การศึกษาการคิดอัลกอริทึมผ่านกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับในชั้นเรียนที่ใช้นวัตกรรมการศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิด

A Study of Algorithmic Thinking through Sorting Network Activity in Classroom Using Transformative Lesson Study Incorporated with Open Approach

จักรพันธ์ แก้วศิริ[1] และนฤมล ช่างศรี[2,*]

Chakkrapan Kaewsiri[1] and Narumon Changsri[2,*]

(Received: November 25, 2025; Revised: March 17, 2026; Accepted: March 18, 2026)

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคิดอัลกอริทึมของนักเรียนผ่านกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับในชั้นเรียนที่ใช้วิธีการแบบเปิด ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพที่เน้นการวิเคราะห์โพรโทคอล ผลงานการเขียนของนักเรียน และการบรรยายเชิงวิเคราะห์ โดยมีกลุ่มเป้าหมายในการวิจัย คือ นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4-5 จำนวน 43 คน วิเคราะห์ข้อมูลตามวงจรของการศึกษาชั้นเรียน จำนวนทั้งสิ้น 2 วงจร แต่ละวงจรประกอบด้วย 3 ขั้นตอน 1) การร่วมมือออกแบบแผน 2) การร่วมมือกันสังเกตการปฏิบัติการสอนตามแผน และ 3) การร่วมมือกันสะท้อนการปฏิบัติการสอน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ เครื่องบันทึกภาพนิ่งและเครื่องบันทึกวิดีทัศน์

ผลการวิจัย พบว่า วงจรที่ 1 พบแนวคิดอัลกอริทึม ดังนี้ 1) ด้านเข้าใจการทำงานของอัลกอริทึม และสามารถปฏิบัติตามได้ 2) ด้านการพิจารณาอย่างรอบคอบในการประสานงานแต่ละขั้นตอนของอัลกอริทึม และในวงจรที่ 2 ทีมออกแบบแผนโดยใช้รังสีแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของข้อมูลและเพิ่มเงื่อนไขในคำสั่งถึงข้อจำกัดการทำงานของจุดต่อ พบแนวคิดอัลกอริทึม ดังนี้ 1) ด้านเข้าใจการทำงานของอัลกอริทึมและสามารถปฏิบัติตามได้ 2) ด้านการพิจารณาอย่างรอบคอบในการประสานงานแต่ละขั้นตอนของอัลกอริทึม 3) ด้านการสร้างอัลกอริทึมที่ให้วิธีแก้ปัญหาที่ให้ข้อสรุปที่ถูกต้องเสมอ และไม่พบแนวคิดด้านการค้นพบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การคิดอัลกอริทึม กิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับ การศึกษาชั้นเรียน วิธีการแบบเปิด

[1] นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาคณิตศาสตรศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002

M.Ed. Student in Mathematics Education, Faculty of Education, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

[2] สาขาวิชาคณิตศาสตรศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002

Mathematics Education Program, Faculty of Education, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

* Corresponding author, e-mail: changsri_crme@kku.ac.th

ABSTRACT

This study aimed to investigate students' algorithmic thinking through sorting network activities implemented in classrooms using the Open Approach. The study employed a qualitative research methodology emphasizing protocol analysis, students' written work, and analytical descriptions. The target group consisted of 43 elementary school students from Grade 4 and Grade 5. Data were analyzed through two Lesson Study cycles. Each cycle consisted of three phases: 1) collaboratively designing the lesson plan, 2) collaboratively observing the teaching practice based on the lesson plan, and 3) collaboratively reflecting on the implemented lesson. The research instruments included lesson plans, still-image recording devices, and video recording devices.

The findings showed that, in the first cycle, students demonstrated the following aspects of algorithmic thinking: 1) understanding how algorithms work and being able to follow them, and 2) carefully coordinating each step of the algorithm. In the second cycle, the Lesson Study team redesigned the lesson by using rays to represent the direction of data movement and by adding conditions related to the operational constraints of the nodes. The findings revealed the following aspects of algorithmic thinking: 1) understanding how algorithms work and being able to follow them, 2) carefully coordinating each step of the algorithm, and 3) constructing algorithms that consistently produced correct solutions. However, no evidence of discovering efficient algorithms was found.

Keywords: Algorithmic thinking, Sorting network activity, Lesson study, Open approach

บทนำ

การปฏิวัติอุตสาหกรรม ครั้งที่ 4 โดยใช้ AI และข้อมูลขนาดใหญ่ กลายเป็นประเด็นสำคัญทางการศึกษารวมถึงในระดับอุดมศึกษาในสังคมที่กำลังเปลี่ยนแปลง (Inprasitha, Isoda & Araya, 2023) การปฏิรูปหลักสูตรเป็นสิ่งสำคัญระยะยาวสำหรับการพัฒนาทุนมนุษย์ องค์กรระดับโลก เช่น UNESCO ประเทศต่าง ๆ และนักวิชาการต่างเสนอเรื่องดังกล่าวมากขึ้น (Isoda, Roberto & Inprasitha, 2021) การเคลื่อนไหวการปฏิรูปหลักสูตรและการแก้ปัญหาที่ท้าทายของสังคมดิจิทัลถือเป็นสิ่งสำคัญ ทำให้การคิดเชิงคำนวณ (Computational thinking) ได้รับการพิจารณามากขึ้นว่าเป็นลักษณะทางปัญญาที่สำคัญ (Critical cognitive disposition) (Araya, Isoda & van der

Molen Moris, 2021) ความต้องการใหม่นี้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในห้องเรียนระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาที่บูรณาการคิดเชิงคำนวณในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก รวมทั้งการเรียกร้องให้ส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณ สะท้อนให้เห็นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2021 จากการประเมินการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนโดย PISA (Stephens & Buteau, 2023)

Isoda et al. (2021) กล่าวว่า การคิดเชิงคำนวณเป็นกระบวนทัศน์การแก้ปัญหาที่ใช้การคิดให้เป็นคณิตศาสตร์ และ Inprasitha et al. (2023) กล่าวว่า การคิดทางคณิตศาสตร์เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับพัฒนาการคิดเชิงคำนวณ โดยทั้งการคิดทางคณิตศาสตร์และการคิดเชิงคำนวณเป็นสมรรถนะหลักที่มากกว่าเป็นวิชา ตลอดจนทักษะการคิดขั้นสูงอื่น ๆ (Higher-order thinking skills) ซึ่งเป็น Soft skill ที่สำคัญและได้รับการยอมรับว่าเป็นหนึ่งในทักษะสำหรับศตวรรษที่ 21 (Changsri, Inprasitha, Tang, Boonsena & Pattanajak, 2024) แนวคิดพื้นฐานที่อยู่เบื้องหลังการคิดเชิงคำนวณ (Computational thinking) มีการคิดอัลกอริทึม (Algorithmic thinking) เป็นแก่นแท้ (Labusch, Eickelmann & Vennemann, 2019) และเป็นเสาหลักที่สำคัญที่สามารถจดจำได้ง่ายที่สุด (Isoda et al., 2021) ซึ่งเป็นพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการเป็นพลเมืองในสังคมดิจิทัล (Isoda et al., 2021) อีกทั้งมีแนวโน้มมากขึ้นในระดับสากลเกี่ยวกับการนำการคิดอัลกอริทึมมาใช้ในโรงเรียน (Growing global emphasis) ที่เป็นรูปแบบหนึ่งของการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ วิธีคิดที่ช่วยให้นักเรียนในการมองปัญหาและมุ่งเน้นที่วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด (Stephens, 2018; Stephens & Kadijevich, 2020)

Inprasitha and Loipha (2007) กล่าวว่า การพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนโดยการบูรณาการวิธีการแบบเปิดและการศึกษาชั้นเรียน เพื่อทำให้ชั้นเรียนคณิตศาสตร์เป็นชั้นเรียนของการแก้ปัญหา สำหรับการศึกษาเชิงประจักษ์ผ่านการปฏิบัติจริงเพื่อพัฒนาการสอนในห้องเรียนอย่างต่อเนื่อง จุดมุ่งหมายคือเพื่อวางแผนบทเรียน สังเกตว่าการทำงานของความคิดในชั้นเรียนกับนักเรียน และ Inprasitha (2022) กล่าวว่า ความสำคัญของวิธีการแบบเปิด คือการส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อตอบสนองต่อการคิดทางคณิตศาสตร์ของตนเอง

กิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับ Sorting network เป็นกิจกรรมการเรียนรู้โดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์ ที่ให้คิดเกี่ยวกับวิธีการและแนวคิดเรื่องอัลกอริทึม ให้เด็กค้นพบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพของตนเอง ช่วยให้เข้าใจว่าอัลกอริทึมบางอัลกอริทึมเร็วกว่าอัลกอริทึมอื่น ๆ มาก อัลกอริทึมที่ดีอาจไม่ชัดเจน ปัญหาที่ดูเหมือนเป็นลำดับขั้นตอนบางปัญหาสามารถแบ่งออกเป็นส่วนที่สามารถทำได้แบบคู่ขนาน และการสื่อสารและการประสานงานที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งปันทรัพยากรจำเป็นต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบ โดยมีจุดเน้นเกี่ยวกับ การเปรียบเทียบ (Comparing) การเรียงลำดับ (Ordering) การพัฒนาอัลกอริทึม (Developing algorithms) การร่วมมือกันแก้ปัญหา (Cooperative problem solving) การคาดการณ์เชิงตรรกะ (Logical predictions) และการแก้ปัญหาข้อผิดพลาด (Debugging) (Bell & Vahrenhold, 2018)

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจในการศึกษาการคิดอัลกอริทึม จากแนวคิดการบูรณาการกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับและวิชาคณิตศาสตร์ในชั้นเรียนที่ใช้การศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิด เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนตอบสนองต่อการคิดอัลกอริทึมผ่านการแก้ปัญหาด้วยตนเอง ความตระหนักในวิธีการเรียนรู้ของตนเอง ที่จะส่งเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณที่จำเป็นและการแก้ปัญหาที่ท้าทายของสังคมดิจิทัล และการศึกษานี้จะทำให้ครูและผู้สนใจได้แนวคิดเกี่ยวกับการคิดอัลกอริทึมแนวคิดการออกแบบการสอนเพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางการคิดอัลกอริทึมในชั้นเรียน

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการคิดอัลกอริทึมของนักเรียนผ่านกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับในชั้นเรียนที่ใช้การศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิด

กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากแนวโน้มการบูรณาการการคิดอัลกอริทึมเข้าสู่หลักสูตรคณิตศาสตร์ระดับโรงเรียนที่เพิ่มมากขึ้น การพัฒนาเหล่านี้ไม่ใช่การสอนนักเรียนถึงวิธีการดำเนินการตามอัลกอริทึมมาตรฐาน แต่มีเป้าหมายคือ เพื่อแสดงให้เห็นถึงวิธีคิดอย่างมีเหตุมีผลในขณะที่แก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ แยกโครงสร้างระบบที่ซับซ้อน แบ่งปัญหาออกเป็นขั้นตอนเล็ก ๆ เพื่อพัฒนาผ่านการทดสอบและแก้ไข (Stephens, 2018) รวมทั้งกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับนี้มีจุดมุ่งหมายในการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivist) เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ (Scaffold learning) โดยให้โอกาสนักเรียนคิดอัลกอริทึมของตนเอง ค้นพบรูปแบบและกฎเกณฑ์ด้วยตนเองแทนการบอกอัลกอริทึมหรือวิธีการแก้ปัญหาและนำไปใช้จากครู ไม่ใช่เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้อัลกอริทึมและเทคนิคเฉพาะ แต่เพื่อให้นักเรียนเรียนรู้ว่ามีปัญหาที่ต้องได้รับแก้ไขที่อาศัยความเข้าใจที่ลึกซึ้งในบริบทเหล่านี้ และรู้สึกมีพลัง (Empowered) เมื่อค้นพบแนวคิดของตนเอง (For themselves) (Bell & Lodi, 2019) และการศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิด เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้คณิตศาสตร์ผ่านการแก้ปัญหาด้วยตนเองโดยเน้นกระบวนการการแก้ปัญหาในการพัฒนาความรู้ความเข้าใจและทักษะการคิดของผู้เรียนได้ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง เผชิญกับความยากลำบากในการค้นหาวิธีการด้วยตนเอง (ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์, 2565)

การคิดอัลกอริทึม (Algorithmic thinking) หมายถึง กระบวนการสร้างขั้นตอนการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพหรือทำงานให้เสร็จสิ้น ให้วิธีแก้ปัญหาที่ให้ข้อสรุปที่ถูกต้องเสมอ โดยอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับความซับซ้อนธรรมชาติของปัญหาและการพิจารณาอย่างรอบคอบในการประสานงานแต่ละขั้นตอนของการทำงาน (Bell & Vahrenhold, 2018; Bell & Lodi, 2019) ประกอบด้วย

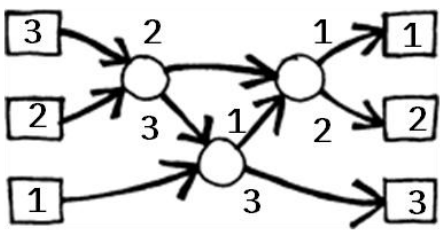
1. เข้าใจการทำงานของอัลกอริทึม และสามารถปฏิบัติตามได้ (Understand) คือ ความเข้าใจหลักการทำงานเครือข่าย โดยแต่ละจุดต่อทำหน้าที่เปรียบเทียบและจัดเรียงลำดับข้อมูลทีละ 2 ข้อมูล ข้อมูลที่ผ่านจุดต่อสัมพันธ์กับทิศทางของรังสีหรือส่วนของเส้นตรงที่ใช้แสดงแทนทิศทางการเคลื่อนที่ของข้อมูลจากล่างขึ้นบน และการจัดเรียงลำดับจากน้อยไปมากจากทางซ้ายไปทางขวา

2. การพิจารณาอย่างรอบคอบการประสานงานในแต่ละขั้นตอนของอัลกอริทึม (Coordinate) คือ เข้าใจการประสานงานของจุดต่อและการทำงานของเครือข่าย และสามารถออกแบบการใช้จุดต่อแทนจุดตัดของเส้น โดยที่เส้นไม่ตัดกัน และการค้นพบว่าจำนวนจุดต่อมีได้มากกว่า 1 จุดต่อ

3. สร้างอัลกอริทึมให้วิธีแก้ปัญหาที่ให้ข้อสรุปที่ถูกต้องเสมอ (Complete) คือ สามารถสร้างเครือข่ายและจัดเรียงลำดับในกรณีอื่น ๆ ได้ ผ่านการทดสอบแทนข้อมูลนำเข้าในรูปแบบที่แตกต่างกันเพื่อหาข้อบกพร่อง หรือผ่านการทดสอบจากกรณีที่มีการจัดเรียงยากที่สุด หรือทดสอบจากกรณีที่ข้อมูลนำเข้าเรียงในทิศทางตรงกันข้ามกับข้อมูลที่ส่งออก

