

การส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนโดยใช้นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ตเก่าร่วมกับบอร์ด
ไมโครคอนโทรลเลอร์ในชั้นเรียนที่สอนด้วยวิธีการแบบเปิด
PROMOTING STUDENTS' COMPUTATIONAL THINKING BY USING AN INSTRUCTION MEDIA
INNOVATION FROM OLD TABLET WITH MICROCONTROLLER BOARD
IN A CLASSROOM TAUGHT BY OPEN APPROACH

เทพธิตต์ เขียวคำ¹

Theptithut Kheawkham

ไกรลาส มาตรฐาน²

Krailas Mathrmool

Received Date: 19 November 2024

Revised Date: 18 March 2025

Accepted Date: 2 April 2025

บทความวิจัย

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาวิธีปฏิบัติเชิงการสอนสำหรับส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนโดยใช้นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ตเก่าร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในชั้นเรียนที่สอนด้วยวิธีการแบบเปิด และ 2) ศึกษาผลการประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน กลุ่มเป้าหมายคือ ทีมการศึกษาชั้นเรียน จำนวน 10 คน และนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 22 คน ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนประถมศึกษาขนาดเล็กของรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสาน เครื่องมือวิจัยประกอบด้วย นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ตเก่าร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน แบบบันทึกวิธีปฏิบัติเชิงการสอน แผนการจัดการเรียนรู้ เครื่องบันทึกวิดีโอ เครื่องบันทึกเสียง และ เครื่องบันทึกภาพนิ่ง วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา วิเคราะห์หัตถ์ที่ค้นร่วมกับวิเคราะห์โพโทคอล และ วิเคราะห์คำร้อยละจากนั้นนำเสนอข้อมูลในรูปแบบพรรณนาวิเคราะห์ และแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบ

ผลการวิจัยพบว่า

1) วิธีปฏิบัติเชิงการสอนสำหรับส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณ ประกอบด้วย ครูต้องให้ความสำคัญกับการใช้ปัญหาปลายเปิดที่สอดคล้องกับชีวิตประจำวันของนักเรียนผ่านการใช้นวัตกรรมสื่อการสอน ฯ เพื่อช่วยกระตุ้นให้นักเรียนใช้การคิดเชิงคำนวณในการแก้ปัญหาร่วมกันกับเพื่อน หลังจากนั้นครูสำรวจการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนเพื่อใช้จัดลำดับ และ ทำการเชื่อมโยงการคิดเชิงคำนวณในชั้นของการอภิปรายร่วมกันโดยครูเชื่อมโยงการคิดเชิงคำนวณตั้งแต่ การคิดแบบลำดับ

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม,
Lecturer in Program of Data Science and Statistics, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University,
Email Address: theptithut.k@psru.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม;
Asst. Prof. Dr., Lecturer in Program of Science Education, Faculty of Science and Technology,
Pibulsongkram Rajabhat University.

ขั้นตอนแบบเหตุการณ์ แบบเงื่อนไข และแบบวนซ้ำ ผ่านการใช้คำถาม การอภิปรายร่วมกัน และการใช้นวัตกรรมสื่อการสอน จนนำไปสู่การบรรลุจุดประสงค์ของบทเรียนที่มีความหมายและยั่งยืน

2) ผลประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของผู้เรียนในแต่ละประเภหมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ประกอบด้วย แบบลำดับขั้นตอนเพิ่มจากร้อยละ 18.00 เป็นร้อยละ 30.00 แบบเหตุการณ์เพิ่มจากร้อยละ 17.00 เป็นร้อยละ 29.00 แบบเงื่อนไขเพิ่มจากร้อยละ 12.00 เป็นร้อยละ 32.00 และแบบวนซ้ำเพิ่มจากร้อยละ 3.00 เป็นร้อยละ 45.00 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การคิดเชิงคำนวณของนักเรียน, นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ตเก๋าร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์, วิธีการแบบเปิด

Abstract

The purposes of this study were to 1) study teaching practices that promote students' computational thinking through the use of innovative instructional media made from old tablets combined with microcontroller boards in a classroom taught by open approach, and 2) study the results of assessing students' problem-solving skills on computational thinking aspect. The target group consisted of a lesson study team of 10 teachers and 22 third-grade students from a small public elementary school in Phitsanulok during the first semester of the 2023 academic year. This study employed a mixed-methods research design. The instruments used included 1) an innovative instructional media made from old tablets combined with microcontroller boards, 2) a form evaluating the students' problem-solving skills on computational thinking aspect, 3) teacher field notes, 4) lesson plans, 5) video recordings, 6) audio recordings, and 7) photographs. The data were analyzed using content analysis, video protocol analysis, and percentage calculations, followed by descriptive analysis and bar chart presentations.

The results showed as follows:

1. The teaching practices for promoting students' computational thinking comprised that the teachers place emphasis on using open-ended problems that are relevant to students' real-life contexts. These were integrated with innovative instructional media to encourage students to apply computational thinking in collaborative problem-solving with their peers. Teachers played a key role in exploring students' computational thinking for ranking and connect it to the process of whole-class discussions, and making comparisons involving sequences, events, conditionals, and loops. These were supported through questioning, discussion, and the use of the innovative instructional media, leading to meaningful and sustainable learning outcomes aligned with lesson objectives.

2. The assessment results indicated a significant improvement in students' problem-solving skills on computational thinking aspect. Specifically, understanding of sequences increased from 18% to 30%, events from 17% to 29%, conditionals from 18% to 30%, and loops from 3% to 45%.

Keywords: Students' Computational Thinking, Instruction Media Innovation from Old Tablet, Open Approach

บทนำ

การพัฒนากำลังคนของประเทศให้ก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลและเพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาแรงงานฝีมือไปสู่แรงงานขั้นสูง (High-Skilled Labor) ตามความต้องการของตลาดโลก (OECD, 2018) และให้ทัดเทียมกับนานาประเทศ อาทิ สหรัฐอเมริกา เอสโทเนีย จีน หรือญี่ปุ่น ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวต้องให้ความสำคัญกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ทางด้านเทคโนโลยีดังนั้นก็เกิดเป็นวาระเร่งด่วนทางการศึกษาในประเทศไทย คือ เร่งการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาผู้เรียนให้มีความสามารถใน 3 ด้าน ประกอบด้วย ด้านการคิดเชิงคำนวณ (Computational Thinking) พื้นฐานความรู้ด้านเทคโนโลยีดิจิทัล (Digital Technology) และพื้นฐานการรู้เท่าทันสื่อและข่าวสาร (Media and Information Literacy) ร่วมกับการพัฒนาทักษะ Soft Skills ที่สำคัญ ประกอบด้วย ทักษะการแก้ปัญหา (Problem-Solving Skill) ทักษะการทำงานเป็นทีม และการสื่อสารกับเพื่อนร่วมทีม (Collaboration Skill) ซึ่งสำคัญอย่างมากสำหรับผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) โดยในประเทศไทยการพัฒนาความสามารถและทักษะดังกล่าวได้มีการส่งเสริมผ่านกระบวนการจัดการเรียนการสอนในระดับโรงเรียนโดยใช้รายวิชาวิทยาการคำนวณ (Computing Science) เป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ดังที่ได้กล่าวไป

