# การพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้วิธีการแบบเปิด: การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน

# Development of Conceptual Understanding in Mathematics of 7th Grade Students Using Open Approach: Classroom Action Research

**อัครพล พรมตรุษ**[1*]

**Akkarapon Promtrud**[1*]

[1]โรงเรียนสวรรค์อนันต์วิทยา 2, akkarapon.p@obec.moe.go.th

(Sawanananwittaya 2 School)

---

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์และศึกษาสาเหตุที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีการแบบเปิด กลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนสวรรค์อนันต์วิทยา 2 จำนวน 9 คน ดำเนินการวิจัยโดยใช้กระบวนการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นวางแผน ขั้นปฏิบัติตามแผน ขั้นสังเกตผลการปฏิบัติ และขั้นสะท้อนผลการปฏิบัติ เป็นวงจรต่อเนื่องกัน 3 วงจร เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีการแบบเปิด เรื่อง สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว จำนวน 8 แผน แบบทดสอบมโนทัศน์ท้ายบทเรียนแบบปรนัย จำนวน 30 ข้อ แบบทดสอบระดับความเข้าใจมโนทัศน์แบบอัตนัย 3 ฉบับ และแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โมเดลในรูปของเมตริกซ์เพื่อประเมินคำตอบของนักเรียนตามเกณฑ์ระดับมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์และระยะการก่อกำเนิดของมโนทัศน์ ร้อยละ และการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ผลวิจัยพบว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น โดยมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ท้ายบทเรียนร้อยละ 61.85 สาเหตุที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ ได้แก่ 1) มโนทัศน์พื้นฐานคลาดเคลื่อนหรือมโนทัศน์พื้นฐานไม่สมบูรณ์ 2) ความไม่คงทนของมโนทัศน์ และ 3) การไม่เข้าใจความต้องการของสถานการณ์ปัญหา

**คำสำคัญ:** ความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ วิธีการแบบเปิด การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน

## ABSTRACT

This classroom action research was aimed to improve the conceptual understanding in mathematics and to study the causes that impede the development of conceptual understanding in mathematics by using open approach. The target group was a group of 9 students who were studying in 7th grade enrolled in the 2nd semester of 2020 academic year at Sawanananwittaya 2 School. The research was conducted along the four steps of continuous three cycles of classroom action research, namely, Plan, Act, Observe, and Reflect. The research instruments were 8 lesson plans with Open Approach activities, post instruction reflecting notes, the multiple choice tests containing 30 questions on linear equation of one variable, 3 subjective conceptual analysis tests, and semi-structured interview form. The data were analyzed in terms of Metrics, percent, and analyzing the content. The results showed that the students had higher level of conceptual understanding in mathematics with an average score 61.85 percent and the causes that impede the development of conceptual understanding in mathematics include 1) misconception on basic conception or having weak basic conception, 2) retention of conception, and 3) no understanding the needs of problem situations.

**KEYWORDS:** Conceptual Understanding in Mathematics, Open Approach, Classroom Action Research

---

**Corresponding author, E-mail: akkarapon.p@obec.moe.go.th โทร. 095-6431888*

*Received: 19 May 2021 / Revised: 19 July 2021 / Accepted: 5 August 2021 / Published online: 23 May 2022*

## บทนำ

ในการจัดการเรียนการสอนรายวิชาคณิตศาสตร์ผู้วิจัยประสบปัญหานักเรียนมีความเข้าใจมโนทัศน์ในเรื่องที่เรียนไม่สมบูรณ์อยู่เสมอ ซึ่งเป็นผลจากความรู้พื้นฐานเดิมของนักเรียนไม่สมบูรณ์เพียงพอต่อการเชื่อมต่อสิ่งเร้าใหม่ในการสร้างองค์ความรู้ โดยนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่ไม่สมบูรณ์จะเป็นกลุ่มที่มีอุปสรรคต่อการเรียนรู้มากที่สุด ในทางกลับกันนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่ดีกว่าจะมีแรงจูงใจในการแก้ปัญหาด้วยตนเองและเรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ การส่งเสริมความเข้าใจมโนทัศน์จะช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนักการศึกษาหลายท่านต่างมีแนวคิดในการแบ่งระดับมโนทัศน์ที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้ ทฤษฎีพัฒนาการความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของ Pirie และ Kieren (1994) ได้แบ่งระดับมโนทัศน์ 8 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 ความรู้พื้นฐาน (Primitive Knowing) ระดับที่ 2 การสร้างมโนภาพ (Image Making) ระดับที่ 3 การมีมโนภาพ (Image Having) ระดับที่ 4 การสังเกตคุณสมบัติ (Property Noticing) ระดับที่ 5 การสร้างข้อสรุปเชิงนามธรรม (Formalizing) ระดับที่ 6 การสังเกต (Observing) ระดับที่ 7 การสร้างโครงสร้าง (Structuring) และระดับที่ 8 การสร้างมโนทัศน์ใหม่ (Inventizing) Westbrook และ Marek (1992) ได้แบ่งระดับความเข้าใจมโนทัศน์ 5 ระดับได้แก่ 1) ความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับที่สมบูรณ์ (Complete Understanding) 2) ความเข้าใจในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding) 3) ความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Specific Alternative Conception) 4) ความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception) และ 5) ความไม่เข้าใจ (No Understanding) Calik et al. (2009) และ Supasorn (2015) (อ้างถึงใน ศักดิ์ศรี สุภาษร, นุจรี สุภาษร, วรรณวไล อธิวาสน์พงศ์ และสนธิ พลชัยยา, 2559) ได้กล่าวถึงเกณฑ์การจำแนกกลุ่มความเข้าใจมโนทัศน์ ได้แก่ ความเข้าใจมโนทัศน์ผิด (Misconceptual Understanding) ความเข้าใจมโนทัศน์คลาดเคลื่อน (Alternative Conceptual Understanding) ความเข้าใจมโนทัศน์ถูกต้อง (Sound or Good Conceptual Understanding) นอกจากนี้ ชาญณรงค์ เฮียงราช (2552) ได้นำเสนอทฤษฎี Action-Process-structure (APS) ซึ่งเป็นกรอบทฤษฎีความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างความเข้าใจในระดับความคิดรวบยอดใหม่ในระดับที่สูงขึ้น ได้จัดระดับความเข้าใจเชิงมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 ความเข้าใจระดับการจัดกระทำ (Action conceptual understanding) ระดับที่ 2 ความเข้าใจระดับกระบวนการ (Process conceptual understanding) และระดับที่ 3 ความเข้าใจระดับโครงสร้าง (Structural conceptual understanding) ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สังเคราะห์มุมมองการพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้เป็น 2 มิติ ได้แก่ มิติที่ 1 ระดับความเข้ามโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical conceptual understanding level) 3 ระดับ ประกอบด้วย ระดับที่ 1 มโนทัศน์ระดับพื้นฐาน ระดับที่ 2 มโนทัศน์ระดับต่อยอด และระดับที่ 3 มโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ มิติที่ 2 ระยะการก่อกำเนิดของมโนทัศน์ (The origin of the concept phase) 3 ระยะ ประกอบด้วย ระยะที่ 1 ระยะก่อกำเนิดมโนทัศน์ ระยะที่ 2 ระยะกำเนิดมโนทัศน์ และระยะที่ 3 ระยะกำเนิดมโนทัศน์โดยสมบูรณ์

ความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ หมายถึง ความสามารถทางปัญญาในการรับรู้และเข้าถึงความคิดรวบยอดในองค์ความรู้เกี่ยวกับคณิตศาสตร์ ซึ่งรูปแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้มีผลต่อความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียน อัมพร ม้าคนอง (2554) ได้อธิบายประเภทของความรู้ทางคณิตศาสตร์ว่า ความรู้ทางคณิตศาสตร์แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความรู้เชิงมโนทัศน์ (conceptual knowledge) และความรู้เชิงกระบวนการหรือขั้นตอน (procedural knowledge) ซึ่งความรู้เชิงขั้นตอนถูกเน้นในชั้นเรียนโดยทั่วไปที่ครูผู้สอนให้ลำดับขั้นตอนการคิดแก่นักเรียนได้เลียนแบบมากกว่าให้นักเรียนเกิดข้อสรุปลำดับขั้นตอนการคิดด้วยตนเอง อาจเนื่องด้วยเป็นการช่วยให้นักเรียนแก้ปัญหาตามรูปแบบได้อย่างรวดเร็ว แต่ในทางกลับกันเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนขาดการคำนึงถึงตรรกะเหตุผล ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ด้วยเป็นรายวิชาที่ส่งเสริมตรรกะในการคิด ดังนั้น ครูผู้สอนจึงต้องปรับบทบาทเป็นผู้ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างมโนทัศน์ขึ้นด้วยตนเองโดยไม่สรุปมโนทัศน์ให้แก่นักเรียนแต่ต้นเสมือนอาหารสำเร็จรูปพร้อมรับประทาน

