

การวิเคราะห์ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) ของงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปารดา เสนาบุญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

อีเมลผู้ประพันธ์บรรณกิจ: Patcse@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การประเมินระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ประเมินความพร้อมของผลงานวิจัยในการพัฒนาสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์และเชิงสังคม อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ภาพรวมของระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อสนับสนุนการบริหารงานวิจัยในระดับคณะยังมีอยู่อย่างจำกัด การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) วิเคราะห์ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา 2) ศึกษาการกระจายตัวของระดับ TRL จำแนกตามระดับการศึกษาและภาควิชา และ 3) พัฒนา Interactive Dashboard เพื่อสนับสนุนการติดตามและการตัดสินใจด้านการบริหารงานวิจัย การวิจัย เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data Analysis) โดยใช้ข้อมูลผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา จำนวน 93 เรื่อง ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างปีการศึกษา 2566 - 2568 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบประเมินระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level Assessment Form) ซึ่งพัฒนาจากกรอบแนวคิดขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) และประยุกต์ใช้ตามแนวทางของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตารางแจกแจงความถี่ร่วม (Cross-tabulation) ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ (Visual Analytics) และนำเสนอผลผ่านโปรแกรม Microsoft Power BI ผลการวิจัยพบว่า ผลงานวิทยานิพนธ์ส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในระดับ TRL 3 - 4 คิดเป็นร้อยละ 56.99 โดยมีค่าเฉลี่ยระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีเท่ากับ 4.34 ± 1.39 สะท้อนว่าผลงานวิจัยส่วนใหญ่อยู่ในช่วงการวิจัยประยุกต์และการพัฒนาเทคโนโลยีในระดับต้น ขณะที่ผลงานในระดับ TRL 7 - 8 มีจำนวนค่อนข้างน้อย และไม่พบผลงานในระดับ TRL 9 นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่า ผลงานระดับปริญญาเอกมีส่วนของงานวิจัยในระดับ TRL สูงกว่าระดับปริญญาโท และแต่ละภาควิชามีรูปแบบการกระจายตัวของระดับ TRL แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดย Dashboard ที่พัฒนาขึ้นสามารถสนับสนุนการติดตาม วิเคราะห์ และใช้ข้อมูลประกอบการกำหนดนโยบายด้านการบริหารงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันจะนำไปสู่การยกระดับศักยภาพงานวิจัยและการถ่ายทอดเทคโนโลยีของคณะวิศวกรรมศาสตร์ในอนาคต

คำสำคัญ: ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL), การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพภูมิทัศน์, งานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา

Analysis of Technology Readiness Level (TRL) of Graduate Research, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand

Pawarada Senasoon

Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen 40002, Thailand

Corresponding author's e-mail: Patcse@kku.ac.th

Abstract

Technology Readiness Level (TRL) assessment is an important tool for evaluating the readiness of research outputs for further development toward commercial and societal applications. However, comprehensive analyses of the technological readiness of graduate thesis research to support research management at the faculty level remain limited. This study aimed to: (1) analyze the Technology Readiness Levels of graduate thesis research; (2) examine the distribution of TRLs by degree level and academic department; and (3) develop an interactive dashboard to support research monitoring and decision-making. This study employed secondary data analysis using data from 93 graduate theses conducted at the Faculty of Engineering, Khon Kaen University, during the academic years 2023–2025 (B.E. 2566–2568). Data were collected using a Technology Readiness Level Assessment Form developed based on the TRL framework of the National Aeronautics and Space Administration (NASA) and adapted in accordance with the guidelines of the National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Thailand. Data were analyzed using descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, standard deviation, and cross-tabulation, together with visual analytics, and the results were presented through an interactive dashboard developed using Microsoft Power BI. The findings revealed that the majority of graduate thesis research was concentrated at TRL 3–4, accounting for 56.99%, with a mean TRL of 4.34 ± 1.39 , indicating that most research outputs were at the applied research and early-stage technology development phases. In contrast, relatively few research outputs reached TRL 7–8, and no research output was identified at TRL 9. The analysis also showed that doctoral research had a higher proportion of outputs at advanced TRLs than master's research, while clear differences in TRL distribution patterns were observed across academic departments. The developed interactive dashboard effectively supports the monitoring and analysis of research outputs and provides evidence-based information for research management and policy decision-making, which can contribute to enhancing the research potential and technology transfer capabilities of the Faculty of Engineering in the future.

Keywords: Technology Readiness Level (TRL), Visual Landscape Data Analysis, Graduate Research

บทนำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นสถาบันการศึกษาที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตองค์ความรู้ งานวิจัย และนวัตกรรมด้านวิศวกรรมศาสตร์ในระดับประเทศ โดยเฉพาะในระดับบัณฑิตศึกษา ซึ่งผลงานวิทยานิพนธ์ถือเป็นผลผลิตสำคัญที่สะท้อนศักยภาพของนักศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา และคณะในการสร้างองค์ความรู้ เทคโนโลยี และนวัตกรรมที่สามารถนำไปต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์ทั้งในเชิงวิชาการ เชิงอุตสาหกรรม และเชิงสังคม ดังนั้น การติดตามและประเมินศักยภาพของผลงานวิจัยจึงเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยสนับสนุนการกำหนดทิศทางการพัฒนางานวิจัยและการบริหารจัดการทรัพยากรด้านการวิจัยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด หนึ่งในเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลสำหรับการประเมินศักยภาพของเทคโนโลยี คือ ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย Mankins (1995) ภายใต้องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration: NASA) เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดระดับความพร้อมของเทคโนโลยีตั้งแต่ขั้นการค้นพบหลักการพื้นฐาน (TRL 1) จนถึงการใช้งานเทคโนโลยีไปใช้งานจริง (TRL 9) โดย TRL เป็นกรอบมาตรฐานที่ช่วยสะท้อนความก้าวหน้าของการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) ลดความเสี่ยงในการพัฒนาเทคโนโลยี และสนับสนุนการวางแผน การจัดสรรทรัพยากร และการตัดสินใจด้านการลงทุนวิจัยอย่างเป็นระบบ ต่อมา Olechowski et al. (2015) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ TRL ในองค์กรด้านการวิจัยและพัฒนา พบว่า TRL ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือสำหรับประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยีเท่านั้น แต่ยังช่วยสนับสนุนการติดตามความก้าวหน้าของโครงการ การบริหารความเสี่ยง และการสื่อสารระหว่างนักวิจัยกับผู้บริหาร อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยเสนอว่าการใช้ TRL จะเกิดประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อมีการบูรณาการร่วมกับระบบสารสนเทศหรือเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลที่สามารถมองเห็นภาพรวมของข้อมูลและสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศ Saragih et al. (2021) ได้นำแนวคิด TRL มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบ Dashboard เพื่อแสดงผลข้อมูลในรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ (Visual Analytics) ผลการศึกษาพบว่าการใช้ Dashboard ช่วยลดความซับซ้อนของข้อมูล เพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยี และสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย วิเคราะห์ข้อมูลได้หลายมิติ และรองรับการใช้งานแบบโต้ตอบ (Interactive) แม้ว่าปัจจุบันคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จะมีการประเมินระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงขาดการวิเคราะห์ข้อมูลในภาพรวมที่สามารถสะท้อน ภูมิทัศน์ของนวัตกรรม (Innovation Landscape) ของคณะได้อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้ผู้บริหารยังไม่สามารถใช้อ้างอิงข้อมูลเพื่อตอบคำถามเชิงยุทธศาสตร์ได้อย่างชัดเจน เช่น ผลงานวิจัยส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในระดับ TRL ต่ำ สาขาวิชาใดมีศักยภาพในการพัฒนาเทคโนโลยีสู่การใช้ประโยชน์ได้สูง หรือควรกำหนดแนวทางสนับสนุนการยกระดับงานวิจัยในด้านใด ทั้งนี้ ยังไม่พบการศึกษาที่นำข้อมูลระดับ TRL ของผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษามาวิเคราะห์ร่วมกับการแสดงผลข้อมูลเชิงภาพผ่านระบบ Interactive Dashboard เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการบริหารงานวิจัยในระดับคณะ ซึ่งถือเป็นช่องว่างขององค์ความรู้ (Research Gap) ที่การศึกษาครั้งนี้มุ่งเติมเต็ม ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) วิเคราะห์ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา (Technology Readiness Level: TRL) 2) ศึกษาการกระจายตัวของระดับ TRL จำแนกตามประเภทหลักสูตรและสาขาวิชา และ 3) พัฒนา Interactive Dashboard ด้วยโปรแกรม Microsoft Power BI เพื่อสนับสนุนการบริหารงานวิจัยของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมุ่งหวังให้ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นสารสนเทศเชิงกลยุทธ์สำหรับการติดตาม การวางแผน และการกำหนดนโยบายด้านการวิจัย รวมทั้งสนับสนุนการยกระดับผลงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์ในระดับที่สูงขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อสำรวจการกระจายตัวของ TRL ของงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
- 2) เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) จำแนกตามระดับการศึกษาและภาควิชา
- 3) เพื่อพัฒนา Dashboard สำหรับสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบริหารงานวิจัย

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) แนวคิดระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL)

Technology Readiness Level (TRL) เป็นกรอบแนวคิดที่ใช้ประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย John C. Mankins แห่งองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration: NASA) เพื่อใช้

เป็นเครื่องมือในการประเมินความก้าวหน้าและความพร้อมของเทคโนโลยีสำหรับโครงการอวกาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยีได้อย่างเป็นระบบ และสามารถเปรียบเทียบความก้าวหน้าของเทคโนโลยีประเภทต่าง ๆ ภายใต้งบประมาณเดียวกัน

2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ (Visual Data Analytics) เพื่อการประเมินงานวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ (Visual Data Analytics: VDA) เป็นศาสตร์ที่ผสมผสานระหว่างการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอัตโนมัติและการแสดงผลข้อมูลแบบเชิงโต้ตอบ (Interactive Visualization) เพื่อสนับสนุนให้ผู้ใช้สามารถค้นพบความรู้เชิงลึก (Insights) ที่แฝงอยู่ในชุดข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Saragih et al., 2021) ทั้งนี้ VDA ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายบริษัท โดยเฉพาะในรูปแบบของแดชบอร์ดเพื่อใช้ในการติดตามตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Key Performance Indicators: KPIs) รวมถึงการบริหารจัดการงานวิจัยด้วย การประยุกต์ใช้ VDA เพื่อแสดงภูมิทัศน์ของระดับความพร้อมด้านเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) ยังช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายสามารถมองเห็นภาพรวมของพอร์ตโฟลิโอการวิจัยและพัฒนา (R&D Portfolio) ของสถาบัน ตลอดจนสามารถระบุ “ช่องว่าง” ที่ควรได้รับการสนับสนุนเพิ่มเติมได้อย่างชัดเจน

3) ความหมายของ Data Visualization

การแสดงผลข้อมูลเชิงภาพ (Data Visualization) หมายถึง การนำข้อมูลที่มีความซับซ้อนมานำเสนอในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายขึ้นผ่านสื่อภาพ เช่น แผนภูมิ แผนที่ กราฟ ตาราง วิดีโอ อินโฟกราฟิก (Infographic) หรือแดชบอร์ด (Dashboard) เป็นต้น โดยการเลือกรูปแบบการนำเสนอควรคำนึงถึงความเหมาะสมของข้อมูลและวัตถุประสงค์ในการสื่อสาร

4) ประโยชน์ของการทำ Data Visualization

- (1) เพิ่มความน่าสนใจของข้อมูล การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพช่วยดึงดูดความสนใจของผู้รับสาร ด้วยการออกแบบที่สวยงาม มีการจัดสัดส่วนอย่างเหมาะสม และการเลือกใช้กราฟที่สอดคล้องกับลักษณะของข้อมูล
- (2) ช่วยให้เข้าใจข้อมูลได้ง่ายขึ้น การนำเสนอข้อมูลผ่านสื่อภาพที่มีการออกแบบอย่างเหมาะสม ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับรู้และการทำความเข้าใจของมนุษย์
- (3) ช่วยระบุประเด็นสำคัญได้อย่างรวดเร็ว ข้อมูลที่ผ่านการย่อและจัดเรียงในรูปแบบของภาพ ทำให้สามารถระบุจุดที่ควรให้ความสำคัญหรือ Insight ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ
- (4) ประหยัดเวลาในการทำความเข้าใจ การนำเสนอข้อมูลเชิงภาพที่มีโครงสร้างชัดเจนช่วยลดเวลาในการตีความข้อมูล เนื่องจากข้อมูลได้รับการจัดลำดับและย่ออย่างเหมาะสมแล้ว

Mankins (1995) อธิบายว่า TRL เป็น ตัวชี้วัดเชิงระบบ (Systematic Metric) ที่สะท้อนระดับความสุกงอม (Technology Maturity) ของเทคโนโลยี ตั้งแต่ขั้นการค้นพบองค์ความรู้พื้นฐานไปจนถึงการนำเทคโนโลยีไปใช้งานจริง โดยแบ่งออกเป็น 9 ระดับ (TRL 1 - TRL 9) ซึ่งแต่ละระดับสะท้อนความก้าวหน้าของการพัฒนาเทคโนโลยีและระดับความเสี่ยงที่ลดลงตามลำดับ การใช้ TRL ช่วยให้ผู้บริหารและนักวิจัยสามารถวางแผนการพัฒนาเทคโนโลยี จัดลำดับความสำคัญของโครงการ และสนับสนุนการตัดสินใจด้านการลงทุนวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวคิดดังกล่าวได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานด้านวิจัยและนวัตกรรมหลายแห่งทั่วโลก เช่น NASA กระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Defense: DoD) และหน่วยงานสนับสนุนการวิจัยในหลายประเทศ เนื่องจากสามารถใช้เป็นมาตรฐานในการประเมินความพร้อมของเทคโนโลยี และลดความเสี่ยงก่อนการนำเทคโนโลยีเข้าสู่อุปกรณ์หรือนำไปใช้งานจริง สำหรับประเทศไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ได้นำกรอบแนวคิด TRL มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการประเมินศักยภาพของผลงานวิจัยและเทคโนโลยี เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการงานวิจัย การกำหนดนโยบายด้านนวัตกรรม และการผลักดันผลงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์และเชิงสังคม