การส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน (Students' Computational Thinking) ของ Brennan and Resnick (2012) ประกอบด้วย การคิดแบบ 1) ลำดับขั้นตอน 2) เหตุการณ์ 3) การขนาน 4) วงซ้ำ 5) เงื่อนไข 6) การดำเนินการ และ 7) การจัดการข้อมูล โดยการคิดดังกล่าวให้ความสำคัญกับการพัฒนาองค์ความรู้พื้นฐานด้านการคิดเชิงคำนวณของผู้เรียนในระดับชั้นประถมศึกษาตอนต้น และเริ่มมีการปูพื้นฐานการเขียนโปรแกรมผ่านข้อความ (Text-Based Programming) ในระดับชั้นประถมศึกษาตอนปลาย จนกระทั่งต่อยอดไปสู่การเขียนโปรแกรมในระดับที่สูงขึ้นในชั้นมัธยมศึกษาต่อไป (วัชรพัฒนศรีคำเวียง, 2561) แต่เนื่องจากรายวิชาวิทยาการคำนวณยังถือเป็นรายวิชาที่มีความใหม่โดยในประเทศไทยยังไม่ได้มีกระบวนการผลิตครูที่ใช้สอนในรายวิชานี้โดยตรงจึงส่งผลให้โรงเรียนขนาดเล็ก และขนาดกลางขาดแคลนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านนี้โดยจากการสำรวจของ กัญญกร เอี่ยมพญา และคณะ (2565) พบว่าจำนวนโรงเรียนขนาดเล็กในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานในปี พ.ศ. 2562 มีโรงเรียนขนาดเล็กจำนวน 15,158 โรงเรียน มีนักเรียนจำนวน 981,831 คน มีครูทั้งสิ้น 103,079 คน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของจำนวนครูกับนักเรียนจึงพบปัญหาการขาดแคลนบุคลากรทางการศึกษาอย่างเห็นได้ชัด และก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญตามมาหลายประการ เช่น จำนวนครูไม่สามารถสอนได้ครบทุกระดับชั้น และสอนได้ไม่ครบตามสาระรายวิชาของหลักสูตร และหากมีรายวิชาที่ครูไม่ได้มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านรายวิชาดังกล่าวก็จะถูกกละเลยไปส่งผลเสียต่อระบบการศึกษาในประเทศที่มีความต้องการในการพัฒนากำลังคนที่มีความพร้อมต่อการก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัล

จากการสำรวจโรงเรียนประจำโครงการของทีมผู้วิจัยเองได้พบปัญหาที่สอดคล้องกับปัญหาระดับประเทศเช่นเดียวกัน คือ บุคลากรขาดองค์ความรู้ที่จะช่วยส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนซึ่งนับว่าเป็นเป้าหมายสำคัญของนโยบายระดับประเทศ (ณัฐริณี เจตยารณ และนพดล เจนอักษร, 2567) โดยจากปัญหาข้างต้นทีมผู้วิจัยจึงได้ร่วมกันออกแบบวิธีปฏิบัติเชิงการสอนที่สามารถช่วยส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณ คุณลักษณะ เจตคติ และสมรรถนะของนักเรียนในรายวิชาวิทยาการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีกระบวนการศึกษาขั้นเรียนและวิธีการแบบเปิด (Thailand Lesson Study and Open Approach: TLSOA) ของ Inprasitha (2022) เนื่องจากเป็นกระบวนการพัฒนาวิชาชีพครูที่ช่วยส่งเสริมสมรรถนะในการจัดการเรียนการสอนของครู และส่งเสริมการคิดของนักเรียน ประกอบด้วยวิธีการสอนแบบเปิด 4 ขั้นตอน คือ 1) ชี้นำเสนอสถานการณ์ปัญหาปลายเปิด 2) ขั้นการเรียนรู้ด้วยตนเองของนักเรียน 3) ขั้นการอภิปรายและเชื่อมโยงแนวคิดร่วมกันทั้งชั้นเรียน และ 4) ขั้นสรุปบทเรียน โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ร่วมกับการคิดเชิงคำนวณของผู้เรียน ตามกรอบแนวคิดของ Brennan and Resnick (2012) ซึ่งทั้ง 2 กรอบแนวคิดต่างได้ได้รับการยอมรับและแพร่หลายไปทั่วโลกโดยวิธีการดังกล่าว

สามารถช่วยพัฒนาศักยภาพของบุคลากรด้านการศึกษาของโรงเรียนในด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอน และพัฒนาวิธีปฏิบัติเชิงการสอนที่ส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณโดยมุ่งเน้นให้นักเรียนมีทักษะตามความต้องการของ OECD learning compass 2030 ได้ (OECD, 2018) โดยการออกแบบบทเรียน วิธีการสอน และวิธีการทำงานของบุคลากรทางการศึกษานั้น โดยรวมในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าวิธีปฏิบัติเชิงการสอน (Teaching Practices) ซึ่งทีมผู้วิจัยได้ออกแบบเพื่อนำมาใช้ร่วมกับนวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ตเก่าร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเรียนการสอนให้สูงขึ้น

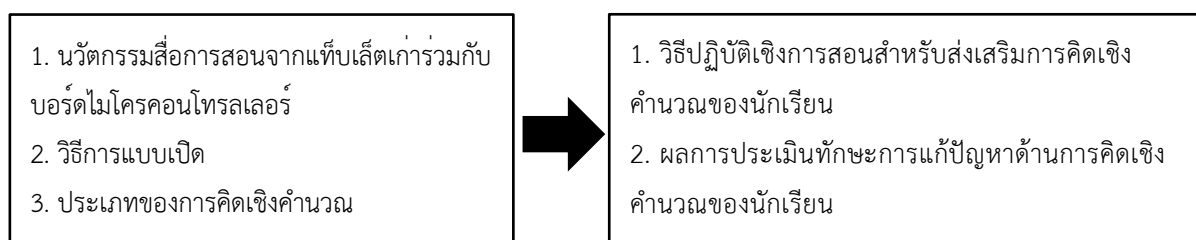
นวัตกรรมสื่อการสอนฯ ถูกออกแบบและพัฒนาจากแท็บเล็ตเก่าในปี พ.ศ. 2555 ที่ทุกโรงเรียนมีและปัจจุบันกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกทิ้งไว้มากำหนดให้เป็นหน้าจอแสดงผลร่วมกับการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยหลักการทำงานประกอบไปด้วยเครื่องอ่านบัตรค่า จะทำหน้าที่เป็นตัวอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เริ่มต้นในการส่งข้อมูลคลื่นวิทยุผ่านเสาอากาศที่อยู่ในบัตรค่า เมื่อบัตรค่าได้รับกระแสจากเครื่องอ่านบัตรค่า ไมโครชิปที่อยู่ในบัตรค่าก็จะทำการส่งข้อมูลกลับไปให้แก่เครื่องอ่านบัตรค่า เครื่องอ่านบัตรค่าจะนำข้อมูลที่ได้รับแปลค่าข้อมูลเหล่านั้นส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (NodeMcu ESP8266) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการรับข้อมูลและประมวลผลข้อมูลจากบัตรค่าโดยนำข้อมูลที่ได้อ่านเทียบกับรหัสข้อมูลของบัตรค่าส่งขึ้นที่ข้อมูลไว้ รวมถึงส่งข้อมูลผ่านระบบ wifi เพื่อส่งข้อมูลติดต่อผ่าน Application App Inventor ที่เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับสร้างแอปพลิเคชันและแสดงผลข้อมูลที่ได้เป็นรูปภาพบัตรค่าส่ง อีกทั้งยังนวัตกรรมสื่อการสอนฯ ยังจัดเป็นการส่งเสริมกิจกรรมแบบ Unplugged ในระดับประถมศึกษาให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาความเข้าใจของความหมาย โครงสร้าง และขั้นตอนของการเขียนโปรแกรม (Algorithm) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการต่อยอดไปสู่การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขั้นสูง อีกทั้งยังสามารถช่วยกระตุ้น ส่งเสริม สร้างความกระตือรือร้น และสร้างทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมให้เกิดประสิทธิภาพได้เป็นอย่างดี (Threekunprapa and Yasri, 2020) อีกทั้งนวัตกรรมสื่อการสอนฯ ไม่จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตจึงมีความเหมาะสมต่อการใช้ในโรงเรียนขนาดเล็ก และขนาดกลางในประเทศไทย

ดังนั้น ทีมผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาวิธีปฏิบัติเชิงการสอน และศึกษาผลการประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน ภายหลังการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ ร่วมกับวิธีการแบบเปิดเพื่อจะนำมาใช้เป็นต้นแบบนำร่องสู่วิธีปฏิบัติเชิงการสอนที่ช่วยพัฒนาความสามารถด้านการคิดเชิงคำนวณ และส่งเสริมการใช้ทักษะอื่น ๆ ตามที่ได้กล่าวไปเพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันของผู้เรียนเองได้ (Wing, 2006) อย่างยั่งยืนและทัดเทียมนานาประเทศ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีปฏิบัติเชิงการสอนสำหรับส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนโดยใช้นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ตเก่าร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในชั้นเรียนที่สอนด้วยวิธีการแบบเปิด
2. เพื่อศึกษาผลการประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากโรงเรียนประถมศึกษาขนาดเล็กของรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ประจำภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 เนื่องจากเป็นกลุ่มเป้าหมายที่มีความเฉพาะโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 22 คน เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีความเหมาะสมทั้งด้านระดับเนื้อหา ระดับการคิดเชิงคำนวณที่ถูกบ่มเพาะมาและระดับพัฒนาการของผู้เรียนที่เริ่มเหมาะสมกับการฝึกใช้เทคโนโลยีดิจิทัลสำหรับการต่อยอดไปสู่ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งจะเริ่มมีการเขียนโปรแกรมผ่านข้อความโดยเน้นการใช้คอมพิวเตอร์ต่อไป

