



The effects of problem-based learning activities integrated with the TPACK model on mathematical problem-solving skills related to the topic of ratio among Grade 6 students

Sirinya Phanthawong¹, Sarawut Saenkarun² and Weerayuth Nilsrakoo^{2,*}

¹*Mathematics Education, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

²*Department of Mathematics and Digital Technology, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

**Email: weerayuth.ni@ubu.ac.th*

Received <19 Apr. 2026>; Revised <17 Aug. 2026>; Accepted <20 Aug. 2026>

Abstract

This study aimed to (1) examine the development and retention of mathematical problem-solving skills through problem-based learning (PBL) integrated with the TPACK model, and (2) investigate student satisfaction with the instructional approach. A one-group pretest-posttest design with a retention test administered two weeks after instruction was employed. The target group consisted of 11 sixth-grade students. The instructional program comprised six lesson plans totaling 12 hours of learning on the topic of ratios, structured around a six-step PBL-TPACK framework. Research instruments included a mathematical problem-solving skills test (60 points maximum), validated by experts (IOC = 1.00; reliability = 0.90), and a five-point Likert-scale satisfaction questionnaire. Pseudonyms (G1–G11) were used in individual-level data reporting to protect participant confidentiality. Quantitative data were analyzed using descriptive statistics, the Wilcoxon Signed-Rank Test, and a comprehensive set of effect size measures, including Cohen's d_z , Hedges' g_{av} , and Normalized Change. The findings revealed that students demonstrated a statistically significant improvement in mathematical problem-solving skills at the .05 significance level, with mean scores rising from 13.27 (SD = 6.21) at pretest to 27.73 (SD = 12.02) at posttest ($Z = 2.934$, $p = .003$). The mean percentage of development was 24.09%, with a Normalized Change of 0.31. Effect sizes were large (Cohen's $d_z = 1.70$; Hedges' $g_{av} = 1.57$), indicating substantial practical significance despite the small sample size ($n = 11$). Regarding skill retention, the p-value exceeded the significance threshold; no statistically significant difference was found between posttest mean scores (27.73) and retention test mean scores administered two weeks later (29.09) ($Z = -1.019$, $p = .308$), suggesting a tendency toward short-term retention of learning gains over the two-week period. Furthermore, students reported the highest level of satisfaction with the PBL-TPACK instructional activities (overall mean = 4.52, SD = 0.44). These findings highlight the effectiveness of integrating PBL with the TPACK model in both developing and sustaining students' mathematical problem-solving skills, while also fostering a high degree of learner satisfaction within the Thai primary education context.

Keywords: Problem-based learning; TPACK model; Mathematical problem-solving skills; Retention

ผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK ที่มีต่อทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่องอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

สินิยา พันธวงศ์¹, ศราวุธ แสนการณ² และ วีรยุทธ นิลสระคู^{2*}

¹สาขาคณิตศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²ภาควิชาคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

* Email: weerayuth.ni@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาพัฒนาการและความคงทนในทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK และ 2) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK โดยใช้แบบแผนการวิจัยกลุ่มเดียวทดสอบก่อน-หลังเรียนและวัดความคงทนหลังเรียนผ่านไป 2 สัปดาห์ (One-group pretest-posttest design with retention test) กลุ่มเป้าหมายประกอบด้วยนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 11 คน การจัดกิจกรรมประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ 6 แผนการ รวม 12 ชั่วโมง การเรียนรู้ เรื่องอัตราส่วน โดยใช้กรอบการจัดกิจกรรม PBL ร่วมกับโมเดล TPACK จำนวน 6 ขั้นตอน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (คะแนนเต็ม 60 คะแนน) ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ (IOC = 1.00, ความเชื่อมั่น = 0.90) และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ (มาตราส่วน 5 ระดับ) โดยใช้ข้อสมมติ (G1-G11) ในการนำเสนอข้อมูลรายบุคคลเพื่อรักษาความลับของผู้เข้าร่วมวิจัย ข้อมูลเชิงปริมาณถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติพรรณนา สถิติทดสอบ Wilcoxon Signed-Rank Test และการคำนวณขนาดอิทธิพลอย่างคร่าวๆ (Cohen's d_z , Hedges' g_{av} , และ Normalized Change) ผลการวิจัยพบว่า หลังได้รับการจัดกิจกรรมนักเรียนมีพัฒนาการทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์สูงขึ้นที่ระดับนัยสำคัญ .05 (ก่อนเรียน ค่าเฉลี่ย = 13.27, SD = 6.21; หลังเรียน ค่าเฉลี่ย = 27.73, SD = 12.02; $Z = 2.934$, $p = .003$) โดยมีพัฒนาการเฉลี่ยร้อยละ 24.09 และ Normalized Change = 0.31 ขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับสูง (Cohen's $d_z = 1.70$, Hedges' $g_{av} = 1.57$) ซึ่งบ่งชี้ถึงนัยสำคัญเชิงปฏิบัติที่แม้กลุ่มเป้าหมายจะมีขนาดเล็ก ($n = 11$) สำหรับความคงทนของทักษะ พบว่าค่า p-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ผลการเปรียบเทียบไม่มีความแตกต่างระหว่างคะแนนหลังเรียน (27.73) กับคะแนนวัดความคงทนหลังผ่านไป 2 สัปดาห์ (29.09) ($Z = -1.019$, $p = .308$) ซึ่งบ่งชี้ถึงแนวโน้มความคงทนของการเรียนรู้ ระยะสั้นในช่วงเวลา 2 สัปดาห์ นอกจากนี้นักเรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้แบบ PBL ร่วมกับโมเดล TPACK อยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ยรวม = 4.52, SD = 0.44) ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการบูรณาการ PBL กับโมเดล TPACK ในการพัฒนาและรักษาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตลอดจนสร้างความพึงพอใจในระดับสูงในบริบทการศึกษาในระดับประถมศึกษาของประเทศไทย

คำสำคัญ: ปัญหาเป็นฐาน; โมเดล TPACK; ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์; ความคงทน

บทนำ

คณิตศาสตร์เป็นวิชาที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาศักยภาพของมนุษย์และเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากเป็นศาสตร์ที่ช่วยฝึกฝนให้นักเรียนมีกระบวนการคิดอย่างเป็นเหตุเป็นผล สามารถวิเคราะห์สถานการณ์ได้อย่างเป็นระบบ และนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) โดยเป้าหมายสูงสุดประการหนึ่งของการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์คือการพัฒนา “ทักษะการแก้ปัญหา” ซึ่งสอดคล้องกับสภาครูคณิตศาสตร์แห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (National Council of Teachers of Mathematics, 1980) ที่ได้ระบุไว้อย่างชัดเจนว่า การแก้ปัญหาคือหัวใจหลักของการเรียนการสอนวิชาคณิตศาสตร์

แม้ว่าทักษะการแก้ปัญหามีความสำคัญยิ่ง แต่สภาพการจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ในปัจจุบันยังคงประสบปัญหาในการนำไปสู่การปฏิบัติจริง เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาตินัยพื้นฐาน (O-NET) กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ของโรงเรียนบ้านหนองคู ในช่วงปีการศึกษา 2565–2567 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของโรงเรียนมีค่าต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยระดับประเทศอย่างต่อเนื่องทุกปี นอกจากนี้ ในตัวชี้วัด ค 1.1 ป.6/11 (แสดงวิธีหาคำตอบของโจทย์ปัญหาอัตราส่วน) นักเรียนมีสัดส่วนการตอบถูกเพียงร้อยละ 0.00 ตลอดทั้งสามปีการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตสภาพการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนที่ยืนยันได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่ยังขาดทักษะการคิดวิเคราะห์ ไม่สามารถทำความเข้าใจสถานการณ์ปัญหา และไม่สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้โจทย์ปัญหาที่มีความซับซ้อนหรือแตกต่างไปจากตัวอย่างที่ครูสอนได้ (Changket, 2003; Chaliaochalad, 2007) จากเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงกำหนดให้นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านหนองคู เป็นกลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้ ด้วยข้อค้นพบดังกล่าว 3 ประการ ประการแรก นักเรียนกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบโดยตรงและต่อเนื่องจากปัญหาที่ระบุข้างต้น กล่าวคือ ผลการทดสอบ O-NET ในตัวชี้วัด ค 1.1 ป.6/11 ที่มีสัดส่วนการตอบถูกร้อยละ 0.00 ตลอดสามปีการศึกษา (2565–2567) สะท้อนว่านักเรียนกลุ่มดังกล่าวมีระดับทักษะการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่คาดหวัง ประการที่สอง ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ถือเป็นช่วงปลายของการศึกษาระดับประถมศึกษา ซึ่งนักเรียนควรมีพัฒนาการทางด้านทักษะการคิดและการแก้ปัญหาในระดับที่เพียงพอสำหรับการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้น การแก้ไขปัญหในช่วงเวลานี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในเชิงของการวางรากฐานทางการศึกษา ประการที่สาม ผู้วิจัยในฐานะครูผู้สอนในโรงเรียนดังกล่าวมีความคุ้นเคยกับบริบทชั้นเรียน สภาพปัญหา และความต้องการของนักเรียนกลุ่มนี้เป็นอย่างดี จึงทำให้การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สามารถตอบสนองต่อสภาพความเป็นจริงในชั้นเรียนได้อย่างตรงจุดและมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ และงานวิจัยล่าสุดยังยืนยันถึงประสิทธิภาพของการบูรณาการ PBL กับ TPACK ในการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ โดย Ayari *et al.* (2025) สรุปจากงานวิจัยกว่า 40 ชิ้นในระดับ K-12 ว่าการใช้ PBL ช่วยพัฒนาทักษะการแก้ปัญหได้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ Mansour, Said and Abu-Tineh (2024) พบว่า TPACK ช่วยเพิ่มความมั่นใจและประสิทธิภาพของครูในการจัดการเรียนรู้แบบ PBL ในวิชาคณิตศาสตร์