Olechowski et al. (2015) ศึกษาการใช้งาน TRL จากผู้ใช้จริงในหลายองค์กร พบว่า TRL ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือสำหรับการประเมินความพร้อมของเทคโนโลยีเท่านั้น แต่ยังช่วยในการ สื่อสารความก้าวหน้าของโครงการ (Communication of Development Progress) การบริหารความเสี่ยง (Risk Management) และการกำหนดเกณฑ์การดำเนินงาน (Project Deliverables) ได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้งานยังพบข้อจำกัดในการประเมินเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อน โดยเฉพาะการประเมินในระดับระบบ (System-level Assessment) มากกว่าการประเมินเฉพาะองค์ประกอบของเทคโนโลยี ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนว่า การประเมิน TRL ควรใช้ร่วมกับเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลและระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อให้ผู้บริหารสามารถมองเห็นภาพรวมของสถานะงานวิจัยและวางแผนการพัฒนาเทคโนโลยีได้อย่างเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่นำข้อมูลระดับ TRL มาพัฒนาเป็น Interactive Dashboard ด้วย Microsoft Power BI เพื่อสนับสนุนการบริหารงานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data Analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ (Visual Analytics) เพื่อศึกษาระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) ของผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และพัฒนาแดชบอร์ดสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบริหารงานวิจัย

1) แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ได้แก่ ผลงานวิจัยหรือวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทั้งระดับปริญญาโทและระดับปริญญาเอก ที่มีการรายงานข้อมูลระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) และได้รับการบันทึกไว้ในฐานข้อมูลของคณะวิศวกรรมศาสตร์

2) กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ผลงานวิจัยหรือวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาระดับปริญญาโทและระดับปริญญาเอก จำนวน 93 เรื่อง ที่มีข้อมูลระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) ในฐานข้อมูลของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างปีการศึกษา 2566 - 2568 โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง จากข้อมูลที่มีความสมบูรณ์และสามารถนำมาวิเคราะห์ได้

3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบประเมินระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level Assessment Form) ซึ่งอ้างอิงจากเกณฑ์มาตรฐานของ NASA และแนวทางของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยแบ่งระดับความพร้อมของเทคโนโลยีออกเป็น 9 ระดับ ตั้งแต่ TRL 1 ถึง TRL 9 เครื่องมือดังกล่าวใช้สำหรับบันทึกระดับความพร้อมของผลงานวิทยานิพนธ์แต่ละเรื่อง พร้อมข้อมูลประกอบ ได้แก่ ระดับการศึกษา ภาควิชา ปีการศึกษา และระดับ TRL เพื่อนำไปวิเคราะห์เชิงพรรณนาและจัดทำแดชบอร์ด โดยโปรแกรม Microsoft Excel สำหรับการจัดเตรียมข้อมูล และโปรแกรม Microsoft Power BI สำหรับ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพและพัฒนาแดชบอร์ด โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ดังนี้

(1) วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผลงานวิทยานิพนธ์ด้วย ความถี่ (Frequency) และ ร้อยละ (Percentage) เพื่ออธิบายลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง

(2) วิเคราะห์การกระจายตัวของระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) ด้วย ค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อแสดงแนวโน้มของระดับ TRL

(3) วิเคราะห์การกระจายของระดับ TRL จำแนกตามระดับการศึกษาและภาควิชา โดยใช้ ตารางแจกแจงความถี่ร่วม (Cross-tabulation) และการนำเสนอข้อมูลด้วยแผนภูมิ

(4) นำเสนอผลการวิเคราะห์ผ่าน Microsoft Power BI ในรูปแบบ Interactive Dashboard เพื่อแสดงแนวโน้ม การกระจายตัว และภาพรวมของข้อมูลสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบริหารงานวิจัย

สำหรับคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้เริ่มการเก็บข้อมูลงานวิจัยของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา โดยแบ่งออกเป็นระดับปริญญาโท และปริญญาเอก เมื่อปีการศึกษา 2566 โดยได้สอบถามความพร้อมของผลงานวิจัยว่าอยู่ระดับใด โดยให้นักศึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นผู้ประเมินและรับรองผลงานตนเอง

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลตาราง TRL (TRL: Technology Readiness Levels Definitions) ของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยให้นักศึกษาเลือกระดับ TRL ของผลงานวิจัยว่าอยู่ในระดับใด

ช่องในการเลือกระดับ	Level	คำอธิบาย
	TRL Level 1	Basic principles observed and reported ✓ การวิเคราะห์ประเด็นใดประเด็นหนึ่งผ่านการทบทวนวรรณกรรม
	TRL Level 2	Concept and/or application formulated ✓ การสร้าง Conceptual idea หรือ design ใหม่จากการทบทวนวรรณกรรมหรือการวิเคราะห์ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และ/หรือ ✓ การกำหนดสมมติฐานหรือโจทย์วิจัยที่น่าสนใจ ที่น่าจะเป็นไปได้ตามหลักทฤษฎีหรือหลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
	TRL Level 3	Concept demonstrated analytically or experimentally ✓ การพิสูจน์ความเป็นไปได้ของ Conceptual idea หรือ design หรือการทดสอบสมมติฐานที่ต่อยอดมาจาก TRL2 ผ่านการทดลองในห้องปฏิบัติการ การจำลองปัญหาบนคอมพิวเตอร์ หรือ การคำนวณทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และ ✓ มีการแสดงเอกสาร 'proof of concept' ซึ่งอาจมีการตีพิมพ์ผลงาน หรือ จัดทรัพย์สินทางปัญญา หรืออื่น ๆ ที่ใกล้เคียง
	TRL Level 4	Key elements demonstrated in laboratory environments ✓ มีการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการที่ยอมรับได้ทางสถิติและมีความสามารถในการทำซ้ำได้ และ/หรือ ✓ มีการทดสอบผลงาน (อาทิ โปรแกรมใหม่ หรือ อัลกอริทึมใหม่ หรือ วัสดุชนิดใหม่ หรือ ระบบทางวิศวกรรมรูปแบบใหม่) โดยได้ผลตามที่คาดหวัง ผ่านวิธีการทดสอบที่เชื่อถือได้และเป็นไปตามหลักกระบวนการทำวิจัยที่ถูกต้องและสมบูรณ์ และ ✓ มีการแสดงเอกสารที่แสดงผลการทดสอบ อาทิ การตีพิมพ์ผลงาน หรือ จัดทรัพย์สินทางปัญญา หรืออื่น ๆ ที่ใกล้เคียง
	TRL Level 5	Key elements demonstrated in relevant environments ✓ มีการทดสอบชิ้นงานต้นแบบ หรือ ผลงาน ในห้องทดลองขนาดเล็กที่ควบคุมเงื่อนไขหรือสภาวะต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงสภาวะจริง หรือมีการทดสอบผลงานในภาคอุตสาหกรรมจริงที่มีการควบคุมสภาวะและเงื่อนไขการทำงานต่าง ๆ ไว้ให้เป็นไปตามที่ต้องการ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการใช้งาน แล้วได้ผลตามที่คาดหวัง และ ✓ สิ่งที่ได้ คือ องค์ประกอบสำคัญของชิ้นงานต้นแบบ หรือผลงานใหม่ ที่ผ่านการทดสอบแล้วในสภาวะใกล้เคียงสภาวะจริง และ ✓ มีการแสดงหลักฐาน คือ วิธีการทดสอบที่เชื่อถือได้ ทำซ้ำได้ และสอดคล้องกับความต้องการที่จะประยุกต์ใช้งานของกลุ่มเป้าหมาย

