

การประเมินประสิทธิผลของการบูรณาการ Project-Based Learning
ข้ามรายวิชา ภายใต้กรอบ I-MAP ต่อผลการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมของนักศึกษา
EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF CROSS-CURRICULAR PROJECT-BASED
LEARNING INTEGRATED WITHIN THE I-MAP FRAMEWORK ON STUDENTS' LEARNING
OUTCOMES AND ENGAGEMENT

พงศ์เทพ วีระพงศ์¹, นราพงศ์ ช่วยชัย¹, ฉัตรชัย แก้วดี¹, วีรพล ปานศรีนวล^{1*}
Pongtep Weerapong¹, Narapong Chuaychai¹, Chatchai Kaewdee¹ Weeraphol Pansrinual^{1*}

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช

¹ Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: weeraphol_pan@nstru.ac.th

วันที่รับบทความ: 17 กันยายน 2568; วันที่ทบทวนบทความ: 8 ธันวาคม 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 13 ธันวาคม 2568;

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 29 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ: บทความวิจัยนี้ประเมินรูปแบบการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานที่บูรณาการรายวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมกับโครงงานพิเศษ ภายใต้กรอบ I-MAP และหลักการออกแบบย้อนกลับ ผู้เข้าร่วมคือ นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 32 คน ทำโครงงานต่อเนื่องตลอดภาคการศึกษา เก็บข้อมูลด้วยแบบทดสอบก่อน-หลัง แบบสังเกต และการสนทนากลุ่ม พร้อมวิเคราะห์ด้วย ANCOVA และแบบจำลองเชิงผสม ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางความรู้และคุณภาพชิ้นงานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเชิงการศึกษา แม้ว่าบางการเปรียบเทียบระหว่างทีมยังไม่ปรากฏความแตกต่างเชิงสถิติชัดเจน แต่ ขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับสูง สะท้อนว่ารูปแบบการเรียนรู้มีผลต่อการพัฒนาทักษะอย่างเด่นชัดในชั้นเรียนขนาดใหญ่ ทั้งยังสอดคล้องกับแนวโน้มที่ตรวจพบจากแบบจำลองเชิงผสม ซึ่งชี้ว่าปัจจัยด้านบริบททีมช่วยอธิบายความแปรปรวนด้านพฤติกรรมผู้เรียนได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผลเชิงคุณภาพยืนยันผลเชิงปริมาณ โดยพบว่าผู้เรียนมีแรงจูงใจภายในสูงขึ้น เห็นถึงความสามารถในการถ่ายโอนความรู้สู่การปฏิบัติจริง และพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีม ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางผลลัพธ์เชิงพฤติกรรมและเชิงปัญญาที่เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด

คำสำคัญ: การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน, แบบจำลองเชิงผสม

Abstract: This paper evaluated a project-based learning (PBL) model that integrates the “Technology and Innovation” course with a capstone-style project within the I-MAP framework and Backward Design principles. Participants were 32 fourth-year Industrial Technology students who worked in teams to complete a semester-long project. Data were collected through pretest-posttest, analytic rubrics, observational checklists, and focus-group interviews, and analyzed using ANCOVA and linear mixed models. The findings indicate substantial educational gains in theoretical knowledge and project quality. Although some between-team comparisons did not yield statistically significant differences, the effect sizes were large, demonstrating

meaningful impacts of the learning model—particularly in large-class PBL contexts. Mixed-model analysis further revealed that team-level contextual factors significantly enhanced the explained variance in students' behavioral outcomes. Qualitative evidence corroborated the quantitative results, showing that students developed greater intrinsic motivation, demonstrated improved ability to transfer knowledge into real-world practice, and strengthened teamwork skills—all of which align with the observed improvements in cognitive and behavioral learning outcomes.

Key words: Project-based Learning, Hybrid Model

1. บทนำ

การศึกษาในศตวรรษที่ 21 กำลังเปลี่ยนผ่านจากการถ่ายทอดความรู้เชิงบรรยายไปสู่การเรียนรู้เชิงรุกที่ผู้เรียนมีบทบาทสำคัญในการสร้างความหมายและแก้ปัญหาที่ตรวจสอบได้ [1, 2] หนึ่งในแนวทางสำคัญคือการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (PBL) ซึ่งได้รับการยอมรับว่าช่วยพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ได้แก่ การคิดเชิงวิพากษ์ ความคิดสร้างสรรค์ การทำงานร่วมกัน และการสื่อสาร [3–5] อีกทั้งยังมีจุดแข็งในการเชื่อมโยงโจทย์จริงกับการบูรณาการข้ามศาสตร์เพื่อสร้างการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง [6–8] กรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาไทย (TQF) กำหนดให้บัณฑิตพัฒนาศรัณณะครบทุกด้าน ทั้งคุณธรรม ความรู้ ทักษะทางปัญญา ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล ความรับผิดชอบ และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ [9] อย่างไรก็ตาม ในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในชั้นเรียนขนาดใหญ่ การจัดการเรียนรู้แบบ PBL มักถูกจำกัดด้วยรายวิชาแยกส่วน ส่งผลให้ผู้เรียนไม่สามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้จากทฤษฎีสู่การปฏิบัติได้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ งานวิจัยก่อนหน้ายังขาดหลักฐานเชิงประจักษ์ที่วิเคราะห์อย่างเฉพาะเจาะจงว่า “วิธีการจัดกลุ่มผู้เรียน” (เช่น การสุ่ม การจัดตามความสามารถ หรือความสนใจ) ส่งผลต่อการมีส่วนร่วม (engagement) และคุณภาพโครงงานอย่างไร โดยเฉพาะในบริบทชั้นเรียนขนาดใหญ่ด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้ช่องว่างทางองค์ความรู้ในมินินี้ยังไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ตัวอย่างเชิงปฏิบัติ เช่น กรณีศึกษาที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ซึ่งนำเสนอ “โมเดลโครงงานพัฒนาของเล่นเพื่อฟื้นฟูเด็กสมองพิการ” โดยผสน

PBL เข้ากับโจทย์สังคมจริงผ่านความร่วมมือกับชุมชนและหน่วยงานบริการวิชาการ ผลงานดังกล่าวสะท้อนศักยภาพของ PBL ในการบูรณาการความรู้ด้านวิศวกรรมสู่การสร้างนวัตกรรมที่มีคุณค่าทางสังคม [10,11] อย่างไรก็ตาม งานที่มีอยู่ส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นรายวิชาเดี่ยวหรือกรณีศึกษาเฉพาะกลุ่มเป็นหลัก และยังไม่ได้นำเสนอการทดลองเปรียบเทียบเชิงระบบเกี่ยวกับ “รูปแบบการจัดกลุ่มผู้เรียนและโครงสร้างการสนับสนุน” ในชั้นเรียนขนาดใหญ่ที่มีข้อจำกัดด้านเวลา ทรัพยากร และการดูแลอย่างใกล้ชิดของผู้สอน

แม้ PBL จะได้รับการยืนยันถึงประสิทธิผลในระดับสากล แต่บริบทการศึกษาไทยยังเผชิญข้อจำกัดสำคัญ ได้แก่ การสอนที่แยกส่วนตามรายวิชา การขาดการจัดแนวระหว่างผลการเรียนรู้รายวิชา (CLO) กิจกรรม และการประเมินอย่างเป็นระบบ ตลอดจนการขาดรายงานผลในระดับทีมที่เหมาะสมกับห้องเรียนขนาดใหญ่ นอกจากนี้ ยังขาดหลักฐานเชิงเปรียบเทียบวิธีการจัดกลุ่มผู้เรียน (สุ่ม ตามความสามารถ หรือความสนใจ) ต่อผลลัพธ์ด้านพฤติกรรม ปัญญา และอารมณ์ อีกทั้งการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ยังไม่ครอบคลุมการใช้ดัชนีขนาดอิทธิพล เช่น Cohen's d และ partial η^2 [12, 13] รวมถึงการพิจารณาค่าการอธิบายบริบทเชิงสถิติ R^2m และ R^2c [14] ช่องว่างดังกล่าวสะท้อนว่าพื้นที่วิจัยเกี่ยวกับ “การออกแบบ PBL ในชั้นเรียนขนาดใหญ่ที่ผนวกทั้งโครงสร้างการจัดกลุ่ม และการจัดแนวจุดมุ่งหมาย–กิจกรรม–การประเมินอย่างเป็นระบบ” ยังต้องการหลักฐานเชิงทดลองเพิ่มเติม

เพื่อแก้ปัญหาเชิงโครงสร้างของการเรียนการสอนในชั้นเรียนขนาดใหญ่ งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลอง I-MAP