2. ทีมการศึกษาชั้นเรียน จำนวน 10 คน ประกอบด้วย ผู้บริหาร คณะครู โดยแต่ละท่านได้รับหน้าที่การสอนในรายวิชาและระดับชั้นที่แตกต่างกันตั้งแต่ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 โดยทางโรงเรียนได้เข้าร่วมโครงการใช้นวัตกรรมการศึกษาชั้นเรียนและวิธีการแบบเปิด (TLSOA) รายวิชาคณิตศาสตร์ จากสถาบันพัฒนาวิชาชีพครูสำหรับอาเซียน มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นระยะเวลามากกว่า 10 ปี

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ตเก๋าร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนานวัตกรรมสื่อการสอนฯ ในการสอนรายวิชาวิทยาการคำนวณ โดยจัดเป็นสื่อที่รูปรูปธรรมในรูปแบบ Unplugged Coding ที่รับข้อมูลจากโปรแกรม Arduino IDE บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 และแสดงผลบนหน้าจอแท็บเล็ตเก๋าร่วมกับโปรแกรม App Inventor ซึ่งสามารถติดตั้งได้ในรูปแบบของไฟล์ APK แบ่งเป็น 2 ด้าน คือ 1) ด้านการส่งผ่านข้อมูล พบว่าบัตรคำสั่งจำนวน 28 บัตรคำสั่ง มีค่าร้อยละความถี่ในการส่งผ่านข้อมูล ร้อยละ 100.00 2) ด้านการใช้งาน สามารถนำไปใช้งานได้จริง ทั้ง 3 กิจกรรม ร้อยละ 100.00 และคุณภาพนวัตกรรมสื่อการสอนฯ มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 แปลผลได้ว่า ข้อคำถามทุกข้อจำนวน 10 ข้อ มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ของการวิจัยสามารถนำไปใช้ได้

2. แบบประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน

ผู้วิจัยใช้สำหรับประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน โดยสร้างมาจากข้อคำถามจากแบบฝึกหัดท้ายบทประกอบด้วยบทที่ 1, 2 (สัปดาห์ที่ 1) และ 7 (หน้ากากอลเวง) จากหนังสือเรียนรายวิชาเทคโนโลยี (วิทยาการคำนวณ) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ระดับระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยข้อคำถามแต่ละข้อต้องสามารถประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนที่แสดงในแต่ละจุดประสงค์ของบทเรียนได้โดยมีจำนวน 4 ข้อ ใหญ่ 3 คะแนน รวมทั้งสิ้น 12 คะแนน โดยแต่ละข้อเป็นข้อสอบแบบอัตนัยที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้แสดงวิธีการแก้ปัญหาของตนเองโดยใช้ทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของตน โดยมีค่าความเชื่อมั่น (Reliability) เท่ากับ 0.85 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก ค่าความยากของข้อสอบเฉลี่ย (Difficulty Index) เท่ากับ 0.62 ซึ่งถือว่าเหมาะสมกับระดับชั้นของผู้เรียน และมีค่าอำนาจจำแนก (Discrimination Index) เฉลี่ยเท่ากับ 0.54 ซึ่งอยู่ในระดับดีมากเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์การในการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางแบบเปิด และให้ความสำคัญกับการใช้เทคโนโลยีในชั้นเรียนจำนวน 3 ท่าน พบว่ามีค่า IOC ของข้อคำถามทุกข้อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 แปลผลได้ว่า ข้อคำถามทุกข้อจำนวน 4 ข้อใหญ่ มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ของการวิจัยสามารถนำไปใช้ได้

3. แบบบันทึกวิธีปฏิบัติเชิงการสอน

ผู้วิจัยใช้สำหรับให้ผู้สังเกตชั้นเรียนได้ตรวจสอบความถี่ของวิธีปฏิบัติการสอนที่เกิดขึ้นในชั้นเรียนและบันทึกเหตุการณ์หรือบทบาทของครูผู้สอนตามวิธีการแบบเปิด 4 ขั้นตอนของ (Inprasitha, 2022) ประกอบด้วย

- ชี้นำเสนอสถานการณ์ปัญหาปลายเปิด จำนวนวิธีปฏิบัติเชิงการสอน จำนวน 3 ข้อ
- ขั้นการเรียนรู้ด้วยตนเองของผู้เรียน จำนวนวิธีปฏิบัติเชิงการสอน จำนวน 3 ข้อ
- ขั้นตอนอภิปรายและเปรียบเทียบร่วมกันทั้งชั้นเรียน จำนวนวิธีปฏิบัติเชิงการสอน จำนวน 3 ข้อ
- ขั้นสรุปบทเรียนจากการเชื่อมโยงการคิดเชิงคำนวณ จำนวนวิธีปฏิบัติเชิงการสอน จำนวน 3 ข้อ

โดยได้ออกแบบวิธีปฏิบัติเชิงการสอนให้มีความสอดคล้องตามขั้นตอนของวิธีการแบบเปิด และให้ความสำคัญกับการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนตามเกณฑ์รูบริก (rubrics) โดยจำแนกผลการประเมินข้อคำถามในแต่ละข้อ ประกอบด้วย มีและปรากฏชัดเจน มีและปรากฏไม่ชัดเจน มีแต่ไม่ปรากฏ และไม่ปรากฏเลย จากนั้นวิเคราะห์ค่าความเที่ยงตรงระหว่างผู้ประเมิน (Inter-Rater Reliability) พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.88 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับดีมาก แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องในการประเมินที่เชื่อถือได้ของผู้ประเมินแต่ละคน และ พบว่ามีค่า IOC ของข้อคำถามทุกข้อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 แปลผลได้ว่า ข้อคำถามทุกข้อจำนวน 12 ข้อ มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัยสามารถนำไปใช้ได้

4. แผนการจัดการเรียนรู้

ผู้วิจัยได้สร้างและตรวจสอบคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรอบแนวคิดสำหรับสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการแก้ปัญหาของผู้เรียน และเหมาะสมสำหรับการใช้สอนตามแนวทาง TLSOP ของ (ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์, 2560) ร่วมกับการวิเคราะห์หนังสือเรียนรายวิชาเทคโนโลยี (วิทยาการคำนวณ) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) โดยมุ่งเน้นในส่วนของการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของผู้เรียน จำนวน 3 แผน ประจำบทที่ 1, 2 และ 7 รายวิชาวิทยาการคำนวณ ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 หน่วยการเรียนรู้เรื่องการเขียนโปรแกรมอย่างง่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์หรือสื่อและตรวจสอบข้อผิดพลาดของโปรแกรมโดยแสดงถึงรายละเอียดต่าง ๆ ที่สำคัญ ประกอบด้วย เป้าหมายของหน่วยการเรียนรู้, เป้าหมายของการสอนในบทเรียน, สารการเรียนรู้ของบทเรียน, สถานการณ์ปัญหา คำสั่งกิจกรรม, ลำดับขั้นของกิจกรรมการเรียนการสอนตามวิธีการแบบเปิด ขั้นตอนของการใช้วัตรกรรมสื่อการสอน ฯ และการใช้กระดานดำแบบญี่ปุ่นจากนั้นได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์การในการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางแบบเปิด และการใช้เทคโนโลยีในชั้นเรียน จำนวน 3 ท่าน พบว่ามีค่า IOC ของข้อคำถามทุกข้อทั้ง 3 แผนการจัดการเรียนรู้ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 แปลผลได้ว่า 3 แผนการจัดการเรียนรู้มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ของการวิจัยสามารถนำไปใช้ได้