จากสภาพปัญหาที่พบ การค้นหาวិธีการจัดการเรียนรู้ที่สามารถกระตุ้นกระบวนการคิดและเชื่อมโยงเนื้อหาสู่การปฏิบัติจริงจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างเร่งด่วน การจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐาน (Problem-Based Learning: PBL) ร่วมกับการใช้กรอบแนวคิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการบูรณาการเทคโนโลยี การสอน และเนื้อหา (Technological Pedagogical Content Knowledge: TPACK) จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาแก้ปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาในมิติของการพัฒนากระบวนการทางปัญญา (Cognitive Processes) แนวคิด PBL กระตุ้นกระบวนการคิดขั้นสูง (Higher-Order Thinking) ของนักเรียนผ่านการเผชิญปัญหาที่ท้าทาย โดยนักเรียนต้องวิเคราะห์ ประเมิน และสร้างสรรค์แนวทางแก้ปัญหาด้วยตนเอง (Angganapattarakajorn, 2013) ส่วนการบูรณาการโมเดล TPACK นั้น ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือทางปัญญา (Cognitive Tools) ที่ช่วยเสริมสร้างกระบวนการรู้คิดให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมร่วมกับวิธีสอน จะช่วยลดภาระทางความรู้ความจำ (Cognitive Load) และช่วยแปลความหมายของเนื้อหาคณิตศาสตร์ที่เป็นนามธรรมให้เกิดเป็นภาพที่ชัดเจน (Visualization) ทำให้นักเรียนสามารถจัดระบบความคิดและสร้างความเข้าใจที่ลึกซึ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Koebler and Mishra, 2008)

ด้วยบริบทของปัญหาข้างต้นและจุดเด่นของกรอบแนวคิดเชิงนวัตกรรมดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK ที่มีต่อทักษะการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ เรื่องอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาศักยภาพผู้เรียนให้สามารถนำทักษะการแก้ปัญหามาประยุกต์ใช้ได้อย่างยั่งยืน และเป็นข้อเสนอสู่ครูผู้สอนในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ให้สะท้อนศักยภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1. เพื่อศึกษาพัฒนาการและความคงทนในทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK
- 2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK

วิธีดำเนินการวิจัย

- 1. แบบแผนการวิจัย
ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยใช้แบบแผนการวิจัยแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียนและหลังเรียนผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์ (One Group Pre-test Post-test and Retention test) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการวิจัยแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียนและหลังเรียนผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์

กลุ่ม	Pre-test	Treatment	Post-test	เวลา	Retention test
G	T ₁	X	T ₂	A	T ₃

G	แทน	กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย
T ₁	แทน	การทดสอบและสัมภาษณ์ก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
X	แทน	กิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK
T ₂	แทน	การทดสอบและสัมภาษณ์หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
A	แทน	เวลาหลังจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์
T ₃	แทน	การทดสอบและสัมภาษณ์หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์

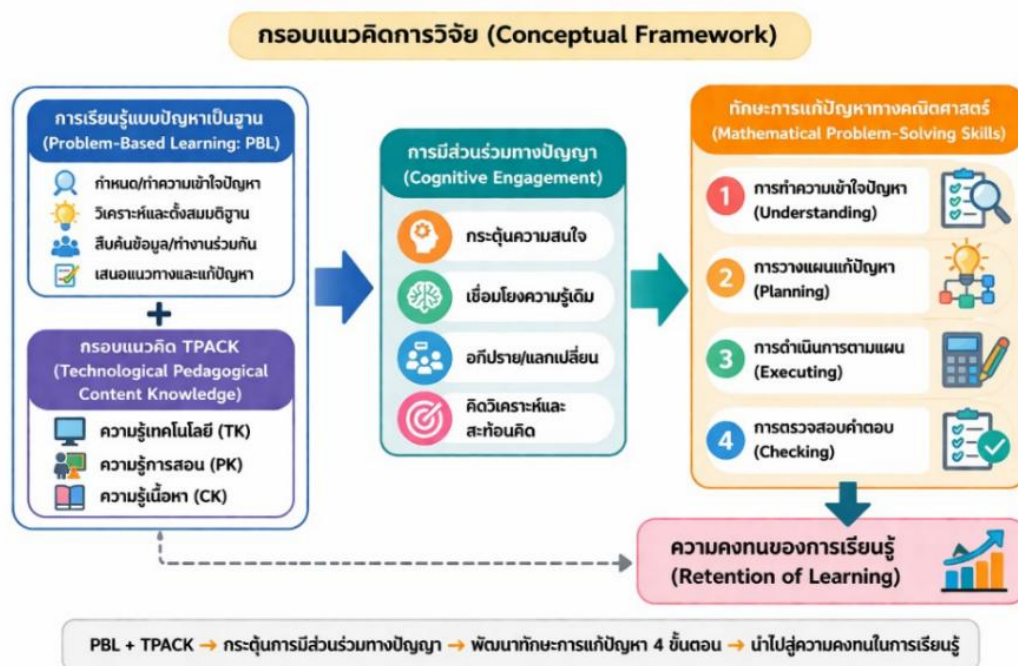
- 2. กลุ่มเป้าหมายของการวิจัย
กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จำนวน 11 คน

- 3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง อัตราส่วน โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK จำนวน 6 แผน ๆ ละ 2 ชั่วโมง โดยมีรายละเอียดแผนการจัดการเรียนรู้ ดังตารางที่ 2 และในแต่ละแผนจะมีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK ด้วยกันทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังภาพที่ 1 ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้และปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.00 เป็นแผนการจัดการเรียนรู้ที่มีความเที่ยงตรงทุกข้อ

ตารางที่ 2 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง อัตราส่วน

แผนการจัดการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้	เวลา(ชั่วโมง)
1	อัตราส่วน	2
2	อัตราส่วนที่เท่ากัน (1)	2
3	อัตราส่วนที่เท่ากัน (2)	2
4	โจทย์ปัญหาอัตราส่วน (1)	2
5	โจทย์ปัญหาอัตราส่วน (2)	2
6	โจทย์ปัญหาอัตราส่วน (3)	2
รวม		12

กรอบแนวคิด



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

การบูรณาการการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับกรอบแนวคิด TPACK ถูกนำมาใช้เป็นแนวทางหลักในการส่งเสริมการมีส่วนร่วมทางปัญญา (cognitive engagement) ของผู้เรียน กระบวนการบูรณาการดังกล่าวทำหน้าที่เป็นกลไกเชื่อมโยงสำคัญที่นำไปสู่การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 ขั้นตอนตามแนวคิดของ Polya ได้แก่ (1) การทำความเข้าใจปัญหา (2) การวางแผนแก้ปัญหา (3) การดำเนินการตามแผน และ (4) การตรวจสอบคำตอบ นอกจากนี้ การมีส่วนร่วมทางปัญญาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดกิจกรรมการเรียนรู้ ยังคาดว่าจะส่งผลต่อความคงทนของการเรียนรู้ในระยะเวลาหนึ่ง

ตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK เรื่องอัตราส่วน

1.1 แบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน แบบอัตนัยจำนวน 5 ข้อ โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบเท่ากับ 1.00 ทุกข้อ มีค่าความยากง่ายตั้งแต่ 0.20 – 0.70 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 – 0.80 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.90 โดยแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน มีข้อยากง่ายสลับกันไป

1.2 แบบสัมภาษณ์วัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน มีองค์ประกอบทั้งหมด 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 คำถามพื้นฐาน มีข้อคำถาม 2 ข้อ ตอนที่ 2 ปัญหามาเข้าสู่กระบวนการคิดแก้ปัญหา มีข้อคำถาม 4 ข้อ และตอนที่ 3 สะท้อนและอธิบายการใช้ความคิด มีข้อคำถาม 3 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 9 ข้อ โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบสัมภาษณ์เท่ากับ 1.00 ทุกข้อ มีค่าความยากง่ายตั้งแต่ 0.20 – 0.70 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 – 0.80 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.90 ดังภาพที่ 3