การส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการสร้างมโนทัศน์ขึ้นด้วยตนเองมีปัจจัยสำคัญ คือ นักเรียนจะต้องเกิดกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดย Cangelosi (1988) ได้กล่าวถึง กลวิธีการสร้างมโนทัศน์ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 การเรียงและการจัดกลุ่ม (Sorting and categorizing) ขั้นที่ 2 การสะท้อนผลและการอธิบาย (Reflecting and explaining) ขั้นที่ 3 สร้างหลักการทั่วไปและสามารถอธิบายรายละเอียดได้ชัดเจน (Generalizing and articulating) และขั้นที่ 4 การตรวจสอบและการปรับปรุง (Verifying and refining) ดังนั้น เครื่องมือที่สามารถส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้

ด้วยตนเองได้นั้นจะต้องมีลักษณะที่สำคัญ คือ ปรับบทบาทของครูให้เป็นผู้ที่อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้และส่งเสริมให้นักเรียนสามารถตั้งข้อสังเกต เกิดการวิเคราะห์ รวมถึงสะท้อนผลจากสิ่งที่ตนวิเคราะห์หรือสังเคราะห์เป็นข้อสรุปได้ ผู้วิจัยจึงเห็นว่าการใช้กิจกรรมที่มีการส่งเสริมให้นักเรียนได้เกิดการค้นหาคำตอบด้วยตัวเอง คิดค้นวิธีการของตัวเองอย่างอิสระจะเป็นกิจกรรมที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างมโนทัศน์ด้วยตนเองได้ การเรียนรู้โดยวิธีการแบบเปิดตามแนวทางของ Inprasitha (2010) ที่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นการนำเสนอปัญหาปลายเปิด 2) ขั้นการเรียนรู้ด้วยตนเองของนักเรียน 3) ขั้นการอภิปรายและเปรียบเทียบร่วมกันทั้งชั้นเรียน และ 4) ขั้นการสรุปโดยเชื่อมโยงความรู้คณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ปรากฏในชั้นเรียน จะเห็นว่า กิจกรรมออกแบบมาโดยปรับบทบาทครูเป็นผู้ส่งเสริมนักเรียนให้สร้างมโนทัศน์ด้วยตนเอง ซึ่งจะเห็นว่า จุดเน้นของกิจกรรมส่งเสริมให้นักเรียนเป็นผู้ก่อสร้างความรู้โดยใช้สิ่งเร้าคือปัญหาปลายเปิดให้นักเรียนหาแนวทางการแก้ปัญหาด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับ โนดะ (Nohda, 1983, อ้างถึงใน ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์, 2547, หน้า 4-5) กล่าวว่า การสอนโดยใช้วิธีการแบบเปิด ในขั้นวางแผนหาแนวทางการแก้ปัญหา นักเรียนต้องพยายามค้นพบแนวทางการแก้ปัญหาของตนเอง โดยอาศัยประสบการณ์ของตนเอง ครูมีหน้าที่ชี้แนะ ให้นักเรียนได้อภิปรายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางการหาคำตอบที่หลากหลาย เพื่อสามารถนำไปพัฒนาเป็นความรู้ในระดับสูงต่อไป จะเห็นว่า นักเรียนเกิดกระบวนการซึมซับและปรับโครงสร้างทางความคิดเดิมในการก่อสร้างมโนทัศน์จากสถานการณ์ปัญหาที่ตนได้รับ จากการคิดค้นหาคำตอบจากปัญหาปลายเปิดและปัญหาปลายเปิดยังช่วยกระตุ้นให้นักเรียนรู้สึกอยากค้นหาคำตอบอย่างกระตือรือร้น เนื่องด้วยเป็นปัญหาที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ค้นหาคำตอบอย่างอิสระและเห็นคุณค่าในความคิดของตนเอง

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมุ่งพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในชั้นเรียนของผู้วิจัย โดยดำเนินการวิจัยตามกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research: CAR) เพื่อพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยใช้นวัตกรรมการเรียนรู้โดยวิธีการแบบเปิด ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาและนำไปพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้สืบต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธีการแบบเปิดและศึกษาสาเหตุที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ หมายถึง ความสามารถทางปัญญาในการรับรู้และเข้าถึงความคิดรวบยอดในองค์ความรู้เกี่ยวกับคณิตศาสตร์ โดยแบ่งเป็น 2 มิติ ได้แก่ มิติที่ 1 ระดับความเข้ามโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical conceptual understanding level) 3 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 มโนทัศน์ระดับพื้นฐาน ระดับที่ 2 มโนทัศน์ระดับต่อยอด และระดับที่ 3 มโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ มิติที่ 2 ระยะการก่อกำเนิดของมโนทัศน์ (the origin of the concept phase) 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ระยะก่อกำเนิดมโนทัศน์ ระยะที่ 2 ระยะกำเนิดมโนทัศน์ และระยะที่ 3 ระยะกำเนิดมโนทัศน์โดยสมบูรณ์

2. วิธีการแบบเปิด หมายถึง แนวทางการสอนการแก้ปัญหา (Problem-Solve Approach) ลักษณะหนึ่งซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ 1) การนำเสนอปัญหาปลายเปิด (Posing open-ended problem) 2) การเรียนรู้ด้วยตนเองของนักเรียน (Student's self learning) 3) การอภิปรายทั้งชั้นเรียนและการเปรียบเทียบ (Whole class discussion and comparison) และ 4) การสรุปโดยการเชื่อมโยงแนวคิดของนักเรียนที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน (Summarization through connecting students' mathematical ideas emerged in the classroom)

## กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้อาศัยกรอบแนวคิด 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ ความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ (Conceptual Understanding in Mathematics) วิธีการแบบเปิด (Open Approach) และการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ (Conceptual Understanding in Mathematics) หมายถึง ความสามารถทางปัญญาในการรับรู้และเข้าใจความคิดรวบยอดหรือองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ โดยแบ่งมุมมองเป็น 2 มิติ ได้แก่ มิติที่ 1 ระดับความเข้ามโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical conceptual understanding level) 3 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 มโนทัศน์ระดับพื้นฐาน ระดับที่ 2 มโนทัศน์ระดับต่อยอด และระดับที่ 3 มโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ มิติที่ 2 ระยะการก่อกำเนิดของมโนทัศน์ (the origin of the concept phase) 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ระยะก่อกำเนิดมโนทัศน์ ระยะที่ 2 ระยะกำเนิดมโนทัศน์ และระยะที่ 3 ระยะกำเนิดมโนทัศน์โดยสมบูรณ์ โดยผู้วิจัยได้กำหนดรายละเอียดของแต่ละมิติ ดังนี้

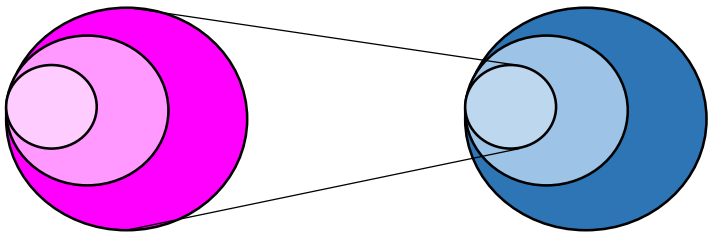
ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical conceptual understanding level) หมายถึง ระดับความสามารถทางปัญญาในการรับรู้และเข้าใจความคิดรวบยอดหรือองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 ความเข้าใจมโนทัศน์ระดับพื้นฐาน (Basic conceptual understanding) คือ ความสามารถทางปัญญาในการรับรู้ จดจำ เข้าใจองค์ความรู้พื้นฐานที่ใช้สำหรับการต่อยอดในระดับมโนทัศน์ที่สูงขึ้นหรือเป็นเครื่องมือทำความเข้าใจมโนทัศน์ใหม่ เช่น ความเข้าใจในมโนทัศน์ระดับพื้นฐานเกี่ยวกับการแก้สมการ หมายถึง ความสามารถของนักเรียนที่สามารถอธิบายขั้นตอนหรือแนวคิดวิธีการในการแก้สมการได้ โดยมโนทัศน์ระดับพื้นฐานจะเป็นเครื่องมือที่ถูกใช้ในขณะเกิดกระบวนการย้อนกลับเพื่อซึมซับข้อมูลจากสิ่งเร้าใหม่ส่งผลให้เกิดการขยายมโนทัศน์ให้มีความกว้างขึ้นจนเกิดเป็นมโนทัศน์ระดับที่สูงขึ้นได้ แต่หากสิ่งเร้าใหม่ที่เข้ามากระทบต่อมโนทัศน์ระดับนี้สร้างความขัดแย้งให้เกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดกระบวนการปรับแต่งความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับนี้ใหม่เพื่อให้สอดคล้องและสมดุลกับสิ่งเร้านั้น ทั้งนี้ หากมโนทัศน์พื้นฐานที่ต้องการย้อนกลับขาดหายเป็นมโนทัศน์ที่ถูกใช้ต่อเนื่องกันเป็นห่วงโซ่จะยิ่งส่งผลให้นักเรียนไม่เกิดการรับรู้ในมโนทัศน์ใหม่ได้