(Image-Management-Apprenticeship-Project) ได้ ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เพื่อบริณาการรายวิชาทฤษฎีและปฏิบัติภายใต้แนว Backward Design โดยผู้เรียนดำเนินโครงการจริงตลอดภาคการศึกษา ตั้งแต่การนิยามปัญหาร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย การสร้างต้นแบบจนถึงการทดสอบกับผู้ใช้ในชุมชน I-MAP ประกอบด้วย 4 มิติ ได้แก่ 1) Image การสร้างสรรค์และมองภาพรวมของปัญหา 2) Management การจัดการทรัพยากรและทีมงาน 3) Apprenticeship การเรียนรู้จากการปฏิบัติจริงภายใต้การโค้ช และ 4) Project การดำเนินโครงการข้ามศาสตร์ที่มุ่งแก้โจทย์จริง [15] โดย I-MAP แตกต่างจาก PBL แบบดั้งเดิมตรงที่ผสาน “วงจรโค้ช-จุดหมายย่อย (milestones)” เข้ากับ “การจัดแนวข้ามรายวิชา (cross-course alignment)” อย่างชัดเจน โดยกำหนด CLO ร่วมของรายวิชาทฤษฎีและปฏิบัติ แล้วออกแบบกิจกรรมและการประเมินให้สอดคล้องกันตลอดทั้งภาคการศึกษา มิติด้านการโค้ชและการติดตามความก้าวหน้าเป็นระยะ รวมทั้งการประเมินหลายมิติที่ผูกโยงกับมาตรฐานวิชาชีพ ยังเป็นกลไกที่ยังไม่ปรากฏชัดในงาน PBL ก่อนหน้าในบริบทชั้นเรียนขนาดใหญ่ด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม [8, 9, 16] กลไกทั้งสี่ของ I-MAP จึงทำงานเป็นวงจรเรียนรู้ที่เชื่อมโยงทฤษฎีและปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ผู้เรียนพัฒนาความรู้ สมรรถนะวิชาชีพ และคุณลักษณะพลเมืองที่รับผิดชอบ [8, 16]

นอกจากนี้ I-MAP ยังสอดคล้องกับแนวคิดคอนสตรัคติวิสต์และทฤษฎีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ ซึ่งเน้นว่าผู้เรียนเกิดแรงขับภายในสูงสุดเมื่อได้ลงมือทำ มีอิสระในการเลือกพัฒนาความสามารถ และได้รับการสนับสนุนทางสังคมอย่างเหมาะสม [17] ด้วยแนวทางดังกล่าว บทความวิจัยนี้มุ่ง

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดวัตถุประสงค์เฉพาะและการเชื่อมโยงเชิงระบบ

วัตถุประสงค์	เครื่องมือ / ตัวแปรที่ใช้	วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง
1. เพื่อประเมินการพัฒนาความรู้เชิงทฤษฎีก่อน-หลัง และค่าขนาดอิทธิพล	แบบทดสอบก่อน-หลัง เรียน (ค่า KR-20 = 0.84)	ANCOVA, Cohen's d, ช่วงความเชื่อมั่น 95%	ค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้ว ระดับการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น ค่าขนาดอิทธิพล d และ η^2_p

ตรวจสอบว่าโมเดล I-MAP สามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เชิงทฤษฎี คุณภาพโครงการ และการมีส่วนร่วมของผู้เรียนทั้งสามมิติ ได้แก่ พฤติกรรม อารมณ์ และความคิด โดยเปรียบเทียบวิธีการจัดกลุ่มที่แตกต่างกัน ได้แก่ การสุ่มผสม การจัดตามความสามารถ และการจัดตามความสนใจ การวิเคราะห์ใช้สถิติอนุมาน ค่าขนาดอิทธิพลและแบบจำลองเชิงบริบท เพื่อสะท้อนนัยสำคัญทางการศึกษาอย่างรอบด้าน ผลลัพธ์ที่ได้มีเป้าหมายเพื่อสร้างแนวทางที่ประยุกต์ใช้ได้จริงในระดับหลักสูตรและขยายผลในระดับสถาบัน เพื่อยกระดับคุณภาพการเรียนรู้เชิงอุตสาหกรรมให้ทันต่อความเปลี่ยนแปลงของโลกยุคใหม่อย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป เพื่อประเมินประสิทธิผลของการบูรณาการการเรียนรู้แบบโครงการข้ามรายวิชา ระหว่างรายวิชา “เทคโนโลยีและนวัตกรรม” และ “โครงการพิเศษในงานอุตสาหกรรม” ภายใต้กรอบ I-MAP

2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะและการเชื่อมโยงเชิงระบบ

2.2.1 เพื่อประเมินการพัฒนาความรู้เชิงทฤษฎีก่อน-หลัง และค่าขนาดอิทธิพล

2.2.2 เพื่อประเมินคุณภาพโครงการด้วยรูปกรหลายมิติ และเปรียบเทียบการจัดกลุ่ม

2.2.3 เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการมีส่วนร่วมของผู้เรียนทั้ง 3 มิติ ระหว่างวิธีการจัดกลุ่ม

2.2.4 เพื่อประเมินบทบาทของบริบทและกลไกสนับสนุนในชั้นเรียน

วัตถุประสงค์	เครื่องมือ / ตัวแปรที่ใช้	วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง
2. เพื่อประเมินคุณภาพโครงการด้วยรูปกรหลายมิติ และเปรียบเทียบการจัดกลุ่ม	คะแนนรูปกร 5 ด้าน; วิธีการจัดกลุ่ม (สุ่ม/ตามความสามารถ/ตามความสนใจ)	ANCOVA / LMM; ค่าสัมประสิทธิ์แปรผัน (CV); สัมประสิทธิ์ความตรงกันของผู้ประเมิน	ความแตกต่างคุณภาพโครงการ ความเสถียรของคะแนน และ inter-rater reliability
3. เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการมีส่วนร่วมของผู้เรียนทั้ง 3 มิติ ระหว่างวิธีการจัดกลุ่ม	แบบสอบถามการมีส่วนร่วม แบบสังเกตพฤติกรรม (มาตร 5 ระดับ)	ANCOVA โดยควบคุมคะแนนก่อนเรียน	คะแนนการมีส่วนร่วมที่ปรับแล้ว สะท้อนความแตกต่างระหว่างกลุ่ม โดยมีขนาดอิทธิพลสูง และแยกแยะได้ชัดเจนตามมิติพฤติกรรม อารมณ์ และปัญญา
4. เพื่อประเมินบทบาทของบริบทและกลไกสนับสนุนในชั้นเรียน	ระบบโค้ช จุดตรวจ ความก้าวหน้า การจัดแนว CLO-กิจกรรม-การประเมิน; โครงสร้างกลุ่ม	แบบจำลองเชิงผสม; ค่า ICC, DEFF, LMM, R^2_m , R^2_c	อธิบายอิทธิพลของบริบทและโครงสร้างกลุ่มต่อผลลัพธ์รวมถึงประสิทธิภาพของระบบสนับสนุนการเรียนรู้แบบทีม

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มเป้าหมายคือนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จำนวน 32 คน โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Stratified Purposive Sampling) และแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มย่อย

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การวิจัยมุ่งเน้นการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน (PBL) ที่บูรณาการข้ามรายวิชา ระหว่างรายวิชา “เทคโนโลยีและนวัตกรรมในงานอุตสาหกรรม” (ทฤษฎี) และรายวิชา “โครงงานพิเศษในงานอุตสาหกรรม” (ปฏิบัติ) ภายใต้กรอบแนวคิด I-MAP (Image-Management-Apprenticeship-Project) และหลักการออกแบบย้อนกลับ (Backward Design)

3.3 ขอบเขตด้านตัวแปร

3.3.1 ตัวแปรต้น (Independent Variable)

วิธีการจัดกลุ่มผู้เรียน 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) การสุ่มผสม (Random Mixed) 2) การจัดตามความสามารถ (Ability-based) และ 3) การจัดตามความสนใจ (Interest-based)

3.3.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

ประกอบด้วย 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ (ความรู้เชิงทฤษฎี) 2) คุณภาพของผลงานโครงงาน และ 3) การมีส่วนร่วมของผู้เรียนใน 3 มิติ (พฤติกรรม, อารมณ์, ปัญญา)

3.4 ขอบเขตด้านระยะเวลา ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำกิจกรรมการเรียนรู้ตลอด 1 ภาคการศึกษา (Semester-Long Project)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยในชั้นเรียนที่ดำเนินการในหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช โดยผนวกมรรยวิชา “เทคโนโลยีและนวัตกรรมในงานอุตสาหกรรม” (วิชาทฤษฎี ด้านแนวโน้มเทคโนโลยีและนวัตกรรม) และ “โครงงานพิเศษในงานอุตสาหกรรม” (วิชาปฏิบัติ/โครงงาน) ภายใต้กรอบ I-MAP [11] อาจารย์ผู้สอนทั้งสองรายวิชาได้ออกแบบการสอนร่วมกัน โดยกำหนดโครงงานหลักหนึ่งหัวข้อให้นักศึกษาดำเนินการตลอดภาคการศึกษา เนื้อหาโครงงานเน้นโจทย์จริงที่ท้าทายในภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้ให้นักศึกษาค้นคว้าและประยุกต์ใช้นวัตกรรมหรือเทคโนโลยีใหม่ สู่การสร้างต้นแบบหรือข้อเสนอเชิงระบบที่สอดคล้องกับ CLO