ช่องในการ เลือกระดับ	Level	คำอธิบาย
	TRL Level 6	Representative of the deliverable demonstrated in relevant environments ✓ มีการทดสอบชิ้นงานต้นแบบ หรือ ผลงาน ที่ผลิตเสร็จสมบูรณ์แล้วและต่อยอดมาจาก TRL5 โดยทำการทดสอบในสภาวะใกล้เคียงสภาวะจริงในรูปแบบหรือเงื่อนไขที่หลากหลายมากขึ้นที่สามารถเป็นไปได้จริง แล้วได้ผลตามที่คาดหวัง ✓ มีการแสดงหลักฐาน คือ วิธีการทดสอบที่เชื่อถือได้ ทำซ้ำได้ และผลการยอมรับที่มีต่อต้นแบบของกลุ่มตัวอย่างที่หลากหลายกว่า TRL5 สิ่งที่ได้คือต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพิสูจน์การใช้งาน ณ สภาวะเลียนแบบใกล้เคียงสภาวะจริง
	TRL Level 7	Final development version of the deliverable demonstrated in operational ✓ มีการทดสอบชิ้นงานต้นแบบ หรือ ผลงาน กับกลุ่มผู้ใช้งานจริงในตลาดหรือในภาคอุตสาหกรรม โดยไม่ควบคุมปัจจัยสำเร็จและล้มเหลว เพื่อสะท้อนข้อดีข้อเสีย เพื่อประโยชน์ในการนำไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป ✓ มีการแสดงหลักฐาน คือ วิธีการทดสอบที่เชื่อถือได้ ทำซ้ำได้ และผลการยอมรับของกลุ่มผู้ใช้งานจริง สิ่งที่ได้ คือ ต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพิสูจน์การใช้งาน ณ สภาวะการทำงานจริง
	TRL Level 8	Actual deliverable qualified through test and demonstration ✓ มีการผลิตชิ้นงานหรือผลงานจริง (มีผลิตภัณฑ์จริง) ในระดับอุตสาหกรรม ณ ระบบของลูกค้า ✓ มีการแสดงหลักฐาน คือ ผลการทดสอบใช้งานในสภาวะการทำงานจริงอย่างต่อเนื่อง จนลูกค้ามั่นใจและยอมรับในคุณภาพ มีผลการรับรองมาตรฐาน มีคู่มือการผลิตและใช้งาน
	TRL Level 9	Operational use of deliverable ✓ มีการผลิตชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากผลงานนั้นอย่างต่อเนื่อง มีการนำไปใช้งานจริงและติดตามผลการใช้งานอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เหมาะสม หากมีปัญหาต้องแก้ไขในบางจุด ต้องมีหลักฐานในการนำผลงานนั้นกลับไปแก้ไข จนได้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์อย่างแท้จริง และ ✓ มีการแสดงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน และแผนการดำเนินงานทางธุรกิจ ✓ มีการแสดงหลักฐาน คือ เอกสารสรุปข้อมูลสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ส่งมอบ เอกสารยืนยันจำหน่าย และการนำไปใช้งานต่อเนื่อง

แนวคิด Technology Readiness Level (TRL) ได้รับการพัฒนาโดย Mankins (1995) เพื่อใช้เป็นกรอบในการประเมินความพร้อมของเทคโนโลยีตั้งแต่การวิจัยพื้นฐานจนถึงการนำไปใช้งานจริง ต่อมา TRL ได้รับการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในหน่วยงานวิจัยและองค์กรด้านนวัตกรรมทั่วโลก รวมถึงองค์การ NASA หน่วยงานด้านกลาโหม และสถาบันวิจัยหลายแห่ง เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการบริหารจัดการงานวิจัยและการถ่ายทอดเทคโนโลยี

4) วิธีการวิเคราะห์

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประมวลผลข้อมูลระดับความพร้อมด้านเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) ของผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา ใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มข. โดยใช้แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณร่วมกับการวิเคราะห์เชิงภาพ (Visual Analytics) เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจแนวโน้มและความแตกต่างของระดับความพร้อมด้านเทคโนโลยีในแต่ละมิติได้อย่างชัดเจน กระบวนการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

(1) การรวบรวมและเตรียมข้อมูล

ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลเริ่มจากการนำเข้าข้อมูลจากฐานข้อมูลระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (TRL Database) ของผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มข. ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลของนักศึกษาระดับปริญญาโท และระดับปริญญาเอก จากนั้นได้ทำการรวมชุดข้อมูลทั้งสองระดับเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระหว่างระดับการศึกษา ได้ในภายหลังในขั้นตอนการเตรียมข้อมูล ได้มีการเพิ่มคอลัมน์ระบุ “ระดับการศึกษา” เพื่อใช้เป็นตัวแปรอธิบาย (Categorical Variable) ที่ช่วยจำแนกระหว่างข้อมูลของระดับปริญญาโทและระดับปริญญาเอก รวมทั้งดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของประเภทข้อมูล เช่น การตรวจสอบให้แน่ใจว่าค่าของ TRL ถูกบันทึกในรูปแบบตัวเลข (Numeric) และข้อมูลสาขาวิชาอยู่ในรูปแบบ เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ และการแสดงผลในภายหลัง การจัดการข้อมูลในขั้นตอนนี้มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นพื้นฐานในการสร้างชุดข้อมูล และพร้อมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติและระบบแดชบอร์ด

(2) การออกแบบการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ

การออกแบบการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ เพื่อให้สามารถนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและตอบโจทย์คำถามการวิจัยหลัก โดยใช้แนวคิดการสื่อสารข้อมูลด้วยภาพ ผ่านโปรแกรม Microsoft Power BI ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลเชิงโต้ตอบ การออกแบบการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่

2.1 ภาพรวมภูมิทัศน์ของ TRL ใช้ ฮิสโตแกรม (Histogram) แสดงการกระจายตัวของระดับความพร้อมเทคโนโลยีตั้งแต่ระดับ 1 ถึง 9 เพื่อให้เห็นแนวโน้มและความหนาแน่นของผลงานในแต่ละระดับของ TRL ซึ่งช่วยสะท้อนภาพรวมของสถานะการพัฒนาเทคโนโลยีในระดับบัณฑิตศึกษา

2.2 การเปรียบเทียบภาควิชา ใช้ ฮีทแมพ (Heatmap) หรือ แผนภูมิแท่งแบบกลุ่ม เพื่อแสดงการกระจายตัวของค่า TRL ในแต่ละภาควิชา ช่วยให้เห็นการระบุภาควิชาที่มีผลงานในระดับ TRL สูงหรือต่ำได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนกลยุทธ์ด้านการวิจัยและนวัตกรรมของคณะ

2.3 การวิเคราะห์ตามระดับการศึกษา ใช้ แผนภูมิแท่ง (Bar Chart) เปรียบเทียบการกระจายของระดับ TRL ระหว่างนักศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอก เพื่อศึกษาความแตกต่างเชิงแนวโน้มและระดับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในแต่ละกลุ่มการศึกษา ซึ่งสามารถสะท้อนศักยภาพของผลงานวิจัยในแต่ละระดับได้อย่างเป็นระบบ