5. เครื่องบันทึกวิดีโอ เครื่องบันทึกเสียง และเครื่องบันทึกภาพนิ่ง

ผู้วิจัยใช้เครื่องบันทึกวิดีโอ เครื่องบันทึกเสียง และเครื่องบันทึกภาพนิ่ง เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาวิธีปฏิบัติเชิงการสอนของครู และวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของผู้เรียนที่เกี่ยวข้องกับประเภทของทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณในชั้นเรียนและสังเกตชั้นเรียนร่วมกัน รวมถึงชั้นการสะท้อนผลชั้นเรียนร่วมกัน เพื่อช่วยยืนยันความถูกต้องของข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในภาคเรียนที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2566 โดยทีมผู้วิจัยใช้สำหรับการนิเทศ กำกับ และติดตามการทำงานของครูประจำการเพื่อศึกษาวิธีปฏิบัติเชิงการสอนรายวิชาวิทยาการคำนวณ ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยเริ่มจากการศึกษานำร่อง (Pilot Study) โดยใช้ระยะเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นศึกษาวิธีปฏิบัติเชิงการสอนจำนวน 3 แผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ระยะเวลา 3 สัปดาห์ และประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนในสัปดาห์ที่ 4 รวมทั้งให้ความช่วยเหลือเมื่อทีมการศึกษาชั้นเรียนพบปัญหาในการใช้งานนวัตกรรมสื่อการสอนฯ ร่วมกับวิธีการสอนแบบเปิด โดยมีการจัดสภาพแวดล้อมที่ให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ การแก้ปัญหา และการอภิปรายการคิดเชิงคำนวณร่วมกับผู้อื่นโดยแต่ละคู่จะได้รับนวัตกรรมสื่อการสอนฯ ชุดละ 1 เครื่อง โดยทักษะการคิดเชิงคำนวณที่สอดคล้องกับบทเรียนทั้ง 3 บท ประกอบด้วย การคิดแบบ 1) ลำดับขั้นตอน 2) เหตุการณ์ 3) เงื่อนไข และ 4) วงซ้ำ ตามกรอบแนวคิดของ Brennan and Resnick (2012) โดยทีมการศึกษาชั้นเรียนมีหน้าที่ ดังต่อไปนี้

- สมาชิกคนที่ 3, 4 และ 5 ทำการบันทึกวีดิทัศน์ และบันทึกภาพนิ่งชั้นเรียนโดยเน้นไปที่วิธีปฏิบัติเชิงการสอนเกี่ยวกับการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ ตาม 4 ขั้นตอนของวิธีการแบบเปิด และอิริยาบถของนักเรียนที่ตอบสนองต่อสถานการณ์ปัญหา และการใช้การคิดเชิงคำนวณในการแก้ปัญหา

- สมาชิกคนที่ 2, 6, 7 และ 8 ทำการบันทึกรายละเอียดเกี่ยวกับการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน และประเมินความถี่ของวิธีปฏิบัติเชิงการสอนของครูโดยใช้แบบบันทึกวิธีปฏิบัติเชิงการสอน

- สมาชิกคนที่ 9 และ 10 ทำการถอดเทปวีดิทัศน์ชั้นเรียน จัดทำเป็นโพรโทคอล และตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ภาษา เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้การวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed - Methods research) โดยมีรายละเอียดแบ่งเป็น 2 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. การวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) โดยใช้สำหรับการวิเคราะห์วิธีปฏิบัติเชิงการสอน ดังนี้

1.1 วิเคราะห์เอกสารเกี่ยวกับกรอบเชิงทฤษฎีของวิธีการแบบเปิด (Inprasitha, 2022) และการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนของ Brennan and Resnick (2012) เพื่อนำมาสร้างเป็นแนวทางวิธีปฏิบัติเชิงการสอนในชั้นเรียน

1.2 วิเคราะห์เนื้อหาของแบบบันทึกวิธีปฏิบัติเชิงการสอน แผนการจัดการเรียนรู้ หนังสือเรียน และผลงานของนักเรียน เพื่อวิเคราะห์ถึงวิธีปฏิบัติการสอนรวมกับการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ ในชั้นเรียนที่ใช้วิธีการแบบเปิดทั้ง 4 ขั้นตอน

1.3 วิเคราะห์วีดิทัศน์ร่วมกับวิเคราะห์โพรโทคอลในชั้นเรียนตามขั้นตอนของวิธีการแบบเปิด โดยเน้นวิเคราะห์อิริยาบถ การใช้ภาษา ปฏิสัมพันธ์ร่วมกันทั้งของนักเรียนและนักเรียนรวมถึงนักเรียนกับครู ที่แสดงถึงการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ ร่วมกับการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน และนำเสนอข้อมูลด้วยการพรรณนาวิเคราะห์ตามขั้นตอนของวิธีการแบบเปิด

2. การวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) โดยใช้สำหรับการวิเคราะห์ค่าร้อยละ และเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนทั้งชั้นเรียนภายหลังการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ และการทดสอบแบบประเมินทักษะการแก้ปัญหารายวิชาวิทยาการคำนวณ

ความน่าเชื่อถือของข้อมูล

ผู้วิจัยจึงใช้การตรวจสอบสามเส้าจากทีมการศึกษาชั้นเรียน จำนวน 10 คน (Multiple Analyst Triangulation) (Denzin, 1989) เพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล โดยแบ่งเป็น 2 ประเด็น ดังนี้

1. การตรวจสอบวิธีปฏิบัติเชิงการสอนของครู โดยร่วมกันวิเคราะห์ถึงวิธีปฏิบัติเชิงการสอนที่มีความสอดคล้องกับ 4 ขั้นตอนของวิธีการแบบเปิดรวมกับการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ

2. การตรวจสอบการวิเคราะห์ผลการประเมินประเภททักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน และ
คุณลักษณะ/สมรรถนะด้านการแก้ปัญหาของผู้เรียนภายหลังการใช้นวัตกรรมสื่อการสอน

ผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย จำนวน 2 ข้อ ประกอบด้วย 1) เพื่อศึกษาวิธีปฏิบัติเชิงการสอนสำหรับส่งเสริมการคิด
เชิงคำนวณของนักเรียนโดยใช้นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ตร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในชั้นเรียนที่สอนด้วย
วิธีการแบบเปิด และ 2) เพื่อศึกษาผลการประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน โดย
มีรายละเอียด ดังนี้

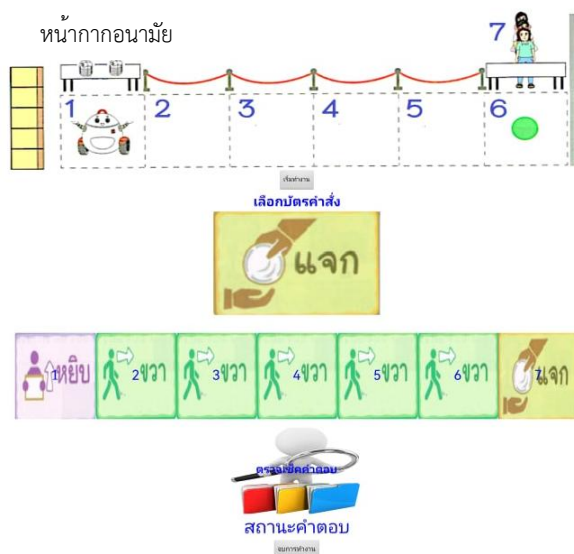
1. วิธีปฏิบัติเชิงการสอนสำหรับส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนโดยใช้นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ต
ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในชั้นเรียนที่สอนด้วยวิธีการแบบเปิด

ผู้วิจัยได้เลือกนำเสนอกรณีศึกษาในบทเรียนที่ 3/3 ประจำสัปดาห์ที่ 3 เรื่อง หน้ากากอนามัย มานำเสนอผลการวิจัย
เนื่องจากแผนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวเป็นการตรวจสอบพื้นฐานสำคัญของการใช้ทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณ
ของนักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษาตอนต้นที่จะนำไปต่อยอดเพื่อสู่ระดับชั้นประถมศึกษาตอนปลายต่อไป โดยมีรายละเอียด
ของแผนการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