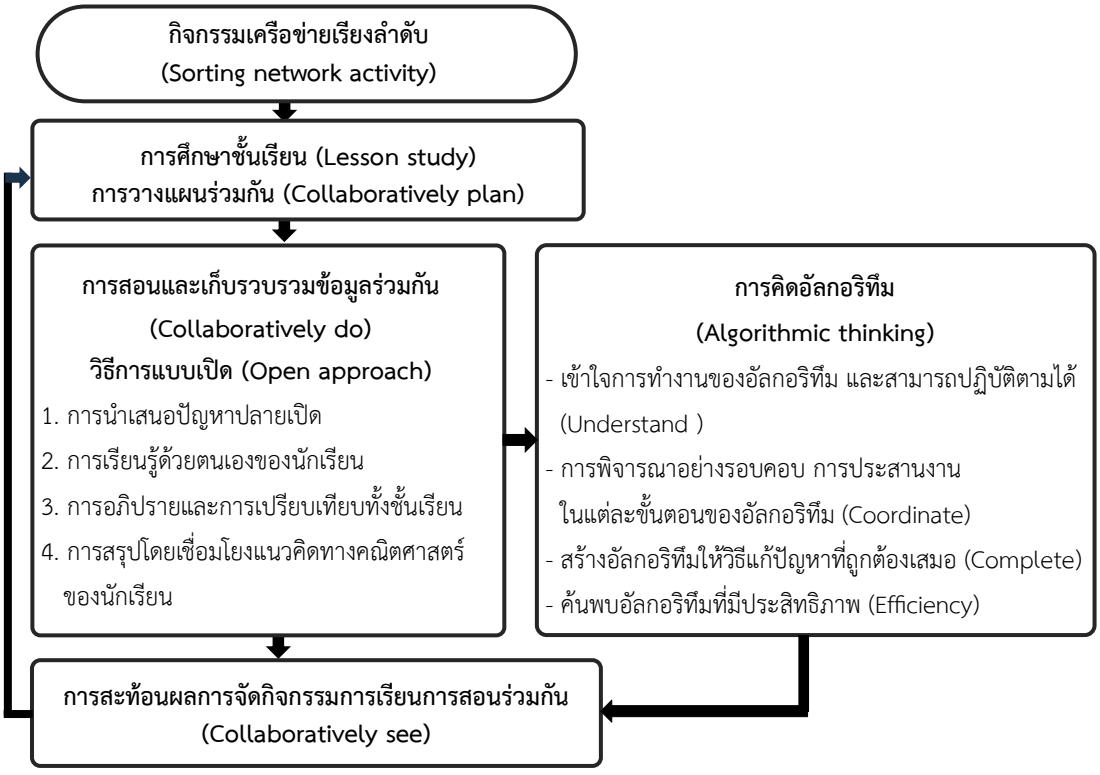
4. ค้นพบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ (Efficiency) คือ การสร้างเครือข่ายจัดเรียงลำดับให้มีขั้นตอนในการแก้ปัญหาน้อยที่สุด จากการใช้จำนวนจุดต่อและจำนวนเส้นน้อยที่สุด สร้างขั้นตอนที่สามารถทำไปพร้อมกันได้ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยลง และการสร้างเครือข่ายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัญหา

กิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับ (Sorting network activity) (Bell & Vahrenhold, 2018) หมายถึง กิจกรรมได้รับการออกและเผยแพร่ ภายใต้หัวข้อ Putting computers to work-algorithms โดยอาศัยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ เพื่อสนับสนุนการสอนการคิดเชิงคำนวณ การคิดทางคณิตศาสตร์ (Mathematical thinking) ผ่านกิจกรรมเชิงสำรวจและเปิดกว้าง (Exploratory and open-ended activities) โดยคำนึงถึงการสื่อสาร (Communication) การแก้ปัญหา (Problem solving) ความคิดสร้างสรรค์ (Creativity) ทักษะการคิด (Thinking skills) ในบริบทที่มีความหมาย และการส่งเสริมการอภิปรายในชั้นเรียนแบบเปิด ช่วยให้คิดเกี่ยวกับวิธีการในการทำสิ่งต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างเครือข่ายเรียงลำดับที่มีข้อมูลนำเข้า จำนวน 3 ข้อมูล

ชั้นเรียนที่ใช้นวัตกรรมการศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิด (Classroom Using Transformative Lesson Study incorporated with Open Approach) (Inprasitha, 2022) หมายถึง การนำเอานวัตกรรมการศึกษาชั้นเรียน (Lesson study) บูรณาการร่วมกับวิธีการแบบเปิด (Open approach) ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนที่เน้นการพัฒนาทักษะการคิดของผู้เรียน การศึกษาชั้นเรียน (Lesson study) กระบวนการปรับปรุงทำงานร่วมกันในการสอนและการเรียนรู้ผ่านความเข้าใจที่ดีขึ้นในการเรียนรู้ การคิด ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน จากการสร้างทีมการศึกษาชั้นเรียนเพื่อทำงานในการออกแบบเป้าหมายการเรียนรู้ ที่ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน: 1) การร่วมมือออกแบบแผน (Collaboratively plan) 2) การร่วมมือกันสังเกตการปฏิบัติการสอนตามแผน (Collaboratively do) และ 3) การร่วมมือกันสะท้อนการปฏิบัติการสอน (Collaboratively see) และรวมวิธีการแบบเปิด (Open approach) ให้นักเรียนได้เรียนรู้คณิตศาสตร์ผ่านการแก้ปัญหาด้วยตนเองและการคิดทางคณิตศาสตร์ไว้ในขั้นตอนการร่วมกันสังเกตบทเรียน (Collaboratively do) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน : 1) การนำเสนอปัญหาปลายเปิด 2) การเรียนรู้ด้วยตนเองของนักเรียน 3) การอภิปรายและการเปรียบเทียบทั้งชั้นเรียน และ 4) การสรุปโดยเชื่อมโยงแนวคิดทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนเข้าด้วยกัน โดยแนวทางการสอนคณิตศาสตร์ที่เน้นการแก้ปัญหาโดยอาศัยการวิเคราะห์แนวคิดของนักเรียน จากแนวคิดดังกล่าวการคิดอัลกอริทึมสามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กลุ่มเป้าหมาย

ผู้วิจัยคัดเลือกกลุ่มเป้าหมายด้วยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากคุณลักษณะสำคัญคือ เป็นนักเรียนที่มีประสบการณ์การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้วิธีการแบบเปิดและกระบวนการศึกษาชั้นเรียนในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 20 คน ถึงระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 23 คน ตลอดระยะเวลา 1 ปีการศึกษา ในโรงเรียนขนาดกลางแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น ปีการศึกษา 2567

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เป็นแผนการจัดการเรียนรู้ที่ร่วมกันสร้างกับทีมศึกษาชั้นเรียน จำนวน 8 คน ซึ่งประกอบด้วย นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จำนวน 6 คน และผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 2 คน ร่วมในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ ร่วมสังเกตชั้นเรียน และสะท้อนผลชั้นเรียน มีประสบการณ์ในการเข้าร่วมกิจกรรมการบรรยายพิเศษและอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง Coding Challenge โดย Prof.Max Stephens ผู้เชี่ยวชาญมีประสบการณ์ในการเข้าร่วมในทีมการศึกษาชั้นเรียน การจัดกิจกรรมการเปิดชั้นเรียนระดับชาติ การเข้าร่วมงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติด้านคณิตศาสตรศึกษาและกิจกรรมการเปิดชั้นเรียนระดับนานาชาติอย่างต่อเนื่อง ได้รับเชิญเป็น Invited Lecture ในการประชุมวิชาการด้านคณิตศาสตรศึกษาระดับนานชาติ (ICME) เข้าใจถึงบริบทต่าง ๆ ในชั้นเรียนที่ใช้การศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิด ผ่านการนิเทศการสอนและปฏิบัติจริงในชุมชนคณิตศาสตรศึกษา โดยใช้การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ (Kyozai Kenkyu) ร่วมกันสร้างโดยเน้นการบูรณาการเนื้อหา ทักษะ/กระบวนการและคุณลักษณะที่พึงประสงค์ จำนวน 4 คาบเรียน คาบเรียนละ 60 นาที จำนวนทั้งหมด 4 คำสั่ง ที่ใช้การศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิด เป็นวงจรการศึกษาชั้นเรียน Co-plan, Co-do และ Co-see ทั้งหมด 2 วงจร จากการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ คาดการณ์แนวคิดของนักเรียน สร้างคำสั่ง การออกแบบสื่อตามแนวคิดของนักเรียน การหาความเชื่อมโยงของแนวคิดของนักเรียนก่อนหน้านั้นว่าจะใช้อะไรแก้ปัญหา และการกำหนดตำแหน่งที่จะสังเกตแนวคิดของนักเรียน จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ในชั้นเรียน ร่วมมือกันสะท้อนการปฏิบัติการสอน และนำผลที่ได้จากการสะท้อนผลในวงจรที่ 1 มาใช้ในการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรที่ 2