เกณฑ์การให้คะแนนแบบสัมภาษณ์นักเรียน					
เพื่อวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน					
ขั้นตอน / ประเด็นการประเมิน	คำถามสัมภาษณ์ (ตัวอย่าง)	เกณฑ์การให้คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน	น้ำหนัก (ร้อยละ)
1 Warm-up ความเข้าใจพื้นฐาน (10%)	1) อัตราส่วนคืออะไร มีตัวอย่างอะไรบ้าง? 2) อัตราส่วนมีการใช้ในชีวิตจริงอย่างไร?	• อธิบายความหมายของอัตราส่วนได้ถูกต้องชัดเจน พร้อมยกตัวอย่างที่ตนเองสนใจ • ยกตัวอย่างการใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมและอธิบายวิธีคิด	• อธิบายหลักการได้แต่ไม่ครบถ้วน หรือมีข้อผิดพลาดเล็กน้อย • ยกตัวอย่างได้แต่ไม่ชัดเจน	• เข้าใจเพียงผิวเผินหรือยังไม่สามารถอธิบายได้ • ยกตัวอย่างไม่เกี่ยวข้อง	10% 10 คะแนน
2 เข้าใจปัญหา (15%)	1) โจทย์ต้องการหาอะไร? 2) ความหมายของ "1:3" คืออะไร?	• ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการให้หาคำตอบ (ปริมาณสารละลายน้ำส้ม) และแยกส่วนให้ชัดเจน • อธิบายว่า 1 ส่วนน้ำส้ม : 3 ส่วนน้ำ (รวม 4 ส่วน) เชื่อมกับปริมาณจริงได้	• ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการให้หาคำตอบ แต่ยังไม่ชัดเจน • อธิบายแนวคิดได้แต่ไม่เชื่อมโยงกับส่วน	• เข้าใจไม่ครบ เช่น รู้ว่าหาปริมาณสารละลายน้ำส้มแต่ยังไม่ชัดเจน • อธิบายไม่ได้	15% 15 คะแนน
3 วางแผนแก้ปัญหา (20%)	1) จะเริ่มจากจุดใดและเขียนอย่างไร? 2) ทำหนังสือหรือวิธี?	• แผนงานเป็นขั้นตอนชัดเจน (จากจำนวนสารละลายน้ำส้มส่วน -- ส่วนน้ำส้มส่วน -- ส่วนน้ำส้มส่วน) • ยกตัวอย่างการเขียนแผนงานหรือวิธีคิดที่ชัดเจน	• แผนงานไม่ชัดเจนหรือยังไม่ครบถ้วน • แผนงานเขียนไม่ชัดเจน	• ไม่เขียนหรือเขียนไม่ชัดเจน • ไม่เขียนวิธี	20% 20 คะแนน
4 ดำเนินการแก้ปัญหา (25%)	1) วิธีคิดและการคำนวณเป็นอย่างไร? 2) มีการตรวจสอบความถูกต้องระหว่างขั้นตอนหรือไม่?	• คำนวณเป็นขั้นตอน คำนวณถูกต้อง (เช่น 2 ลิตร + 4 ลิตร = 6 ลิตร ส่วน -- ส่วนน้ำส้ม = 0.5 ลิตร, น้ำ = 1.5 ลิตร) • ใช้วิธีคิด (เช่น จำนวน, คูณ, หาร, ตารางคูณคูณคูณคูณคูณคูณ)	• แนวทางถูกแต่มีข้อผิดพลาดเล็กน้อย • ยกตัวอย่างการคำนวณไม่ครบถ้วนหรือไม่ชัดเจน	• แนวคิดไม่ถูกต้องหรือผิดพลาดเล็กน้อย • คำนวณผิด	25% 25 คะแนน
5 ทบทวนคำตอบ / ประเมินผล (10%)	1) คำตอบสมเหตุสมผลหรือไม่? อย่างไร? 2) ถ้าเป็น 5 ลิตร จะทำอย่างไร?	• อธิบายเหตุผลว่าคำตอบสมเหตุสมผล (เช่น สารละลาย 2 ลิตร ถูกต้อง) • เปรียบเทียบคำตอบ (เช่น 4 = 1.25 ลิตรส่วน -- ส่วนน้ำส้ม 1.25 ลิตร, น้ำ 3.75 ลิตร) ถูกต้อง	• ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้ • แนวคิดถูกแต่คำนวณผิดพลาดเล็กน้อย	• ตอบไม่สมเหตุสมผลหรือเข้าใจผิด • ไม่ทราบวิธีคำนวณ/หาคำตอบ	10% 10 คะแนน
6 สรุป / ถ่ายทอด (20%)	1) อธิบายข้อสังเกตหรือข้อคิดเห็น 2) มีข้อใดในการแก้ปัญหานี้? ข้อใดที่ยังมีข้อสงสัย? 3) รู้สึกว่าเรียนรู้อะไรบ้าง?	• อธิบายข้อสังเกตหรือข้อคิดเห็นได้ชัดเจน • ยกตัวอย่าง (เช่น สารละลาย, น้ำ, น้ำส้ม) พร้อมอธิบายข้อสังเกต • ยกตัวอย่างข้อสงสัยหรือข้อคิดเห็น	• อธิบายข้อสังเกตหรือข้อคิดเห็นได้แต่ไม่ชัดเจน • ยกตัวอย่างไม่เกี่ยวข้อง	• อธิบายไม่ชัดเจน • ยกตัวอย่างไม่เกี่ยวข้อง	20% 20 คะแนน

ภาพที่ 3 เกณฑ์การให้คะแนนแบบสัมภาษณ์นักเรียน

หมายเหตุ. ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยอ้างอิงหลักการของ Brookhart (2013) และ Polya (1945) ร่วมกับตัวชี้วัดในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเรื่องการประเมินทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

1.3 แบบสอบถามวัดความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK เรื่อง อัตราส่วน มีองค์ประกอบทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้ มีข้อคำถาม 4 ข้อ ด้านการใช้เทคโนโลยี (T ใน TPACK) มีข้อคำถาม 2 ข้อ ด้านการจัดการของครู (P ใน TPACK) มีข้อคำถาม 2 ข้อ ด้านความรู้ของเนื้อหา (C ใน TPACK) มีข้อคำถาม 2 ข้อ และด้านความพึงพอใจโดยรวม มีข้อคำถาม 2 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 12 ข้อ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) มีกระบวนการสร้างแบบสอบถาม จากการศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ พร้อมทั้งสร้างแบบประเมินแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ เพื่อนำแบบสอบถามเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับพฤติกรรมชีวิตด้านความพึงพอใจของนักเรียน ทุกข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.00 ถือว่าแบบวัดความพึงพอใจนี้น่าเชื่อถือสูง

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1 ชี้แจงแนวทางการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนทราบก่อนว่าในการเรียนรู้ ผู้สอนจะทำหน้าที่อะไร นักเรียนจะต้องปฏิบัติอย่างไร มีการวัดและการประเมินผลอย่างไร นักเรียนต้องเรียนรู้อะไรบ้าง และผู้วิจัยทดสอบกลุ่มที่ใช้ในการศึกษาโดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Pre-test) เรื่อง อัตราส่วน เป็นแบบทดสอบอัตนัยจำนวน 5 ข้อ พร้อมทั้งทำการสัมภาษณ์หลังทำแบบทดสอบ

2.2 ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK ที่มีต่อทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่องอัตราส่วน จำนวน 6 แผน ๆ ละ 2 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยเป็นผู้สอนเอง และมีตัวอย่างโครงสร้างกิจกรรมการเรียนรู้ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างโครงสร้างกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK

2.3 เมื่อสิ้นสุดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้ง 6 แผนแล้ว ผู้วิจัยได้ให้กลุ่มที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK ทำการทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Posttest) เรื่อง อัตราส่วน เป็นแบบทดสอบอัตนัยจำนวน 5 ข้อ โดยเป็นข้อสอบคู่ขนาน (Parallel Forms) กับข้อสอบก่อนเรียน (Pretest) พร้อมทั้งทำการสัมภาษณ์หลังทำแบบทดสอบ

2.4 หลังจากทำแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Post-test) เรื่อง อัตราส่วนแล้วเมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ ผู้วิจัยได้ให้กลุ่มที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK ทำการทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Retention test) เรื่อง อัตราส่วน เป็นแบบทดสอบอัตนัยจำนวน 5 ข้อ พร้อมทั้งทำการสัมภาษณ์หลังทำแบบทดสอบ และแจกแบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนหลังจากการได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK เรื่อง อัตราส่วน

2.5 ตรวจให้คะแนนแบบทดสอบ พร้อมทั้งสรุปผลการสัมภาษณ์วัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน และประเมินความพึงพอใจของนักเรียน แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้วิธีทางสถิติต่อไป

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 นำข้อมูลที่ได้จากแบบทดสอบมาวิเคราะห์ หาค่าความปกติโดยวิธี Shapiro-Wilk เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายมีขนาดเล็ก (11 คน) จากนั้นนำมาเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่องอัตราส่วน ก่อนเรียนกับหลังเรียนโดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK และเปรียบเทียบหลังเรียนกับเรียนผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์