ระดับที่ 2 ความเข้าใจมโนทัศน์ระดับต่อยอดหรือการเกิดมโนภาพต่อมโนทัศน์ระดับพื้นฐาน (Image having with basic conceptual understanding) คือ ความสามารถทางปัญญาในการตั้งข้อสังเกต มองเห็นคุณสมบัติ หรือพฤติกรรมบางอย่างต่อมโนทัศน์ระดับพื้นฐาน แต่ยังไม่สามารถให้ความหมายหรือทำการอุปนัยสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่สมบูรณ์ได้ เช่น ความเข้าใจมโนทัศน์ระดับต่อยอดเกี่ยวกับการแก้สมการ หมายถึง ความสามารถในการทำความเข้าใจมโนทัศน์ระดับพื้นฐานเกี่ยวกับการแก้สมการจนเกิดการสงสัย ตั้งข้อสังเกต มองเห็นคุณสมบัติพิเศษ อาทิ สังเกตเห็นการลดขั้นตอน การคิดด้วยวิธีการที่แตกต่างแต่ได้คำตอบเดิม เป็นต้น โดยมโนทัศน์ระดับนี้จะเป็นพื้นฐานต่อมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์

ระดับที่ 3 ความเข้าใจมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ (Complete conceptual understanding) คือ ความสามารถทางปัญหาในการสังเคราะห์หรือทำการอุปนัยจากข้อสังเกตที่ได้จากมโนทัศน์ระดับต่อยอดจนสามารถสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่สมบูรณ์ได้ เช่น ความเข้าใจมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์เกี่ยวกับการแก้สมการ หมายถึง ความสามารถในการทำการอุปนัยจากข้อสงสัย ข้อสังเกต คุณสมบัติพิเศษ อาทิ สังเกตเห็นการลดขั้นตอนในการแก้สมการ การคิดด้วยวิธีการที่แตกต่างในการแก้สมการแต่ได้คำตอบเดิม จนเกิดความพยายามที่จะหาเหตุผลหรือคำตอบของปรากฏการณ์นั้นจนสามารถสร้างข้อสรุปเป็นความรู้ใหม่ในแบบของตนเองได้

อย่างไรก็ตาม การพัฒนามโนทัศน์แต่ละระดับไม่จำเป็นจะต้องเป็นแนวเชิงเส้น เนื่องด้วยในกระบวนการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์สามารถเกิดการย้อนกลับมายังฐานมโนทัศน์เดิมหรือฐานก่อนหน้าได้เสมอเพื่อปรับโครงสร้างให้สมดุลหรือขยายโครงสร้างให้แข็งแรงเพียงพอต่อการต่อยอดและขยายมโนทัศน์ นอกจากนี้ มโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ในเรื่องหนึ่งอาจเป็นมโนทัศน์ในระดับพื้นฐานอีกเรื่องหนึ่งได้เช่นกัน หรือมโนทัศน์พื้นฐานเรื่องหนึ่งสามารถเป็นเครื่องมือช่วยส่งเสริมให้เกิดมโนทัศน์ระดับต่อยอดในอีกเรื่องหนึ่งได้เช่นกัน ดังนี้




**ภาพ 1** มโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ในเรื่องหนึ่งเป็นมโนทัศน์ระดับพื้นฐานอีกเรื่องหนึ่ง

ทั้งนี้ การสร้างความเข้าใจมโนทัศน์แต่ละระดับจะไม่สามารถสร้างขึ้นได้โดยฉับพลันขึ้นอยู่กับความสามารถของการเรียนรู้แต่ละบุคคล โดยมโนทัศน์ในแต่ละระดับจะมีระยะเวลาในการจะกำเนิดขึ้นเช่นกัน โดยผู้วิจัยเรียกระยะเวลาดังกล่าวว่า ระยะการก่อกำเนิดของมโนทัศน์ (the origin of the concept phase) ซึ่งแบ่งเป็น 3 ระยะ ดังนี้

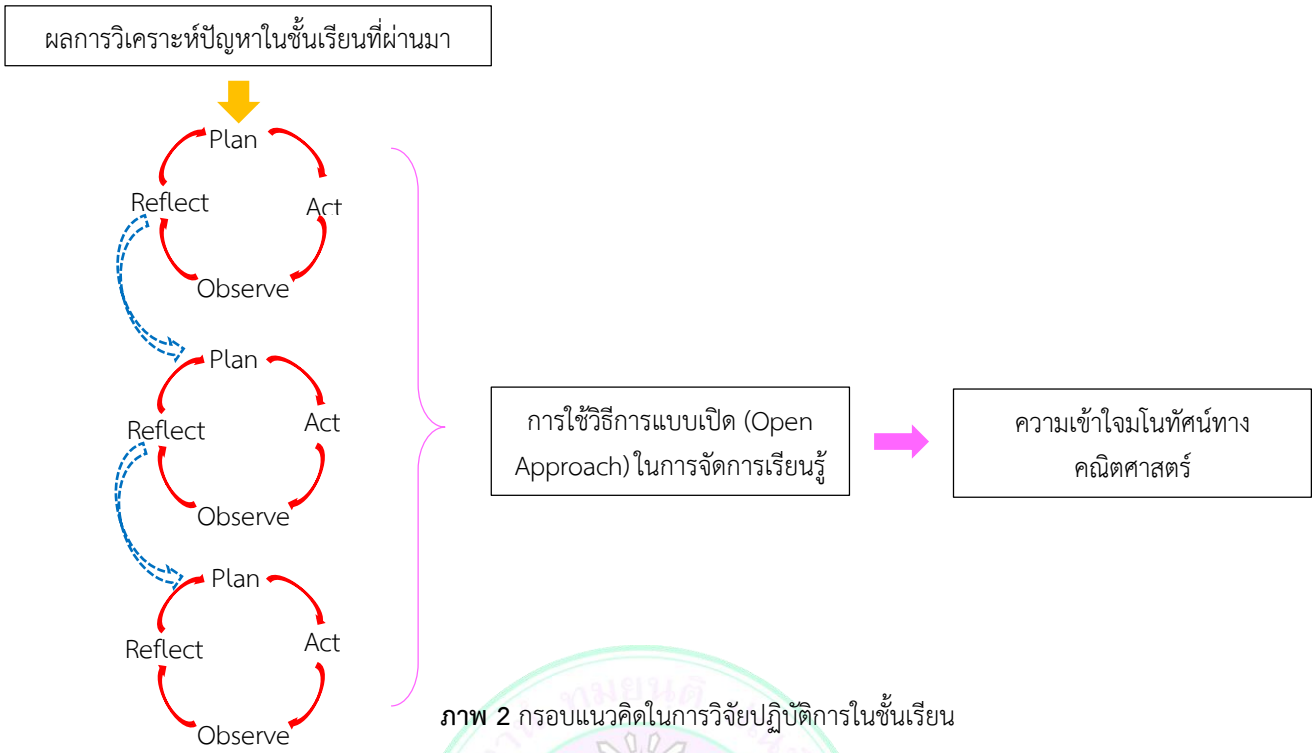
ระยะที่ 1 ระยะก่อกำเนิดมโนทัศน์ (Founding conception phase) หมายถึง ระยะที่มโนทัศน์ของนักเรียนเริ่มทำการก่อตัวสร้างเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแต่ยังไม่สามารถทำได้สำเร็จ โดยนักเรียนจะพยายามสื่อสารแสดงวิธีคิดหรือวิธีการแก้ปัญหาด้วยการใช้ความเข้าใจจากมโนทัศน์ที่ตนมีอยู่ซึ่งผลที่ได้มักจะไม่ถูกต้องตามหลักการหรือขาดความสมเหตุสมผล

