ปรับปรุง/แก้ไขปัญหาตามที่คาดหวัง หากมีข้อเสนอแนะจากกลุ่มเป้าหมาย/ลูกค้าตัวจริง (ถ้ามี)	<ul style="list-style-type: none">☐ วิธีการทดสอบที่มีแหล่งอ้างอิงน่าเชื่อถือ☐ ผลการทดสอบตาม Specification และสามารถทำซ้ำได้สภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงการทำงานจริง สอดคล้องตามความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งานของกลุ่มเป้าหมาย☐ หลักฐานแสดงการยอมรับของกลุ่มเป้าหมาย/ลูกค้า (ถ้ามี)

7	<p>ต้นแบบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการขั้นสุดท้าย ได้ผ่านการสาธิตและพิสูจน์การใช้งานในสภาวะทำงานจริง (ต้องมีลูกค้าตัวจริง) (Validation)</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> รับความต้องการและประสิทธิภาพการใช้งานจากลูกค้าตัวจริง (ผู้รับถ่ายทอดเทคโนโลยี) เพื่อใช้ออกแบบ Specification ในการพัฒนาขั้นสุดท้าย <input type="checkbox"/> ระบุสภาวะแวดล้อมจริงที่ใช้ (ไม่ควบคุมปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสำเร็จ/ล้มเหลว) <input type="checkbox"/> พัฒนาต้นแบบสอดคล้องตามความต้องการของลูกค้าตัวจริง และพร้อมเป็นต้นแบบขั้นสุดท้าย ทั้งในแง่ของการใช้งาน (Function) รูปแบบ (Form) ความพอดี (Fit) <input type="checkbox"/> ทดสอบต้นแบบขั้นสุดท้ายด้วยวิธีที่น่าเชื่อถือ มีจำนวนการทดสอบและระยะเวลาเพียงพอ ยอมรับได้ทางสถิติ โดยลูกค้าตัวจริงหรือผู้ใช้ที่นักวิจัยและลูกค้ายอมรับให้เป็นผู้ทดสอบ <input type="checkbox"/> ประเมินความพึงพอใจ/การยอมรับของกลุ่มเป้าหมาย/ลูกค้า <input type="checkbox"/> ปรับปรุง/แก้ไขปัญหาตามที่คาดหวัง หากมีข้อเสนอแนะจากลูกค้าตัวจริง/ผู้ใช้ 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> วิธีการทดสอบที่มีแหล่งอ้างอิงน่าเชื่อถือ <input type="checkbox"/> ผลการทดสอบตาม Specification สามารถทำได้ในสภาวะทำงานจริง สอดคล้องตามความต้องการที่ประยุกต์ใช้งานของลูกค้า <input type="checkbox"/> หลักฐานแสดงการยอมรับของลูกค้าตัวจริง (หรือ Third party ที่นักวิจัยและลูกค้ายอมรับ)
8	<p>เทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการที่ส่งมอบจริง ได้ผ่านการทดสอบและสาธิต</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ทดสอบคุณภาพการใช้งานตามมาตรฐานของลูกค้า และ/หรือมาตรฐานคุณภาพที่เกี่ยวข้อง/กฎหมายที่เกี่ยวข้อง (ถ้ามี) (ต้องทำให้ได้คุณภาพตามที่ขายได้ทั่วไป) <input type="checkbox"/> บูรณาการ (Integrate) เข้ากับระบบของลูกค้า/ผู้ใช้งานแล้ว 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ผลทดสอบการใช้งานในสภาวะทำงานจริงอย่างต่อเนื่องจนลูกค้ามั่นใจคุณภาพในเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ในสภาพจริง อยู่ในเกณฑ์ดี <input type="checkbox"/> ผลการรับรองคุณภาพ/ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง หรือผลการทดสอบตาม Specification ของลูกค้า <input type="checkbox"/> คู่มือการผลิต/คู่มือการใช้งาน
9	<p>การใช้งานเทคโนโลยี/ผลิตภัณฑ์/กระบวนการอย่างต่อเนื่อง</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับและนำไปใช้งานจริงอย่างต่อเนื่อง มีปริมาณของลูกค้าและ/หรือ ผู้ใช้หรือความถี่ในการใช้งานเพิ่มขึ้น <input type="checkbox"/> ติดตามผลการใช้ผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เหมาะสม <input type="checkbox"/> ปรับปรุง/แก้ไขปัญหาตามที่คาดหวัง หากมีข้อเสนอแนะจากลูกค้า/ผู้ใช้ 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> เอกสารสรุปข้อมูลสำคัญของสิ่งส่งมอบ เช่น แนวคิดหลักการ วิธีการวิจัยและพัฒนา Specification /Feature/วิธีการทดสอบที่น่าเชื่อถือได้ <input type="checkbox"/> ผลิตภัณฑ์มีจำหน่ายในท้องตลาด หรือหลักฐานการนำไปใช้เชิงพาณิชย์หรือสาธารณประโยชน์ <input type="checkbox"/> การยอมรับหรือการใช้งานอย่างต่อเนื่องของผู้บริโภค (ถ้ามี)