ของรายวิชา [4, 16] ตัวอย่างหัวข้อคือ “การพัฒนาอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับเด็กสมองพิการ” ที่บูรณาการองค์ความรู้ด้านการผลิต การออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ และหลักการยศาสตร์สู่การสร้างต้นแบบจริง [11, 15]

4.1 รูปแบบการวิจัย งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงกึ่งทดลองแบบหลายกลุ่ม (Quasi-experimental, Clustered) โดยบูรณาการสองรายวิชาภายใต้กรอบ I-MAP และเปรียบเทียบผลลัพธ์จากสามวิธีการจัดกลุ่มผู้เรียน ได้แก่ การสุ่มผสม การจัดตามความสามารถ และการจัดตามความสนใจ การวิเคราะห์ข้อมูลควบคุมคะแนนก่อนเรียนด้วย ANCOVA และตรวจสอบอิทธิพลเชิงบริบทด้วยแบบจำลองเชิงเส้นผสม (LMM) ที่คำนึงถึงโครงสร้างคลัสเตอร์ [12–14]

4.2 การออกแบบการสอนและกิจกรรม PBL รูปแบบการสอนภายใต้ I-MAP มุ่งเชื่อมโยงเนื้อหาเชิงทฤษฎีกับการทำโครงงานปฏิบัติอย่างกลมกลืน [3, 4] ผู้สอนร่วมกันวางแผนหัวข้อและผลลัพธ์การเรียนรู้ เพื่อให้ให้นักศึกษาประยุกต์ความรู้สู่การสร้างผลงานจริง [3] แม้โครงงานหลักมีเพียงหนึ่งหัวข้อ แต่ถูกแบ่งออกเป็นหลายขั้นตอนย่อย (Iterative Projects) เพื่อรักษาระดับการมีส่วนร่วมและเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเรียนรู้จากการลองผิดลองถูกอย่างต่อเนื่อง [6, 7]

4.3 กระบวนการวิจัยแบบบูรณาการ การดำเนินการวิจัยอ้างอิงแนวคิด Backward Design เพื่อสร้างความสอดคล้องระหว่าง CLO กิจกรรมการสอน และการประเมินอย่างเป็นระบบ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกและการจัดกลุ่ม นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จำนวน 32 คน แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มย่อย โดยใช้ 3 วิธี ได้แก่ 1) สุ่มผสม (Random Mixed) 2) ตามความสามารถ (Ability-based) และ 3) ตามความสนใจ (Interest-based) โดยแต่ละวิธีมี 2 กลุ่มย่อย การคัดเลือกใช้ Stratified Purposive Sampling โดยพิจารณาจากคะแนนวิชาพื้นฐานและความสนใจเชิงอาชีพ การตรวจสอบความเพียงพอของกลุ่มตัวอย่างอ้างอิงเกณฑ์ทางสถิติ ($d = 0.50$, $\alpha = 0.05$, $1 - \beta = 0.80$)

ตามแนวทางของ Cohen [12] และ Lakens [13] ผลการคำนวณด้วย G*Power ระบุว่าต้องการผู้เข้าร่วมอย่างน้อย 27 คน ดังนั้นจำนวนจริง 32 คน จึงมากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำและเพียงพอสำหรับการตรวจจับผลขนาดปานกลางที่มีความหมายเชิงการศึกษา

อย่างไรก็ตาม เมื่อดำเนินการทดลองจริงต้องแบ่งผู้เข้าร่วมออกเป็น 6 กลุ่มย่อย ทำให้จำนวนในแต่ละทีมเฉลี่ยเพียง ≈ 5 คน และเมื่อนำไปวิเคราะห์ในระดับปัจจัยหลัก (3 วิธีการจัดกลุ่ม) จำนวนเฉลี่ยต่อกลุ่มเหลือเพียง $\approx 10-11$ คน ซึ่งมีความเสี่ยงต่อ p-value ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ แม้ Effect Size จะสูง เนื่องจากพลังจำแนกอาจไม่เพียงพอ (Underpowered) จึงจำเป็นต้องตีความผลลัพธ์เชิงสถิติควบคู่กับ ค่า Effect Size และช่วงความเชื่อมั่นเพื่อหลีกเลี่ยงอคติในการสรุปผล

ด้วยลักษณะข้อมูลแบบทีม จึงประเมินการพึ่งพาภายในคลัสเตอร์ด้วยค่า Intraclass Correlation Coefficient (ICC) และ Design Effect (DEFF) โดยกำหนดทีมเป็นตัวแทนกลุ่มในแบบจำลองเชิงผสม (Linear Mixed-Effects Model: LMM) สมการการคำนวณ ICC แสดงดังสมการ (1)

$$ICC = \tau^2 / (\tau^2 + \sigma^2) \quad \dots\dots\dots(1)$$

โดย τ^2 แทน ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

σ^2 แทน ความแปรปรวนภายในบุคคล

ในการศึกษานี้ ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบความพึงพิงกันภายในทีมพบว่าค่า $ICC = 0.129$ ซึ่งสะท้อนว่าประมาณ ร้อยละ 12.9 ของความแปรปรวนรวมเกิดจากความแตกต่างระหว่างทีม ค่าดังกล่าวจัดอยู่ในระดับ ปานกลาง และบ่งชี้ว่าข้อมูลมีความพึงพิงภายในคลัสเตอร์ในระดับที่ควรนำมาพิจารณาในการเลือกโมเดลวิเคราะห์ เพื่อประเมินผลกระทบของโครงสร้างข้อมูลแบบทีม ผู้วิจัยคำนวณค่า DEFF ตามสมการ (2)

$$DEFF = 1 + (m - 1) \times ICC \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดย m แทน ขนาดกลุ่มเฉลี่ย

ICC แทน ค่าสหสัมพันธ์ภายในกลุ่ม

เมื่อค่า $DEFF > 1$

สะท้อนว่าการจัดกลุ่มส่งผลให้ค่าประมาณจากโมเดลทั่วไปมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น จึงมีเหตุผลรองรับการใช้ LMM เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประมาณค่าสถิติ อย่างไรก็ตามก็ดีเนื่องจากจำนวนคลัสเตอร์มีเพียง 6 ทีม ช่วงความเชื่อมั่นของค่า ICC อาจมีความไม่แน่นอน ผู้วิจัยจึงตีความผลร่วมกับตัวชี้วัดอื่น เพื่อให้การสรุปผลมีความรอบคอบและสอดคล้องกับข้อจำกัดเชิงโครงสร้างของข้อมูล จึงมีเหตุผลรองรับแบบจำลองเชิงเส้นผสมถูกนำมาใช้เพื่อตอบ วัตถุประสงค์ข้อที่ 4 ซึ่งมุ่งตรวจสอบ บทบาทของบริบททีมและกลไกสนับสนุนต่อผลลัพธ์การเรียนรู้ LMM สามารถจำแนกอิทธิพลระดับบุคคล และอิทธิพลระดับทีมได้อย่างเหมาะสมตามโครงสร้างข้อมูลแบบคลัสเตอร์ ทำให้การวิเคราะห์สะท้อนความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างกลยุทธ์การจัดการชั้นเรียนและผลลัพธ์เชิงพฤติกรรม/ผลสัมฤทธิ์ได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์

4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 กรอบการจัดการเรียนรู้ การออกแบบการสอนยึดกรอบ I-MAP ผสานกับหลักการ Backward Design เพื่อสร้างการเรียนรู้ที่มีเป้าหมายชัดเจนและตรวจสอบได้ โดย I-MAP ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) Image การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และมองภาพรวมของปัญหา 2) Management การจัดการทรัพยากร กระบวนการ และทีมงาน 3) Apprenticeship การเรียนรู้จากการปฏิบัติจริงภายใต้การโค้ชและป้อนกลับ และ Project การดำเนินโครงการที่บูรณาการโจทย์จริงและมีคุณค่าทางสังคม ในการปฏิบัติกรอบ I-MAP ถูกเชื่อมโยงกับ Backward Design โดยผูกผลลัพธ์การเรียนรู้ของทั้งสองรายวิชาเข้ากับกิจกรรมและการประเมินผ่านรูปรีโทรโพร่งใส เพื่อให้เกิดความสอดคล้องระหว่างเป้าหมาย ผลลัพธ์ และการวัดผล ตลอดภาคการศึกษา มีการกำหนดวงจรการโค้ชและจุดตรวจความก้าวหน้า (milestones) อย่างต่อเนื่อง เพื่อส่งเสริมการสะท้อนผลและการปรับปรุงอย่างเป็นระบบ บทบาทผู้สอนจึงเปลี่ยนจาก “ผู้ถ่ายทอดความรู้” เป็น “ผู้อำนวยความสะดวก” (facilitator) ที่สนับสนุนการคิดเชิงลึกและการเรียนรู้ด้วยตนเองของผู้เรียน