ระยะที่ 2 ระยะกำเนิดมโนทัศน์ (Having conception phase) หมายถึง ระยะที่มโนทัศน์ของนักเรียนทำการก่อตัวสร้างเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลได้สำเร็จแต่ไม่สมบูรณ์ โดยนักเรียนสามารถเขียนแสดงวิธีการแก้ปัญหาหรือสื่อสารได้อย่างสมเหตุสมผล แต่พบความเข้าใจคลาดเคลื่อนหรือข้อผิดพลาดจากเหตุผลที่ตนเข้าใจ

ระยะที่ 3 ระยะกำเนิดมโนทัศน์โดยสมบูรณ์ (Complete conception phase) หมายถึง ระยะที่มโนทัศน์ของนักเรียนทำการก่อตัวสร้างเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลได้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ โดยนักเรียนสามารถเขียนแสดงวิธีการแก้ปัญหาหรือสื่อสารอย่างสมเหตุสมผล

วิธีการแบบเปิด (Open Approach) เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้การแก้ปัญหา (Problem-Solve Approach) ลักษณะหนึ่งซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนที่สำคัญ (ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์, 2555) ได้แก่ 1) การนำเสนอปัญหาปลายเปิด (Posing open-ended problem) 2) การเรียนรู้ด้วยตนเองของนักเรียน (Student's self learning) 3) การอภิปรายทั้งชั้นเรียนและการเปรียบเทียบ (Whole class discussion and comparison) และ 4) การสรุปโดยการเชื่อมโยงแนวคิดของนักเรียนที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน (Summarization through connecting students' mathematical ideas emerged in the classroom) การจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีการแบบเปิดมีเป้าหมายเพื่อให้นักเรียนสามารถเรียนคณิตศาสตร์ในแนวทางที่ตอบสนองความสามารถควบคู่ไปกับระดับของการตัดสินใจด้วยตนเองในการเรียนรู้ ซึ่งสามารถขยายหรือเพิ่มเติมคุณภาพของกระบวนการและผลที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ได้ การจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีการแบบเปิดจะยึดหลัก 3 ประการ ได้แก่ 1) มีความสัมพันธ์กับความเป็นอิสระของกิจกรรมของนักเรียน เราจะต้องตระหนักในคุณค่าของกิจกรรมของนักเรียนโดยที่จะพยายามไม่เข้าไปสอดแทรกโดยไม่จำเป็น 2) มีความสัมพันธ์กับธรรมชาติของความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะในเชิงวิวัฒนาการและเชิงบูรณาการ การจัดกิจกรรมควรจัดกิจกรรมในเนื้อหาคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะเชิงบูรณาการ เพราะจะเป็นการเปิดประตูแห่งความรู้สู่โลกกว้าง ในขณะเดียวกันความรู้ต้นกำเนิดที่มีความสำคัญก็จะได้รับการสะท้อนอีกหลายครั้งผ่านการบูรณาการจนเกิดวิวัฒนาการทางความรู้คณิตศาสตร์ และ 3) มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจที่มีประโยชน์ของครูในห้องเรียน ครูจะมีบทบาทสำคัญในการที่จะทำให้แนวคิดเหล่านั้นได้มีบทบาทอย่างเต็มที่ในชั้นเรียน และพยายามจริงจังว่าจะทำอย่างไรนักเรียนคนอื่นจะสามารถเข้าใจได้อย่างแท้จริงเกี่ยวกับแนวคิดที่ไม่คาดมาก่อน โดยปัญหาที่ใช้ในวิธีการแบบเปิดเป็นปัญหาที่นักเรียนไม่เคยประสบมาก่อน (Non-routine problems) ซึ่งสามารถจำแนกปัญหาปลายเปิดได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ 1) กระบวนการเปิด (Process is open) ปัญหาชนิดนี้มีแนวทางในการแก้ปัญหาซึ่งเป็นปัญหาต้นกำเนิดให้ได้อย่างหลากหลาย แน่นอนว่าปัญหาคณิตศาสตร์ทุกปัญหาต่างก็เป็นปัญหาปลายเปิดโดยนัยนี้ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปปัญหาคณิตศาสตร์ในโรงเรียนจะเน้นการพิจารณาคำตอบเพียงคำตอบเดียว รวมทั้งไม่ได้เน้นแง่มุมเชิงกระบวนการของปัญหา 2) ผลลัพธ์เปิด (End product are open) เป็นปัญหาปลายเปิดที่สามารถมีคำตอบที่ถูกต้องได้หลากหลาย และ 3) แนวทางการพัฒนาปัญหาเปิด (Ways to develop are open) หลังจากที่นักเรียนได้แก้ปัญหาไปแล้ว นักเรียนสามารถพัฒนาไปเป็นปัญหาใหม่ด้วยการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขหรือองค์ประกอบของปัญหาเดิม การเน้นแง่มุมนี้ซึ่งเรียกว่า "จากปัญหาสู่ปัญหา" (Takeuchi & Sawada, 1984) ถือได้ว่าเป็นแนวทางการพัฒนาปัญหาปัญหาเปิด

การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research: CAR) เป็นรูปแบบการวิจัยที่มีจุดประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน โดยครูผู้สอนมีหน้าที่เป็นผู้ทำวิจัยในชั้นเรียนของตนเอง และนำผลที่ได้มาใช้ในการปรับปรุงการเรียนการสอน เพื่อทำให้การปฏิบัติงานของครูมีประสิทธิภาพดีกว่าเดิม ซึ่งแนวคิดในการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนประกอบด้วยขั้นตอนการปฏิบัติการ 4 ขั้นตอนหลัก ตามอักษรย่อ PAOR ดังนี้ 1) การวางแผน (Plan) 2) การลงมือปฏิบัติตามแผน (Act) 3) การสังเกตผลและรวบรวมข้อมูลที่เกิดจากการปฏิบัติ (Observe) และ 4) การสะท้อนคิดหรือทบทวนตรวจสอบ (Reflect) โดยวงจรปฏิบัติการดังกล่าวจะมีลักษณะต่อเนื่องเป็นขดลวด (Kemmis & Mc Taggart, 1988, อ้างถึงใน นิราวรรณ หมู่ธรรมไชย และณัชชา กมล, 2563) และเชื่อมโยงไปสู่ทีละวงจรผ่านการขับเคลื่อนการจัดการเรียนรู้ ดังภาพ 2 ดังนี้




**ภาพ 2** กรอบแนวคิดในการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน

## วิธีดำเนินการวิจัย

### ประชากร และตัวอย่างวิจัย

กลุ่มเป้าหมายของการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 9 คน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ซึ่งเป็นชั้นเรียนที่ผู้วิจัยรับผิดชอบสอนและศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเรียนการสอน โรงเรียนสวรรค์อนันต์วิทยา 2 อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

### เครื่องมือวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยวิธีการแบบเปิด เรื่อง สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว จำนวน 8 แผน เวลา 16 ชั่วโมง ประกอบด้วย 1) การเตรียมความพร้อมก่อนรู้จักสมการ จำนวน 2 แผน เวลา 4 ชั่วโมง 2) สมการและคำตอบของสมการ จำนวน 2 แผน เวลา 4 ชั่วโมง และ 3) การแก้สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวและการนำไปใช้ จำนวน 4 แผน เวลา 8 ชั่วโมง โดยผ่านการสะท้อนคิดแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับผู้ที่มีประสบการณ์จัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการแบบเปิด

2. บันทึกหลังสอน บันทึกผลการจัดการเรียนรู้ ปัญหา พฤติกรรม การแสดงออก คำพูด และแนวคิดต่าง ๆ ของนักเรียนที่ตอบสนองต่อกิจกรรมที่เกิดขึ้นตามขั้นตอนวิธีการแบบเปิด โดยบันทึกผลแต่ละคาบเรียนเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้และเป็นข้อมูลประกอบการประเมินระดับความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน

3. แบบทดสอบระดับความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ ใช้สำหรับตรวจสอบระดับความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยผู้วิจัยทำหน้าที่ครูครูผู้สอนและทำแบบทดสอบระดับความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่เกิดขึ้นในแต่ละวงจร จำนวน 3 ฉบับ ได้แก่ 1) แบบทดสอบเรื่องการเตรียมความพร้อมก่อนรู้จักสมการ จำนวน 4 ข้อ 2) แบบทดสอบเรื่อง สมการและคำตอบของสมการ จำนวน 3 ข้อ และ 3) แบบทดสอบเรื่องการแก้สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวและการนำไปใช้ จำนวน 6 ข้อ โดยแปลความหมายพฤติกรรมจากการเขียนตอบของนักเรียนตามเกณฑ์พฤติกรรมบ่งชี้ระดับมโนทัศน์ 3 ระดับ ร่วมกับหลักฐาน “ความเข้าใจ” จากการสัมภาษณ์และบันทึกหลังสอน มีรายละเอียดดังนี้