หมายเหตุ

- กลุ่มเป้าหมาย เช่น ลูกค้าที่สนใจทดสอบต้นแบบ หรือ ลูกค้าที่คาดว่าจะเป็นผู้รับถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยลูกค้าควรเป็นผู้กำหนด Requirement หากไม่มีลูกค้า ควรให้ตัวแทนกลุ่มเป้าหมายน่าเชื่อถือ หรือ Third party ที่นักวิจัยและลูกค้ายอมรับ เป็นผู้กำหนด
- สามารถศึกษาคำอธิบาย และรายงานหลักฐานเชิงคุณภาพแบบเต็ม ได้จากคู่มือการประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) ของ สวทช. v.2.2

4. การรายงานระดับ TRL ต้องผ่านเกณฑ์ต่อไปนี้

- ☞ มีวิธีการทดสอบเพื่อยืนยัน Specification ที่น่าเชื่อถือ
- ☞ มีผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือ มีจำนวนครั้งการทดสอบเพียงพอตามหลักสถิติ และเป็นที่ยอมรับของลูกค้าหรือกลุ่มเป้าหมาย (ถ้ามี)
- ☞ มีการปรับปรุงสิ่งส่งมอบให้ได้ตาม specification ที่ควรจะเป็นในแต่ละระดับ และสามารถทำได้ในสภาวะที่ส่งมอบ

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ-บพข. 2564. การสนับสนุนทุนเพื่อการพัฒนางานวิจัยและระดับ TRL.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). 2564. คู่มือการประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) ของ สวทช. v.2.2.
- Department of Defense. 2009. Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook.
- Frerking MA., JPL and Beauchamp. 2016. Technology Readiness Level Assessment Guideline. IEEE Aerospace Conference Proceedings.
- GAO U.S. government accountability office. 2020. Technology Readiness Assessment Guide Best Practices for Evaluating the Readiness of Technology for Use in Acquisition Programs and Projects
- Mitchell J. A. 2007. Measuring the Maturity of a Technology: Guidance on Assigning a TRL. Sandia report.

เอกสารเผยแพร่เพิ่มเติม



- คู่มือการประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) ของ สวทช. v.2.2.
- คู่มือการประยุกต์ใช้ Technology Readiness Level: TRL ของ สวทช. (ฉบับเผยแพร่หน่วยงานภายนอก)
- Factsheet เรื่อง Verification & Validation

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม



ฝ่ายพัฒนาคุณภาพการวิจัย (RQM) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

141 อาคารกลุ่มนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต. คลองหนึ่ง อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
อีเมล rqm@nstda.or.th หรือ โทรศัพท์ 025647000 ต่อ 71836 – 9

เว็บไซต์: www.nstda.or.th/rqm หรือ www.facebook.com/NSTDARQM