2.4 การออกแบบการวิเคราะห์ข้อมูลในลักษณะดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายของหน่วยงานในการพัฒนาคุณภาพงานวิจัยและนวัตกรรม ตลอดจนเป็นแนวทางในการยกระดับขีดความสามารถทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ในระยะยาว

ผลการวิจัย

1) ข้อมูลทั่วไปของผลงานวิทยานิพนธ์

ผลงานวิทยานิพนธ์ที่นำมาศึกษาในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวน 93 เรื่อง ซึ่งเป็นผลงานของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในช่วงปีการศึกษา 2566 - 2568 โดยจำแนกตามระดับการศึกษา ภาควิชา และระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL)

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผลงานวิทยานิพนธ์

รายการ	จำนวน (เรื่อง)	ร้อยละ
ปริญญาโท	65	69.89
ปริญญาเอก	28	30.11
รวม	93	100.00

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาที่นำมาวิเคราะห์มีจำนวนทั้งสิ้น 93 เรื่อง ประกอบด้วยผลงานระดับปริญญาโท 65 เรื่อง (ร้อยละ 69.89) และระดับปริญญาเอก 28 เรื่อง (ร้อยละ 30.11) เมื่อพิจารณาตามประเภทหลักสูตร พบว่าผลงานส่วนใหญ่เป็นหลักสูตรปริญญาโทภาคปกติ จำนวน 51 เรื่อง (ร้อยละ 54.84) รองลงมา ได้แก่ ปริญญาเอกภาคปกติ จำนวน 28 เรื่อง (ร้อยละ 30.11) และปริญญาโทโครงการพิเศษ จำนวน 14 เรื่อง (ร้อยละ 15.05) ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าฐานข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครอบคลุมผลงานวิทยานิพนธ์ของทั้งสองระดับการศึกษา

ตารางที่ 3 การแจกแจงระดับ TRL

ระดับ TRL	จำนวน (เรื่อง)	ร้อยละ
TRL 1	1	1.08
TRL 2	3	3.23
TRL 3	24	25.81
TRL 4	29	31.18
TRL 5	16	17.20
TRL 6	13	13.98
TRL 7	5	5.38
TRL 8	2	2.15
TRL 9	0	0.00
รวม	93	100.00

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาจำนวน 93 เรื่อง มีการกระจายตัวของระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีตั้งแต่ TRL 1 ถึง TRL 8 โดยไม่พบผลงานในระดับ TRL 9 ซึ่งเป็นระดับที่เทคโนโลยีได้รับการพิสูจน์และนำไปใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของระดับ TRL พบว่า ผลงานส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในระดับ TRL 4 จำนวน 29 เรื่อง (ร้อยละ 31.18) รองลงมาคือ TRL 3 จำนวน 24 เรื่อง (ร้อยละ 25.81) รวมทั้งสองระดับคิดเป็น 53 เรื่อง (ร้อยละ 56.99) ของผลงานทั้งหมด สะท้อนให้เห็นว่าผลงานวิทยานิพนธ์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของการพิสูจน์แนวคิดและการทดสอบเทคโนโลยีในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นช่วงของการวิจัยประยุกต์และการพัฒนาเทคโนโลยีในระยะเริ่มต้น นอกจากนี้ พบว่าผลงานในระดับ TRL 5 - 6 มีจำนวน 28 เรื่อง (ร้อยละ 30.11) แสดงให้เห็นว่ามีผลงานวิจัยบางส่วนที่ได้รับการพัฒนาต่อยอดสู่การสร้างต้นแบบและการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ขณะที่ผลงานในระดับ TRL 7 - 8 มีเพียง 7 เรื่อง (ร้อยละ 7.53) และไม่พบผลงานในระดับ TRL 9 ซึ่งสะท้อนว่ายังมีโอกาสในการผลักดันผลงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรมหรือเชิงพาณิชย์มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4 ค่าสถิติเชิงพรรณนาของระดับ TRL

รายการ	ค่า
จำนวนข้อมูล (n)	93
ค่าเฉลี่ย (Mean)	4.34
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.39
มัธยฐาน (Median)	4.00
ค่าต่ำสุด (Minimum)	1
ค่าสูงสุด (Maximum)	8

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลงานวิทยานิพนธ์จำนวน 93 เรื่อง พบว่า ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.39 โดยมีค่ามัธยฐานเท่ากับ 4.00 ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีต่ำสุดอยู่ที่ TRL 1 และสูงสุดอยู่ที่ TRL 8 สะท้อนให้เห็นว่าผลงานวิทยานิพนธ์ส่วนใหญ่ อยู่ในช่วง TRL 4 และมีการกระจายตัวของข้อมูลในระดับปานกลาง จากตารางการแจกแจง พบว่า TRL 4 มีจำนวนมากที่สุด 29 เรื่อง (31.18%) รองลงมาคือ TRL 3 จำนวน 24 เรื่อง (25.81%), TRL 5 จำนวน 16 เรื่อง (17.20%) และ TRL 6 จำนวน 13 เรื่อง (13.98%) ขณะที่ผลงานในระดับ TRL 7 - 8 มีเพียง 7 เรื่อง (7.53%) และไม่มีผลงานในระดับ TRL 9 แสดงให้เห็นว่าผลงานวิจัยส่วนใหญ่ยังอยู่ในช่วงการวิจัยประยุกต์และการพัฒนาเทคโนโลยีระดับต้นถึงระดับกลาง และยังมีโอกาสในการผลักดันไปสู่การใช้งานจริงในระดับที่สูงขึ้น

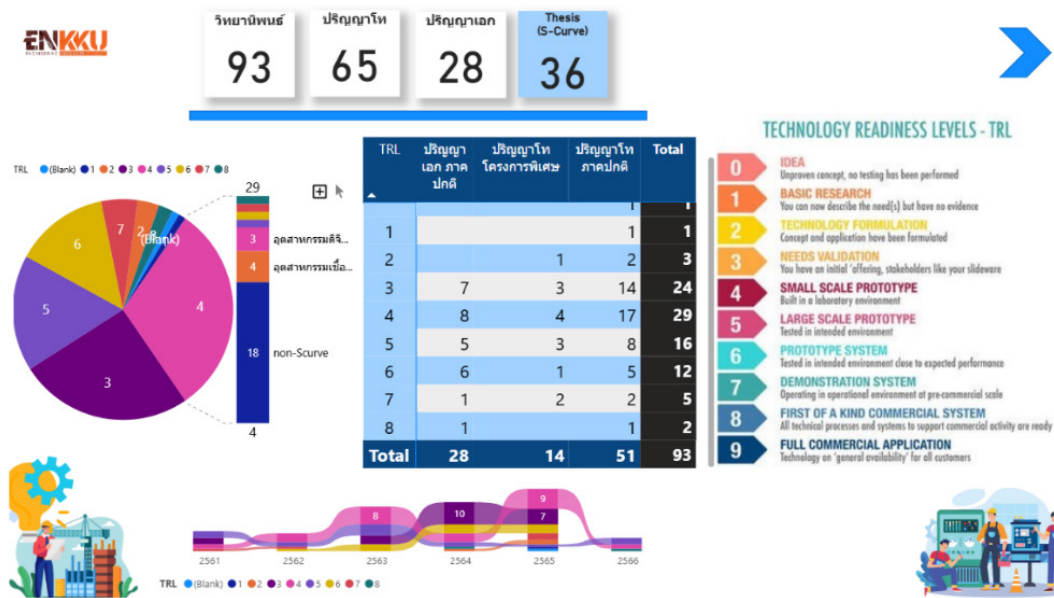
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) จำแนกตามสาขาวิชา