2.2 เครื่องบันทึกวีดีทัศน์ ใช้สำหรับบันทึกภาพและเสียงในขั้นตอนการร่วมมือกันสังเกตการปฏิบัติการสอนตามแผน (Collaboratively do) และการร่วมมือกันสะท้อนการปฏิบัติการสอน (Collaboratively see) เกี่ยวกับแนวคิดของนักเรียนที่ดำเนินไประหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน และนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพและเสียงทุกครั้ง ไปวิเคราะห์โพรโทคอล เพื่อให้ผู้วิจัยนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการวิจัย เพื่อให้ผู้วิจัยนำมาใช้ในการศึกษาการจัดการเรียนรู้ที่เน้นบูรณาการการคิดอัลกอริทึม และศึกษาการคิดอัลกอริทึม

2.3 แบบบันทึกภาคสนาม ใช้สำหรับการบันทึกพฤติกรรมในขั้นตอนการร่วมมือกันสังเกตการปฏิบัติการสอนตามแผน (Collaboratively do) และการร่วมมือกันสะท้อนการปฏิบัติการสอน (Collaboratively see) ที่ได้จากการสังเกตในขณะทำกิจกรรมการเรียนรู้ ใช้สำหรับบันทึกแนวคิดการคิดอัลกอริทึม การคิดทางคณิตศาสตร์ วิธีการคิดในการแก้ปัญหาขณะที่นักเรียนแก้ปัญหาทั้งที่เป็นการพูดคุย อภิปราย ซักถาม อธิบายให้เหตุผลและบันทึกแนวคิดของนักเรียนที่ผู้วิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยคนอื่น ๆ ได้สะท้อนออกมาในระหว่างที่ร่วมกันสะท้อนผลการเรียนรู้

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การนำแผนการจัดการเรียนรู้ ทีมการศึกษาชั้นเรียนได้ร่วมกันสร้างแผนจัดการโดยใช้แนวคิดการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ จากระยะที่ 1 เพื่อการคาดการณ์แนวคิดของนักเรียน สร้างคำสั่ง ออกแบบสื่อ หาความเชื่อมโยงของแนวคิด และกำหนดตำแหน่งที่จะสังเกตแนวคิดของนักเรียน จากการออกแบบลำดับพัฒนาการคิดอัลกอริทึมจากการเข้าใจ ประสานงาน สร้างอัลกอริทึมที่ถูกต้องเสมอ และค้นพบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพตามลำดับ ออกแบบสถานการณ์ปัญหาปลายเปิดที่เชื่อมโยงกับประสบการณ์ของผู้เรียนผ่านการสร้างประการณ์ที่มีความหมายจากการลงมือปฏิบัติผ่านเครือข่ายมีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน การออกแบบเงื่อนไขในรูปคำสั่งที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และพัฒนาการคิดอัลกอริทึมผ่านการแก้ปัญหาด้วยตนเองจากการสร้างเงื่อนไขตามประสบการณ์และความสนใจของผู้เรียน การออกแบบสื่อหลักและสื่อเสริมเพื่อเชื่อมโยงการแสดงแทนโลกจริงของนักเรียนจากการปฏิบัติสู่การแสดงแทนด้วยสื่อกึ่งรูปธรรม และการแสดงแทนโลกคณิตศาสตร์ ระยะที่ 2 การนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นบูรณาการการคิดอัลกอริทึมผ่านกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับในชั้นเรียนที่ใช้การศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิดไปใช้ในชั้นเรียนและเก็บรวบรวมข้อมูลภายใต้บริบทชั้นเรียนที่ใช้การศึกษาชั้นเรียน จำนวนทั้งสิ้น 2 วงจร แต่ละวงจรประกอบด้วย

3.1 การร่วมมือออกแบบแผน (Collaboratively plan) ผู้วิจัย ผู้ร่วมวิจัยและทีมการศึกษาชั้นเรียนได้ร่วมกันสร้างแผนจัดการเรียนรู้ที่เน้นการบูรณาการการคิดอัลกอริทึมผ่านกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับในชั้นเรียนที่ใช้การศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิดโดยใช้กรอบแนวคิดการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ (Kyozai Kenkyu) ของ ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์ (2559)

3.2 การสอนและเก็บรวบรวมข้อมูล การร่วมมือกันสังเกตการปฏิบัติการสอนตามแผน (Collaboratively Do) โดยนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้จัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนจริงตามขั้นตอนของวิธีการแบบเปิด (Open approach)

3.3 การร่วมมือกันสะท้อนการปฏิบัติการสอน (Collaboratively see) การสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ร่วมกัน ผู้วิจัย ผู้ร่วมวิจัยและทีมการศึกษาชั้นเรียน ได้นำแนวคิดของนักเรียนที่ได้บันทึกไว้จากการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนมาร่วมกันสะท้อนผลเกี่ยวกับแนวคิดการคิดอัลกอริทึม

จากนั้นทีมการศึกษาชั้นเรียนรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสะท้อนผลในวงจรที่ 1 มาใช้ในการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรที่ 2

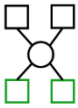
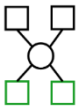
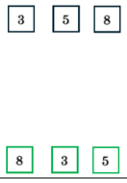
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยครั้งนี้มีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพที่เน้นการวิเคราะห์โพรโทคอล (Protocol analysis) และการบรรยายเชิงวิเคราะห์ (Analytical description) ที่ได้จากการบันทึกวีดิทัศน์และเครื่องบันทึกเสียงในการร่วมออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ ร่วมสังเกตชั้นเรียน และสะท้อนผลชั้นเรียนของทีมการศึกษาชั้นเรียนตามกรอบแนวคิดการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ของ ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์ (2559) และการคิดอัลกอริทึมของนักเรียนตามกรอบแนวคิดของ Bell and Vahrenhold (2018) และ Bell and Lodi (2019) โดยใช้โพรโทคอล ใบกิจกรรม ผลงานนักเรียน แบบบันทึกภาคสนามและแบบบันทึกการสะท้อนผล

ผลการวิจัย

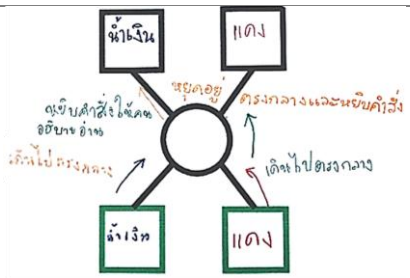
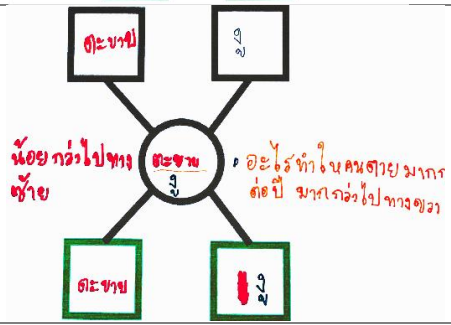
วงจรที่ 1 การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ การวางแผนร่วมกัน (Collaboratively plan) โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของ Kyozai Kenkyu แนวทางการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้จากกิจกรรมการบรรยายพิเศษและอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง Coding Challenge โดย Prof. Max Stephens จาก University of Melbourne ประเทศออสเตรเลีย และกิจกรรมการเรียนรู้โดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์ ภายใต้หัวข้อ Algorithms: Putting computers to work (Bell & Vahrenhold, 2018) ทีมการศึกษาชั้นเรียนกำหนดตำแหน่งการสังเกตแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องการเรียงข้อมูลเป็นการเปรียบเทียบคุณลักษณะเชิงปริมาณร่วมกันของข้อมูล จำนวน 2 ข้อมูล และผลลัพธ์การเปรียบเทียบเขียนแสดงแทนด้วยรังสีหรือส่วนของเส้นตรงเพื่อทิศทางการเคลื่อนที่ของผลลัพธ์การจัดเรียง และการคิดอัลกอริทึมของนักเรียนตามกรอบแนวคิดของ Bell and Vahrenhold (2018) และ Bell and Lodi (2019) โดยมีบริบทและสถานการณ์ปัญหา (Problem situation) ดังนี้ กิจกรรมเกมเครือข่ายเรียงลำดับ มีเป้าหมายเพื่อที่จะให้นักเรียนเข้าใจในบริบทของการทำงานของคอมพิวเตอร์ผ่านการสร้างประสบการณ์จากการลงมือปฏิบัติ โดยมีกติกาการเล่นเกมดังนี้ ผู้เล่นแต่ละคนยืนในกรอบสีเขียว หยิบบัตรตัวเลขจากพื้น คนละหนึ่งใบ จากนั้นเดินตามเส้นไปยังวงกลมเพื่อทำภารกิจโดยใช้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน และออกแบบคำสั่งและสื่อหลักที่ใช้ประกอบการนำเสนอสถานการณ์ปัญหา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คำสั่งและสื่อหลักที่ใช้ประกอบการนำเสนอสถานการณ์ปัญหา