**ตาราง 1** เกณฑ์พฤติกรรมบ่งชี้ระดับมโนทัศน์ 3 ระดับ

| ระดับมโนทัศน์ | เกณฑ์พฤติกรรมบ่งชี้ |
|---|---|
| ระดับที่ 1 มโนทัศน์ระดับพื้นฐาน | สามารถอธิบาย เขียน สื่อสาร แสดงออกถึงความเข้าใจต่อความคิดรวบยอดพื้นฐาน |
| ระดับที่ 2 มโนทัศน์ระดับต่อยอด | สามารถสร้างข้อสังเกต เห็นคุณสมบัติพิเศษต่อความคิดรวบยอดพื้นฐาน |
| ระดับที่ 3 มโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ | สามารถสังเคราะห์หรือทำการอุปนัยจากข้อสังเกตจนเป็นข้อสรุปใหม่ของตนเองได้ |

4. แบบทดสอบมโนทัศน์ท้ายบทเรียนแบบปรนัย 30 ข้อ เรื่อง สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว เพื่อประเมินผลภาพรวมของนักเรียนหลังจากได้รับกิจกรรมโดยวิธีการแบบเปิดหลังจบหน่วยการเรียนรู้ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน คือ ถ้านักเรียนตอบถูกได้ 1 คะแนน และตอบผิดได้ 0 คะแนน

5. แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง โดยสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมจากการทำแบบทดสอบเพื่อหาหลักฐาน “ความเข้าใจ” มโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว และสัมภาษณ์นักเรียนที่มีพัฒนาการช้าหลังจากครบวงจรปฏิบัติการ โดยให้นักเรียนอธิบายวิธีคิดของตนเองจากแบบทดสอบ ใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาจัดข้อสรุป

6. เครื่องบันทึกเสียง ผู้วิจัยใช้บันทึกเสียงของนักเรียนจากการสัมภาษณ์นักเรียน เพื่อตรวจสอบความครบถ้วนถูกต้องของข้อมูล

**กิจกรรมการพัฒนาและรวบรวมข้อมูล**

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเป็นผู้จัดกิจกรรมการเรียนรู้และดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง ซึ่งขอบเขตเนื้อหาที่สอนได้แก่ เรื่อง สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว ประกอบด้วย 1) การเตรียมความพร้อมก่อนรู้จักสมการ 2) สมการและคำตอบของสมการ และ 3) การแก้สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวและการนำไปใช้ กิจกรรมการจัดการเรียนรู้ใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลรวมทั้งสิ้น 16 ชั่วโมง ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยใช้กระบวนการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน ตามวงจร PAOR ดำเนินการ 4 ขั้นตอน รวมทั้งสิ้น 3 วงจร โดยแบ่งวงจรตามเนื้อหาและทำการเก็บรวมรวมข้อมูลในแต่ละวงจรเพื่อประเมินระดับมโนทัศน์ของนักเรียน เมื่อดำเนินการครบ 3 วงจร ให้นักเรียนทำแบบทดสอบมโนทัศน์ท้ายบทเรียน โดยวงจรปฏิบัติการจะมีลักษณะต่อเนื่องเป็นขดลวด (Kemmis & Mc Taggart,1988) มีการดำเนินกิจกรรมดังนี้

1. การวางแผน (Plan) ประกอบด้วย ศึกษาแนวคิดมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์พร้อมทั้งออกแบบเกณฑ์พฤติกรรมบ่งชี้ระดับมโนทัศน์ จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้โดยวิธีการแบบเปิดตามแนวทางของ Inprasitha (2010) โดยการออกแบบกิจกรรมคำนึงถึงวัตถุประสงค์และคำอธิบายรายวิชาที่กำหนดไว้ตามหลักสูตร

2. การปฏิบัติการสอนตามแผนที่วางไว้ (Act) ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบโดยวิธีการแบบเปิดตามแนวทางของ Inprasitha (2010) 4 ขั้นตอน ดังนี้

**ภาพ 3** กิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีการแบบเปิดตามแนวทางของ Inprasitha (2010)

3. การสังเกตผลการปฏิบัติ (Observe) หลังดำเนินกิจกรรมเสร็จสิ้นในทุกคาบผู้วิจัยจะทำการบันทึกผลการจัดการเรียนรู้ ปัญหา พฤติกรรม การแสดงออก คำพูด และแนวคิดต่าง ๆ ของนักเรียนที่ตอบสนองต่อกิจกรรมที่เกิดขึ้นตามขั้นตอนวิธีการแบบเปิด

4. การสะท้อนผลการปฏิบัติ (Reflect) นำผลการทดสอบและแบบบันทึกการเรียนรู้มาวิเคราะห์ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ตามเกณฑ์พฤติกรรมบ่งชี้ระดับมโนทัศน์ สรุปผลของการใช้การจัดการเรียนรู้โดยวิธีแบบเปิด เพื่อวิเคราะห์ปัญหาอุปสรรค และปรับแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อใช้ในวงจรปฏิบัติการถัดไป

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

การวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยวิเคราะห์ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียนเป็นรายบุคคลโดยใช้โมเดลในรูปของเมตริกซ์เพื่อประเมินคำตอบของนักเรียนตามเกณฑ์ระดับมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์และระยะการก่อกำเนิดของมโนทัศน์ กำหนดให้ มิติที่ 1 ระดับความเข้ามโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ แสดงข้อมูลโดยใช้แถวของเมตริกซ์ แบ่งเป็น 3 ระดับ และมิติที่ 2 ระยะการก่อกำเนิดของมโนทัศน์ แสดงโดยใช้หลักของเมตริกซ์ แบ่งเป็น 3 ระยะ กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ ดังนี้

$C_1$ หมายถึง ความเข้าใจมโนทัศน์ระดับพื้นฐาน

$C_2$ หมายถึง ความเข้าใจมโนทัศน์ระดับต่อยอดหรือการเกิดมโนภาพต่อมโนทัศน์ระดับพื้นฐาน

$C_3$ หมายถึง ความเข้าใจมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์

$L_1$ หมายถึง ระยะก่อกำเนิดมโนทัศน์

$L_2$ หมายถึง ระยะกำเนิดมโนทัศน์

$L_3$ หมายถึง ระยะกำเนิดมโนทัศน์โดยสมบูรณ์

$s_i$ หมายถึง นักเรียนคนที่ $i$ เมื่อ $i \in \{1, 2, 3, ..., 9\}$

โดยการนำเสนอข้อมูลกำหนดให้ $A = \left[ a_{ij} \right]$ เป็นเมตริกซ์จัตุรัสมิติ 3 ซึ่งแสดงมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยที่ $i$ เมื่อ $1 \le i \le 3$ แทน ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ 3 ระดับ และ $j$ เมื่อ $1 \le j \le 3$ แทน ระยะการก่อกำเนิด มโนทัศน์ 3 ระยะ ดังนี้

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

$L_1$ $L_2$ $L_3$ ลงสู่ $a_{11}$ $a_{12}$ $a_{13}$ ; $C_1$ ชี้ $a_{11}$ $a_{12}$ $a_{13}$ ; $C_2$ ชี้ $a_{21}$ $a_{22}$ $a_{23}$ ; $C_3$ ชี้ $a_{31}$ $a_{32}$ $a_{33}$

โดยที่ $a_{ij} \in \{0,\ 0.5,\ 1\}$

เมื่อ 0 หมายถึง ไม่สามารถเขียนตอบ/แสดงวิธีการแก้ปัญหาได้

0.5 หมายถึง เขียนอธิบายไม่เข้าใจ สื่อสารได้ถูกต้องบางส่วน หรือ แสดงความเข้าใจไม่เป็นลำดับขั้นตอน