ซึ่งการทดสอบทางสถิติ (Wilcoxon Signed-Rank Test) ด้วยหลักการทางสถิตินอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content analysis) แล้วทำการสรุปผลการทดลองวิจัย

3.2 วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK เรื่อง อัตราส่วน โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ด้วยหลักการทางสถิติแล้วทำการสรุปผลการทดลองวิจัยตามเกณฑ์การแปลความหมาย ดังนี้ (Pattiyathani, 2012)

- 4.51 – 5.00 หมายความว่า มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด
- 3.51 – 4.50 หมายความว่า มีความพึงพอใจในระดับมาก
- 2.51 – 3.50 หมายความว่า มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง
- 1.51 – 2.50 หมายความว่า มีความพึงพอใจในระดับน้อย
- 1.00 – 1.50 หมายความว่า มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK และนำไปจัดกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับกลุ่มเป้าหมาย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ศึกษาพัฒนาการและความคงทนในทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK สามารถสรุปได้ดังนี้

1.1) ผลการทดสอบ Shapiro-Wilk Test ของคะแนนแบบทดสอบหลังเรียน ซึ่งมีชุดข้อมูลคะแนนแบบทดสอบ ดังนี้ 9 , 15, 18 , 20 , 23 , 25 , 28 , 34 , 41 , 44 และ 48 พบว่าค่าสถิติคือ 0.958 ค่า p-value คือ .662 สามารถสรุปได้ว่าค่า p-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ถือว่าข้อมูลคะแนนแบบทดสอบหลังเรียน มีการแจกแจงแบบปกติ แม้ว่าผลการทดสอบความปกติของข้อมูล (Shapiro-Wilk test) ในคะแนนสอบหลังเรียนจะบ่งชี้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นปกติ (p = .662) แต่เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายมีขนาดเล็กมาก (n = 11) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้สถิตินอนพารามेटริก (Wilcoxon Signed-Rank Test) ในการทดสอบสมมติฐานทั้งหมด เพื่อความรอบคอบและระมัดระวังสูงสุดเชิงระเบียบวิธีวิจัย

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบคะแนนวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

การทดสอบ	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Z	p
ก่อนเรียน	11	60	13.27	6.21	2.934	.003*
หลังเรียน	11	60	27.73	12.02		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการดำเนินการวิจัย ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบคะแนนวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่มีทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์อยู่ในระดับต่ำ คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 13.27 คะแนน (SD = 6.21) จากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 72.73) ยังขาดทักษะพื้นฐานในการเข้าใจปัญหาและการวางแผนแก้ปัญหา (ขั้น Warm-up และเข้าใจปัญหาได้คะแนนต่ำ) ส่วนใหญ่แก้ปัญหาโดยการเดาหรือท่องจำตัวอย่างจากครู หลังการจัดกิจกรรม คะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 27.73 คะแนน (SD = 12.02) โดยนักเรียนทุกคนมีคะแนนพัฒนาการเพิ่มขึ้น (พัฒนาการเฉลี่ยร้อยละ 24.09) ผลการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบ Wilcoxon Signed-Rank Test ที่ระดับนัยสำคัญ .05 (Z = 2.934 , p = .003) โดยมีค่า Normalized Change = 0.31 ค่า Cohen's d_z = 1.70 และ Hedges' g_{av} = 1.57 ตามเกณฑ์ทั่วไป ขนาดอิทธิพลที่ถือว่า "สูง" (Large) จะเริ่มต้นที่ 0.80 ค่า Cohen's d_z = 1.70 จัดอยู่ในระดับสูงตามเกณฑ์ของ Cohen (1988) ซึ่งหมายความว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียนมีขนาดประมาณ 1.70 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง Cohen's d_z = 1.70 (คำนวณจากผลการทดสอบ Z = 2.934) ผลการวิเคราะห์นี้สะท้อนว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK มีแนวโน้มส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมีพัฒนาการหลังเข้าร่วมกิจกรรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถิติที่ใช้ในการสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น ในการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normality test) ของข้อมูลคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test (Royston, 1982; Shapiro and Wilk, 1965) เนื่องจากเป็นสถิติที่มีความเหมาะสมและให้ผลที่น่าเชื่อถือสำหรับกลุ่มเป้าหมายขนาดเล็ก โดยพิจารณาจากค่าสถิติ W ที่เข้าใกล้ 1 และค่า p-value เพื่อเป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้สถิติทดสอบสมมติฐานที่เหมาะสมในลำดับถัดไป

2. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Hypothesis Testing) เพื่อประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยใช้สถิติ (Wilcoxon Signed-Rank Test) Frank Wilcoxon (1945) ในการเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียน (Pre-test) และหลังเรียน (Post-test) รวมถึงการเปรียบเทียบคะแนนหลังเรียนและคะแนนทดสอบหลังเรียนผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์ (Retention test)

3. การวิเคราะห์ขนาดอิทธิพลและพัฒนาการของผู้เรียน (Effect Size and Learner Development) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK อย่างลึกซึ้ง ผู้วิจัยได้ประเมินระดับการพัฒนาของผู้เรียนในเชิงสัมพัทธ์ด้วย Normalized Change (c) (Marx and Cummings, 2007) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการพัฒนาได้แม้ผู้เรียนจะมีพื้นฐานเริ่มต้นไม่เท่ากัน พร้อมทั้งคำนวณขนาดอิทธิพลของการจัดการเรียนรู้ด้วย Cohen's d_z อย่างไรก็ตามเนื่องจากกลุ่มเป้าหมายมีขนาดเล็ก ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าด้วย Hedges' g_{av} เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4 แสดงผล Normalized Change (c) จำแนกตามขั้นตอนของทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

หัวข้อเรื่อง	การทำความเข้าใจปัญหา	การวางแผนในการแก้ปัญหา	การดำเนินการตามแผน	การตรวจสอบคำตอบ	เฉลี่ย
อัตราส่วนที่เท่ากัน (12)	1	0.44	0.45	0.52	0.6
โจทย์ปัญหาอัตราส่วน (48)	0.61	0.28	0.23	0.19	0.33

เมื่อวิเคราะห์ระดับการพัฒนาของผู้เรียน (Normalized Change) ตามเนื้อหาการจัดการเรียนรู้ ในตารางที่ 4 พบว่านักเรียนมีพัฒนาการในหัวข้อ “อัตราส่วนที่เท่ากัน” สูงกว่าหัวข้อ “โจทย์ปัญหาอัตราส่วน” อย่างชัดเจน ผลลัพธ์นี้สะท้อนให้เห็นว่า กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK สามารถยกระดับความเข้าใจในเชิงสัญลักษณ์และการคำนวณพื้นฐานได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม เมื่อเปลี่ยนไปสู่บริบทของโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อนขึ้น นักเรียนส่วนใหญ่ยังพบอุปสรรคในการตีความสถานการณ์และแปลงเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ความท้าทายและจุดเด่นที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของทักษะการแก้ปัญหาสามารถพิจารณาได้ดังนี้

ขั้นตอนที่พบการพัฒนามากที่สุดคือ ขั้นตอนการวางแผนแก้ปัญหา (ขั้นที่ 2) โดยคะแนนหลังเรียนคิดเป็นร้อยละสูงสุด (29.07%) และมี Effect size ขนาดใหญ่ (1.34) ผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีส่วนสนับสนุนการพัฒนาทักษะการวางแผนของผู้เรียน (ขั้นที่ 2) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ ในการเชื่อมโยงกับการอ่านโจทย์ (ขั้นที่ 1) สู่การคิดคำนวณ (ขั้นที่ 3) คือ ในขั้นที่ 1 ผู้เรียนมี Normalized Change สูงสุด (0.67 - ปานกลางค่อนข้างสูง) แต่กลับมีคะแนนดิบเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด (+2.55) และมี Hedges' g_{av} ต่ำที่สุด (0.51) และ ในขั้นที่ 3 และ 4 ค่า Normalized Change อยู่ในระดับ “ต่ำ” (0.27 และ 0.25 ตามลำดับ) แต่กลับมีค่า Hedges' g_{av} สูงมาก (1.43 และ 1.30 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาในภาพรวม นักเรียนมีระดับพัฒนาการเฉลี่ย (Normalized Change: c) เท่ากับ 0.31 ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของ Marx and Cummings (2007) จัดอยู่ในระดับปานกลาง

การเปรียบเทียบคะแนนสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK ของนักเรียนเป็นรายบุคคลโดยการหาพัฒนาการของผลการวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ พบว่า ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนมี พัฒนาการเฉลี่ยร้อยละ 24.09 โดยมีช่วงพัฒนาการมากที่สุดที่ ร้อยละ 46.67 และน้อยที่สุดที่ ร้อยละ 6.67 ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์พัฒนาการที่น่าพอใจไว้ที่ ร้อยละ 25 ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ที่ (Ritcharoon, 2012) เสนอไว้ เนื่องจากคะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์คือ 60 คะแนน ดังนั้น เกณฑ์พัฒนาการร้อยละ 25 จึงเทียบเท่ากับคะแนนที่เพิ่มขึ้น 15 คะแนน ($60 \times 0.25 = 15$) เมื่อวิเคราะห์ผลคะแนนพัฒนาการของผลการวัดทักษะเป็นรายบุคคล พบว่า นักเรียนทุกคนมีคะแนนเพิ่มขึ้น (อยู่ในช่วง +4 ถึง

+28 คะแนน) แต่เมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดมีนักเรียนจำนวน 7 คน (คิดเป็น ร้อยละ 63.63) ที่มีคะแนนพัฒนาการต่ำกว่า 15 คะแนน มีนักเรียนจำนวน 4 คน (คิดเป็น ร้อยละ 36.37) ที่มีคะแนนพัฒนาการสูงกว่า 15 คะแนน (ผ่านเกณฑ์)

การแจกแจงระดับพัฒนาการของคะแนนทดสอบ (Normalized Change) ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยจำแนกตามหัวข้อและขั้นตอนทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ จากการวิเคราะห์ระดับพัฒนาการ (Normalized Change) ของนักเรียนแต่ละคน สามารถสังเคราะห์ลักษณะเด่นของการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คะแนนทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เฉลี่ยก่อนเรียน หลังเรียน และ Normalized Change จำแนกตามขั้นตอนการแก้ปัญหา (คะแนนเต็มองค์ประกอบละ 3 คะแนน)

ขั้นตอนการแก้ปัญหา	คะแนนเพิ่มขึ้น (หลัง-ก่อน)	พัฒนาการ (ร้อยละ)	Normalized Change (ค่า c)	ระดับการพัฒนา	Hedges' g_{av}	การวิเคราะห์และข้อค้นพบ
1. ขั้นทำความเข้าใจปัญหา	+2.55	17.00%	0.67	ปานกลาง (ค่อนข้างสูง)	0.51 ผลขนาดกลาง (ผู้เรียนพัฒนาขึ้นปานกลาง)	นักเรียนมีคะแนนพื้นฐานในขั้นนี้อยู่แล้ว (11.18/15) และหลังเรียนสามารถทำความเข้าใจโจทย์ได้เกือบสมบูรณ์ (13.73/15) ถือเป็นขั้นที่นักเรียนมีความสามารถสูงสุด
2. ขั้นวางแผนแก้ปัญหา	+4.36	29.07%	0.31	ปานกลาง	1.34 ผลขนาดใหญ่ (ผู้เรียนพัฒนาขึ้นมาก)	เป็นขั้นที่มีพัฒนาการ (ร้อยละ) สูงสุด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการ PBL-TPACK ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนที่เดิมวางแผนไม่เป็นเลย (0.73/15) สามารถคิดหาวิธีแก้ปัญหาได้ดีขึ้นอย่างชัดเจน
3. ขั้นดำเนินการตามแผน	+3.91	26.07%	0.27	ต่ำ	1.43 ผลขนาดใหญ่ (ผู้เรียนพัฒนาขึ้นมาก)	แม้นักเรียนจะวางแผนได้ดีขึ้นแต่ก็จะพบอุปสรรคเมื่อต้องลงมือปฏิบัติจริง (การคำนวณอัตราส่วน/แก้สมการ) ทำให้คะแนนที่ได้เพิ่มขึ้นมายังอยู่ในระดับที่ต้องได้รับการสนับสนุนต่อ
4. ขั้นตรวจสอบคำตอบ	+3.63	24.20%	0.25	ต่ำ	1.30 ผลขนาดใหญ่ (ผู้เรียนพัฒนาขึ้นมาก)	เป็นขั้นที่นักเรียนได้คะแนนน้อยที่สุดและมีระดับการพัฒนาต่ำที่สุด สะท้อนว่านักเรียนยังไม่คุ้นเคยกับการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบหรือขาดทักษะในการสรุปผล
รวมภาพรวมทั้งกระบวนการ	+14.46	24.09%	0.31	ปานกลาง	1.39 ผลขนาดใหญ่ (ผู้เรียนพัฒนาขึ้นมาก)	ภาพรวมการจัดการเรียนรู้ PBL-TPACK สามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนอยู่ในระดับปานกลาง (ค่า c = 0.31) ใกล้เคียงค่าขั้นต่ำของเกณฑ์ระดับปานกลางที่ 0.30 โดยเด่นที่การทำความเข้าใจและการวางแผน

*ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแต่ละขั้นตอน

ภาพรวมนักเรียนส่วนใหญ่มีพื้นฐานความสามารถในขั้นทำความเข้าใจปัญหา ของเนื้อหาเรื่องอัตราส่วนที่เท่ากันอยู่ในระดับดีมาก (ได้คะแนนเต็มตั้งแต่ก่อนเรียน) ทำให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐาน (PBL) ร่วมกับโมเดล TPACK สามารถกระตุ้นให้เกิดพัฒนาหลังเข้าร่วมกิจกรรมการระดับสูง (C = 1.00) ในขั้นตอนอื่น ๆ ได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในกลุ่มนักเรียนที่พัฒนาได้ครอบคลุมหลายขั้นตอน เช่น G2, G4 และ G8 ซึ่งมีพัฒนาการระดับสูงในขั้นการวางแผนแก้ปัญหา การดำเนินการตามแผน และการตรวจสอบคำตอบ อย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ G3, G6 และ G10 ยังแสดงศักยภาพในการพัฒนาขั้นตอนต่าง ๆ ของเนื้อหาเดียวกันจนถึงระดับสูงเช่นกัน

ในขณะเดียวกัน พบนักเรียนที่มีลักษณะการพัฒนาที่โดดเด่นเฉพาะด้าน เช่น G1 ที่มีพัฒนาการระดับสูงในขั้นทำความเข้าใจปัญหา ทั้งในเนื้อหาอัตราส่วนที่เท่ากันและโจทย์ปัญหาอัตราส่วน และ G5 ที่แสดงพัฒนาการระดับปานกลาง (C ≈ 0.33–0.67) อย่างสม่ำเสมอและเป็นระบบ เมื่อพิจารณาเนื้อหาโจทย์ปัญหาอัตราส่วน ซึ่งมีความซับซ้อนมากขึ้น พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังเผชิญความท้าทาย โดยเฉพาะในขั้นการวางแผน การดำเนินการตามแผน และการตรวจสอบคำตอบ แม้จะมีนักเรียน

บางส่วนที่พัฒนาได้ในระดับสูง (เช่น G3 และ G4) แต่สำหรับนักเรียนที่ยังต้องการการสนับสนุนเพิ่มเติม (เช่น G7, G9 และ G11) พัฒนาการส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ หรือจำกัดอยู่ในบางขั้นตอนเท่านั้น (เช่น G11 ที่พัฒนาเฉพาะขั้นทำความเข้าใจปัญหา)

ผลการวิเคราะห์รายบุคคลชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้แบบ PBL ร่วมกับโมเดล TPACK สามารถส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาในระดับสัญลักษณ์และตัวเลข (อัตราส่วนที่เท่ากัน) ได้อย่างชัดเจนอย่างไรก็ตาม นักเรียนยังต้องการการสนับสนุนทางปัญญา (scaffolding) เพิ่มเติมในการเปลี่ยนผ่านจากสถานการณ์จริงไปสู่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้เกิดพัฒนาการที่สมบูรณ์ในทุกขั้นตอนของทักษะการแก้ปัญหา

ตารางที่ 6 ตารางสรุปคะแนนการสัมภาษณ์ของนักเรียนทั้ง 11 คน (กลุ่มเก่งคือนักเรียนที่ได้ระดับยอดเยี่ยม กลุ่มกลางคือได้ระดับพัฒนาได้ และกลุ่มอ่อนคือกลุ่มที่ได้ระดับต้องปรับปรุง)