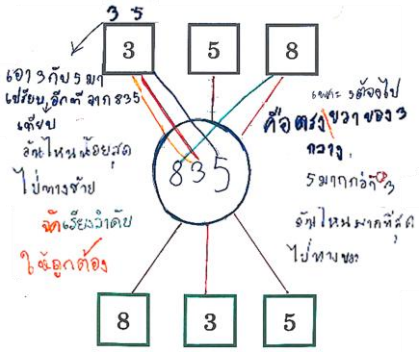
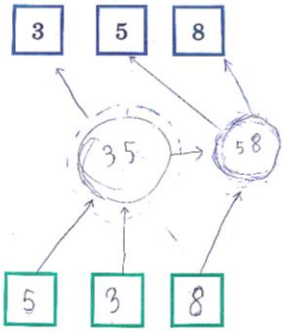
คำสั่ง	สื่อหลัก
คำสั่งที่ 1 ให้นักเรียนสังเกตและบันทึกการทำงานของเครือข่ายจากเกม	
คำสั่งที่ 2 ให้นักเรียนออกแบบและเขียนเงื่อนไขตามความสนใจ	
คำสั่งที่ 3 ให้นักเรียนสร้างเครือข่ายเรียงลำดับ โดยที่จำนวนที่มีค่าน้อยกว่าไปทางซ้าย จำนวนที่มีค่ามากกว่าไปทางขวา	
คำสั่งที่ 4 สร้างเครือข่ายที่สามารถจัดเรียงลำดับได้ในทุกกรณี	

วงจรที่ 1 การสังเกตการสอนร่วมกัน (Collaboratively do) ทีมการศึกษาชั้นเรียนได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ สอนตามขั้นตอนของวิธีการแบบเปิด พบแนวคิดของนักเรียน/แนวคิดการคิดอัลกอริทึมที่เกิดขึ้นในวงจรของการศึกษาชั้นเรียน วงจรที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแนวคิดอัลกอริทึมของนักเรียนที่เกิดขึ้นในวงจรของการศึกษาชั้นเรียน วงจรที่ 1

คำสั่ง	ตัวอย่างแนวคิด	คำอธิบาย
คำสั่งที่ 1 ให้นักเรียนสังเกตและบันทึกการทำงานของเครือข่ายจากเกม		แสดงการใช้เส้นและรังสี แสดงทิศทางและลำดับการทำงานของเครือข่าย
คำสั่งที่ 2 ให้นักเรียนออกแบบและเขียนเงื่อนไขตามความสนใจ		นักเรียนออกแบบเครือข่ายและเขียนเงื่อนไขตามความสนใจและเลือกใช้ข้อมูลที่สอดคล้องกับเงื่อนไขและหลักการทำงาน

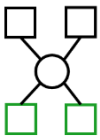
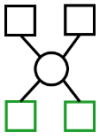
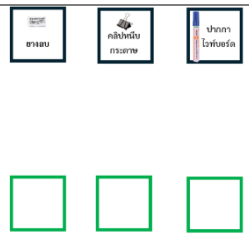
ตารางที่ 2 (ต่อ)

คำสั่ง	ตัวอย่างแนวคิด	คำอธิบาย
คำสั่งที่ 3 ให้นักเรียนสร้างเครือข่ายเรียงลำดับโดยที่จำนวนที่มีค่าน้อยกว่าไปทางซ้าย จำนวนที่มีค่ามากกว่าไปทางขวา		การออกแบบเครือข่ายจัดเรียงที่มีข้อมูลนำเข้า 3 ข้อมูลถูกเขียนแสดงโดยใช้วงกลมเพียง 1 วง แต่มีขั้นตอนย่อย ๆ ที่แสดงการเปรียบเทียบหลายขั้นตอน
คำสั่งที่ 4 สร้างเครือข่ายที่สามารถจัดเรียงลำดับได้ในทุกกรณี		ใช้จุดต่อมากกว่า 1 จุดต่อในเครือข่ายเพื่อจัดการข้อมูลนำเข้าที่มีมากกว่า 2 ข้อมูล และแนวคิดการใช้วงกลมแสดงแทนเงื่อนไขที่เป็นเงื่อนไขเดียวกัน

วงจรที่ 1 การร่วมมือกันสะท้อนการปฏิบัติการสอน (Collaboratively see) พบปัญหาอุปสรรค ความยุ่งยากในการเรียนรู้ของนักเรียนในการออกแบบเครือข่ายจัดเรียงที่มีข้อมูลนำเข้า 3 ข้อมูล โดยใช้วงกลม 1 วง ไม่สอดคล้องกับข้อจำกัดของการทำงานของจุดต่อที่การเปรียบเทียบทีละคู่ แนวคิดที่เกิดขึ้นในการสร้างขั้นตอนในการเปรียบเทียบจึงไม่ถูกเขียนแสดงเป็นลำดับขั้นตอน เพื่อนำไปสู่การคิดในการพิจารณาอย่างรอบคอบการประสานงานในแต่ละขั้นตอนของอัลกอริทึม (Coordinate) ซึ่งเป็นการออกแบบเครือข่ายที่มีข้อมูลนำเข้าจำนวน 3 ข้อมูล จึงใช้การเปรียบเทียบน้ำหนักของสิ่งของ เพื่อให้สอดคล้องกับโลกจริงของนักเรียนที่ในแต่ละขั้นตอนการจัดเรียงจำเป็นต้องนำมาเปรียบเทียบกัน โดยต้องมีการสรุปผลการเปรียบเทียบในช่วงท้ายของแต่ละคาบมาใช้ในการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรถัดไป

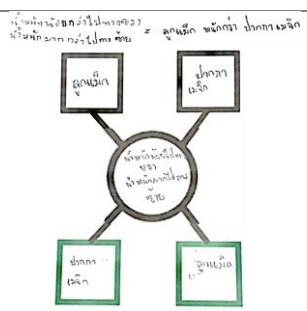
วงจรที่ 2 การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ โดยบูรณาการการเปรียบเทียบน้ำหนักของสิ่งของ การใช้รังสีหรือส่วนของเส้นตรงแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของข้อมูล และการเพิ่มเงื่อนไขในคำสั่งถึงข้อจำกัดของการทำงานของจุดต่อในการนำเข้า-ส่งออกข้อมูลได้เพียงครั้งละ 2 ข้อมูล โดยออกแบบสถานการณ์ปัญหา (Problem situation) และคำสั่ง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สถานการณ์ปัญหา คำสั่งและสื่อหลักที่ใช้ประกอบการนำเสนอสถานการณ์ปัญหา