เป้าหมายของการสอนในบทเรียน: นักเรียนต้องตระหนักถึงความสำคัญและใช้การคิดเชิงคำนวณเพื่อแสดงแทน
อัลกอริทึมด้วยการใช้บัตรคำสั่งแบบวนซ้ำเพื่อแก้ปัญหาย่างง่ายในขั้นตอนของการแจกหน้ากากอนามัย

สถานการณ์ปัญหา: เมื่อเกิดไฟไหม้จึงมีผู้คนวิ่งหนีตามมา นักเรียนจะสามารถช่วยเขียนโปรแกรมเพื่อแจก
หน้ากากอนามัยได้ไหมนะ

คำสั่ง: ให้นักเรียนแสดงขั้นตอน การแจกหน้ากากอนามัยของฟิอิมโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพ 2 แสดงผลบนหน้าจอแท็บเล็ต

ผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดวิธีปฏิบัติเชิงการสอนตามขั้นตอนของวิธีการแบบเปิด ดังนี้

1.1 ขั้นนำเสนอสถานการณ์ปัญหาปลายเปิด

ครูอภิปรายร่วมกันกับนักเรียนถึงปัญหาเหตุเพลิงไหม้ และการเกิดฝุ่นควันซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพ และให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายถึง วิธีแก้ปัญหาเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้จากนั้นนำเสนอสถานการณ์ปัญหาปลายเปิดซึ่งสอดคล้องกับชีวิตประจำวันเกี่ยวกับวิธีการแจกหน้ากากอนามัยเมื่อเกิดฝุ่นควันขึ้น
ดังแสดงในโปรโตคอลต่อไปนี้

ครู: ถ้าเกิดเหตุเพลิงไหม้และมีฝุ่นควันมากนักเรียนจะอย่างไรครับ

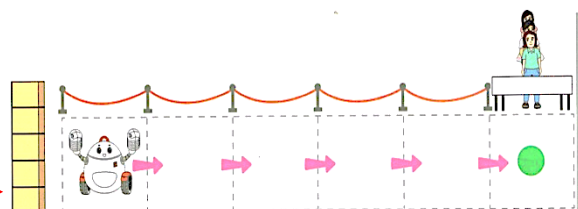
นักเรียน 1: ใช้ผ้าชุบน้ำทอตัวแล้ววิ่งออกมาค่ะ

นักเรียน 2: โทร 191 ครับ

นักเรียน 3: ต้องใส่หน้ากากแล้ววิ่งหนีออกมาค่ะ

ครู: โอ้ว นักเรียนมีประสบการณ์ร่วมกับเหตุการณ์ดีมากเลย เอาละวันนี้ได้ยั่วครูจะให้พวกเราช่วยกันเขียนโปรแกรมโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อให้พื้มช่วยพวกเราแจกหน้ากากอนามัยนะครับ

นักเรียนทั้งชั้น: มันมีเสียงด้วยครับครู/ น่าจะสนุก พื้มตัวสีขาว/ อยากทำแล้วค่ะเอาบัตรวางตรงไหนได้บ้าง/ [จากภาพ 3 นักเรียนพลางชี้ไปที่หน้าจอแสดงผล] พื้มเดินไปแล้วต้องเดินกลับมาไหมครับแล้วเดินได้กี่รอบครับครู



ภาพ 3 แสดงขั้นตอนการนำเสนอสถานการณ์ปัญหาปลายเปิดผ่านหน้าจอแท็บเล็ต

จากโปรโตคอล พบว่า ครูนำเสนอสถานการณ์ปัญหาปลายเปิดโดยคำนึงถึงบริบทจริงที่สอดคล้องกับวิธีปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ โดยทำการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจผ่านการแสดง สถานการณ์ปัญหาบนหน้าจอแท็บเล็ต

1.2 ขั้นการเรียนรู้ด้วยตนเองของนักเรียน

ภายหลังครูแจกนวัตกรรมสื่อการสอนฯ ให้นักเรียนแต่ละคู่ เพื่อทำความเข้าใจกับสถานการณ์ปัญหาปลายเปิดที่แสดงผลบนจอแท็บเล็ตแล้ว จากนั้นครูอธิบายหน้าที่ของบัตรคำสั่งแต่ละใบ ดังแสดงในโปรโตคอลต่อไปนี้

ครู: บัตรคำสั่งมี หยิบ เดินขวา เดินซ้าย แยก และวนซ้ำ นะครับเด็ก ๆ พวกเราสามารถเลือกใช้ได้เองตามต้องการเลย ตอนนี้แต่ละกลุ่มจะมีคนละ 1 ชุด สามารถแก้ไขคำตอบได้ แต่ทุกคนจะยังไม่รู้คำตอบจนกว่าจะอภิปรายแนวคิดของแต่ละกลุ่มเสร็จจะครับ ลองพูดคุยกับเพื่อน ๆ ของเราดูว่าจะวางกันยังไง เพราะอะไร

นักเรียน 1: ตอบได้หลายครั้งครับครู คิดว่าผิดก็กดแก้ไขได้

นักเรียน 2: กลุ่มเราลองใช้บัตรวนซ้ำกัน

นักเรียน 3: เวลาวางบัตรมีเสียงพูดด้วย/เราลองวางบัตรต่าง ๆ กัน

จากโทรศัพท์พบว่า ครูอธิบายหน้าที่ของบัตรคำสั่งที่แจกให้นักเรียนทุกคู่อย่างละ 1 ชุด จากนั้นให้อิสระนักเรียนในแต่ละคู่แก้ปัญหาผ่านการอภิปรายเพื่อค้นหาคำตอบตามคู่ของตน โดยนวัตกรรมสื่อการสอนฯ ช่วยสนับสนุนให้ผู้เรียนสามารถแก้ปัญหาด้วยตนเองหรือกับเพื่อนในกลุ่มได้อย่างหลากหลาย และส่งเสริมการทำงานร่วมกับผู้อื่น

จากนั้นครูและทีมการศึกษาชั้นเรียนทำการสำรวจและจดบันทึกประเภทของทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณจากการสังเกตจากใบกิจกรรมของผู้เรียนร่วมกับการสังเกตคุณลักษณะ และสมรรถนะเชิงพฤติกรรมของแต่ละคู่เพื่อใช้จัดลำดับการนำเสนอในชั้นการอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียน โดยมีรายละเอียดของแต่ละประเภทดังตัวอย่างต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 แสดงการคิดแบบเหตุการณ์

จากภาพ 4 นักเรียนเลือกและแสดงลำดับของการใช้บัตรคำสั่ง คือ เดินขวา -> เดินซ้าย -> หยิบหน้ากาก -> แยกหน้ากาก -> เดินขวา -> เดินซ้าย -> หยิบหน้ากาก



ภาพ 4 แสดงการคิดเชิงคำนวณประเภทเหตุการณ์

กลุ่มที่ 2 แสดงการคิดแบบเหตุการณ์ และเงื่อนไข

จากภาพ 5 นักเรียนเลือกและแสดงลำดับของการใช้บัตรคำสั่ง คือ หยิบหน้ากาก -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินซ้าย -> แยกหน้ากาก



ภาพ 5 แสดงการคิดเชิงคำนวณประเภทเหตุการณ์ และเงื่อนไข

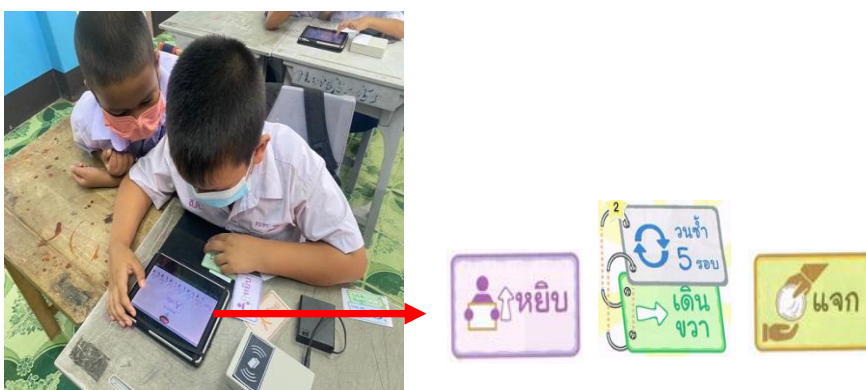
กลุ่มที่ 3 แสดงการคิดแบบลำดับขั้นตอน เหตุการณ์ เงื่อนไข