นักเรียน	กลุ่ม	คะแนนทักษะการแก้ปัญหา (ร้อยละ)							ระดับ
		Warm-up (10)	เข้าใจปัญหา (15)	วางแผนแก้ปัญหา (20)	ดำเนินการ (25)	ตรวจสอบและทบทวน (10)	สะท้อน (20)	รวม (100)	
G3	เก่ง	10.00	15.00	20.00	25.00	10.00	20.00	100.00	ยอดเยี่ยม
G4	เก่ง	10.00	15.00	20.00	25.00	10.00	20.00	100.00	ยอดเยี่ยม
G8	เก่ง	10.00	15.00	20.00	25.00	10.00	20.00	100.00	ยอดเยี่ยม
G2	กลาง	6.67	10.00	13.33	16.67	6.67	15.53	68.87	พัฒนาได้
G5	กลาง	6.67	10.00	13.33	16.67	10.00	15.53	72.20	พัฒนาได้
G6	กลาง	6.67	10.00	13.33	16.67	6.67	15.53	68.87	พัฒนาได้
G1	อ่อน	3.33	5.00	0.00	0.00	1.67	6.67	16.67	ต้องปรับปรุง
G7	อ่อน	5.00	7.50	6.67	8.33	5.00	8.87	41.37	ต้องปรับปรุง
G9	อ่อน	5.00	7.50	6.67	8.33	5.00	10.00	42.50	ต้องปรับปรุง
G10	อ่อน	5.00	7.50	6.67	8.33	5.00	8.87	41.37	ต้องปรับปรุง
G11	อ่อน	3.33	5.00	0.00	0.00	3.33	6.67	18.33	ต้องปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสัมภาษณ์จากตัวชี้วัดและคำบรรยายเชิงพฤติกรรม พบว่า นักเรียนกลุ่มเก่ง (G3, G4, G8) จำนวน 3 คน (ร้อยละ 27.27) อยู่ในระดับยอดเยี่ยม ทุกตัวชี้วัด มีวิธีคิดที่หลากหลายและถูกต้อง อธิบายเหตุผลทางคณิตศาสตร์ได้ชัดเจน มีการตรวจสอบหลายวิธี และสามารถเสนอวิธีแก้ปัญหาอื่นได้ดี ซึ่งสะท้อนถึงระดับ ยอดเยี่ยม ตามเกณฑ์การประเมิน นักเรียนกลุ่มกลาง (G2, G5, G6) จำนวน 3 คน (ร้อยละ 27.27) อยู่ในระดับที่พัฒนาได้ ยังพึ่งการลองผิดลองถูกและใช้การวาดภาพเป็นหลัก ซึ่งเป็นกลยุทธ์พื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหา และนักเรียนกลุ่มอ่อน ที่เหลือยังอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง เนื่องจากบางส่วนละทิ้งเงื่อนไขของโจทย์และวางแผนการดำเนินการไม่ได้ อย่างไรก็ตาม การที่นักเรียนบางคนสามารถเดาแล้วได้คำตอบที่ถูกต้องบ้าง แสดงให้เห็นถึงการมีส่วนร่วมและความพยายามในการแก้ปัญหา ซึ่งข้อมูลเชิงคุณภาพนี้ชี้ให้เห็นว่า กระบวนการคิดของนักเรียนกำลังพัฒนาไปในทิศทางที่ถูกต้อง โดยเฉพาะนักเรียนกลุ่มเก่งที่แสดงถึงทักษะการแก้ปัญหาในระดับสูง ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับหลักการของ PBL ที่เน้นการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองและ TPACK ที่ผสมผสานเทคโนโลยีเข้ากับการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสม

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่พบ ได้จากการวิเคราะห์กระดาษคำตอบของนักเรียนพร้อมทั้งจากการสัมภาษณ์นักเรียนรายบุคคลพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่จะมีความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการตามแผนมากที่สุด รองลงมาเป็นขั้นตรวจสอบคำตอบ และขั้นการวางแผนแก้ปัญหา และความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดคือขั้นทำความเข้าใจปัญหา ดังการวิเคราะห์กระดาษคำตอบในภาพที่ 5 และ 6

1.2) ผลการทดสอบ Shapiro-Wilk Test ของคะแนนแบบทดสอบหลังเรียนผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์ ซึ่งมีชุดข้อมูลคะแนนแบบทดสอบ ดังนี้ 15 , 16 , 18 , 22 , 22 , 24 , 34 , 35 , 42 , 44 และ 48 พบว่าค่าสถิติคือ 0.904 ค่า p-value คือ .206 สามารถสรุปได้ว่า ค่า p-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ถือว่าข้อมูลคะแนนแบบทดสอบหลังเรียนผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์ มีการแจกแจงแบบปกติ

5. เด็กนักเรียน 4 คนแบ่งข้าวไร่จำนวน 2,700 บาท ตามอัตราส่วน 1:2:3:3 จงหาว่าแต่ละคนได้รับเงินกี่บาท

การหาความเข้าใจปัญหา โจทย์ปัญหา: เด็กนักเรียน 4 คนแบ่งข้าวไร่จำนวน 2,700 บาท ตามอัตราส่วน 1:2:3:3 จงหาว่าแต่ละคนได้รับเงินกี่บาท

การวางแผนในการแก้ปัญหา โจทย์ปัญหา: เด็กนักเรียน 4 คนแบ่งข้าวไร่จำนวน 2,700 บาท ตามอัตราส่วน 1:2:3:3 จงหาว่าแต่ละคนได้รับเงินกี่บาท

การดำเนินการตามแผน โจทย์ปัญหา: เด็กนักเรียน 4 คนแบ่งข้าวไร่จำนวน 2,700 บาท ตามอัตราส่วน 1:2:3:3 จงหาว่าแต่ละคนได้รับเงินกี่บาท

การตรวจสอบคำตอบ โจทย์ปัญหา: เด็กนักเรียน 4 คนแบ่งข้าวไร่จำนวน 2,700 บาท ตามอัตราส่วน 1:2:3:3 จงหาว่าแต่ละคนได้รับเงินกี่บาท

3. บัญชีผู้ถือหุ้นมีรายการดังนี้: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การหาความเข้าใจปัญหา โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การวางแผนในการแก้ปัญหา โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การดำเนินการตามแผน โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การตรวจสอบคำตอบ โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

ตัวอย่างกระดาษคำตอบของ G8 (กลุ่มเก่ง) พบว่า จุดที่นักเรียนมีพัฒนาการน้อยที่สุดหรือเป็นปัญหาหลักคือ "ขั้นการวางแผน" นักเรียนยังไม่เข้าใจแนวคิดเรื่อง Part-to-Whole (การมองส่วนย่อยในส่วนรวม) ในเรื่องสัดส่วน หากนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาต่อ ควรเน้นย้ำให้นักเรียนเห็นภาพรวมก่อนว่าอัตราส่วน 2:3 หมายถึงการแบ่งของทั้งหมดออกเป็น 5 ส่วนเท่าๆ กัน

ตัวอย่างกระดาษคำตอบของ G10 (กลุ่มอ่อน) พบว่า ในขั้นตอนการหาผลรวมของอัตราส่วน (ซึ่งทำได้ดีในขั้นวางแผน) ส่วนขั้นตอน การแปลงจำนวนส่วนทั้งหมด ให้สัมพันธ์กับจำนวนเงินรวม (นำ 2,700 มาแบ่งเป็น 9 ส่วน) นักเรียนสับสนและนำมาคิดผลรวมเป็น 2,700 โดยละทิ้งอัตราส่วน 1:2:3:3 ไปในประเด็นนี้สามารถนำไปปรับใช้ในการออกแบบกิจกรรมเพื่อเน้นย้ำความเข้าใจเรื่องค่าของ 1 ส่วน (Unit Rate) ได้

ภาพที่ 5 ตัวอย่างการวิเคราะห์กระดาษคำตอบของนักเรียน G8 (กลุ่มเก่ง) และ G10 (กลุ่มอ่อน)

1. บัญชีผู้ถือหุ้นมีรายการดังนี้: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การหาความเข้าใจปัญหา โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การวางแผนในการแก้ปัญหา โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การดำเนินการตามแผน โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การตรวจสอบคำตอบ โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

3. บัญชีผู้ถือหุ้นมีรายการดังนี้: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การหาความเข้าใจปัญหา โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การวางแผนในการแก้ปัญหา โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การดำเนินการตามแผน โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

การตรวจสอบคำตอบ โจทย์ปัญหา: บัญชีผู้ถือหุ้น 1,000 หุ้น มูลค่าหุ้นละ 10 บาท จงหาว่าบัญชีผู้ถือหุ้นมีมูลค่ารวมกี่บาท

ตัวอย่างกระดาษคำตอบ G2 (กลุ่มกลาง) นักเรียนมีทักษะการคิดคำนวณ (Procedural Knowledge) ที่แม่นยำ สังเกตได้จากการข้ามการเขียนบรรยายแผนไปสู่การทดเลขหา ห.ร.ม. ทันที การกระตุ้นให้นักเรียนฝึกเขียนอธิบายแนวคิดสั้นๆ ควบคู่ไปกับการแสดงตัวเลข

ตัวอย่างกระดาษคำตอบของ G4 (กลุ่มเก่ง) พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในเรื่องโจทย์ปัญหาอัตราส่วนเป็นอย่างดีเยี่ยม โดยเฉพาะการมองภาพรวมของ "สัดส่วนทั้งหมด" (Total parts) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการแก้ปัญหาข้อนี้

ภาพที่ 6 ตัวอย่างการวิเคราะห์กระดาษคำตอบของนักเรียน G4 (กลุ่มเก่ง) และ G2 (กลุ่มกลาง)

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาความคงทน (Retention) ของทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ หลังจากทีนักเรียนได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK การวิเคราะห์ทำได้โดย

