

คำอธิบายระดับความพร้อมของเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรม

(TRL: Technology Readiness Levels Definitions)

ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธู์พืช/พันธู์สัตว์
1	Basic principles observed and reported.	<p>การศึกษาค้นพบและข้อสังเกตพื้นฐาน:</p> <p>เป็นงานวิจัยที่มีระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีต่ำที่สุด โดยเป็นงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ขั้นเริ่มต้นก่อนการเปลี่ยนแปลงไปสู่งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ซึ่งอาจรวมถึงเอกสารการศึกษาองค์ประกอบขั้นพื้นฐานของเทคโนโลยี</p> <p><u>ข้อมูลสนับสนุน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ โดยมีการจำแนกหลักการในการรองรับเทคโนโลยี - เอกสารอ้างอิง เพื่อระบุว่า ใครทำอะไร ที่ไหน เมื่อใด 	แสดงถึงแนวคิดการวิจัยพื้นฐานที่สามารถประยุกต์ใช้ในซอฟต์แวร์หรือคุณสมบัติพื้นฐานของอัลกอริทึม ซึ่งจะมีในข้อเสนอโครงการ	เอกสารสรุปผลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการพื้นฐานของเทคโนโลยี ดังกล่าวที่เคยมีในอดีต โดยระบุอ้างอิงว่ามีใครทำการศึกษาเรื่องอะไร ได้ผลอย่างไร ที่ใด และเมื่อใด
2	Technology concept and/or application formulated.	<p>การสร้างแนวคิดทางเทคโนโลยี และ/หรือ การประยุกต์สูตรทางเทคโนโลยี:</p> <p>เป็นการประดิษฐ์ขั้นเริ่มต้น โดยเป็นการศึกษาขั้นพื้นฐานต่อข้อสังเกตการประยุกต์ใช้หลักการพื้นฐานมาสู่การประดิษฐ์คิดค้น ซึ่งอาจยังไม่ได้มีการพิสูจน์ หรือวิเคราะห์รายละเอียดเพื่อสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งขึ้นได้</p> <p><u>ข้อมูลสนับสนุน</u></p> <p>ผลงานการตีพิมพ์ หรือเอกสารอ้างอิงที่มีเค้าโครงของการประยุกต์ใช้หลักการ และมีการวิเคราะห์เพื่อสนับสนุนแนวคิดนั้นๆ</p>	แสดงแนวคิดที่จะพัฒนาและสรุปการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์	มีการสร้างแนวคิดด้านเทคโนโลยี และ/หรือ การประยุกต์ใช้

ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุ์พืช/พันธุ์สัตว์
3	Analytical and experimentally critical function and/or characteristic proof of concept.	<p>การวิเคราะห์และทดลองหน้าที่หลัก และ/หรือ การพิสูจน์องค์ประกอบของแนวคิด:</p> <p>เป็นขั้นเริ่มต้นของงานวิจัย โดยต้องมีทั้งการศึกษาวิเคราะห์และการศึกษาทดลอง เพื่อคาดการณ์ผลการวิเคราะห์และตรวจสอบอัตลักษณ์ในการแยกองค์ประกอบของเทคโนโลยี</p> <p><u>ข้อมูลสนับสนุน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - บันทึกผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ที่น่าสนใจ และเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์คาดการณ์ระบบย่อยที่มีความสำคัญ - เอกสารอ้างอิง เพื่อระบุว่า ในการทดสอบและเปรียบเทียบการดำเนินงานเหล่านั้นใครทำอะไร ที่ไหน เมื่อใด 	แสดงการวิเคราะห์หรือผลงานทดลองในแนวคิดใหม่	สร้างประชากร หรือ คู่ผสมพันธุ์พืชหรือสัตว์ได้สำเร็จแล้ว
4	Component and/or breadboard validation in laboratory environment.	<p>การตรวจสอบองค์ประกอบ และ/หรืออุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง (breadboard) ในระดับห้องปฏิบัติการ:</p> <p>เป็นองค์ประกอบทางเทคโนโลยีขั้นพื้นฐานที่ได้ถูกประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้ชิ้นส่วนสามารถทำงานด้วยกันได้ ซึ่งอาจมีความละเอียดต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบในขั้นตอนท้าย</p> <p><u>ข้อมูลสนับสนุน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - แนวคิดของระบบที่ได้ผ่านการพิสูจน์แล้ว และมีผลจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ - เอกสารอ้างอิง ว่า ใครทำอะไร ที่ไหน เมื่อไร - ข้อมูลการคาดการณ์วิธีการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง (breadboard) และผลการทดลองที่แตกต่างจากเป้าหมายที่คาดไว้ 	แสดงว่าแต่ละองค์ประกอบหรือระบบย่อยได้มีการต่อเชื่อมกันและผ่านการทดสอบในสภาพแวดล้อมห้องปฏิบัติการ	พันธุ์พืชหรือสัตว์ผ่านการคัดเลือกประชากรที่มีลักษณะตามเป้าหมาย โดยการปลูกหรือเลี้ยงทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ/โรงเรือน (Green house)/ฟาร์มปิด

ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธู์พืช/พันธู์สัตว์
5	Component and/or breadboard validation in relevant environments.	<p>การทดสอบองค์ประกอบ และ/หรืออุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง (breadboard) ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง:</p> <p>เทคโนโลยีที่ช่วยให้อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองได้ถูกเชื่อมต่อเข้ากันอย่างมีนัยสำคัญเพิ่มขึ้น โดยองค์ประกอบพื้นฐานทางเทคโนโลยีได้ถูกประกอบเข้ากับชิ้นงานส่วนต่างๆ และถูกทดสอบในสถานการณ์จำลอง</p> <p><u>ข้อมูลสนับสนุน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการในสถานการณ์จำลองของระบบอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง (breadboard) ที่ได้ประกอบให้เข้ากันกับชิ้นส่วนต่างๆ - การระบุความแตกต่างของสถานการณ์จำลองและสถานการณ์จริงที่ตั้งไว้ - การเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ - การระบุปัญหาที่พบ - การชี้ให้เห็นว่าสิ่งที่ได้ทำการทดลองมีความใกล้เคียงหรือสอดคล้องกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ 	<p>แสดงว่าแต่ละองค์ประกอบหรือระบบย่อยได้มีการต่อเชื่อมกัน และผ่านการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่เลียนแบบ เช่น ถ้าเป้าหมายคือทำงานได้อยู่บนมือถือ ก็ทดสอบบน Emulator ให้ผ่าน</p>	<p>พันธู์พืชหรือสัตว์ผ่านการคัดเลือกประชากรที่มีลักษณะตามเป้าหมาย โดยการปลูกหรือเลี้ยงทดสอบในระดับสถานีทดลอง (แปลงที่มีการดูแล/ควบคุม)</p>

ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธู์พืช/พันธู์สัตว์
6	System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environments.	<p>การทดลองโมเดลของระบบหลักและระบบย่อย หรือต้นแบบในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง:</p> <p>โมเดลตัวอย่างหรือต้นแบบที่พัฒนาต่อจากขั้นที่ 5 ได้ถูกทดสอบในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง และเป็นตัวแทนในการก้าวไปสู่เทคโนโลยีที่มีความพร้อมและผ่านการทดลองด้านต่างๆ เรียบร้อยแล้ว เช่น อาจรวมถึงการทดสอบต้นแบบในห้องปฏิบัติการที่มีความละเอียดสูง หรือการทดสอบในภาคสนาม</p> <p><u>ข้อมูลสนับสนุน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการของต้นแบบที่ใกล้เคียงการนำไปใช้ได้จริง - การระบุความแตกต่างของสถานการณ์ที่ใช้ทดสอบกับสถานการณ์จริง - การระบุว่าใครเป็นผู้ทำการทดสอบ - การเปรียบเทียบการทดสอบกับผลที่คาดหวัง - การระบุปัญหาที่พบ - การระบุแผนการดำเนินงานทางเลือก หรือแนวทางปฏิบัติในการแก้ไขปัญหา ก่อนไปสู่ขั้นต่อไป 	<p>แสดงว่าระบบเทคโนโลยีหรือต้นแบบผ่านการทดสอบในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้ใช้งานกำหนดว่าต้องใช้งานได้บน Windows Vista, Windows7, Windows8 ก็จะต้องทดสอบให้ผ่านให้หมด</p>	<p>พันธู์พืชหรือสัตว์ที่ผ่านการคัดเลือกประชากรที่มีลักษณะตามเป้าหมาย โดยการปลูกหรือเลี้ยงทดสอบในระดับสถานีที่มีการ Challenge ด้วยลักษณะที่ต้องการจำนวนหลายพื้นที่ (Multi-location)</p>

ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน ฟันรีไซเคิล/ฟันรีไซเคิล
7	System prototype demonstration in an operational environment.	<p>การทดลองต้นแบบในภาคสนาม: ต้นแบบที่มีความใกล้เคียงกับระบบที่จะใช้จริง โดยเป็นการพัฒนาต่อจากขั้นที่ 6 โดยการทดสอบต้นแบบในสถานการณ์การทำงานจริง</p> <p>ข้อมูลสนับสนุน</p> <ul style="list-style-type: none"> - ผลทดสอบต้นแบบในสถานการณ์จริง - การระบุว่าใครเป็นผู้ทำการทดสอบ - การเปรียบเทียบการทดสอบกับผลที่คาดหวัง - การระบุปัญหาที่พบ - การระบุแผนการดำเนินงาน ทางเลือก หรือแนวทางปฏิบัติในการแก้ไขปัญหา ก่อนไปสู่ขั้นต่อไป 	<ul style="list-style-type: none"> • เทคนิคคอมพิวเตอร์วาดลายเส้นเซฟาโลเมตริกซ์บนแผ่นภาพเอกซเรย์ • การจำลองใบหน้าด้านข้าง หลังการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันและผ่าตัด • การวิเคราะห์แบบจำลองฟันใน 2 มิติ และการจำลองกะโหลกศีรษะใน 3 มิติ จากภาพรังสีด้านหน้าและด้านข้าง 	<p>ฟันรีไซเคิลหรือรีไซเคิลผ่าน การคัดเลือกประชากรที่มีลักษณะตามเป้าหมาย โดยการปลูกทดสอบหรือเลี้ยงในระดับแปลงเกษตรกร</p>

ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ตัวอย่างผลงาน: คอมพิวเตอร์ช่วยวางแผนการจัดฟัน	ตัวอย่างผลงานด้าน พันธุพืช/พันธุสัตว์
8	Actual system completed and qualified through test and demonstration.	<p>ระบบจริงที่มีความสมบูรณ์ มีคุณภาพ และผ่านการทดสอบและทดลองแล้ว: เทคโนโลยีที่ผ่านการทดสอบคุณภาพการใช้งานขั้นสุดท้ายภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้ว โดยขั้นนี้จะเป็นขั้นปลายทางการพัฒนาระบบที่พร้อมส่งมอบให้ลูกค้า/ผู้ใช้งาน</p> <p>ข้อมูลสนับสนุน</p> <ul style="list-style-type: none"> - ผลทดสอบการทำงานของระบบที่ประกอบเข้ากับระบบเดิมภายใต้ภาวะแวดล้อมจริง โดยผลการทดสอบต้องสอดคล้องกับความต้องการที่คาดหวัง - ผลการประเมินความต้องการใช้จริง - การระบุที่ค้นพบ - การระบุแผนการดำเนินงาน ทางเลือก หรือพร้อมแนวทางปฏิบัติในการแก้ไขปัญหาก่อนไปสู่ขั้นสุดท้าย 	ผ่านการทดสอบด้านความแม่นยำการใช้งานจริงกับมนุษย์ โดยทันตแพทย์ ซึ่งต้องมีการขออนุมัติจากอนุกรรมการจริยธรรมของมหาวิทยาลัยหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	พันธุพืชหรือสัตว์ผ่านการทดสอบ และรับรองมาตรฐานคุณภาพที่เกี่ยวข้อง ตามที่ลูกค้า/ผู้ใช้คาดหวัง พร้อมส่งมอบให้ลูกค้า หรือถูกบูรณาการเข้ากับระบบของลูกค้า/ผู้รับประโยชน์แล้ว
9	Actual system proven through successful mission operations.	<p>ผลงานที่พร้อมส่งมอบและสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยผ่านการพิสูจน์เรียบร้อยแล้ว: เทคโนโลยีที่พร้อมส่งมอบไปสู่การใช้งานจริง จนสามารถทดสอบการใช้งานและการติดตามผลการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง</p> <p>ข้อมูลสนับสนุน</p> <ul style="list-style-type: none"> - รายงานผลการทดสอบการใช้งานจริง และรายงานการติดตามประเมินผล 	ได้มีการใช้งานจริงไประยะเวลาหนึ่ง จนเป็นที่ยอมรับเรียบร้อยแล้ว	พันธุพืช/สัตว์ถูกนำไปขยายผลจริงในแปลงเกษตรกร

Source: Technology Readiness Assessment (TRL) Guidance” (PDF). United States Department of Defense. April 2011.