จากภาพ 6 นักเรียนเลือกและแสดงลำดับของการใช้บัตรคำสั่ง คือ หยิบหน้ากาก -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> แจกหน้ากาก



ภาพ 6 แสดงการคิดเชิงคำนวณประเภทลำดับขั้นตอน เหตุการณ์ เงื่อนไข

จากภาพ 7 นักเรียนเลือกและแสดงลำดับของการใช้บัตรคำสั่ง คือ หยิบหน้ากาก -> เดินขวาววนซ้ำ 5 รอบ -> แจกหน้ากาก



ภาพ 7 แสดงการคิดเชิงคำนวณประเภทลำดับขั้นตอน เหตุการณ์ เงื่อนไข และวนซ้ำ

จากภาพ 4 ถึง 7 ครูและทีมการศึกษาชั้นเรียนแสดงการสำรวจและจัดบันทึกประเภทของทักษะการแก้ปัญหา ด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนที่หลากหลายภายหลังจากการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ โดยครูผู้สอนได้แบ่งกลุ่ม การนำเสนอออกเป็น 4 กลุ่ม โดยเรียงลำดับตามจำนวนประเภทของทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของผู้เรียนจาก กลุ่มที่มีจำนวนน้อยที่สุดจนถึงมากที่สุด เพื่อใช้ในขั้นตอนของการอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียนต่อไป

1.3 ขั้นตอนอภิปรายและเปรียบเทียบแนวคิดของนักเรียนร่วมกันทั้งชั้นเรียน

ครูทำการคัดเลือกกลุ่มเพื่อนำเสนอและอภิปรายร่วมกันจำนวน 3 กลุ่ม จากนั้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอ วิธีการแก้ปัญหาในกลุ่มของตนผ่านการเคลื่อนย้ายสื่อบัตรคำสั่งบนกระดานดำ ดังแสดงในโปรโตคอลต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 แสดงการคิดแบบเหตุการณ์

นักเรียนกลุ่ม 1: พวกเราเดินขวา-> เดินซ้าย-> หยิบ-> แจก -> เดินขวา -> เดินซ้าย -> หยิบ เพื่อน ๆ มีคำถามไหม ครับ

นักเรียนในชั้นเรียน: ทำไมเดินกลับไปกลับมา เหมือนยังแจกหน้ากากไม่ได้เลย

นักเรียนกลุ่ม 1: กลุ่มเราจะกลับมาเอาหน้ากากเพิ่มแต่ช่องไม่พอใส่

ครู: เพื่อนบอกว่าที่เรียงแบบนี้เพราะอยากกลับมาหยิบหน้ากากเพิ่ม ถือเป็นแนวคิดที่ดีนะครับ

กลุ่ม 2 แสดงการคิดแบบเหตุการณ์ และเงื่อนไข

นักเรียนกลุ่ม 2: พวกเราหยิบ -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินซ้าย -> แจก เพื่อน ๆ มีคำถามไหมครับ

นักเรียนในชั้นเรียน: เหมือนนับช่องผิดไป 1 ช่อง / มันยังแจกไม่ได้เลย

ครู: กลุ่มนี้เดินใกล้ถึงแล้วแต่ยังแจกไม่ได้ละครับ เพื่อน ๆ ว่ากลุ่มนี้ควรเพิ่มเติมอะไรดีครับ

นักเรียนในชั้นเรียน: ใช่ ๆ ถ้าเพิ่มเดินขวาแทนเดินซ้ายก็แจกได้เลย

กลุ่ม 3 แสดงการคิดแบบลำดับขั้นตอน เหตุการณ์ เงื่อนไข

นักเรียนกลุ่ม 3: พวกเราหยิบ -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> เดินขวา -> แจก เพื่อน ๆ มีคำถามไหมคะ

นักเรียนในชั้นเรียน: ถูกแล้ว ๆ เหมือนของพวกหนูเลย/ บัตรเดินขวาเยอะจัง/ มันซ้ำกันเยอะ

ครู: กลุ่มนี้มีแนวคิดที่แตกต่างจาก 2 กลุ่มแรกเลยนะครับเดี่ยวเรามาดูกันว่ากลุ่มไหนจะถูกนะครับ ถ้าเด็ก ๆ อยากตรวจคำตอบให้ใส่รหัส 1234 ได้เลยนะครับ ถ้าถูกตัวการตูนจะพูดและทำหน้ายิ้ม แต่ถ้าผิดตัวการตูนจะทำหน้าร้องไห้

นักเรียนในชั้นเรียน: ของหนูขึ้นหน้าร้องไห้/ ของผมรูปยิ้มครับ

ครู: เอาละเด็ก ๆ เห็นไหมว่าพวกเรามีแนวคิดกันที่หลากหลายมากเลย เดี่ยวเรามาลองเขียนโปรแกรมสั่งพื้มพร้อมกันบนกระดานไหมครับ ว่าของกลุ่มไหนจะถูกต้องมากที่สุด

จากโพโธคอลพบว่า ครูส่งเสริมให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายวิธีการแก้ปัญหาของตน พร้อมกับการใช้คำถามเพื่อกระตุ้นการคิดของนักเรียนทั้งชั้นเรียนโดยครูเรียงลำดับกลุ่มที่นำเสนอจากการใช้จำนวนประเภททักษะการแก้ปัญหาแบบต่าง ๆ เพื่อให้นักเรียนทั้งชั้นเรียนได้เรียนรู้ทักษะการแก้ปัญหาที่มีความหลากหลายร่วมกัน อีกทั้งครูสนับสนุนให้นักเรียนทั้งชั้นเรียนเปรียบเทียบ ตั้งคำถาม และร่วมกันอภิปรายร่วมกันกับผู้อื่น โดยการแจกรหัสเพื่อตรวจคำตอบในตอนท้ายจนนำไปสู่การอภิปรายทั้งชั้นเรียนเพื่อหาคำตอบที่ถูกต้องที่สุด

1.4 ขั้นการสรุปบทเรียนจากการเชื่อมโยงแนวคิดของนักเรียน

ครูสรุปบทเรียนโดยการเชื่อมโยงการคิดเชิงคำนวณที่เกิดขึ้นในชั้นเรียนจากนั้นเชื่อมโยงการคิดเชิงคำนวณของกลุ่มที่ 4 ที่มีประเภทของการคิดเชิงคำนวณที่ใกล้เคียงกับจุดประสงค์ของบทเรียนมากที่สุด ดังแสดงในโพโธคอลต่อไปนี้

ครู: นักเรียนจะเห็นว่าทั้ง 3 กลุ่มที่นำเสนอมาวิธีการคิดที่ต่างกันไปหมดเลยนะครับและกลุ่มที่ 3 ก็ถูกต้องมากที่สุด แต่ยังมีอีกหนึ่งกลุ่มที่มีแนวคิดไม่เหมือนกับกลุ่มไหนเลย เดี่ยวครูลองให้เขาออกมานำเสนอหน้าชั้นเรียนดูนะครับ

นักเรียนกลุ่ม 4: พวกเราหยิบ -> แล้วเดินขวาแบบวน 5 ครั้ง -> แจกหน้ากาก เพื่อน ๆ มีคำถามไหมครับ

นักเรียนในชั้นเรียน: ทำแบบนี้ก็ได้หรอ แต่ช่องมันไม่ครบนะ/ ใช้แค่ 3 ใบเอง / อ้อ มันช่วยลดขั้นตอนลง