1 หมายถึง สามารถเขียนอธิบายได้ถูกต้องชัดเจนอย่างสมเหตุสมผล

โดยผลการปฏิบัติและการสะท้อนผลแต่ละวงจรแสดงรายละเอียดดังนี้

**วงจรปฏิบัติการที่ 1**

**ขั้นวางแผน (Plan)**

ผู้วิจัยดำเนินการออกแบบกิจกรรมเขียนแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีการแบบเปิด ซึ่งลักษณะปัญหาปลายเปิดที่ใช้ในแผนการจัดการเรียนรู้เน้นเป็นกระบวนการเปิดให้นักเรียนได้แสดงออกวิธีคิดของตนเอง โดยผู้วิจัยสร้างปัญหาปลายเปิดโดยใช้แบบฝึกหัดในแบบเรียนในการให้นักเรียนได้ค้นหาวิธีการที่จะได้มาซึ่งคำตอบนั้นด้วยวิธีการตามแนวคิดของนักเรียนเอง

**ขั้นปฏิบัติ (Act)**

ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ เรื่อง การเตรียมความพร้อมก่อนรู้จักสมการ ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบ จำนวน 2 แผน เวลา 4 ชั่วโมง โดยลักษณะกิจกรรมของผู้วิจัยจะเริ่มต้นด้วยการสร้างความเข้าใจความรู้พื้นฐานที่ต้องใช้เพื่อแก้ปัญหาปลายเปิดที่จัดเตรียมไว้ จากนั้นจึงนำเสนอปัญหาปลายเปิด โดยผู้วิจัยแบ่งการใช้กระดานเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 สร้างความเข้าใจความรู้พื้นฐานที่ใช้ในการแก้ปัญหาปลายเปิด ส่วนที่ 2 นำเสนอปลายเปิด ส่วนที่ 3 ส่วนที่นักเรียนร่วมกันอภิปรายแสดงข้อคิดเห็นร่วมกัน และส่วนที่ 4 ผลสรุปจากการเชื่อมโยงแนวคิด โดยใช้แอพพลิเคชั่น classdojo ในการควบคุมชั้นเรียน

**การสังเกตผลและรวบรวมข้อมูลที่เกิดจากการปฏิบัติ (Observe)**

หลังจากครบวงจรปฏิบัติการผู้วิจัยได้ทำการประเมินระดับมโนทัศน์ โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นดังนี้

$$s_1=\begin{pmatrix}1 & 1 & 0\\ 0.5 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_2=\begin{pmatrix}1 & 0.5 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_3=\begin{pmatrix}1 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

$$s_4=\begin{pmatrix}1 & 1 & 0.5\\ 1 & 1 & 0.5\\ 0.5 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_5=\begin{pmatrix}1 & 1 & 0.5\\ 1 & 1 & 0\\ 0.5 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_6=\begin{pmatrix}1 & 1 & 0.5\\ 1 & 1 & 0.5\\ 0.5 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

$$s_7=\begin{pmatrix}0.5 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_8=\begin{pmatrix}0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_9=\begin{pmatrix}0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

จากข้อมูลข้างต้น พบว่า

$s_1$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์มโนทัศน์ระดับต่อยอดแต่พบความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ระดับพื้นฐานแต่ไม่สมบูรณ์

$s_2$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับพื้นฐานแต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

$s_3$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับพื้นฐานแต่ไม่สมบูรณ์

$s_4$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์แต่มโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ระดับต่อยอดที่สมบูรณ์แต่ยังพบความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์

$s_5$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์แต่มโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ระดับต่อยอดแต่ไม่สมบูรณ์

$s_6$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์แต่มโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ระดับต่อยอดที่สมบูรณ์แต่ยังพบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

$s_7$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์ระดับพื้นฐานแต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

$s_8$ : นักเรียนไม่มีความเข้าใจในมโนทัศน์ทุกระดับ

$s_9$ : นักเรียนไม่มีความเข้าใจในมโนทัศน์ทุกระดับ

**การสะท้อนคิดหรือทบทวนตรวจสอบ (Reflect)**

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น พบว่า **พบนักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับพื้นฐาน** ($C_1$) คิดเป็นร้อยละ 33.33 ไม่พบนักเรียนในมโนทัศน์ระดับต่อยอด ($C_2$) และมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ ($C_3$) พิจารณาพบว่าลักษณะของปัญหานักเรียนเข้าถึงได้ยาก ส่งผลให้นักเรียนไม่กล้าคิดลองผิดลองถูก จึงต้องปรับลักษณะของปัญหาที่ใช้กับนักเรียนในวงจรปฏิบัติการต่อไป

**วงจรปฏิบัติการที่ 2**

**ขั้นวางแผน (Plan)**

ผู้วิจัยดำเนินการปรับกิจกรรมกาเรียนรู้โดยปรับเปลี่ยนลักษณะปัญหาปลายเปิดที่ใช้ในแผนการจัดการเรียนรู้ให้มีความเชื่อมโยงกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่นักเรียนมีความคุ้นเคยง่ายต่อการจินตนาการตามสถานการณ์ที่ครูกำหนด

**ขั้นปฏิบัติ (Act)**

ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ เรื่อง **สมการและคำตอบของสมการ** ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบ **จำนวน 2 แผน** เวลา 4 ชั่วโมง โดยลักษณะกิจกรรมของผู้วิจัยจะเริ่มต้นด้วยการสร้างความเข้าใจความรู้พื้นฐานที่ต้องใช้เพื่อแก้ปัญหาปลายเปิดที่จัดเตรียมไว้ จากนั้นจึงนำเสนอปัญหาปลายเปิด โดยผู้วิจัยแบ่งการใช้กระดานเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 สร้างความเข้าใจความรู้พื้นฐานที่ใช้ในการแก้ปัญหาปลายเปิด ส่วนที่ 2 นำเสนอปลายเปิด ส่วนที่ 3 ส่วนที่นักเรียนร่วมกันอภิปรายแสดงข้อคิดเห็นร่วมกัน และส่วนที่ 4 ผลสรุปจากการเชื่อมโยงแนวคิด โดยใช้แอพพลิเคชั่น classdojo ในการควบคุมชั้นเรียน

**การสังเกตผลและรวบรวมข้อมูลที่เกิดจากการปฏิบัติ (Observe)**

หลังจากครบวงจรปฏิบัติการผู้วิจัยได้ทำการประเมินระดับมโนทัศน์ โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นดังนี้

$$s_1=\begin{pmatrix}1 & 1 & 0\\ 1 & 0.5 & 0\\ 0.5 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_2=\begin{pmatrix}1 & 1 & 0\\ 1 & 0.5 & 0\\ 0.5 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_3=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 0\\ 0.5 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

$$s_4=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 0.5\\ 1 & 0.5 & 0\end{pmatrix} \quad s_5=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 0.5 & 0\end{pmatrix} \quad s_6=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 0.5\\ 1 & 0.5 & 0\end{pmatrix}$$

$$s_7=\begin{pmatrix}0.5 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_8=\begin{pmatrix}0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_9=\begin{pmatrix}1 & 0.5 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น พบว่า

$s_1$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์มโนทัศน์สมบูรณ์แต่พบความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ต่อยอดแต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน และมีมโนทัศน์พื้นฐานที่ไม่สมบูรณ์

$s_2$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์มโนทัศน์สมบูรณ์แต่พบความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ต่อยอดแต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน และมีมโนทัศน์พื้นฐานที่ไม่สมบูรณ์

$s_3$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์มโนทัศน์สมบูรณ์แต่พบความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ต่อยอดแต่ไม่สมบูรณ์ และมีมโนทัศน์พื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_4$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์สมบูรณ์แต่มโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ต่อยอดที่สมบูรณ์แต่ยังพบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน และมีมโนทัศน์พื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_5$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์สมบูรณ์แต่มโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ต่อยอดที่สมบูรณ์ และมีมโนทัศน์พื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_6$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์สมบูรณ์แต่มโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ต่อยอดที่สมบูรณ์แต่ยังพบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน และมีมโนทัศน์พื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_7$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์พื้นฐานแต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

$s_8$ : นักเรียนไม่มีความเข้าใจในมโนทัศน์ทุกระดับ

$s_9$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์พื้นฐานแต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

**การสะท้อนคิดหรือทบทวนตรวจสอบ (Reflect)**

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น พบว่า **พบนักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับพื้นฐาน** ($C_1$) คิดเป็นร้อยละ 66.66 นักเรียนในมโนทัศน์ระดับต่อยอด ($C_2$) คิดเป็นร้อยละ 33.33 และไม่พบนักเรียนในมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ ($C_3$) พิจารณาพบว่าลักษณะของปัญหานักเรียนจินตนาการตามได้ง่ายแต่มองเห็นภาพไม่ชัดเจน เพราะปัญหาเป็นเพียงประโยคข้อความที่ให้ผู้เรียนได้จินตนาการตามเพียงเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องปรับลักษณะของสถานการณ์ปัญหาในวงจรปฏิบัติการต่อไป