4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการเรียนรู้ PBL

การดำเนินการเรียนรู้ถูกออกแบบภายใต้กรอบ PBL ผสานเข้ากับ I-MAP และ Backward Design เพื่อสร้างกิจกรรมที่ต่อเนื่อง เชื่อมโยงทฤษฎีสู่การปฏิบัติจริง กระบวนการเรียนรู้ประกอบด้วย 9 ขั้นตอน ดังนี้

1) กำหนดเป้าหมายการออกแบบ โดยบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นเข้ากับหลักวิศวกรรมและกายภาพบำบัดเพื่อสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่มีต้นทุนต่ำและเหมาะสมกับผู้ใช้จริง

2) วิเคราะห์ผู้ใช้และบริบทชีวิตจริงจากข้อมูลเด็กสมองพิการอายุ 3–5 ปี (GMFCS ระดับ 4) รวมทั้งข้อจำกัดด้านพื้นที่และรายได้ของครอบครัว

3) วิเคราะห์วัสดุและอุปกรณ์ โดยคำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพ ความเหมาะสมกับท้องถิ่น ความคุ้มค่าและความยั่งยืน

4.) คัดเลือกองค์ประกอบที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์ร่วมกับการพิจารณาสัมพันธภาพทางประสาทสัมผัส

5) พัฒนาแนวคิดด้านคุณลักษณะและฟังก์ชันของอุปกรณ์ เช่น ที่นั่งฝึกนั่ง รอกคู่ คานฝึกเดิน และพนักพิงฝึกยืน โดยผสานความรู้วิศวกรรมกับภูมิปัญญาท้องถิ่น

6) ประเมินต้นแบบครั้งแรกด้วย Usability Scale for Assistive Technology (USAT) ครอบคลุม 4 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญ 30 คน เพื่อสะท้อนข้อบกพร่องด้านโครงสร้างและการใช้งาน

7) วิเคราะห์ข้อบกพร่องของต้นแบบแรกทั้งด้านความปลอดภัย ความคงทน และความเหมาะสมกับบริบทจริง

8) ปรับแก้ด้วยหลักการ TRIZ และคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพัฒนาต้นแบบที่สองให้มีความยืดหยุ่น ปรับระดับได้ และตอบสนองต่อการใช้งานจริงมากขึ้น

9) ประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบที่สองด้วย GMFM-88 ตลอด 24 สัปดาห์ เพื่อตรวจสอบความ

เหมาะสม ความครอบคลุม และศักยภาพในการส่งเสริม
พัฒนาการกล้ามเนื้อใหญ่ของผู้ใช้

กระบวนการทั้ง 9 ขั้นไม่เพียงเชื่อมโยงทฤษฎี
กับการปฏิบัติ แต่ยังสร้างพื้นที่การเรียนรู้ที่เสริมทักษะ
การทำงานร่วมกัน การคิดวิเคราะห์ และการแก้ปัญหา
เชิงสร้างสรรค์ พร้อมเปิดโอกาสให้เกิดการถ่ายโอน
องค์ความรู้สู่การใช้จริงในชุมชน

4.3.4 ขั้นตอนที่ 4 การประเมินผลและการวิเคราะห์
ทางสถิติ การประเมินผลลัพธ์ครอบคลุมสี่มิติหลักเพื่อ
สะท้อนทั้งด้านความรู้เชิงทฤษฎีและทักษะเชิงปฏิบัติ ได้แก่

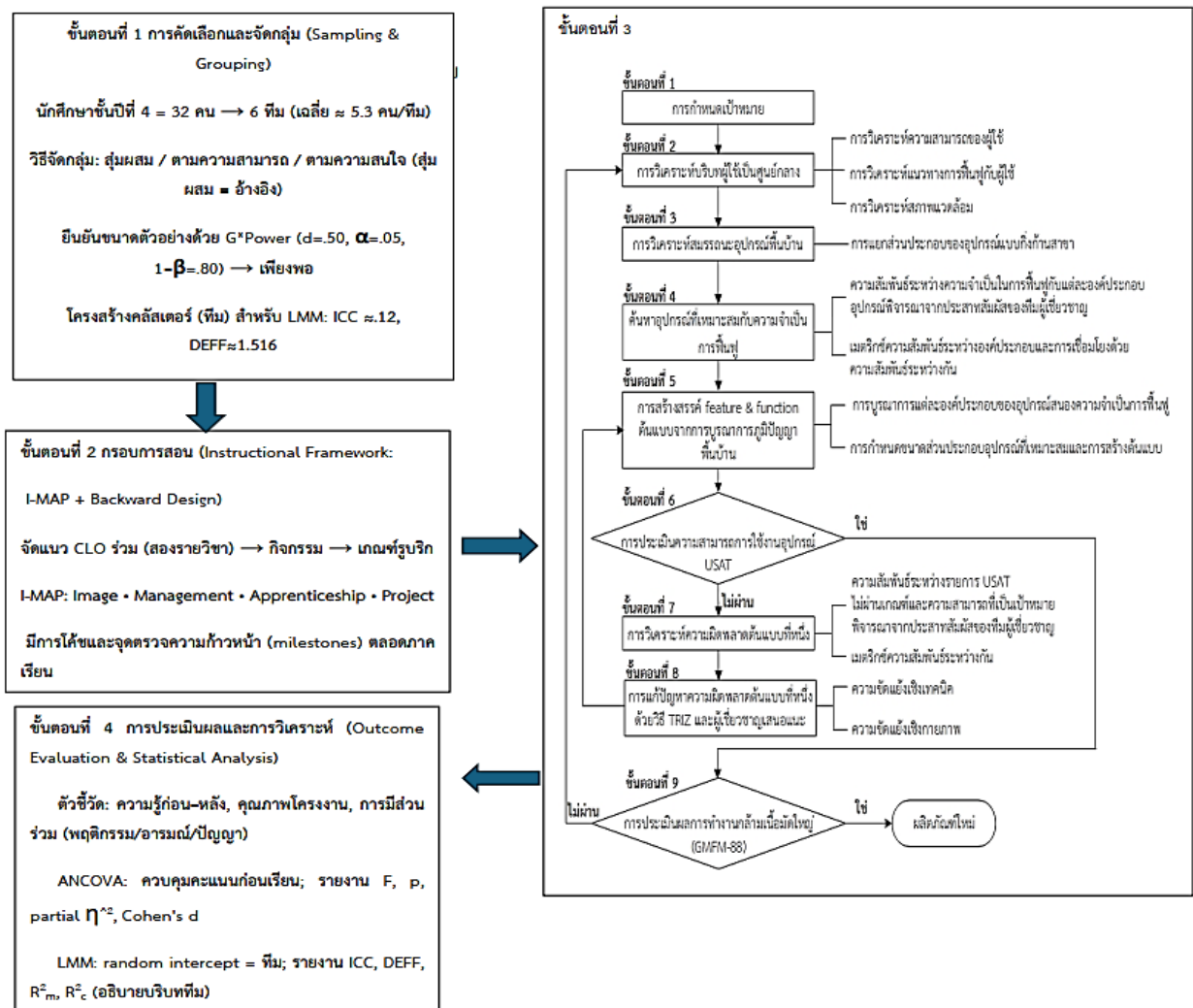
1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ก่อน-หลังเรียน
ใช้แบบทดสอบความรู้เชิงทฤษฎีเพื่อตรวจสอบการ
เปลี่ยนแปลงหลังการจัดกิจกรรม

2) คุณภาพโครงงาน ประเมินด้วยเกณฑ์
รูปริกหลายมิติที่เน้นความถูกต้องเชิงวิชาการ ความคิด
สร้างสรรค์ และความเชื่อมโยงกับโจทย์จริง

3) การมีส่วนร่วมของผู้เรียน ครอบคลุมมิติ
พฤติกรรม อารมณ์ และปัญญา เพื่อสะท้อนความ
กระตือรือร้นและคุณภาพการเรียนรู้เชิงลึก

4) ผลลัพธ์เชิงการทำงานของต้นแบบ
พิจารณาความสามารถในการตอบสนองผู้ใช้จริงและความ
เป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สองแนวทาง ได้แก่
การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) เพื่อควบคุม
คะแนนก่อนเรียนและเปรียบเทียบผลหลังเรียนอย่างเป็น
ธรรม และแบบจำลองเชิงเส้นผสม (LMM) เพื่อตรวจสอบผล
ในบริบทข้อมูลแบบทีม/คลัสเตอร์และสะท้อนอิทธิพลทั้ง
ระดับบุคคลและทีม ผลลัพธ์รายงานทั้งเชิงสถิติและเชิง
การศึกษาโดยอ้างอิงตัวชี้วัดหลากหลาย ได้แก่ ค่า F ค่า
p partial η^2 Cohen's d พร้อมช่วงความเชื่อมั่น 95%
รวมถึงค่า R^2m R^2c ICC และ DEFF เพื่อสะท้อนทั้งนัยสำคัญ
ทางสถิติและความหมายเชิงการศึกษา อันบ่งชี้ถึงคุณค่า
ที่แท้จริงของรูปแบบการเรียนรู้ต่อการพัฒนาผู้เรียนอย่าง
รอบด้าน