ครู: เอาละ ไหนเด็ก ๆ ลองตรวจสอบคำสั่งของเพื่อน ๆ ซิว่าถูกไหมลองวางบัตรดู

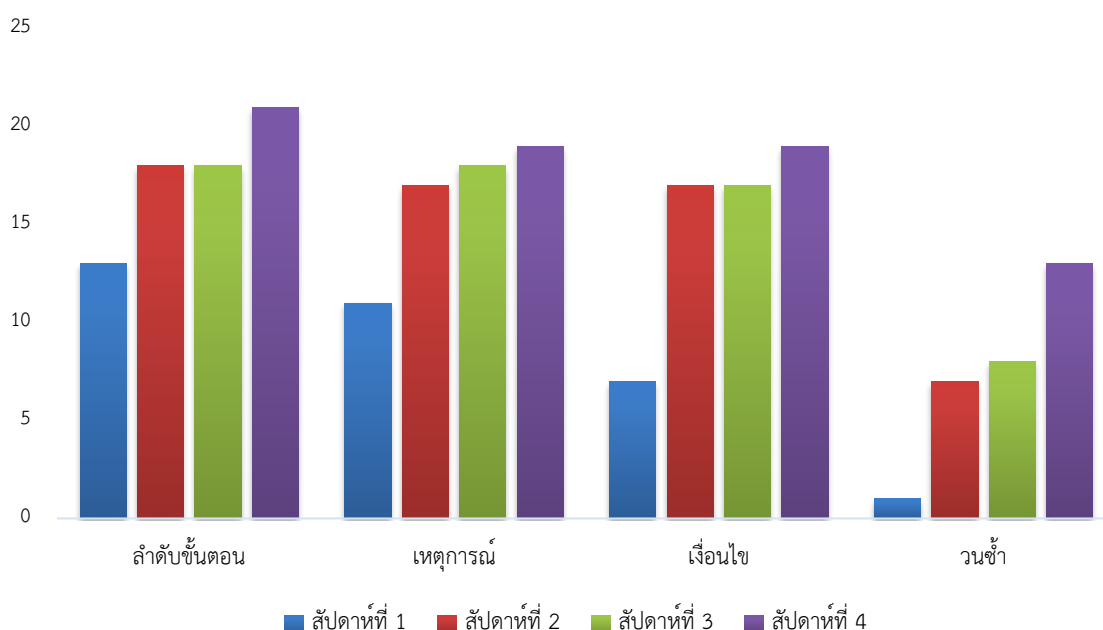
นักเรียนในชั้นเรียน: ถูกครับ ๆ / ถูกคะ ๆ ทำแบบนี้ก็ได้ด้วยประหยัดเวลาดี

ครู: ที่เด็ก ๆ ลองใช้ เราเรียกว่าบัตรคำสั่งแบบวนซ้ำมันจะทำงานจนกว่าจะครบจำนวนรอบที่ระบุไว้ตามตัวเลขที่เราระบุในที่นี้คือเลข 5 ซึ่งช่วยลดขั้นตอนของการเขียนโปรแกรมลงได้ด้วยครับ

จากโพโธคอลพบว่า ครูสรุปบทเรียนจากการเชื่อมโยงประเภททักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน โดยการเลือกกลุ่มที่ 4 มานำเสนอและสนับสนุนการอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียนจนนำไปสู่จุดประสงค์ของบทเรียนนี้ จากนั้นครูใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ ช่วยสนับสนุนความหมายเชิงนามธรรมของการวนซ้ำ

2. ผลการประเมินทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน

ผู้วิจัยวิเคราะห์ประเภทของทักษะการแก้ปัญหา จากใบกิจกรรมและพฤติกรรมของผู้เรียนโดยแบ่งเป็น จำนวน 3 สัปดาห์ และทำการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 โดยแสดงรายละเอียดดังนี้



ภาพ 8 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบแสดงจำนวนประเภทของทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน

จากภาพ 8 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบแสดงจำนวนประเภทของทักษะการแก้ปัญหาด้านการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนจำแนกตามรายสัปดาห์ พบว่า

ประเภทลำดับขั้นตอน ประกอบด้วย สัปดาห์ที่ 1 จำนวน 13 คน สัปดาห์ที่ 2 จำนวน 18 คน สัปดาห์ที่ 3 จำนวน 18 คน และสัปดาห์ที่ 4 จำนวน 21 คน ซึ่งเพิ่มจากร้อยละ 18.00 เป็นร้อยละ 30.00

ประเภทเหตุการณ์ ประกอบด้วย สัปดาห์ที่ 1 จำนวน 11 คน สัปดาห์ที่ 2 จำนวน 17 คน สัปดาห์ที่ 3 จำนวน 18 คน และสัปดาห์ที่ 4 จำนวน 19 คน ซึ่งเพิ่มจากร้อยละ 17.00 เป็นร้อยละ 29.00

ประเภทเงื่อนไข ประกอบด้วย สัปดาห์ที่ 1 จำนวน 7 คน สัปดาห์ที่ 2 จำนวน 17 คน สัปดาห์ที่ 3 จำนวน 17 คน และสัปดาห์ที่ 4 จำนวน 19 คน ซึ่งเพิ่มจากร้อยละ 12.00 เป็นร้อยละ 32.00

ประเภทวนซ้ำ ประกอบด้วย สัปดาห์ที่ 1 จำนวน 1 คน สัปดาห์ที่ 2 จำนวน 7 คน สัปดาห์ที่ 3 จำนวน 8 คน และสัปดาห์ที่ 4 จำนวน 13 คน ซึ่งเพิ่มจากร้อยละ 3.00 เป็นร้อยละ 45.00

อภิปรายผล

ผู้วิจัยแบ่งประเด็นการอภิปรายผล เป็น 2 ประเด็น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. วิธีปฏิบัติเชิงการสอนสำหรับส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนโดยใช้นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ต เก๋าร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในชั้นเรียนที่สอนด้วยวิธีการแบบเปิด

ครูนำเสนอสถานการณ์ปัญหาปลายเปิดผ่านการใช้นวัตกรรมสื่อการสอน โดยคำนึงถึงบริบทและชีวิตประจำวันของนักเรียนเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความยุ่งยาก (Problematic) และใช้คำสั่งของกิจกรรมเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนใช้การคิดเชิงคำนวณเพื่อแก้ปัญหาด้วยตนเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ไอริน ชุ่มเมืองเย็น และคณะ (2565) กล่าวว่า คำถามปลายเปิดและคำสั่งของบทเรียนที่ดีช่วยให้ผู้เรียนเกิดการคิดที่หลากหลายส่งผลต่อการเรียนรู้เชิงรุกได้เป็นอย่างดี จากนั้นครูสนับสนุนให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองและเรียนรู้กับเพื่อนได้อย่างอิสระ ผ่านการใช้นวัตกรรมสื่อการสอน โดยครูต้องสำรวจและรวบรวมวิธีการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับประเภทของการคิดเชิงคำนวณที่มีความหลากหลายตามการคาดการณ์เพื่อใช้ในการอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียนต่อไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชนกนันท์ จันทอร่าม และอังคณา อ่อนธานี (2561) ที่กล่าวว่า ขั้นตอนของวิธีการแบบเปิดสามารถส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลของผู้เรียนก่อให้เกิดแนวคิดที่แตกต่างเพื่อใช้ร่วมกันในขั้นตอนของการอภิปรายต่อไป จากนั้นครูส่งเสริมให้ผู้เรียนนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาของตนเองเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบถึงประเภทการคิดเชิงคำนวณร่วมกัน ประกอบด้วย แบบลำดับขั้นตอน แบบเหตุการณ์ แบบเงื่อนไข และแบบวนซ้ำ ตามลำดับ ร่วมกับการใช้นวัตกรรมสื่อการสอน ที่คอยเป็นสื่อกระตุ้นให้เกิดประเด็นการถกเถียง และอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียนจนนำไปสู่การสรุปบทเรียน นั่นคือ ความหมายของการคิดแบบวนซ้ำซึ่งมีลักษณะเป็นเชิงนามธรรม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shimizu (1999) การสร้างข้อสรุปจากการเชื่อมโยงแนวคิดที่เกิดขึ้นในชั้นเรียนทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย ความยั่งยืน และสามารถสร้างเครื่องมือเชิงการเรียนรู้ (How To) เพื่อใช้ต่อยอดในการเรียนที่สูงขึ้นต่อไปได้

2. คุณลักษณะ เจตคติ และสมรรถนะของผู้เรียนภายหลังการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนจากแท็บเล็ตเก๋าร่วมกับ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในชั้นเรียนที่สอนด้วยวิธีการแบบเปิด