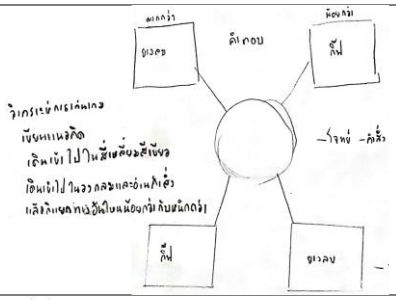
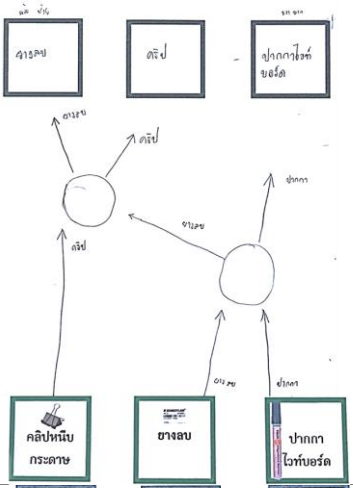
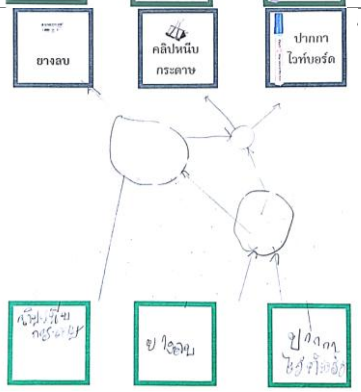
สถานการณ์ปัญหาและคำสั่ง	สื่อหลัก
สถานการณ์ปัญหา: มีของ 2 อย่าง ได้แก่ ลวด หนีบกระดาษ และยางลบ คำสั่งที่ 1 ให้นักเรียน สังเกตและบันทึกการทำงานของเครือข่ายจากเกม	
คำสั่งที่ 2 ให้นักเรียนออกแบบและเขียนเงื่อนไข ที่สามารถจัดเรียงลำดับของน้ำหนักสิ่งของ จากน้อยไปมากพร้อมทั้งเขียนอธิบายแนวคิด	
สถานการณ์ปัญหา: มีของ 3 อย่าง ได้แก่ ลวด หนีบกระดาษ ยางลบ และปากกาไวท์บอร์ด คำสั่งที่ 3 ให้นักเรียนสร้างเครือข่ายเรียงลำดับ ของน้ำหนักสิ่งของจากน้อยไปมาก โดยใช้เงื่อนไข น้ำหนักน้อยกว่าไปทางซ้าย น้ำหนักมากกว่า ไปทางขวา	
คำสั่งที่ 4 สร้างเครือข่ายที่สามารถจัดเรียงลำดับ ได้ในทุกกรณี	

วงจรที่ 2 การสังเกตการสอนร่วมกัน (Collaboratively do) ทีมการศึกษาชั้นเรียนได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ สอนตามขั้นตอนของวิธีการแบบเปิด พบแนวคิดการคิดอัลกอริทึมของนักเรียนที่เกิดขึ้นในวงจรของการศึกษาชั้นเรียน วงจรที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างแนวคิดอัลกอริทึมของนักเรียนที่เกิดขึ้นในวงจรของการศึกษาชั้นเรียน วงจรที่ 2

คำสั่ง	ตัวอย่างแนวคิด	คำอธิบาย
คำสั่งที่ 1 ให้นักเรียนสังเกต และบันทึกการทำงาน ของเครือข่ายจากเกม		แสดงความเข้าใจการทำงาน ของเครือข่ายจากการระบุตำแหน่ง นำเข้าของข้อมูล (Input) เงื่อนไข และส่งออก (Output)

ตารางที่ 4 (ต่อ)

คำสั่ง	ตัวอย่างแนวคิด	คำอธิบาย
คำสั่งที่ 2 ให้นักเรียนออกแบบและเขียนเงื่อนไขที่สามารถจัดเรียงลำดับของน้ำหนักสิ่งของจากน้อยไปมากพร้อมทั้งเขียนอธิบายแนวคิด		สามารถออกแบบเงื่อนไขในการเปรียบเทียบเพื่อจัดเรียงลำดับสิ่งของให้สอดคล้องตามคำสั่ง
คำสั่งที่ 3 ให้นักเรียนสร้างเครือข่ายเรียงลำดับโดยที่จำนวนที่มีค่าน้อยกว่าไปทางซ้าย จำนวนที่มีค่ามากกว่าไปทางขวา		นักเรียนออกแบบเครือข่าย โดยใช้เพียง 1 จุดต่อในการจัดการข้อมูลที่มากกว่า 2 ข้อมูลจากการสร้างเงื่อนไขใหม่ หลังจากที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติโดยทดสอบเครือข่ายที่นักเรียนออกแบบ พบข้อขัดแย้งกันจึงเกิดแนวคิดการเพิ่มจำนวนจุดต่อ (วงกลม) เพื่อจัดการข้อมูล
คำสั่งที่ 4 สร้างเครือข่ายที่สามารถจัดเรียงลำดับได้ในทุกกรณี		แนวคิดการหาตัวอย่างโดยการสุ่มและสลับที่ของตำแหน่งข้อมูลและค้นพบตำแหน่งการวางของข้อมูลที่ส่งผลให้เกิด “ความยาก” ในการออกแบบ ในกรณีที่ตำแหน่งข้อมูลอยู่ “ตรงข้าม” ของผลลัพธ์

จากทั้ง 4 คำสั่ง ไม่พบแนวคิดการออกแบบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ (Efficiency) คือ สามารถจัดเรียงลำดับได้โดยใช้จำนวนจุดต่อและจำนวนเส้นน้อยที่สุด โดยการออกแบบเครือข่ายที่แบ่งงานออกเป็นชิ้น ๆ และประมวลผลแต่ละชิ้นพร้อมกัน หรือ “การคำนวณแบบขนาน”

สรุปผลการวิจัย

การนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นบูรณาการการคิดอัลกอริทึมผ่านกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับในชั้นเรียนที่ใช้การศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิดไปใช้ในชั้นเรียน วงจรของการศึกษา

ชั้นเรียน วงจรที่ 1 พบแนวคิดอัลกอริทึมผ่านกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับ ดังนี้ 1) ด้านเข้าใจการทำงานของอัลกอริทึม และสามารถปฏิบัติตามได้ (Understand): นักเรียนสามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขที่แตกต่างกันและผลลัพธ์การดำเนินการทิศทางสัมพันธ์กับเงื่อนไขที่กำหนด ใช้เส้นและรังสีแสดงทิศทางและลำดับการทำงานของเครือข่าย การออกแบบและเขียนเงื่อนไขตามประสบการณ์และความสนใจรวมทั้งการเลือกใช้ข้อมูลที่สอดคล้องกับเงื่อนไขและหลักการทำงานของเครือข่าย 2) ด้านการพิจารณาอย่างรอบคอบในการประสานงานแต่ละขั้นตอนของอัลกอริทึม (Coordinate): จากแนวคิดการออกแบบเครือข่ายจัดเรียงที่มีข้อมูลนำเข้า 3 ข้อมูล จากคำสั่งที่ 3 นักเรียนออกแบบเครือข่ายโดยใช้จุดต่อ 1 จุดต่อ เพื่อแสดงการเปรียบเทียบหลายขั้นตอน ในคำสั่งที่ 4 พบแนวคิดการออกแบบเครือข่ายโดยใช้จุดต่อมากกว่า 1 จุดต่อ แสดงแทนเงื่อนไขที่เป็นเงื่อนไขเดียวกัน และเครือข่ายเรียงลำดับจัดเรียงลำดับได้เฉพาะในบางกรณี 3) ด้านการสร้างอัลกอริทึมที่ให้วิธีแก้ปัญหาที่ให้ข้อสรุปที่ถูกต้องเสมอ (Complete): ไม่พบแนวคิดการสลับตำแหน่งข้อมูลนำเข้าเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครือข่าย 4) ด้านการค้นพบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ (Efficiency): ไม่พบแนวคิดการออกแบบเครือข่ายให้มีขั้นตอนในการแก้ปัญหาน้อยที่สุดและสามารถจัดเรียงลำดับข้อมูลได้ วงจรของการศึกษาชั้นเรียน วงจรของการศึกษาชั้นเรียน วงจรที่ 2 พบแนวคิดอัลกอริทึมผ่านกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับ ดังนี้ 1) ด้านเข้าใจการทำงานของอัลกอริทึม และสามารถปฏิบัติตามได้ (Understand): สามารถระบุตำแหน่งนำเข้าของข้อมูล (Input) เงื่อนไข และส่งออก (Output) สามารถออกแบบเงื่อนไขในการเปรียบเทียบเพื่อจัดเรียงลำดับสิ่งของให้สอดคล้องตามคำสั่ง 2) ด้านการพิจารณาอย่างรอบคอบในการประสานงานแต่ละขั้นตอนของอัลกอริทึม (Coordinate): จากคำสั่งที่ 3 นักเรียนเรียนรู้การออกแบบเครือข่ายภายใต้ข้อจำกัดของเงื่อนไขในการนำเข้าและส่งออกข้อมูลเพียงครั้งละ 2 ข้อมูล นักเรียนเกิดแนวคิดการออกแบบเครือข่ายโดยใช้จุดต่อมากกว่า 1 จุดต่อแสดงแทนเงื่อนไขที่เป็นเงื่อนไขเดียวกันในการเปรียบเทียบเพื่อจัดเรียงข้อมูล 3) ด้านการสร้างอัลกอริทึมที่ให้วิธีแก้ปัญหาที่ให้ข้อสรุปที่ถูกต้องเสมอ (Complete): จากคำสั่งที่ 4 นักเรียนสามารถสร้างเครือข่ายเรียงลำดับในกรณีอื่น ๆ ได้ เกิดแนวคิดในการประเมินเครือข่ายผ่านการหาตัวอย่างโดยการสุ่มและสลับที่ของตำแหน่งข้อมูล ในกรณีอื่น ๆ และค้นพบตำแหน่งการวางของข้อมูลที่ส่งผลให้เกิดความ “ยาก” ในการออกแบบเครือข่ายคือ ข้อมูลต้องอยู่ “ตรงข้าม” ของผลลัพธ์การเรียงลำดับ 4) ด้านการค้นพบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ (Efficiency): ไม่พบแนวคิดการออกแบบเครือข่ายให้มีขั้นตอนในการแก้ปัญหาน้อยที่สุดและสามารถจัดเรียงลำดับข้อมูลได้