สาขาวิชา	จำนวน (เรื่อง)	Mean	SD
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (COM)	4	6.00	1.63
วิศวกรรมพลังงาน (ENR)	4	5.25	2.06
วิศวกรรมเกษตร (AE)	8	5.00	1.31
วิศวกรรมอุตสาหการ (IE)	12	5.00	1.21
วิศวกรรมนวัตกรรม (INNO)	10	4.40	1.71
วิศวกรรมเคมี (CHE)	6	4.33	0.82
วิศวกรรมวัสดุและการผลิต (MAT)	6	4.33	1.51
วิศวกรรมโยธา (CE)	19	4.11	1.20
วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BIO)	2	4.00	0.00
วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมและ โลจิสติกส์ (Logis)	1	4.00	-
วิศวกรรมเครื่องกล (ME)	5	3.80	0.84
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (ENV)	9	3.44	1.42
วิศวกรรมไฟฟ้า (EE)	7	3.29	0.76

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) จำแนกตามสาขาวิชา พบว่า สาขาวิชา COM มีค่าเฉลี่ยระดับ TRL สูงที่สุด (Mean = 6.00, SD = 1.63) รองลงมา ได้แก่ ENR (Mean = 5.25, SD = 2.06), AE (Mean = 5.00, SD = 1.31) และ IE (Mean = 5.00, SD = 1.21) ขณะที่สาขาวิชา EE มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (Mean = 3.29, SD = 0.76) รองลงมา ได้แก่ ENV (Mean = 3.44, SD = 1.42) และ ME (Mean = 3.80, SD = 0.84) ผลการวิเคราะห์สะท้อนให้เห็นว่า แต่ละสาขามีระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิทยานิพนธ์แตกต่างกัน โดยสาขาที่มีค่าเฉลี่ยสูงมีแนวโน้มที่จะมีผลงานวิจัยที่สามารถต่อยอดสู่การพัฒนาเทคโนโลยีได้มากกว่า ขณะที่บางสาขายังคงมีผลงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของการวิจัยประยุกต์และการพัฒนาเทคโนโลยีในระดับต้น

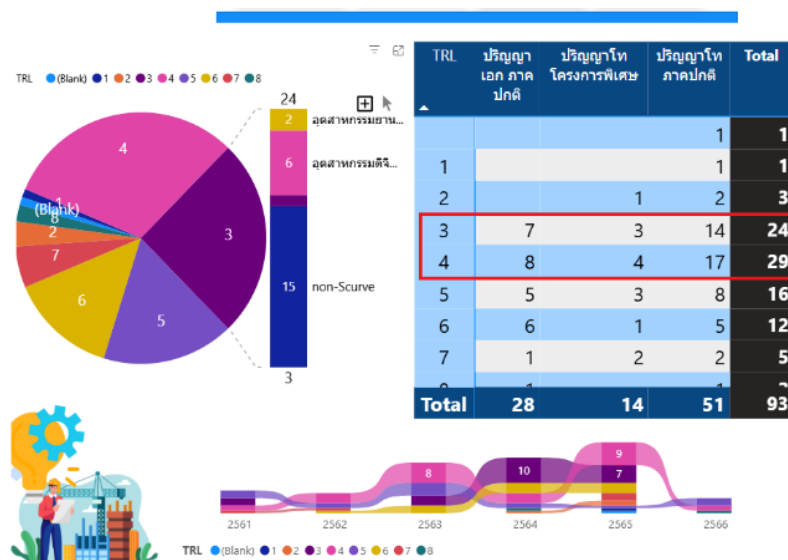
2) การพัฒนา Interactive Dashboard

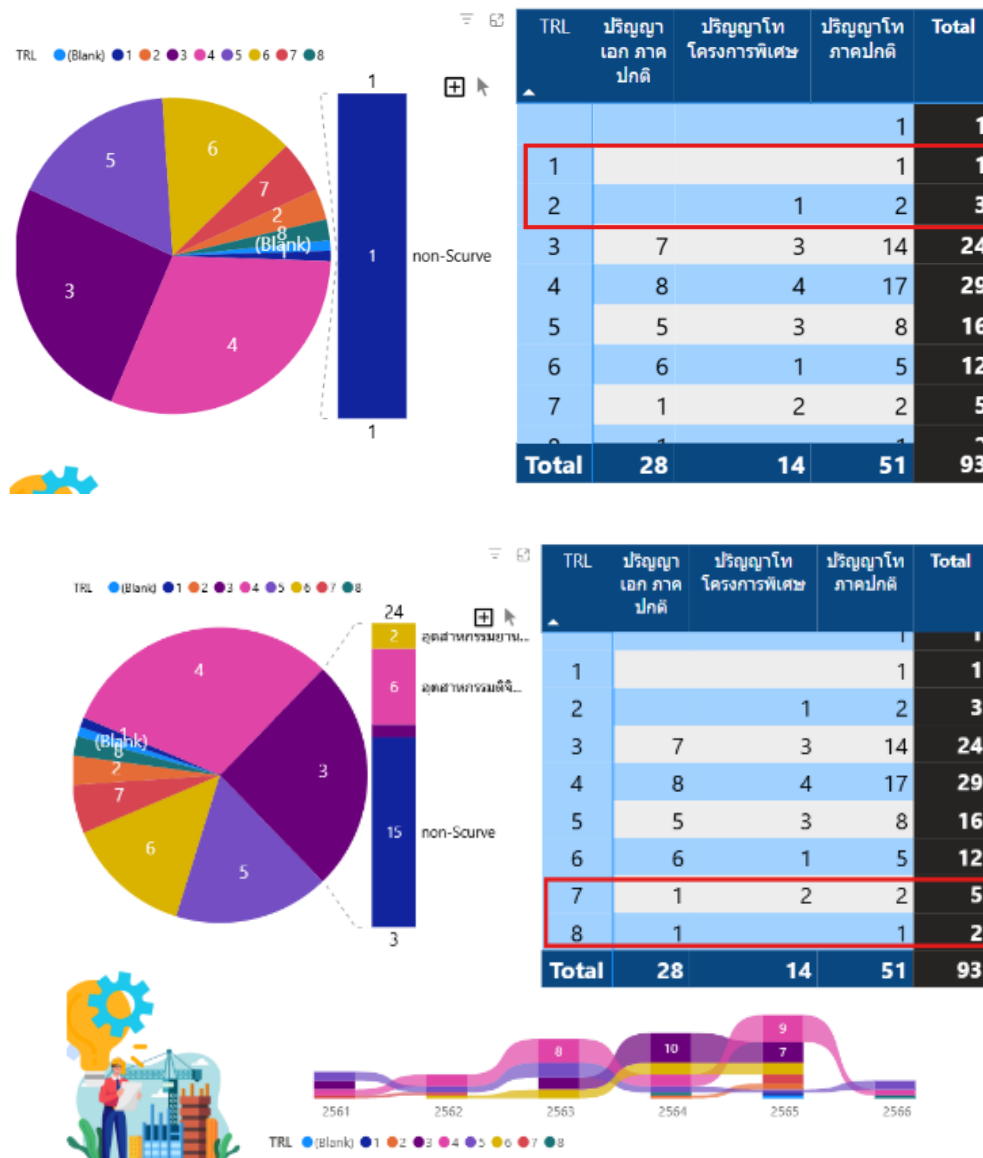
จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์มาพัฒนาเป็นแดชบอร์ดด้วยโปรแกรม Microsoft Power BI เพื่อให้สามารถติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีได้อย่างสะดวก โดยแดชบอร์ดรองรับการแสดงผลแบบหลายมิติ เช่น ระดับ TRL สาขาวิชา ระดับการศึกษา และปีการศึกษา พร้อมทั้งสามารถเลือกกรองข้อมูล (Filter) และแสดงผลแบบ Interactive เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบริหารงานวิจัยของผู้บริหาร