การใช้นวัตกรรมสื่อการสอน สามารถช่วยส่งเสริมทักษะ คุณลักษณะ เจตคติ และสมรรถนะด้านการแก้ปัญหาของผู้เรียนในรายวิชาการคำนวณได้ตามขั้นตอนของวิธีการแบบเปิด ประกอบด้วย 1) ขั้นนำเสนอสถานการณ์ปัญหาปลายเปิด: ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาปลายเปิดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในบทเรียน และอยากที่จะค้นหาคำตอบ สอดคล้องกับ Lee (2020) ที่พบว่า การประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการจัดการเรียนการสอนรายวิชาการคำนวณมีส่วนช่วยให้ผู้เรียนอยากที่จะแก้ปัญหามากขึ้นเนื่องจากผู้เรียนมีความสุข และอยากที่จะทำมากกว่าการเรียนแบบปกติ 2) ขั้นการเรียนรู้ด้วยตนเองของนักเรียน: ช่วยส่งเสริมความสามารถในการคิดที่หลากหลาย และสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ดีมากขึ้น เนื่องจากการออกแบบ ที่ให้ความสำคัญกับการส่งเสริมการคิดที่หลากหลาย และการคิดอย่างอิสระของผู้เรียน โดยส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีโอกาสลองผิด-ลองถูกมากขึ้น และส่งเสริมการอภิปรายถึงการคิดเชิงคำนวณร่วมกันในชั้นเรียน โดยนักเรียนอยากที่จะฟังแนวคิดของผู้อื่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการออกแบบที่ต้องใส่รหัสผ่านเพื่อตรวจคำตอบภายหลังการอภิปรายร่วมกันไปแล้วเสร็จก่อน สอดคล้องกับ Nam (2018) ที่ให้ความสำคัญกับการออกแบบบทเรียนให้มีความสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยต้องคำนึงถึงวิธีการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน สนุก และต้องเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในชั้นเรียนให้กับครูผู้สอนร่วมด้วย 3) ขั้นอภิปรายและเปรียบเทียบแนวคิดของนักเรียนร่วมกันทั้งชั้นเรียน: ช่วยส่งเสริมความสามารถในการสื่อสาร และการยอมรับแนวคิดของผู้อื่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการคิดที่หลากหลายมากขึ้นของนักเรียนทำให้มีประเด็นการอภิปรายที่เพิ่ม

มากขึ้น ส่งผลให้นักเรียนอยากที่จะตั้งคำถามและสอบถามกลุ่มที่นำเสนอเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ Threekunprapa and Yasri (2020) สถานการณ์ปัญหาที่มีวิธีการหาคำตอบที่หลากหลายในชั้นเรียน ส่งเสริมให้ผู้เรียนสนใจวิธีการหาคำตอบของผู้อื่น เนื่องจากอยากที่จะเปรียบเทียบกับวิธีการหาคำตอบของตน และส่งเสริมให้เกิดการตั้งคำถามขึ้นมากกว่าเดิม

4) ขั้นตอนการสรุปบทเรียนจากการเชื่อมโยงแนวคิดของนักเรียน: ช่วยส่งเสริมการคิดเชิงนามธรรมไปสู่การคิดเชิงรูปธรรมได้ดีมากขึ้น เนื่องจากผู้เรียนสามารถเข้าใจความหมายหรือนิยามของคำศัพท์ในบทเรียนผ่านการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ เช่น การเข้าใจความหมายของการวนซ้ำผ่านการใช้บัตรคำสั่งวนซ้ำ เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

นวัตกรรมสื่อการสอนฯ ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สอนในรายวิชาการคำนวณที่เน้นการแก้ปัญหาแบบปลายเปิด การให้ความสำคัญกับการคิดเชิงคำนวณที่หลากหลายของผู้เรียน และการอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียนเพื่อก่อให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกันจนนำไปสู่ข้อสรุปของบทเรียน ดังนั้น ผู้ที่สนใจต้องให้ความสำคัญ และเข้าใจเกี่ยวกับวิธีปฏิบัติเชิงการสอนดังกล่าวเป็นอย่างดี เพื่อจะสามารถพัฒนาทักษะการแก้ปัญหา และส่งเสริมคุณลักษณะของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

วิธีปฏิบัติเชิงการสอนร่วมกับการใช้นวัตกรรมสื่อการสอนฯ ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สอนในรายวิชาการคำนวณสำหรับระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะให้ขยายผลไปสู่ระดับชั้นประถมศึกษาที่เหลื่อต่อไป โดยเฉพาะในระดับประถมศึกษาตอนปลายอาจพัฒนาไปสู่การเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาข้อความ หรืออาจประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาทักษะด้านอื่น ๆ นอกจากทักษะการคิดเชิงคำนวณของผู้เรียน

เอกสารอ้างอิง

- กัญกร เอี่ยมพญา, นิวัตต์ น้อยมณี, พรทิพย์ อันเกษม, ดาวประกาย ระโส, และอภิชาติ อนุกุลเวช. (2565). โรงเรียนขนาดเล็ก: ปัญหาที่ต้องตัดสินใจ. *วารสารสิรินธรปริทรรศน์*, 23(1), 315-329.
<https://so06.tci-thaijo.org/index.php/jsrc/article/view/249128>
- ชนกันท์ จันทร์อร่าม และอังคณา อ่อนธานี. (2561). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยวิธีการแบบเปิดเพื่อส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารครูพิบูล*, 6(1), 118-133. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/edupsru/article/view/129116/136056>
- ณัฐริณี เจตียวรรณ และนพดล เจนอักษร. (2567). การบริหารจัดการวิชาการคำนวณ. *วารสาร มจร ปรัชญาปริทรรศน์*, 7(1), 75-86. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/jmpr/article/download/268975/183806>
- ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์. (2560). การศึกษาชั้นเรียนและวิธีการแบบเปิดเพื่อพัฒนาคุณภาพชั้นเรียนและ “เดียวไซ้ เคงคิ้ว” ในการศึกษาชั้นเรียนและวิธีการแบบเปิด. *การสัมมนาเชิงปฏิบัติการสำหรับบุคลากรทางการศึกษา*. โรงเรียนอนุบาลดำรงราชานุสรณ์.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). *หนังสือเรียนรายวิชาเทคโนโลยี (วิทยาการคำนวณ) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 3*. โรงพิมพ์ สกสค.

- วัชรพัฒน์ ศรีคำเวียง. (2561, 21 กันยายน). *วิทยาการคำนวณ (Computing Science)*. คลังความรู้ SciMath.
<https://www.scimath.org/lesson-technology/item/8808-computing-science>
- ไอริน ชุ่มเมืองเย็น, วีรวัฒน์ ไทยคำ, และพรรณ เหมาะสม. (2565). ผลการจัดการเรียนรู้เชิงรุกด้วยวิธีการแบบเปิดที่เน้นการทดลองทางคณิตศาสตร์ เรื่องเศษส่วน สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ 3 คณะครุศาสตร์. *วารสารครูพิบูล*, 9(2), 308-323. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/edupsru/article/view/241840/174790>
- Brennan, K., and Resnick, M. (2012). New Frameworks for Studying and Assessing the Development of Computational Thinking. *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association* (pp. 1-25). Vancouver.
<https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=3062876>
- Denzin, N. K. (1989). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Inprasitha, M. (2022). Lesson study and open approach development in Thailand: a longitudinal study. *International Journal for Lesson and Learning Studies*, 11(5), 1-15.
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ijlls-04-2021-0029/full/html>
- Lee, E. (2020). Developing a Low-Cost Microcontroller-Based Model for Teaching and Learning. *European Journal of Educational Research*, 9(3), 921-934.
- Nam, W. (2018). Study on design education plan using microcontroller board prototyping tool. *International Journal of Contents*, 14(3), 61-68. <https://www.eu-jer.com/developing-a-low-cost-microcontroller-based-model-for-teaching-and-learning>
- OECD. (2018). *Preparing our Youth for an Inclusive and Sustainable World: The OECD PISA Global Competence Framework*. OECD Library.
- Shimizu, Y. (1999). Aspect of mathematics teacher education in Japan: Focusing on teachers' roles. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 2(1), 107-116.
<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009960710624>
- Threekunprapa, A., and Yasri, P. (2020). Unplugged Coding Using Flowblocks for Promoting Computational Thinking and Programming among Secondary School Students. *International Journal of Instruction*, 13(3), 207-222. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1259514>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33.
<https://dl.acm.org/doi/10.1145/1118178.1118215>