**วงจรปฏิบัติการที่ 3**

**ขั้นวางแผน (Plan)**

ผู้วิจัยดำเนินการปรับกิจกรรมกาเรียนรู้โดยปรับเปลี่ยนลักษณะปัญหาปลายเปิดที่ใช้ในแผนการจัดการเรียนรู้โดยปรับลักษณะของกิจกรรมการเรียนการสอนโดยให้นักเรียนได้ทำกิจกรรมทดลองและสังเกต ซึ่งปรับปัญหาปลายเปิดโดยให้นักเรียนดำเนินกิจกรรมหาคำตอบผ่านการลองผิดลองถูกจากทดลองในกิจกรรม

**ขั้นปฏิบัติ (Act)**

ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ เรื่อง การแก้สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวและการนำไปใช้ ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบ จำนวน 4 แผน เวลา 8 ชั่วโมง โดยลักษณะกิจกรรมของผู้วิจัยจะเริ่มต้นด้วยการนักเรียนทดลองเล่นจากกิจกรรมการ

เพิ่มลดของเบี้ยและลักษณะในตราชั่งแล้วสังเกตลักษณะของตราชั่ง จากนั้นจึงนำเสนอปัญหาปลายเปิดผ่านการทำกิจกรรมเพื่อหาคำตอบ โดยผู้วิจัยแบ่งการใช้กระดานเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 สร้างความเข้าใจความรู้พื้นฐานที่ใช้ในการแก้ปัญหาปลายเปิด ส่วนที่ 2 นำเสนอปลายเปิด ส่วนที่ 3 ส่วนที่นักเรียนร่วมกันอภิปรายแสดงข้อคิดเห็นร่วมกัน และส่วนที่ 4 ผลสรุปจากการเชื่อมโยงแนวคิด โดยใช้แอพพลิเคชั่น classdojo ในการควบคุมชั้นเรียน

**การสังเกตผลและรวบรวมข้อมูลที่เกิดจากการปฏิบัติ (Observe)**

หลังจากครบวงจรปฏิบัติการผู้วิจัยได้ทำการประเมินระดับมโนทัศน์ โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นดังนี้

$$s_1=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 0.5 & 0\end{pmatrix} \quad s_2=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 0.5\\ 0.5 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_3=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 0.5\\ 0.5 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

$$s_4=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 0.5 & 0\end{pmatrix} \quad s_5=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 0\end{pmatrix} \quad s_6=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 0.5\end{pmatrix}$$

$$s_7=\begin{pmatrix}0.5 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_8=\begin{pmatrix}0.5 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix} \quad s_9=\begin{pmatrix}1 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น พบว่า

$s_1$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์มโนทัศน์ระดับสมบูรณ์แต่พบความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ต่อยอดและมโนทัศน์ระดับพื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_2$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์มโนทัศน์ระดับสมบูรณ์แต่พบความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ระดับต่อยอดที่สมบูรณ์แต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน และมีมโนทัศน์พื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_3$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์มโนทัศน์ระดับสมบูรณ์แต่พบความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ระดับต่อยอดที่สมบูรณ์แต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน และมีมโนทัศน์พื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_4$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์แต่มโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ระดับต่อยอดและมโนทัศน์ระดับพื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_5$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์แต่ยังไม่สมบูรณ์ ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ระดับต่อยอดและมโนทัศน์ระดับพื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_6$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ที่กำเนิดโดยสมบูรณ์แต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งนักเรียนมีมโนทัศน์ระดับต่อยอดและมโนทัศน์ระดับพื้นฐานที่สมบูรณ์

$s_7$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์ระดับพื้นฐานแต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

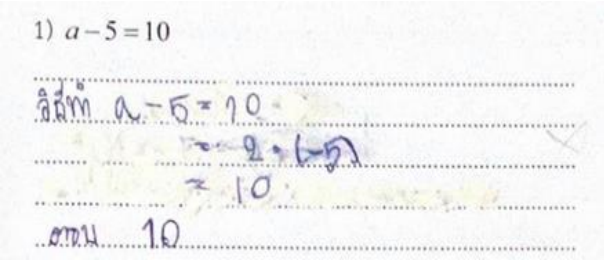
$s_8$ : นักเรียนเริ่มเกิดมโนทัศน์ระดับพื้นฐานแต่พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

$s_9$ : นักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับพื้นฐานแต่ไม่สมบูรณ์

**การสะท้อนคิดหรือทบทวนตรวจสอบ (Reflect)**

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น พบว่า พบนักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับพื้นฐาน ($C_1$) คิดเป็นร้อยละ 66.66 นักเรียนในมโนทัศน์ระดับต่อยอด ($C_2$) คิดเป็นร้อยละ 66.66 และไม่พบนักเรียนในมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ ($C_3$) เมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ทั้ง 3 วงจร ผู้วิจัยทำการทดสอบมโนทัศน์ท้ายบทเรียน พบว่า คะแนนเฉลี่ย ($\bar{x}$) เท่ากับ 18.56 และส่วนเบี่ยงเบียนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 4.61 คิดเป็นร้อยละ 61.85 ของคะแนนเต็ม โดยคะแนนสูงสุดเท่ากับ 26 คะแนน และคะแนนต่ำสุดเท่ากับ 12 คะแนน

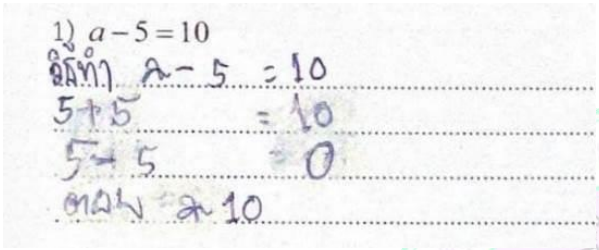
อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสาเหตุที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ โดยสัมภาษณ์นักเรียนที่มีพัฒนาการช้าหรือมีการเปลี่ยนแปลงของระดับมโนทัศน์ในแต่ละวงจรน้อยที่สุด จำนวน 3 คน ได้แก่ $s_7$ $s_8$ และ $s_9$ ผลการวิเคราะห์ ดังนี้




**ผู้วิจัย** : หนูมีวิธีในการหาคำตอบของสมการ $a-5=10$ อย่างไร
**นักเรียน** : ผมพยายามหาเลขมาดำเนินการกับ $-5$ แล้วให้ได้เป็น 10 ครับ ผมเอาเลข 2 มาคูณกับ $-5$ ครับ เพราะ 2 คูณ $-5$ ได้ 10

**ภาพ 4** แสดงข้อมูลอุปสรรคต่อการพัฒนามโนทัศน์ของนักเรียน $s_7$

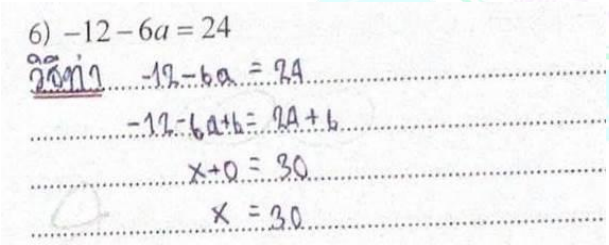
จากภาพ 4 พบว่า นักเรียนพยายามสื่อสารแสดงความเข้าใจเกี่ยวกับการหาคำตอบของสมการที่แสดงให้เห็นถึงความเท่ากันของสองฝั่งของสมการ แต่นักเรียนเข้าใจความหมายการดำเนินการคลาดเคลื่อนจาก $a-5$ เป็น $a(-5)$ คำตอบของสมการคือสิ่งที่อยู่ทางฝั่งขวา และเกิดข้อผิดพลาดการคูณจำนวนเต็ม จะเห็นว่า อุปสรรคที่เกิดขึ้นกับนักเรียน คือ มโนทัศน์พื้นฐานคลาดเคลื่อนหรือมโนทัศน์พื้นฐานไม่สมบูรณ์




**ผู้วิจัย** : หนูหาคำตอบของ $a-5=10$ อย่างไร
**นักเรียน** : หนูเอา 5 มาบวก 5 ได้ 10 แล้วก็ $5-5=0$ เพราะ $a-5$ เลยเอา 5 มาบวกและมาลบ
**ผู้วิจัย** : คำตอบที่หนูได้นำมาจากไหนครับ
**นักเรียน** : ก็ตัวท้ายครับ