ภาพที่ 1 กระบวนการวิจัย I-MAP บูรณาการ PBL และการวิเคราะห์เชิงสถิติ

4.4 เครื่องมือวิจัยและคุณภาพเครื่องมือ

4.4.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ ประกอบด้วยแบบทดสอบก่อน-หลังจำนวน 30 ข้อ ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถาม (IOC) $\geq .80$ ทุกข้อ และตรวจสอบความเชื่อมั่นภายในด้วยค่า KR-20 = 0.84 ซึ่งอยู่ในระดับความเที่ยงสูง

4.4.2 การมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ วัดด้วยแบบสอบถาม Engagement ตามแนวทาง [18] ร่วมกับแบบสังเกตพฤติกรรม ซึ่งผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิเช่นเดียวกัน เพื่อให้ครอบคลุมองค์ประกอบด้านการมีส่วนร่วมทั้งพฤติกรรม ความคิด และแรงจูงใจ

4.4.3 คุณภาพโครงการ ประเมินด้วยรูบริก 5 มิติ

ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน และตรวจสอบความสอดคล้องของผู้ประเมิน โดยใช้ค่าสถิติ Cohen's Kappa = 0.86 ซึ่งอยู่ในระดับสอดคล้องสูง

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล มีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 ตัวแปรและสัญลักษณ์ ประกอบด้วย

1) กำหนดให้ $i = 1, \dots, n$ แทน ดัชนีผู้เรียน โดย $n = 32$ และ $j = 1, \dots, k$ แทน ดัชนีกลุ่ม โดย $k = 6$ และ ขนาดเฉลี่ยต่อกลุ่ม $m \approx 5.3$ กำหนดให้ y_{ij} แทน ค่าผลลัพธ์ของผู้เรียนคนที่ i ในกลุ่ม j ซึ่งวิเคราะห์แยกตามตัวชี้วัด ได้แก่ (1) คะแนนความรู้เชิงทฤษฎี (2) คุณภาพโครงการ และ (3) มิติ 3 การมีส่วนร่วม (พฤติกรรม อารมณ์ ปัญญา)

2) กำหนด PRE_{ij} เป็นคะแนนก่อนเรียนที่ใช้เป็นตัวแปรควบคุมใน ANCOVA กำหนดตัวแปรจำลองสำหรับวิธีจัดกลุ่มสองตัวคือ

A_{ij} แทน ตัวแปรจำลองของกลุ่มตามความสามารถโดย ใช้ = 1, ไม่ใช่ = 0

I_{ij} แทน ตัวแปรจำลองของกลุ่มตามความสนใจโดย ใช้ = 1, ไม่ใช่ = 0

กลุ่มอ้างอิง แทน “กลุ่มผู้ผสม” จึงมี $A_{ij} = 0, I_{ij} = 0$

3) กำหนดสัญลักษณ์สัมประสิทธิ์ $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ แทน สัมประสิทธิ์ในสมการ ANCOVA ก่อนวิเคราะห์ ได้ตรวจสอบสมมติฐานความชันของเส้นถดถอยเท่ากันระหว่างกลุ่ม (Homogeneity of Regression Slopes) และ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ช่วยให้การใช้ ANCOVA มีความถูกต้องตามข้อกำหนดของโมเดล และ $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ แทน สัมประสิทธิ์ในสมการ สำหรับแบบจำลองเชิงเส้นผสม (LMM)

4) กำหนดส่วนเบี่ยงเบนระดับกลุ่ม $b_{0j} \sim N(0, \tau^2)$ แทน random intercept ของกลุ่ม j โดย τ^2 แทน ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ แทน ค่าความคลื่อนระดับบุคคล โดย σ^2 แทน ความแปรปรวนภายในบุคคล R_m^2, R_c^2 แทน สัดส่วนความแปรปรวนที่อธิบายได้โดยปัจจัย fixed เท่านั้น และรวมทั้งปัจจัยของ fixed และ random [16]

ตัวชี้วัดขนาดอิทธิพลและความไม่แน่นอนประกอบด้วย n_p^2 , Cohen's d , ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยประมาณ ของ d และช่วงความเชื่อมั่น 95% [12,13]

4.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

การควบคุมคะแนนก่อนเรียนด้วย PRE_{ij} และทดสอบความแตกต่างระหว่างวิธีจัดกลุ่ม โดยรายงาน $F(2,28)$ ค่า n_p^2 และขนาดอิทธิพลแบบจับคู่ด้วย d พร้อมช่วงความเชื่อมั่น 95% ซึ่งแบบจำลองมีดังนี้

$$y_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 PRE_{ij} + \alpha_2 A_{ij} + \alpha_3 I_{ij} + \varepsilon_{ij} \dots (3)$$

นิยามตัวแปรตรงตามข้อ 3.5.1 กลุ่มอ้างอิงคือ “ผู้ผสม” และ $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

โดย y_{ij} แทน ค่าผลลัพธ์ของผู้เรียนคนที่ i ในกลุ่ม j (วิเคราะห์แยกตามตัวชี้วัด)

PRE_{ij} แทน คะแนนก่อนเรียนของคนที่

i ในกลุ่ม j

$A_{ij} = 1$ ถ้าอยู่ “กลุ่มตามความสามารถ” มิฉะนั้น = 0

$I_{ij} = 1$ ถ้าอยู่ “กลุ่มตามความสนใจ” มิฉะนั้น = 0

กลุ่มอ้างอิง คือ “ผู้ผสม” $A_{ij} = 0, I_{ij} = 0$
 $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

ขนาดอิทธิพล (Effect Size)

$$\eta_p^2 = \frac{SS_{\text{effect}}}{SS_{\text{effect}} + SS_{\text{error}}} \dots (4)$$

สำหรับการเปรียบเทียบเป็นคู่

$$d = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{S_{\text{pooled}}} \dots (5)$$

$$S_{\text{pooled}} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \dots (6)$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยประมาณของ d :

$$SE(d) \approx \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} + \frac{d^2}{2(n_1 + n_2 - 2)}} \dots (7)$$

ช่วงเชื่อมั่น 95%

$$d \pm 1.9 SE(d) \dots (8)$$

แนวทางการตีความค่า d ยึดตาม Cohen เล็ก 0.20 ปานกลาง 0.50 และใหญ่ 0.80 [12] และแนวทางการรายงานเพื่อเอื้อต่อการสะสม [13]

4.5.3 แบบจำลองเชิงผสม (Linear Mixed Model: LMM) มีดังนี้

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 A_{ij} + \beta_2 I_{ij} + b_{0j} + \varepsilon_{ij}, \dots (9)$$

โดย $b_{0j} \sim N(0, \tau^2)$ และ $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

ในงานวิจัยนี้มีการใช้ *LMM* เพื่อสะท้อนทั้งความแปรปรวนจากตัวแปรเชิงตรึง (Fixed Effects) และตัวแปรสุ่ม (Random Effects) เสนอสูตรการคำนวณ R^2 สองค่า R^2_m (marginal R^2) วัดสัดส่วนความแปรปรวนที่อธิบายได้จากตัวแปร fixed เพียงอย่างเดียว และ R^2_c (conditional R^2) วัดสัดส่วนความแปรปรวนที่อธิบายได้ทั้งจากตัวแปร fixed และ random รวมกัน เขียนสมการได้ว่า

$$R^2_m = \frac{V_{\text{fixed}}}{V_{\text{fixed}} + V_{\text{rand}} + V_{\varepsilon}} \dots\dots\dots(10)$$

$$R^2_c = \frac{V_{\text{fixed}} + V_{\text{rand}}}{V_{\text{fixed}} + V_{\text{rand}} + V_{\varepsilon}} \dots\dots\dots(11)$$

โดย V_{fixed} แทน ความแปรปรวนที่อธิบายด้วยตัวแปร fixed
 V_{rand} แทน ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม
 V_{ε} แทน ความแปรปรวนระดับบุคคล
 คุณสมบัติทั่วไป $0 \leq R^2_m \leq R^2_c \leq 1$
 R^2_c สูงกว่า R^2_m อย่างชัดเจน หมายถึงโครงสร้างกลุ่มหรือบริบทมีบทบาทสำคัญต่อผลลัพธ์การเรียนรู้