อภิปรายผล

แนวคิดอัลกอริทึม 1) ด้านเข้าใจการทำงานของอัลกอริทึม และสามารถปฏิบัติตามได้ (Understand) ทีมการศึกษาชั้นเรียนออกแบบกิจกรรมเพื่อให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติผ่านกิจกรรมการเล่นเกม การสังเกตการปฏิบัติกลุ่มอื่น ๆ การบันทึกการทำงานเครือข่ายในเงื่อนไขที่ต่างกัน

การอภิปรายการทำงานของเครือข่ายร่วมกัน การกำหนดเงื่อนไขและตำแหน่งของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในกิจกรรม การออกแบบและเขียนเงื่อนไขตามความสนใจรวมทั้งการเลือกใช้ข้อมูลที่สอดคล้องกับเงื่อนไขและหลักการทำงานของเครือข่าย และการทดลองนำเครือข่ายที่นักเรียนออกแบบไปปฏิบัติ นักเรียนสามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขที่แตกต่างกันเครือข่าย การออกแบบและเขียนเงื่อนไขตามประสบการณ์และความสนใจ สอดคล้องกับ Curzon, Bell, Waite and Dorling (2019) ที่กล่าวว่า หากนักเรียนสามารถนำอัลกอริทึมไปใช้ในการดำเนินการอย่างถูกต้องในกรณีต่าง ๆ หรือเขียนอัลกอริทึมให้บุคคลอื่นสามารถปฏิบัติตามได้ แสดงว่านักเรียนมีความเข้าใจในกระบวนการทำงานเหล่านั้น 2) ด้านการพิจารณาอย่างรอบคอบในการประสานงานแต่ละขั้นตอนของอัลกอริทึม (Coordinate) พบความยุ่งยากของนักเรียนในการออกแบบเครือข่ายนำเข้า 3 ข้อมูลโดยใช้วงกลมเพียง 1 วงเพื่อแสดงการเปรียบเทียบหลายขั้นตอน ที่ยังไม่สามารถเขียนแสดงแทนด้วยสัญลักษณ์แทนเงื่อนไขที่เป็นเงื่อนไขเดียวกัน สอดคล้องกับ Stephens (2018) ที่กล่าวว่า การคิดอัลกอริทึมเป็นรูปแบบหนึ่งของการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ โดยที่นักเรียนต้องเข้าใจข้อจำกัดต่าง ๆ ของปัญหา หลักการสำคัญที่ควรจะมีอยู่ในทุกขั้นตอน คือ การพัฒนาภาษาในการสื่อสารและวิธีการแสดงแทนการคิดแบบอัลกอริทึม สอดคล้องกับไมตรี อินทร์ประสิทธิ์ (2561) ในการออกแบบลำดับขั้นของสถานการณ์ปัญหาที่ต่อเนื่องกัน ออกแบบสื่อหลักและสื่อเสริมเพื่อเชื่อมโยงกันในลำดับกิจกรรมการสอนจากการแสดงแทนโลกจริงของนักเรียนจากการปฏิบัติสู่การแสดงแทนด้วยสื่อกึ่งรูปธรรม และการแสดงแทนโลกคณิตศาสตร์ เพื่อให้เข้าถึงแนวคิดของนักเรียนและสามารถนำมาอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียนได้ การบูรณาการการเปรียบเทียบน้ำหนักของสิ่งของ การสร้างคำสั่ง และการออกแบบสื่อ ในวงจรที่ 2 ทำให้นักเรียนใช้เวลาส่วนใหญ่ในการแก้ปัญหาเพื่อหาผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบมากกว่าการออกแบบเครือข่ายและพิจารณาอย่างรอบคอบในการประสานงานในแต่ละขั้นตอน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเงื่อนไขของคำสั่งมีความซับซ้อนและไม่ชัดเจน สอดคล้องกับ (Changsri, Inprasitha, Araya & Isoda, 2024) เพื่อพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงผ่านการเรียนรู้จากลำดับโจทย์ปัญหา (Task sequences) ที่ถูกออกแบบอย่างเหมาะสมและนำไปสู่การแก้ปัญหาภายใต้บริบทและเงื่อนไขที่เฉพาะเจาะจง (Specific contexts and conditions) 3) ด้านการสร้างอัลกอริทึมที่ให้วิธีแก้ปัญหาที่ให้ข้อสรุปที่ถูกต้องเสมอ (Complete) ทีมการศึกษาชั้นเรียนได้พัฒนาแผนการเรียนรู้ในการออกแบบและการประเมินเครือข่ายเพื่อให้นักเรียนเกิดแนวคิดการออกแบบเครือข่ายที่สามารถจัดเรียงลำดับได้ทุกกรณีและให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องเสมอ นักเรียนเกิดแนวคิดการสลับตำแหน่งการของข้อมูลนำเข้าในกรณีที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบการทำงานของเครือข่ายและหาตำแหน่งที่เครือข่ายไม่สามารถจัดเรียงได้ (Error) และค้นพบวิธีการแก้ปัญหาทดสอบโดยใช้กรณีแย่ที่สุด (Worst case) ด้วยการเรียงตำแหน่งข้อมูลนำเข้าตรงข้ามกับผลลัพธ์การจัดเรียง สอดคล้องกับ Stephens (2018) ที่กล่าวว่า วิธีคิดอย่างมีเหตุมีผลในขณะที่แก้ปัญหา พัฒนาผ่านการทดสอบหรือแก้ไขแนวทางเชิงโครงสร้างในการแก้ปัญหาและมีความยืดหยุ่นเป็นคุณลักษณะของการคิด