การเปรียบเทียบคะแนนวัดทักษะสองช่วงเวลา ได้แก่ คะแนนทดสอบหลังเรียนทันที กับคะแนนการทดสอบภายหลังการเรียนรู้ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยใช้สถิติการทดสอบ Wilcoxon Signed-Rank Test เพื่อประเมินว่าทักษะดังกล่าวยังคงอยู่หรือลดลงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ผลการวิเคราะห์นี้แสดงรายละเอียดอยู่ใน ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ระหว่างหลังเรียนและเรียนผ่านไปแล้วเวลา 2 สัปดาห์

การทดสอบ	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Z	p
หลังเรียน	60	27.73	12.02	-1.019	.308
หลังจากผ่านไป 2 สัปดาห์	60	29.09	11.38		

*ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 7 นำเสนอผลการเปรียบเทียบเพื่อศึกษา ความคงทนของทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่องอัตราส่วน ภายหลังการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบ ปัญหาเป็นฐาน (Problem-Based Learning) ร่วมกับ โมเดล TPACK โดยเปรียบเทียบ คะแนน หลังเรียนทันที กับคะแนนทดสอบที่ดำเนินการในอีก 2 สัปดาห์ถัดมา พบว่า คะแนนทดสอบหลังเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 27.73 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12.02 และทดสอบหลังเรียนผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์ คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 29.09 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.38 การวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Wilcoxon Signed-Rank Test เพื่อเปรียบเทียบผลการประเมินทั้งสองช่วงเวลา พบว่า ค่าสถิติ Z เท่ากับ -1.019 และมีค่า $p = .308$ เนื่องจากค่า p-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนดไว้ที่ 0.05 จึงสรุปได้ว่า คะแนนสอบของทั้งสองช่วงเวลา ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างคะแนนการทดสอบหลังเรียนทันที กับคะแนนที่วัดซ้ำในอีก 2 สัปดาห์ และเมื่อพิจารณาในภาพรวมแสดงให้เห็นว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐาน ร่วมกับโมเดล TPACK ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความคงทนในการเรียนรู้ (Knowledge Retention) ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เรื่องอัตราส่วนเนื่องจากความสามารถของนักเรียนไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาผ่านไป

ตารางที่ 8 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ระหว่างหลังเรียนและเรียนผ่านไปแล้วเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ของนักเรียนเป็นรายบุคคลโดยการหาพัฒนาการของผลการวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

คนที่	ชื่อสมมติ	คะแนนสอบหลังเรียน (60)	คะแนนสอบหลังผ่านไป 2 สัปดาห์ (60)	ผลต่าง	ร้อยละ
1	G1	15	16	1	1.67
2	G2	28	34	6	10.00
3	G3	44	42	-2	-3.33
4	G4	48	48	0	0
5	G5	34	35	1	1.67
6	G6	25	22	-3	-5.00
7	G7	20	18	-2	-3.33
8	G8	41	44	3	5.00
9	G9	23	22	-1	-1.67
10	G10	18	24	6	10.00
11	G11	9	15	6	10.00

ตารางที่ 8 นำเสนอผลการวิเคราะห์พัฒนาการร้อยละของคะแนนการทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ระหว่างหลังเรียนทันทีและหลังเรียนผ่านไป 2 สัปดาห์ ซึ่งใช้เป็นมาตรวัดความคงทนของการเรียนรู้ พัฒนาการเฉลี่ยร้อยละพบว่าทักษะมีค่าความก้าวหน้าเฉลี่ยร้อยละอยู่ที่ 2.27 ช่วงพัฒนาการมีพัฒนาการสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 10.00 และต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ -5.00 (แสดงว่านักเรียนบางส่วนทำคะแนนลดลงเล็กน้อย) และเมื่อพิจารณาคะแนนพัฒนาการที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของแต่ละบุคคล พบว่า คะแนนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง -3 ถึง +6 คะแนน ซึ่งยืนยันว่าถึงแม้จะมีคะแนนลดลงในบางราย (-3 คะแนน)

แต่โดยภาพรวมคะแนนเฉลี่ยยังคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ค่าเฉลี่ย 2.27%) บ่งชี้ว่าทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์มีความคงทน

ความพึงพอใจของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 9 พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อกิจกรรมการเรียนการสอนในภาพรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.44 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้เรียนมีทัศนคติเชิงบวกต่อวิธีการจัดการเรียนรู้ที่นำมาใช้ เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าข้อที่นักเรียนมีความพึงพอใจในระดับ มากที่สุด ได้แก่ ความสนุกสนานและการมีส่วนร่วมร่วมกันเรียนรู้สนุกสนานและมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.82 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.39 รองลงมาเป็นปฏิสัมพันธ์และการทำงานร่วมกันครูให้โอกาสแสดงความคิดเห็นและทำงานร่วมกับเพื่อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.73 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.45 และข้อที่นักเรียนมีความพึงพอใจในระดับ มาก (น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับข้ออื่น) คือ ความเข้าใจเชิงกระบวนการนักเรียนรู้วิธีการแก้ปัญหาอัตราส่วนอย่างเป็นขั้นตอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.45 ข้อค้นพบนี้บ่งชี้ว่าวิธีการสอน มีแนวโน้มช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีแนวโน้มที่ดีต่อการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ในการสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่เป็นบวกและการมีปฏิสัมพันธ์ แต่ควรมีการปรับปรุงเพิ่มเติมในส่วนของการเน้นย้ำการสร้างความเข้าใจในขั้นตอนการแก้ปัญหาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ตารางที่ 9 ผลการวัดความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK

ด้าน	ข้อความ	ผลการวัดความพึงพอใจ		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล
เนื้อหาและ กิจกรรม การเรียนรู้	1. เนื้อหาเรื่องอัตราส่วนมีความน่าสนใจและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน	4.64	0.48	มากที่สุด
	2. กิจกรรมที่ใช้ในการเรียนรู้ช่วยกระตุ้นให้คิดวิเคราะห์	4.36	0.48	มาก
	3. การเรียนรู้ผ่านปัญหาช่วยให้เข้าใจเนื้อหาได้ชัดเจนขึ้น	4.55	0.50	มากที่สุด
	4. ตัวอย่างปัญหาที่ใช้ในการเรียนมีความเหมาะสมกับวัย	4.36	0.48	มาก
การใช้เทคโนโลยี (T ในTPACK)	1. การใช้โปรแกรม Mathigon ช่วยให้เข้าใจบทเรียนได้ง่ายขึ้น	4.36	0.48	มาก
	2. นักเรียนสามารถใช้โปรแกรม Mathigon เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง	4.45	0.50	มาก
การจัดการของครู (P ใน TPACK)	1. ครูอธิบายบทเรียนและแนวทางการแก้ปัญหาได้อย่างชัดเจน	4.55	0.50	มากที่สุด
	2. ครูให้โอกาสแสดงความคิดเห็นและทำงานร่วมกับเพื่อน	4.73	0.45	มากที่สุด
ความรู้ทางเนื้อหา (C ใน TPACK)	1. นักเรียนรู้วิธีการแก้ปัญหาอัตราส่วนอย่างเป็นขั้นตอน	4.27	0.45	มาก
	2. นักเรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง	4.55	0.50	มากที่สุด
ความพึงพอใจ โดยรวม	1. นักเรียนรู้สึกสนุกและมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้	4.82	0.39	มากที่สุด
	2. นักเรียนพึงพอใจต่อรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยรวม	4.55	0.50	มากที่สุด
รวม		4.52	0.44	มากที่สุด

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ภาพรวมการวิจัยวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือศึกษาพัฒนาการและความคงทนในทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับโมเดล TPACK การวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดสอบแบบกลุ่มเดียว (Pretest-Posttest-Retention) โดยมีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 11 คน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ผลลัพธ์ที่สำคัญที่ได้จากการวิจัยมีดังนี้ประการแรก ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า หลังจากทีนักเรียนเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นักเรียนมีทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้นที่ระดับ .05 ($Z = 2.934$, $p = .003$) แม้ว่าการวิจัยนี้จะใช้กลุ่มเป้าหมายขนาดเล็ก แต่จากการวิเคราะห์อย่างละเอียดและการค้นพบทางสถิติ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวให้ผลลัพธ์ที่มีขนาดผลกระทบใหญ่ (Cohen's $d_z = 1.70$) ผลการวิเคราะห์แสดงว่ารูปแบบการสอนดังกล่าวส่งผลเชิงบวกต่อทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน เมื่อวิเคราะห์เพิ่มเติมตามขั้นตอนการแก้ปัญหาของ Polya พบว่า การพัฒนาที่มากที่สุดเกิดขึ้นในขั้นตอนการวางแผนการแก้ปัญหา (Hedges' $g_{av} = 1.34$) รองลงมาคือขั้นตอนการทำความเข้าใจปัญหา นักเรียนไม่ได้แสดง