5. ผลการวิจัย

ผลการทดลองเชิงสถิติจากการวิจัยการเรียนรู้แบบ PBL ภายใต้กรอบ I-MAP แสดงไว้ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการทดลองเชิงสถิติจากการวิจัยการเรียนรู้แบบ PBL ภายใต้กรอบ I-MAP

ตัวชี้วัด (Outcome)	กลุ่มสุ่ม (Mean±SD)	กลุ่มตาม ความสามารถ (Mean±SD)	กลุ่มตาม ความสนใจ (Mean±SD)	F(2,28)	p	η_p^2	R^2_m	R^2_c	Cohen's d [95% CI]
คะแนนทดสอบความรู้ (หลังเรียน)	76.5 ± 6.2	80.1 ± 5.5	83.9 ± 5.0	2.45	0.105	0.149	0.08	0.15	1.32 [0.38, 2.27]
คะแนนคุณภาพโครงการ	82.3 ± 5.1	85.6 ± 4.8	88.4 ± 4.2	2.65	0.085	0.159	0.1	0.25	1.31 [0.37, 2.26]
การมีส่วนร่วม เชิงพฤติกรรม (1-5)	3.8 ± 0.4	4.1 ± 0.3	4.3 ± 0.3	4.5	0.020*	0.243	0.25	0.5	1.42 [0.47, 2.38]
การมีส่วนร่วม เชิงอารมณ์ (1-5)	3.7 ± 0.5	4.0 ± 0.4	4.2 ± 0.3	0.5	0.611	0.034	0.03	0.06	1.23 [0.30, 2.16]
การมีส่วนร่วม เชิงปัญญา (1-5)	3.6 ± 0.4	3.9 ± 0.4	4.1 ± 0.3	3.52	0.043*	0.201	0.15	0.4	1.42 [0.47, 2.38]

จากตารางที่ 2 การวิเคราะห์ผลการทดลองครอบคลุมห้าด้าน ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ คุณภาพโครงการ การมีส่วนร่วมเชิงพฤติกรรม อารมณ์ และปัญญาโดยเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มสุ่ม กลุ่มตามความสามารถ และกลุ่มตามความสนใจ

5.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามรูปแบบการจัดกลุ่ม โดยกลุ่มสุ่มผสมมีค่าเฉลี่ย 76.5 (±6.2) กลุ่มตามความสามารถ 80.1 (±5.5) และกลุ่มตามความสนใจสูงที่สุดที่ 83.9 (±5.0) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มสุ่มผสม กลุ่มตามความสามารถสูงกว่าร้อยละ 4.71 และกลุ่มตามความสนใจ

สูงกว่าร้อยละ 9.67 ขณะที่ความแตกต่างระหว่างกลุ่มตามความสนใจกับกลุ่มตามความสามารถอยู่ที่ร้อยละ 4.74 ความเสถียรของผลลัพธ์สะท้อนผ่านค่า CV ที่ลดลงอย่างชัดเจน ได้แก่ ร้อยละ 8.10 ในกลุ่มสุ่มผสม ร้อยละ 6.86 ในกลุ่มตามความสามารถ และลดลงเหลือเพียงร้อยละ 5.96 ในกลุ่มตามความสนใจ ซึ่งบ่งชี้ว่าองค์ประกอบด้านแรงจูงใจและการเลือกงานตามความสนใจช่วยลดความแปรปรวนภายในกลุ่มได้อย่างมีนัยสำคัญในเชิงปฏิบัติ ผลการวิเคราะห์ ANCOVA แสดงค่า $F(2, 28) = 2.45$, $p = 0.105$ แม้ค่า p จะไม่ถึงระดับนัยสำคัญ แต่ค่า Effect Size กลับอยู่ในระดับค่อนข้างใหญ่ แต่ค่า $\eta_p^2 = 0.149$

จัดอยู่ในระดับค่อนข้างใหญ่ และค่า Cohen's d ระหว่างกลุ่มตามความสนใจกับกลุ่มสุ่มมีค่า 1.32 (95% CI: 0.38–2.27) จัดเป็นผลกระทบเชิงปฏิบัติ “ขนาดใหญ่มาก” ความไม่สอดคล้องระหว่าง p-value และ Effect Size สอดคล้องกับข้อจำกัดเชิงสถิติที่เกิดจาก (1) ขนาดตัวอย่างต่อกลุ่มน้อย ($\approx 10-11$ คน), (2) ความแปรปรวนภายในสูง และ (3) โครงสร้างข้อมูลแบบคลัสเตอร์ ซึ่งส่งผลให้พลังจำแนกของ ANCOVA ลดลง แม้ผลลัพธ์มีความหมายเชิงการศึกษาอย่างเด่นชัด

5.2 ผลคุณภาพโครงการ คะแนนคุณภาพโครงการมีแนวโน้มสูงขึ้นต่อเนื่อง โดยกลุ่มสุ่มได้ 82.3 (± 5.1) กลุ่มตามความสามารถได้ 85.6 (± 4.8) และกลุ่มตามความสนใจสูงสุด 88.4 (± 4.2) เมื่อเทียบกับกลุ่มสุ่ม กลุ่มตามความสามารถสูงกว่าร้อยละ 4.01 และกลุ่มตามความสนใจสูงกว่าร้อยละ 7.41 ความสม่ำเสมอของผลงานดีขึ้นชัดเจน ค่า CV ลดจากร้อยละ 6.20 ในกลุ่มสุ่ม เหลือร้อยละ 5.61 ในกลุ่มตามความสามารถ และร้อยละ 4.75 ในกลุ่มตามความสนใจ ผลการทดสอบด้วย ANCOVA ให้ค่า $F(2,28) = 2.65$, $p = 0.085$ แม้ไม่ผ่านเกณฑ์นัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มที่ชัดเจน โดยค่า $\eta^2 = 0.159$ อยู่ในระดับกลางค่อนข้างสูง และค่า Cohen's d ระหว่างกลุ่มสนใจกับสุ่มมีค่า 1.31 (95% CI: 0.37–2.26) สะท้อนอิทธิพลเชิงปฏิบัติที่ใหญ่มาก การวิเคราะห์ด้วยโมเดลเชิงผสมพบว่า ค่า $R^2_m = 0.10$ อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 10 และเมื่อรวมปัจจัยเสริม เช่น ผู้สอนร่วม การติดตามความก้าวหน้า และการเข้าถึงผู้ใช้จริง ค่า R^2_c เพิ่มขึ้นเป็น 0.25 หรือร้อยละ 25

5.3 ผลการมีส่วนร่วมเชิงพฤติกรรม ค่าเฉลี่ยการมีส่วนร่วมเชิงพฤติกรรมเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยกลุ่มสุ่มได้ 3.8 (± 0.4) กลุ่มตามความสามารถได้ 4.1 (± 0.3) และกลุ่มตามความสนใจสูงสุด 4.3 (± 0.3) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มสุ่ม กลุ่มตามความสามารถสูงกว่าร้อยละ 7.89 และกลุ่มตามความสนใจสูงกว่าร้อยละ 13.16 การทดสอบด้วย ANCOVA ให้ค่า $F(2,28) = 4.50$, $p = 0.020$ พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ โดยค่า $\eta^2 = 0.243$ อยู่ในระดับใหญ่ และ

ค่า Cohen's d ระหว่างกลุ่มสนใจกับกลุ่มสุ่มเท่ากับ 1.42 (95% CI: 0.47–2.38) สะท้อนผลเชิงปฏิบัติที่มีอิทธิพลสูงมาก ผลจากโมเดลเชิงผสมให้ค่า $R^2_m = 0.25$ และ $R^2_c = 0.50$

5.4 ผลการมีส่วนร่วมเชิงอารมณ์ ค่าเฉลี่ยการมีส่วนร่วมเชิงอารมณ์เพิ่มจาก 3.7 (± 0.5) ในกลุ่มสุ่มเป็น 4.0 (± 0.4) ในกลุ่มตามความสามารถ และ 4.2 (± 0.3) ในกลุ่มตามความสนใจ การทดสอบด้วย ANCOVA ให้ค่า $F(2,28) = 0.50$, $p = 0.611$ ไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ โดยค่า $\eta^2 = 0.034$ อยู่ในระดับเล็ก ขณะที่ค่า Cohen's d ระหว่างกลุ่มสนใจกับกลุ่มสุ่มมีค่า 1.23 (95% CI: 0.30–2.16) สะท้อนแนวโน้มอิทธิพลเชิงปฏิบัติที่ค่อนข้างใหญ่ แม้ช่วงความเชื่อมั่นกว้าง ผลการวิเคราะห์ด้วยโมเดลเชิงผสมให้ค่า $R^2_m = 0.03$ และ $R^2_c = 0.06$