อัลกอริทึมที่ตรงกันข้ามกับการเดาถูกและหรือการลองผิดลองถูก (Lucky guesses and/or trial-and-error) ที่จะไปสู่การคิดอัลกอริทึมและคณิตศาสตร์ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น 4) ด้านการค้นพบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ (Efficiency) ในบริบทของกิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับ ทีมการศึกษาชั้นเรียนได้พัฒนาแผนการเรียนรู้ โดยมีแนวคิดการออกแบบเครือข่ายโดยการลดขั้นตอนให้การจัดเรียงลำดับเพื่อให้ได้เครือข่ายที่สั้นที่สุดโดยใช้จำนวนจุดต่อและเส้นน้อยที่สุด การสร้างเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพโดยการเลือกเปรียบเทียบเฉพาะบางข้อมูล การตระหนักในการออกแบบเครือข่ายที่มีขั้นตอนมากขึ้นทำให้เครือข่ายใช้เวลาในการทำงานมากยิ่งขึ้น การสร้างขั้นตอนที่สามารถทำงานพร้อมกันได้ทำให้ใช้เวลาในการทำงานลดลง แนวคิดการสร้างเครือข่ายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของสถานการณ์ปัญหา การประเมินการทำงานของเครือข่ายจากรูปแบบที่ต่างกันทำให้เกิดผลลัพธ์เดียวกัน และการแบ่งงานออกเป็นชิ้น ๆ และประมวลผลแต่ละชิ้นพร้อมกัน ซึ่งเป็นกลยุทธ์ “การคำนวณแบบขนาน” (Parallel computing) ทั้งนี้ ไม่พบแนวคิดดังกล่าว อาจเป็นเพราะการค้นพบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพอาศัยความเข้าใจและการตระหนักในการแก้ปัญหาเป็นอย่างมากในการออกแบบเครือข่าย สอดคล้องกับ Bell and Lodi (2019) ที่กล่าวว่า การสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองและการพัฒนาทักษะการคิดเชิงคำนวณด้วยตนเองรวมถึงการประเมิน (Evaluating) ว่าวิธีการนั้นมีประสิทธิภาพอย่างไร อาศัยความเข้าใจที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับความซับซ้อนธรรมชาติของปัญหา และสอดคล้องกับ Curzon et al. (2019) ที่กล่าวว่า การพยายามหาอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับงานนั้น ๆ ซึ่งอาจหมายถึงอัลกอริทึมที่เร็วที่สุด หรืออัลกอริทึมที่ใช้การคำนวณน้อยที่สุด โดยมีแนวคิดสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ลำดับ (Sequence) การเลือก (Selection) และการวนซ้ำ (Iteration)

ข้อเสนอแนะ

1. **ข้อเสนอแนะจากการวิจัยในครั้งนี้**

การนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้กับกลุ่มเป้าหมายในระดับประถมศึกษา โดยควรคำนึงถึงการสร้างสถานการณ์ปัญหา ลำดับโจทย์ปัญหา การคาดการณ์ปัญหาจริงของนักเรียน บริบทของนักเรียน และลำดับการสอนที่มีผลต่อการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียน

2. **ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป**

กิจกรรมเครือข่ายเรียงลำดับในชั้นเรียนที่ใช้นวัตกรรมการศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิดสามารถนำไปใช้ในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาการคิดเชิงคำนวณและการคิดอัลกอริทึมของผู้เรียนซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ นักเรียนต้องเข้าใจข้อจำกัดต่าง ๆ ของปัญหา การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ควรคำนึงถึงการพัฒนาภาษาในการสื่อสารและวิธีการแสดงแทนการคิดแบบอัลกอริทึม

เอกสารอ้างอิง

ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์. (2559). *นวัตกรรมการศึกษาชั้นเรียนด้วยวิธีการแบบเปิดเพื่อยกระดับคุณภาพชั้นเรียนและการทำ “kyozaikenkyu” ใน “การศึกษาชั้นเรียน” และ “วิธีการแบบเปิด”*. ขอนแก่น: ศูนย์วิจัยคณิตศาสตรศึกษา.

_____. (2561). *การสอนทักษะการคิดในศตวรรษที่ 21: การออกแบบลำดับการสอน (Flow of lesson).* กรุงเทพ: EDUCA 2019.

_____. (2565). *กระบวนการแก้ปัญหาในคณิตศาสตร์ระดับโรงเรียน* (พิมพ์ครั้งที่ 2). ขอนแก่น: ไอ-ปริ้นท์ ดีไซน์.

Araya, R., Isoda M. & van der Molen Moris J. (2021). Developing Computational Thinking Teaching Strategies to Model Pandemics and Containment Measures. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(23),* p. 12520 https://doi.org/10.3390/ijerph182312520

Bell T. & Lodi M. (2019) Constructing computational thinking without using computers. *Constructivist Foundations, 14(3),* pp. 342-351.

Bell, T. C. & Vahrenhold, J. (2018). CS Unplugged-how is it used, and does it work? *adventures between lower bounds and higher altitudes*. New York: Springer International Publishing.

Changsri, N., Inprasitha, M., Tang, K., Boonsena, N. & Pattanajak, A. (2024). The use of pattern blocks in developing students' higher-order thinking skills, *International Journal for Lesson and Learning Studies, 13*(*4*), pp. 246-264. https://doi.org/10.1108/IJLLS-04-2023-0038

Changsri, N., Inprasitha, M., Araya R. & Isoda M. (2024). Enhancing students' ideas of algorithm with coloring book in mathematics classroom. In *Proceedings of the 47th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (p. 117). Auckland, New Zealand: PME.

Curzon, P., Bell, T., Waite, J. & Dorling, M. (2019). Computational thinking. In *The Cambridge Handbook of Computing Education Research*, *Cambridge Handbooks in Psychology* (pp. 513-546). Cambridge: Cambridge University Press.

Inprasitha, M. & Loipha, S. (2007). *Developing student’s mathematical thinking through lesson study in Thailand.* Retrieved January 2, 2024, from https://www.criced.tsukuba.ac.jp/math/apec/apec2007/progress_report/specialists_session/Maitree_Inprasitha_&_Suladda_Loipha.pdf

Inprasitha, M. (2022). Lesson study and open approach development in Thailand: A longitudinal study, *International Journal for Lesson and Learning Studies, 11(5)*, pp. 1-15. https://doi.org/10.1108/IJLLS-04-2021-0029

Inprasitha, M., Isoda, M. & Araya, R. (2023). Mathematical literacy for digital era: Review of mathematical thinking and computational thinking for curriculum development. *East-West J. of Mathematics, 24(2)*, pp. 136-154. https://doi.org/10.36853/ewjm0399

Isoda, M., Roberto, A. & Inprasitha, M. (2021). *Develop Computational Thinking on AI and Big Data Era for Digital Society Recommendations from APEC InMside I Project.* Retrieved April 8, 2024, from https://www.apec.org/Publications/2021/03/Developing-Computational-Thinking-on-AI-and-Big-Data-Era

Labusch, A., Eickelmann, B. & Vennemann, M. (2019). Computational Thinking Processes and Their Congruence with Problem-Solving and Information Processing. In: Kong, SC., Abelson, H. (Eds.), *Computational Thinking Education* (pp. 65-78). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6528-7_5

Stephens, M. (2018). Developing Algorithmic Thinking in the Primary and Junior Secondary Years. In *Proceedings of the 8th ICMI-East Asia Regional Conference on Mathematics Education* (pp. 350-362). Taipei, Taiwan: EARCOME. Retrieved April 8, 2024, from https://www.researchgate.net/profile/Sommay_Shingphachanh/publication/325110490_Reviewing_the_Effect_in_the_Practice_of_Lesson_Study_Opportunities_for_Teaching_Development/links/5c5e7e72299bf1d14cb67db3/Reviewing-the-Effect-in-the-Practice-of-Lesson-Study-Opportunities-for-Teaching-Development.pdf

Stephens, M. & Buteau, C. (2023). Introduction to the special issue on computational thinking and mathematics teaching and learning. *Journal of Pedagogical Research, 7(2)*, pp. 1-4. https://doi.org/10.33902/JPR.202313362

Stephens, M. & Kadijevich, D. M. (2020). Computational/Algorithmic Thinking. In: Lerman, S. (Eds.), *Encyclopedia of Mathematics Education.* Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15789-0_100044