ให้เห็นถึงการพัฒนาย่างมีนัยสำคัญในขั้นตอนการดำเนินการตามแผนหรือขั้นตอนการตรวจสอบคำตอบ (Normalized Change = .27 และ .25 ตามลำดับ) และการทดสอบความคงทนที่ดำเนินการสองสัปดาห์หลังจากการเรียนรู้แสดงให้เห็นว่าคะแนนเฉลี่ยของผู้เรียนเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย ($Z = -1.019$, $p = .308$) และยังเพิ่มขึ้นเล็กน้อยด้วย ผลการทดสอบความคงทนในช่วง 2 สัปดาห์ พบว่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจสะท้อนแนวโน้มของการคงอยู่ของทักษะในระยะสั้น ทั้งนี้ จำเป็นต้องมีการศึกษาในช่วงเวลาที่ยาวกว่านี้เพื่อยืนยันผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนบ้างชี้ว่า นักเรียนแสดงทัศนคติเชิงบวกสูงสุดต่อแนวทางนี้ (ค่าเฉลี่ย 4.52) การมีส่วนร่วมอย่างแข็งขันในกิจกรรมต่าง ๆ ถูกระบุว่าเป็นหนึ่งในสองด้านหลักที่นักเรียนชื่นชอบมากที่สุด การจัดการเรียนรู้เน้นการเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นและทำงานร่วมกัน ซึ่งสะท้อนผ่านความพึงพอใจในด้านการให้โอกาสแสดงความคิดเห็น (ค่าเฉลี่ย = 4.73)

ข้อจำกัดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณาในการนำผลการวิจัยไปใช้และในการศึกษาครั้งต่อไป ดังนี้

1) การวิจัยใช้แบบแผนการวิจัยแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อน-หลังและวัดความคงทน (One-group pretest-posttest design with retention test) โดยไม่มีกลุ่มควบคุม (Control Group) จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เป็นผลจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยตรง หรือเป็นผลจากปัจจัยอื่น เช่น Testing effect หรือพัฒนาการตามวัย

2) ขนาดกลุ่มเป้าหมายมีจำนวนเล็กน้อยเพียง 11 คน จากนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านหนองคู เพียงแห่งเดียวในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จากเหตุผลข้างต้น ผลการวิจัยจึงมีข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้กับบริบทอื่นต่อนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ในโรงเรียนอื่น ๆ หรือบริบทที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะโรงเรียนที่มีขนาดใหญ่กว่า หรือมีพื้นฐานนักเรียนที่สูงกว่า

แม้จะมีข้อจำกัดดังกล่าวข้างต้น แต่ผู้วิจัยได้พยายามควบคุมและลดผลกระทบจากข้อจำกัดเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุดโดยการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือทุกชิ้นให้มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) = 1.00 การวิเคราะห์สถิติหลายวิธีเพื่อยืนยันความคงทนของผลการวิจัย รวมถึงการเปิดเผยข้อมูลรายบุคคลด้วยชื่อสมมติเพื่อความโปร่งใส อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยนี้ควรตีความด้วยความระมัดระวังและเหมาะสมกับบริบทของการศึกษา

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์

1.1 ควรมีการเตรียมความพร้อมด้านทักษะพื้นฐาน (Scaffolding) อย่างชัดเจนก่อนเริ่มกิจกรรม PBL เนื่องจากนักเรียนกลุ่มเป้าหมายมีคะแนนพื้นฐานต่ำ (คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน 13.27 จากคะแนนเต็ม 60 หรือคิดเป็นร้อยละ 22.12) ครูจึงควรทบทวนทักษะการคำนวณพื้นฐานที่จำเป็น เช่น การคูณ การหาร และเศษส่วน เพื่อให้นักเรียนสามารถโฟกัสกับกระบวนการแก้ปัญหาได้อย่างเต็มที่

1.2 ควรเผื่อระยะเวลาปรับตัว (Adjustment Period) ใน 1-2 แผนการเรียนรู้แรก เนื่องจาก PBL เป็นวิธีการเรียนรู้ที่นักเรียนยังไม่คุ้นเคย ครูควรอธิบายบทบาทของนักเรียนและการใช้เทคโนโลยีตามโมเดล TPACK อย่างละเอียด เพื่อลดความสับสนและช่วยให้นักเรียนเริ่มต้นได้อย่างราบรื่น

1.3 ควรเลือกใช้เทคโนโลยีที่เน้นการสร้างภาพ (Visualization) เช่น Mathigon หรือโปรแกรมที่ปรับค่าตัวแปรได้แบบไดนามิก เพื่อช่วยแปลงเนื้อหาที่เป็นนามธรรมของเรื่องอัตราส่วนให้เป็นรูปธรรม ลดภาระทางความคิด (Cognitive Load) และช่วยให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น เนื่องจากผลการวิจัยในตารางที่ 5 พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ยังมีอุปสรรคและได้คะแนนน้อยในขั้นตอนการตามแผนและตรวจสอบคำตอบ (Normalized Change = 0.27 และ 0.25) กับโจทย์ปัญหาที่เป็นนามธรรม

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้างต่อไป

2.1 การนำรูปแบบนี้ไปทดลองกับกลุ่มเป้าหมายที่ใหญ่ขึ้น การเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม หรือการขยายไปใช้กับเนื้อหาคณิตศาสตร์เรื่องอื่น ๆ

2.2 การวิจัยครั้งต่อไปอาจมุ่งเน้นการบูรณาการเทคโนโลยีเฉพาะทาง (เช่น โปรแกรมจำลองสถานการณ์ หรือ AI ช่วยสอน) เพื่อทำหน้าที่เป็นนั่งร้านทางปัญญา (Scaffolding) ในการช่วยนักเรียนแก้ปัญหาการคำนวณและการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบโดยเฉพาะ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไข และติดตามการวิจัยในครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้บริหารสถานศึกษาและคณะครูโรงเรียนบ้านหนองคู ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อนุญาตให้ดำเนินการทำวิจัยและขอขอบคุณนักเรียนที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี ทำให้วิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ขอความยินยอมโดยใช้เอกสารจากผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างถูกต้องตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หลักความเคารพในบุคคล หลักคุณประโยชน์ ไม่ก่ออันตรายต่อผู้เข้าร่วมวิจัย และหลักความยุติธรรม ตามหนังสือรับรองที่ อว 0604.7/13589

การใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อช่วยสืบค้นแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ บทความวิชาการ และเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องเท่านั้น มิได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ตีความ หรือสร้างเนื้อหาทางวิชาการแต่อย่างใด ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จาก AI ตามหลักเกณฑ์ทางวิชาการอย่างเคร่งครัดก่อนนำไปใช้ และยืนยันว่าเนื้อหาทั้งหมดในงานวิจัยนี้เกิดจากการดำเนินการวิจัยจริง ผ่านการตรวจสอบตามมาตรฐานวิชาการ โดย AI เป็นเพียงเครื่องมือเสริมในการสืบค้น ผู้วิจัยยังคงรับผิดชอบต่อคุณภาพและความน่าเชื่อถือของงานวิจัยทั้งหมด

References

- Angganapattarakajorn, V. (2013). Development of Statistical Reasoning and Connecting Mathematics to Real Life Using Instructional Activities Based on Cognitively Guided Instruction and Higher Order Questions for Grade 6 Students (in Thai). **Journal of Education**, 24(2), 15-33.
- Ayari, M. A., Sellami, A., Santhosh, M. E., Naji, K., Al-Ali, A. and Al-Hazbi, S. M. A. (2025). From problems to performance: a systematic review of problem-based learning in K-12 mathematics. **Frontiers in Education**, 10, 1731307.
- Chaliaochalad, A. (2007). A comparison of learning achievement and attitude toward learning mathematics on percentage word problems of Prathom Suksa 6 students using K-W-D-L technique and regular teaching (in Thai). **Master's Thesis**. Lopburi: Thepsatri Rajabhat University.
- Koehler, M. J. and Mishra, P. (2008). Introducing TPCK. In AACTE Committee on Innovation and Technology (Ed.), **The handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators** (pp. 3-29). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mansour, N., Said, Z. and Abu-Tineh, A. (2024). Factors impacting science and mathematics teachers' competencies and self-efficacy in TPACK for PBL and STEM. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 20(5), em2442.
- Marx, J. D. and Cummings, K. (2007). Normalized Change. **American Journal of Physics**, 75(1), 87-91.
- Changket, N. (2003). The development of learning outcomes on multiplication word problems of Prathom Suksa 4 students by organizing cooperative learning using STAD technique combined with KWDL technique (in Thai). **Master's Thesis**. Nakhon Pathom: Silpakorn University.
- National Council of Teachers of Mathematics. (1980). **An agenda for action: Recommendations for school mathematics of the 1980s**. NCTM.
- Pattiyathani, S. (2012). **Educational measurement** (in Thai) (8th ed.). Kalasin: Prasarn Printing.
- Ritcharoon, P. (2012). **Principles of educational measurement and evaluation** (in Thai) (7th ed.). Bangkok: House of Kermyst.
- Royston, J. P. (1982). An extension of Shapiro and Wilk's W test for normality to large samples. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)**, 31(2), 115-124.
- Shapiro, S. S. and Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, 52(3/4), 591-611.
- Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. **Biometrics Bulletin**, 1(6), 80-83.