5.5 ผลการมีส่วนร่วมเชิงปัญญา ค่าเฉลี่ยการมีส่วนร่วมเชิงปัญญาเพิ่มจาก 3.6 (± 0.4) ในกลุ่มสุ่ม เป็น 3.9 (± 0.4) ในกลุ่มตามความสามารถ และสูงสุดที่ 4.1 (± 0.3) ในกลุ่มตามความสนใจ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มสุ่ม กลุ่มตามความสามารถสูงกว่าร้อยละ 8.33 และกลุ่มตามความสนใจสูงกว่าร้อยละ 13.89 การทดสอบด้วย ANCOVA ให้ค่า $F(2,28) = 3.52$, $p = 0.043$ พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ โดยค่า $\eta^2 = 0.201$ จัดอยู่ในระดับใหญ่ และค่า Cohen's d ระหว่างกลุ่มสนใจกับกลุ่มสุ่มเท่ากับ 1.42 (95% CI: 0.47–2.38) สะท้อนผลเชิงปฏิบัติที่มีอิทธิพลสูงมาก

การวิเคราะห์ด้วยโมเดลเชิงผสมให้ค่า $R^2_m = 0.15$ และ $R^2_c = 0.40$ ซึ่งสะท้อนว่าตัวแปรการจัดกลุ่มเพียงอย่างเดียวสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 15 ขณะที่เมื่อรวมทั้งอิทธิพลของตัวแปรสุ่มและปัจจัยบริบทที่เข้ามาด้วยกัน ความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 แสดงถึงบทบาทเชิงบริบทที่สำคัญของโครงสร้างที่ต่อการมีส่วนร่วมเชิงปัญญา

5.6 ผลการวิเคราะห์ด้วยโมเดลเชิงเส้นผสม การวิเคราะห์ด้วยโมเดลเชิงเส้นผสม ซึ่งพิจารณาความพึงพอใจในกลุ่มและความแปรปรวนระหว่างทีม พบว่า ค่า $R^2_m = 0.08$ สามารถ

อธิบายความแปรปรวนของผลลัพธ์ได้ ร้อยละ 8 จากปัจจัยเชิงตรึง ได้แก่ วิธีการจัดทีมและคะแนนก่อนเรียน

เมื่อเพิ่มปัจจัยระดับบริบท และตัวแปรสุ่มแบบ team-level ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า R^2_c เพิ่มขึ้นเป็น 0.15 หรือ ร้อยละ 15 ของความแปรปรวนรวม ซึ่งหมายความว่าความผันแปรที่ไม่สามารถอธิบายได้จากปัจจัยรายบุคคลเพียงอย่างเดียว ได้รับการอธิบายเพิ่มเติมจาก คุณลักษณะของทีมและกลไกสนับสนุนในการเรียนรู้

ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ระดับทีม (team-level mechanism) มีบทบาทสำคัญต่อผลลัพธ์ของผู้เรียน ประกอบด้วยประเด็นสำคัญดังนี้

1) ผลของโครงสร้างทีมต่อความก้าวหน้าของผู้เรียน ทีมที่จัดตามความสนใจและตามความสามารถมีแนวโน้มแบ่งบทบาท ทำงานอย่างเป็นระบบ และแลกเปลี่ยนข้อมูลอย่างมีคุณภาพมากกว่ากลุ่มสุ่ม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันสูงขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ LMM จับสัญญาณได้ แต่ ANCOVA แบบดั้งเดิมไม่สามารถตรวจพบได้อย่างชัดเจน

2) บทบาทของ Coaching Loop และ Milestone Review การโค้ชรายทีม และการตรวจความคืบหน้าเป็นช่วงทำให้ผู้เรียนได้รับ feedback เชิงลึกต่อกระบวนการออกแบบและการตัดสินใจ ซึ่งเป็นกลไกที่เพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้เชิงระบบและสะท้อนผ่านค่า R^2_c ที่สูงขึ้น

3) Team Cohesion และแรงจูงใจร่วม ลักษณะทีมที่เกิดจากความสนใจร่วม หรือความสามารถใกล้เคียงกัน ส่งผลให้เกิดแรงจูงใจภายในสูงขึ้น ลดความขัดแย้งด้านบทบาท และช่วยเพิ่มคุณภาพของการสร้างสรรค์งาน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สอดคล้องกับแนวคิด Apprenticeship และ Project ในกรอบ I-MAP 4) การสะท้อนภาพรวมของระบบการเรียนรู้แบบ I-MAP ผลของ LMM สะท้อนให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเฉพาะระดับบุคคล แต่ผูกพันอยู่กับกลไกระดับทีมซึ่งเป็นหัวใจของ I-MAP ได้แก่ 1) I (Image): การมีภาพเป้าหมายร่วมช่วยให้ทีมทำงานได้มีทิศทาง 2) M (Management): การวางแผน แบ่งบทบาท และกำกับกระบวนการร่วมกัน 3) A (Apprenticeship): การเรียนรู้ผ่าน

การลงมือทำและแลกเปลี่ยนประสบการณ์ภายในทีม 4) P (Project): การสร้างชิ้นงานร่วมที่ต้องอาศัยความรับผิดชอบร่วมกัน

5. การอภิปรายผลและสรุป

5.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ที่จัดกลุ่มตามความสนใจ มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงสุด $83.9 (\pm 5.0)$ รองลงมาคือกลุ่มตามความสามารถ $80.1 (\pm 5.5)$ และกลุ่มสุ่ม $76.5 (\pm 6.2)$ ลำดับดังกล่าวสะท้อนว่า “วิธีการจัดกลุ่ม” มิใช่เพียงโครงสร้างการแบ่งกลุ่มเชิงบริหาร แต่เป็น “กลไกการเรียนรู้เชิงเหตุผล” ที่มีผลจริงต่อคุณภาพผลลัพธ์ โดยคะแนนของกลุ่มตามความสนใจสูงกว่ากลุ่มสุ่มถึงร้อยละ 9.67 แสดงหลักฐานเชิงประจักษ์ว่าความสอดคล้องกับความสนใจเป็นตัวเร่งแรงจูงใจภายใน (intrinsic motivation) ซึ่งมีผลต่อผลลัพธ์อย่างเด่นชัด แม้ผลทางสถิติ $F(2,28) = 2.45, p = 0.105$ ยังไม่ผ่านเกณฑ์นัยสำคัญ แต่ค่า $\text{partial } \eta^2 = 0.149$ จัดอยู่ในระดับค่อนข้างใหญ่ และค่า Cohen's $d = 1.32$ (95% CI: 0.38–2.27) จัดอยู่ในระดับ “สูงมาก” [12,13] ซึ่งแสดงความสำคัญของการตีความแบบสหวิธี คือ ต้องอาศัยทั้ง p-value และ effect size เพื่อให้สะท้อนคุณค่าทางการศึกษาอย่างครบมิติ [14] ความไม่สอดคล้องระหว่างค่า p กับ Effect Size ในงานวิจัยนี้ยังอาจสะท้อนข้อจำกัดด้านขนาดตัวอย่างเมื่อแบ่งเป็นหลายคลัสเตอร์ (underpowered) ตามที่ Mills & Treagust [5] และ Lakens [13] ระบุว่ากลุ่มย่อยขนาดเล็กอาจทำให้ผลแบบดั้งเดิมไม่ชัดเจนแม้ผลเชิงปฏิบัติสูง กลไกเชิงเหตุผลที่อธิบายผลนี้คือ องค์ประกอบของกรอบ I-MAP โดยเฉพาะ Image (การมีภาพเป้าหมายร่วม) และ Apprenticeship (การเรียนรู้ผ่านปฏิบัติจริง) ในการออกแบบโครงการที่สอดคล้องกับความสนใจของผู้เรียน ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนตามแนวคิดคอนสตรัคติวิสต์ [8,16] และ Self-Determination Theory [17] ซึ่งส่งผลให้เกิดผลสัมฤทธิ์สูงขึ้นอย่างมีระบบ ผลนี้ยังสอดคล้องกับงานของ Strobel & van Bameveld [7] และ Freeman et al. [2] ที่ยืนยันว่า PBL สร้างผลลัพธ์ที่มีความหมายแม้ผลสถิติแบบดั้งเดิมไม่เด่นชัด และสอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ที่ใช้บริบทจริงของ Prince & Felder [6]

5.2 ผลคุณภาพของโครงการ ผลของคุณภาพโครงการพบแนวโน้มสอดคล้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยกลุ่มตามความสนใจมีคะแนนสูงสุด 88.4 (± 4.2) รองลงมาคือกลุ่มตามความสามารถ 85.6 (± 4.8) และกลุ่มสุ่ม 82.3 (± 5.1) ความแตกต่างนี้แสดงให้เห็นว่า “ความสอดคล้องกับความสนใจ” ไม่เพียงเพิ่มคะแนนบทเรียน แต่ส่งผลต่อ “คุณภาพของผลงาน” ที่ต้องใช้ทักษะการคิดวิเคราะห์และการออกแบบร่วมด้วย แม้ค่า $F(2,28) = 2.65, p = 0.085$ ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ แต่ค่า $\text{partial } \eta^2 = 0.159$ และค่า Cohen's $d = 1.31$ (95% CI: 0.37–2.26) แสดงระดับอิทธิพลที่สูงมาก [12,13] ซึ่งสะท้อนว่าประโยชน์เชิงการศึกษาที่มีความสำคัญ แม้ผลสถิติแบบดั้งเดิมยังไม่ชัดเจน กลไกที่อธิบายผลนี้คือการทำงานร่วมกันขององค์ประกอบ Management และ Project ใน I-MAP ซึ่งเสริมความรับผิดชอบร่วม (collective ownership) การแบ่งบทบาทที่ชัดเจน (role distribution) และการปรับแก้ชิ้นงานตาม feedback ใน Coaching Loop ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับ SDT [17], Bell [3], Kokotsaki et al. [4] และกรอบ CDIO ของ Prince & Felder [6] ที่ชี้ว่าการปฏิบัติจริงช่วยสร้างความเข้าใจลึกและผลงานคุณภาพสูง