ภาพที่ 1 แดชบอร์ดแสดงภาพรวมระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิทยานิพนธ์

จากภาพที่ 1 แดชบอร์ดสามารถสรุปข้อมูลภาพรวมของผลงานวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ จำนวนทั้งสิ้น 93 เรื่อง ประกอบด้วยผลงานระดับปริญญาโท จำนวน 65 เรื่อง คิดเป็นร้อยละ 69.89 และระดับปริญญาเอก จำนวน 28 เรื่อง คิดเป็นร้อยละ 30.11





ภาพที่ 2 แสดงข้อมูลระดับการศึกษา ข้อมูลวิทยานิพนธ์ ของระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์

จากภาพที่ 2 พบว่า ผลงานวิทยานิพนธ์ส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในระดับ TRL 3 - 4 จำนวน 53 เรื่อง (56.99%) โดย TRL 4 มีจำนวนมากที่สุด 29 เรื่อง (31.18%) รองลงมาคือ TRL 3 จำนวน 24 เรื่อง (25.81%) แสดงให้เห็นว่าผลงานวิจัยส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของการพิสูจน์แนวคิดและการพัฒนาเทคโนโลยีในระดับต้น เมื่อพิจารณาผลงานที่อยู่ในระดับ TRL 1 - 2 พบว่ามีเพียง 4 เรื่อง (4.30%) โดยเป็นผลงานของหลักสูตรปริญญาโททั้งหมด สะท้อนว่าผลงานวิจัยที่อยู่ในช่วงการวิจัยพื้นฐาน (Basic Research) มีสัดส่วนค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับผลงานทั้งหมด สำหรับผลงานในระดับ TRL 7 - 8 พบจำนวน 7 เรื่อง (7.53%) โดยส่วนใหญ่เป็นผลงานของหลักสูตรปริญญาเอกภาคปกติและหลักสูตรปริญญาโทโครงการพิเศษ แสดงให้เห็นว่ามีผลงานบางส่วนที่ได้รับการพัฒนาจนเข้าสู่ระยะใกล้การนำเทคโนโลยีไปใช้จริง อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบผลงานในระดับ TRL 9 ซึ่งสะท้อนว่ายังมีโอกาสในการผลักดันผลงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) วิเคราะห์ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) ของผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา 2) ศึกษาการกระจายตัวของระดับ TRL จำแนกตามประเภทหลักสูตรและสาขาวิชา และ 3) พัฒนา Interactive Dashboard เพื่อสนับสนุนการบริหารงานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผลการศึกษาจากข้อมูลผลงานวิทยานิพนธ์จำนวน 93 เรื่อง พบว่า ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีมีค่าเฉลี่ย 4.34 ± 1.39 โดยผลงานส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในช่วง TRL 3 - 4 คิดเป็นร้อยละ 56.99 ของผลงานทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าผลงานวิจัยส่วนใหญ่อยู่ในช่วงการพิสูจน์แนวคิดและการพัฒนาเทคโนโลยีในระดับต้น ขณะที่ผลงานในระดับ TRL 7 - 8 มีเพียงร้อยละ 7.53 และยังไม่พบผลงานในระดับ TRL 9 เมื่อจำแนกตามประเภทหลักสูตรและสาขาวิชา พบว่าการกระจายตัวของระดับ TRL มีความแตกต่างกันตามลักษณะของหลักสูตรและสาขาวิชา ซึ่งสะท้อนถึงธรรมชาติของงานวิจัยและแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีในแต่ละสาขา นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนา Interactive Dashboard ด้วย Microsoft Power BI เพื่อใช้แสดงผลข้อมูลในรูปแบบเชิงโต้ตอบ ช่วยให้ผู้บริหารสามารถติดตาม วิเคราะห์ และใช้ข้อมูลประกอบการกำหนดนโยบายด้านการบริหารงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อภิปรายผลการวิจัย

1) ภาพรวมระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิทยานิพนธ์

ผลการศึกษาพบว่า ผลงานวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา จำนวน 93 เรื่อง มีระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) เฉลี่ย 4.34 ± 1.39 และผลงานส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในช่วง TRL 3 - 4 คิดเป็น ร้อยละ 56.99 ของผลงานทั้งหมด ซึ่งสะท้อนว่าผลงานวิจัยส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของการพิสูจน์แนวคิด (Proof of Concept) และการทดสอบเทคโนโลยีในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Validation) ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Mankins (1995) ที่อธิบายว่า TRL 3 - 4 เป็นช่วงสำคัญของการเปลี่ยนองค์ความรู้จากงานวิจัยพื้นฐานไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบ ก่อนเข้าสู่การทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงในระดับ TRL ที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังสะท้อนให้เห็นว่า คณะวิศวกรรมศาสตร์มีศักยภาพในการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยี แต่ยังมีโอกาสในการผลักดันผลงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์และเชิงสังคมมากยิ่งขึ้น

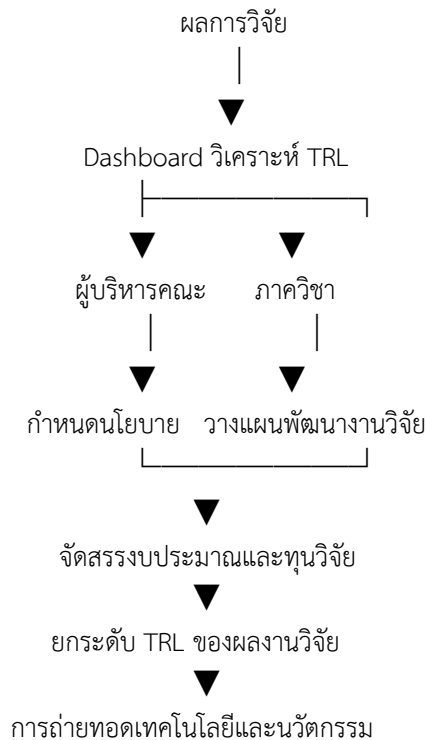
2) การกระจายตัวของระดับ TRL ตามประเภทหลักสูตรและสาขาวิชา