5.3 ผลการมีส่วนร่วมเชิงพฤติกรรม ผลการมีส่วนร่วมเชิงพฤติกรรมพบว่ากลุ่มตามความสนใจสูงสุด 4.3 (± 0.3) รองลงมาคือกลุ่มตามความสามารถ 4.1 (± 0.3) และกลุ่มสุ่ม 3.8 (± 0.4) ค่า $F(2,28) = 4.50, p = 0.020$ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า $\text{partial } \eta^2 = 0.243$ และ Cohen's $d = 1.42$ (95% CI: 0.47–2.38) จัดอยู่ในระดับอิทธิพลสูงมาก [12, 13] ผลนี้อธิบายผ่านกลไกของ SDT [17] ว่า “autonomy ร่วมกับ relatedness” เป็นตัวผลักดันการมีส่วนร่วม และสอดคล้องกับงานวิจัยด้าน active learning ของ Freeman et al. [2] ที่ยืนยันว่า PBL เพิ่มการมีส่วนร่วมจริงจังและลดการไม่เข้าเรียน องค์ประกอบของ I-MAP ที่สัมพันธ์โดยตรงคือ Management และ Coaching Loop ซึ่งทำให้ผู้เรียนรับ feedback ต่อเนื่อง เกิด sense of progress และความรับผิดชอบร่วม

5.4 ผลการมีส่วนร่วมเชิงอารมณ์ กลุ่มตามความสนใจมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 4.2 (± 0.3) รองลงมาคือกลุ่มตามความสามารถ 4.0 (± 0.4) และกลุ่มสุ่ม 3.7 (± 0.5) แต่ค่า $F(2,28) = 0.50, p = 0.611$ ยังไม่พบความแตกต่าง โดยค่า $\text{partial } \eta^2 = 0.034$ แม้อยู่ต่ำ แต่ค่า Cohen's $d = 1.23$ (95% CI: 0.30–2.16) แสดงแนวโน้มอิทธิพลเชิงปฏิบัติที่ใหญ่ [12, 13] ความไม่สอดคล้องระหว่างค่า p และ Effect Size อาจเกิดจาก Ceiling Effect ซึ่งสอดคล้องกับ Skinner et al. [18] ที่ชี้ว่า Emotional Engagement มักสูงอยู่แล้วใน PBL และดัชนีเฉลี่ยรวมอาจไม่ไวพอ การตีความจึงต้องอาศัย Effect Size ร่วมกับคุณภาพข้อมูลเชิงคุณภาพ สูตรการตีความแบบสหวิธีช่วยลดอคติจาก Underpowered ANCOVA

5.5 ผลการมีส่วนร่วมเชิงปัญญา กลุ่มตามความสนใจมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 4.1 (± 0.3) รองลงมาคือกลุ่มตามความสามารถ 3.9 (± 0.4) และกลุ่มสุ่ม 3.6 (± 0.4) ค่า $F(2,28) = 3.52, p = 0.043$ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ค่า $\text{Partial } \eta^2 = 0.201$ และค่า Cohen's $d = 1.42$ (95% CI: 0.47–2.38) อยู่ในระดับสูงมาก [12, 13]

กลไกสำคัญคือการที่ผู้เรียนทำโครงการที่ตรงกับความสนใจ ทำให้เกิด “Deep Cognitive Engagement” เช่น การคิดวิเคราะห์ ตั้งคำถาม และเชื่อมโยงความรู้ ซึ่งสอดคล้องกับคอนสตรัคติวิสต์ของ Piaget [19] และ Vygotsky [20] องค์ประกอบใน I-MAP ที่อธิบายผลนี้ได้ดีที่สุดคือ Image และ Apprenticeship ซึ่งมุ่งให้ผู้เรียนสร้างความหมายผ่านโจทย์จริงและปฏิสัมพันธ์ทางสังคม

5.6 การสนับสนุนของโมเดลเชิงผสม (LMM) และกลไกระดับทีม ผล LMM แสดงค่า $R^2_m = 0.08$ แต่ R^2_c เพิ่มขึ้นเป็น 0.15 ซึ่งชี้ชัดว่าปัจจัยระดับทีมมีบทบาทสำคัญต่อผลลัพธ์การเรียนรู้ การเพิ่มขึ้นของ R^2_c แสดงให้เห็นว่าปัจจัย เช่น Peer Feedback, Shared Goal, Role distribution, interaction quality และ Coaching Loop ของ I-MAP ส่งผลต่อการพัฒนาผู้เรียนอย่างมีระบบ ผลเชิงคุณภาพสนับสนุนกลไกเหล่านี้ เช่น ผู้เรียนระบุว่า “ได้แรงจูงใจมากขึ้นเพราะงานช่วยเด็กจริง”

“การแบ่งหน้าที่ชัดเจนทำให้งานเสร็จเร็วและคุณภาพดีขึ้น”
 “feedback จากเพื่อนช่วยให้แก้แบบได้ตรงจุด” หลักฐาน
 คุณภาพเหล่านี้สอดคล้องกับ Variance ที่ LMM จับได้ และ
 ช่วยเปิดเผย “Mechanism of Change” ตามกรอบ I-MAP
 อย่างชัดเจน

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Deslauriers, L. and et al. 2019. "Measuring actual learning vs. feeling of learning in response to active learning," *PNAS*, 116(39): pp. 19251–19257.
- [2] Freeman, S. and et al. 2014. "Active learning increases student performance in STEM," *PNAS*, 111(23): pp. 8410–8415.
- [3] Bell, S. 2010. "Project-based learning for the 21st century: Skills for the future," *The Clearing House*, 83(2): pp. 39–43.
- [4] Kokotsaki, D., Menzies, V. and Wiggins, A. 2016. "Project-based learning: A review of the literature," *Improving Schools*, 19(3): pp. 267–277.
- [5] World Economic Forum. 2020. *The Future of Jobs Report 2020*. Geneva: WEF.
- [6] Prince, M. J. and Felder, R. M. 2006. "Inductive teaching and learning: Definitions, comparisons, and research bases," *Journal of Engineering Education*, 95(2): pp. 123–138.
- [7] Strobel, J. and van Barneveld, A. 2009. "When is PBL more effective? A meta-synthesis of meta-analyses," *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 3(1).
- [8] Hmelo-Silver, C. E. 2004. "Problem-based learning: What and how do students learn?" *Educational Psychology Review*, 16(3): pp. 235–266.
- [9] Wannarit, L. O. and Ritudom, K. 2024. "Psychometric properties of the Thai Qualifications Framework for Higher Education instrument among Royal Thai Air Force nurse stakeholders," *Belitung Nursing Journal*, 10(2): pp. 176–187.
- [10] Coyle, E. J., Jamieson, L. H. and Oakes, W. C. 2005. "EPICS: Engineering Projects in Community Service," *International Journal of Engineering Education*, 21(1): pp. 139–150.
- [11] Weerapong, P. and Numnaphol, U. 2018. "Upgrading Thai folk-designed rehabilitative devices for children with cerebral palsy: A systematic approach," *Engineering Journal*, 22(6): pp. 207–228.
- [12] Cohen, J. 1988. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [13] Lakens, D. 2013. "Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs," *Frontiers in Psychology*, 4: pp. 863.
- [14] Nakagawa, S. and Schielzeth, H. 2013. "A general and simple method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models," *Methods in Ecology and Evolution*, 4(2): pp. 133–142.
- [15] Kamnamung, M. 1999. *Fundamental technology practice*. Phuket: Department of Industrial Arts, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat Institute. (in Thai)
- [16] Savery, J. R. 2006. "Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions," *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1): pp. 9–20.

- [17] Ryan, R. M. and Deci, E. L. 2000. "Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being," *American Psychologist*, 55(1): pp. 68–78.
- [18] Skinner, E. A. and et al. 2008. "Engagement and disaffection in the classroom," *Journal of Educational Psychology*, 100(4): pp. 765–781.
- [19] Piaget, J. 1970. *Science of education and the psychology of the child*. New York: Orion Press.
- [20] Vygotsky, L. S. 1978. *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.