ผลการศึกษาพบว่า การกระจายตัวของระดับ TRL มีความแตกต่างกันตามประเภทหลักสูตรและสาขาวิชา โดยหลักสูตรปริญญาโทภาคปกติมีผลงานส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในระดับ TRL 3 - 4 ขณะที่หลักสูตรปริญญาเอกมีสัดส่วนของผลงานในระดับ TRL 5 - 7 มากกว่า ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะของการศึกษาที่มุ่งเน้นการพัฒนางานวิจัยและการต่อยอดงานวิจัยในระดับที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาจำแนกตามสาขาวิชา พบว่าสาขาวิชาบางสาขามีค่าเฉลี่ย TRL สูงกว่าสาขาอื่น เช่น COM, ENR, AE และ IE ซึ่งอาจสะท้อนถึงลักษณะของงานวิจัยที่เน้นการสร้างต้นแบบ การทดลอง และการพัฒนาเทคโนโลยี ขณะที่บางสาขามีค่าเฉลี่ย TRL ต่ำกว่า เนื่องจากลักษณะของงานวิจัยยังคงมุ่งเน้นการศึกษาพื้นฐานหรือการพัฒนางานวิจัยในระยะเริ่มต้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Olechowski et al. (2015) ซึ่งระบุว่าระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีมีความสัมพันธ์กับธรรมชาติของงานวิจัยและบริบทของแต่ละสาขาวิชา ดังนั้น การเปรียบเทียบระดับ TRL ควรพิจารณาร่วมกับวัตถุประสงค์และลักษณะเฉพาะของแต่ละสาขา มากกว่าการเปรียบเทียบเชิงลำดับว่า “สาขาใดดีกว่า”

3) การประยุกต์ใช้ Visual Analytics และ Interactive Dashboard

จุดเด่นของงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้มีอยู่เพียงการวิเคราะห์ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิทยานิพนธ์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงการพัฒนา Interactive Dashboard ด้วยโปรแกรม Microsoft Power BI เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการข้อมูลวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ แดชบอร์ดที่พัฒนาขึ้นสามารถสรุปข้อมูลในหลายมิติ ได้แก่ ระดับ TRL ประเภทหลักสูตร สาขาวิชา ปีการศึกษา และรายละเอียดของผลงานวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งรองรับการกรองข้อมูลแบบโต้ตอบ ช่วยให้ผู้บริหารสามารถติดตามแนวโน้มของงานวิจัย วิเคราะห์จุดแข็งและช่องว่างของแต่ละสาขาวิชา และใช้ข้อมูลประกอบการกำหนดนโยบายด้านการวิจัยได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Saragih et al. (2021) ที่เสนอว่าการประยุกต์ใช้ Dashboard ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ (Visual Analytics) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามและบริหารจัดการข้อมูลวิจัย ทำให้ข้อมูลที่มีความซับซ้อนสามารถสื่อสารได้อย่างชัดเจน และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายได้ดียิ่งขึ้น

4) นโยบายและกรอบการนำผลการวิจัยไปใช้ และกรอบการบริหารงานวิจัยบนพื้นฐานระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL Research Management Framework)



ภาพที่ 3 TRL Research Management Framework

จากภาพที่ 3 ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ผลการวิจัยและพัฒนาเป็น กรอบการบริหารจัดการงานวิจัยบนพื้นฐานระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL Research Management Framework) เพื่อแสดงกระบวนการนำข้อมูลระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิทยานิพนธ์มาใช้สนับสนุนการบริหารงานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลผลงานวิทยานิพนธ์ การประเมินระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีตามเกณฑ์ TRL การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และการแสดงผลผ่านระบบ Interactive Dashboard ด้วย Microsoft Power BI เพื่อให้ผู้บริหารสามารถติดตาม วิเคราะห์ และใช้ข้อมูลประกอบการกำหนดนโยบายด้านการวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรอบการบริหารจัดการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการวางแผนพัฒนาศักยภาพของงานวิจัย การจัดสรรทรัพยากร การสนับสนุนการยกระดับผลงานวิจัยจากระดับ TRL ที่ยังอยู่ในช่วงต้นไปสู่ระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง รวมทั้งเป็นต้นแบบที่สามารถประยุกต์ใช้กับหน่วยงานหรือสถาบันอุดมศึกษาอื่นที่มีการประเมินระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของผลงานวิจัยได้

ข้อจำกัดของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัด ดังนี้

- 1) ใช้ข้อมูลผลงานวิทยานิพนธ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพียงแห่งเดียว จึงอาจไม่สามารถอ้างอิงผลไปยังสถาบันอุดมศึกษาอื่นได้โดยตรง
- 2) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิจากฐานข้อมูล TRL ที่จัดเก็บไว้ จึงขึ้นอยู่กับความครบถ้วนและความถูกต้องของข้อมูลที่บันทึกในระบบ
- 3) การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Analysis) จึงยังไม่สามารถติดตามพัฒนาการของระดับ TRL ของผลงานวิจัยในระยะยาวได้

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

- 1) จากผลการศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้
กำหนดแนวทางสนับสนุนการยกระดับผลงานวิจัยจาก TRL 4 ไปสู่ TRL 6 - 7 ผ่านทุนวิจัย การสร้างต้นแบบ และความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรม
- 2) ใช้ Interactive Dashboard เป็นเครื่องมือในการติดตามตัวชี้วัดด้านการวิจัย (Research KPI) และประเมินผลการดำเนินงานของแต่ละสาขาวิชา
- 3) ส่งเสริมการใช้ข้อมูล TRL เป็นข้อมูลประกอบการกำหนดแผนยุทธศาสตร์ด้านการวิจัย การจัดสรรงบประมาณ และการผลักดันผลงานวิจัยสู่การใช้ประโยชน์

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ขยายขอบเขตการศึกษาไปยังคณะหรือมหาวิทยาลัยอื่น เพื่อเปรียบเทียบระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีในบริบทที่แตกต่างกัน
- 2) ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยกระดับ TRL เช่น แหล่งทุนวิจัย ความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรม หรือผลงานทรัพย์สินทางปัญญา
- 3) พัฒนาระบบ Dashboard ให้เชื่อมโยงกับฐานข้อมูลวิจัยของมหาวิทยาลัยแบบอัตโนมัติ และรองรับการติดตามผลแบบ Real-time เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

การวิเคราะห์ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) ของงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำเร็จได้เกิดจากคณะผู้บริหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ต้องการข้อมูลเพื่อศึกษาศักยภาพงานวิจัยของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อวางแผนงานวิจัยไปสู่เป้าหมาย สามารถเกิดขึ้นได้จริง และก่อให้เกิดประโยชน์อย่างยั่งยืนของสังคม ในฐานะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร คณาจารย์ และนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล TRL เพื่อใช้ในการพัฒนานวัตกรรมนี้

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2564). *คู่มือการประยุกต์ใช้ Technology Readiness Level (TRL) ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ*. ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- Mankins, J. C. (1995). *Technology readiness levels: A white paper*. USA: NASA, Office of Space Access and Technology.
- National Aeronautics and Space Administration. (2017). *NASA systems engineering handbook (NASA/SP-2016-6105 Rev. 2)*. USA: NASA.
- Olechowski, A., Eppinger, S. D., & Joglekar, N. (2015). *Technology readiness levels at 40: A study of the state-of-the-art use, challenges, and opportunities* (pp. 2084-2094). In PICMET '15 Conference Management of the Technology Age August 2 - 6, 2015. USA: PICMET.
- Saragih, A. R., Tarigan, Z. J. H., & Anggoro, Y. (2021). Technology readiness level (TRL) assessment using dashboard system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1088(1), 012053.