**ภาพ 5** แสดงข้อมูลอุปสรรต่อการพัฒนามโนทัศน์ของนักเรียน $s_8$

จากภาพ 5 พบว่า นักเรียนสร้างข้อสรุปในการแก้สมการว่าจะต้องนำจำนวนที่อยู่ทางฝั่งตัวแปรมาดำเนินการให้เหลือแค่ตัวแปร โดยจำกระบวนการไปว่า จะต้องบวกเข้าและลบออกด้วยเลขตัวนั้น แสดงว่า นักเรียนพยายามทำความเข้าใจหลักการของการแก้สมการโดยแปลงให้อยู่ในรูปของรหัสคำแต่ด้วยความไม่คงทนของมโนทัศน์จึงทำให้เกิดข้อสรุปที่ผิดเพี้ยนจากเดิม นอกจากนี้ นักเรียนไม่ได้เข้าใจความต้องการของสถานการณ์ปัญหาอย่างแท้จริง อาศัยจำเพียงหลักการเท่านั้น



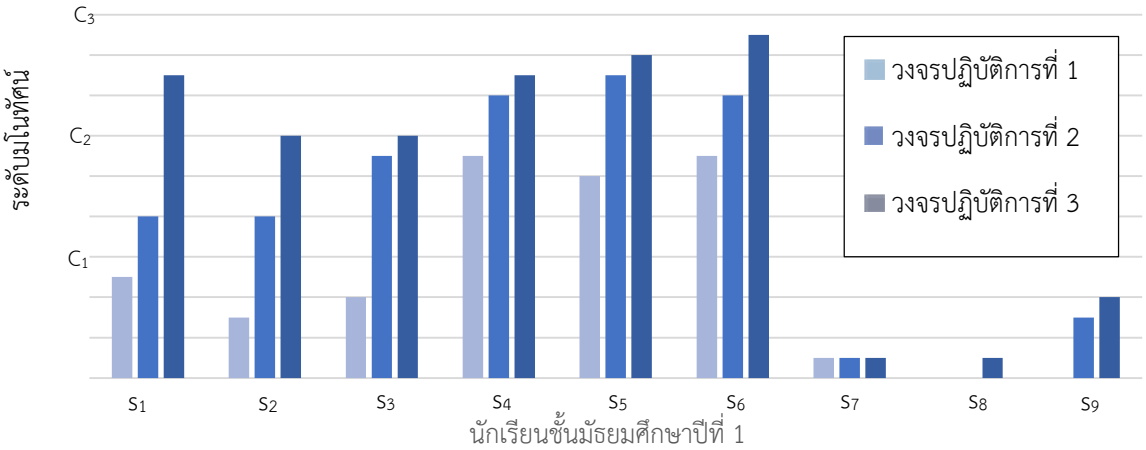

**ผู้วิจัย** : หนูมีวิธีคิดในบรรทัดที่ 2 อย่างไรครับ
**นักเรียน** : ก็ $-6$ ค่ะ หนูจะทำให้ $-6$ หาย ก็เลยบวก 6 เข้าทั้งสองข้างค่ะ

**ภาพ 6** แสดงข้อมูลอุปสรรต่อการพัฒนามโนทัศน์ของนักเรียน $s_9$

จากภาพ 6 พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับลำดับการดำเนินการ นักเรียนเข้าใจความหมายของนิพจน์ที่อยู่ในรูปผลคูณกันระหว่างตัวเลขกับตัวแปรและการรวมกันของนิพจน์คลาดเคลื่อนว่า $-6a$ ไม่ได้หมายถึง $-6$ คูณกับ $a$ และเข้าใจคลาดเคลื่อนอีกว่า ตัวแปรกับตัวเลขสามารถนำมาดำเนินการกันได้ จะเห็นว่า นักเรียนมีมโนทัศน์พื้นฐานทางลำดับของการดำเนินการไม่เพียงพอต่อการมองลำดับการแก้สมการ กล่าวคือ นักเรียนไม่ทราบว่า $-12-6a$ มีลำดับการเกิดมาอย่างไรจึงทำให้ไม่สามารถลำดับขั้นกำจัดได้ถูกต้อง

## ผลการวิจัย

จากการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีการแบบเปิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ทั้ง 3 วงจร พบว่า นักเรียนมีพัฒนาการของความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้นในแต่ละวงจรปฏิบัติการ โดยมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ท้ายบทเรียนร้อยละ 61.85 เมื่อดำเนินการครบ 3 วงจรปรากฏผลดังนี้




**แผนภูมิ** เปรียบเทียบพัฒนาการระดับความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ในแต่ละวงจร

สาเหตุที่เป็นอุปสรรคต่อการสร้างความเข้าใจมโนทัศน์ ได้แก่ 1) มโนทัศน์พื้นฐานคลาดเคลื่อนหรือมโนทัศน์พื้นฐานไม่สมบูรณ์ 2) ความไม่คงทนของมโนทัศน์ และ 3) การไม่เข้าใจความต้องการของสถานการณ์ปัญหา

## อภิปราย และข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย พบว่า นักเรียนที่ได้รับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีการแบบเปิดมีระดับความเข้าใจมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวงจรปฏิบัติการ และโดยมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ท้ายบทเรียนร้อยละ 61.85 อาจเนื่องมาจากเหตุผลสำคัญ ดังนี้

1. การส่งเสริมการคิดนักเรียนผ่านปัญหาปลายเปิดช่วยกระตุ้นให้นักเรียนพยายามใช้มโนทัศน์เดิมที่มีอยู่ในการแก้สถานการณ์ปัญหาเกิดการปรับสภาวะสมดุลทางความคิดจึงก่อให้เกิดการก่อตัวของมโนทัศน์ใหม่ขึ้นมา ทั้งนี้การเรียนรู้จะเกิดขึ้นมาได้นั้นจะต้องมีแรงผลักดันให้เกิดความอยากรู้ซึ่งปัญหาปลายเปิดสามารถก่อให้เกิดสิ่งนี้ได้เป็นอย่างดี ดังที่ Nohda (1995) กล่าวว่า ปัญหาปลายเปิดจะสามารถกระตุ้นให้เกิดความอยากรู้อยากเห็นของนักเรียน จึงทำให้นักเรียนพยายามแก้ปัญหาพยายามแก้ปัญหามากกว่าที่จะเรียนรู้แนวคิดเดียวโดยการท่องจำ

2. การเสริมสร้างบรรยากาศในชั้นเรียนให้นักเรียนเกิดการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นส่งผลให้นักเรียนได้เกิดกระบวนการดูดซึมและปรับโครงสร้างทางความคิดของตนเองจากการรับข้อมูลของเพื่อนร่วมชั้นซึ่งช่วยให้นักเรียนเกิดแนวคิดอย่างหลากหลายมิใช่เพียงแนวคิดที่รับจากครูเพียงฝ่ายเดียว ซึ่งสอดคล้องกับ ประภัสสร เพชรสุ่ม, อภิณห์พร สถิตภาคีกุล และกตัญญุตา บางโท (2560) ได้กล่าวว่า การอภิปรายทั้งชั้นเรียนและการเปรียบเทียบ ซึ่งนักเรียนได้เรียนรู้แนวคิดและตอบข้อสงสัยจากเพื่อนกลุ่มอื่น ทำให้นักเรียนเกิดแนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลาย อีกทั้งเป็นการส่งเสริมการยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น ฝึกการคิดอย่างรอบคอบและการฝึกการให้เหตุผลประกอบการตัดสินใจ

3. ลักษณะของสถานการณ์ปลายเปิดมีผลอย่างยิ่งต่อการสร้างมโนทัศน์ของนักเรียนโดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยออกแบบปัญหาปลายเปิดโดยเน้นลักษณะปัญหาปลายเปิดที่ใช้เป็นกระบวนการเปิด (Process is open) ซึ่งปัญหาคณิตศาสตร์ทุกปัญหาต่างเป็นปัญหาปลายเปิดโดยนัยนี้ (ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์, 2549) โดยปรับลักษณะของสถานการณ์ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ ซึ่งพบว่ารูปแบบที่ส่งเสริมมโนทัศน์ได้ดีคือสถานการณ์ปัญหาที่นักเรียนได้ทำการทดลองและได้สัมผัสผ่านโลกจริง ซึ่งสอดคล้องกับ ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์ (2555) ได้กล่าวว่า การให้นักเรียนได้เผชิญกับปัญหาและแนวทางในการแก้ปัญหาของตนเอง จะช่วยให้นักเรียนมีประสบการณ์โดยตรงและสามารถสร้างแนวทางพื้นฐานในการแก้ปัญหาของตนเองได้ ดังนั้น ปัญหาปลายเปิดกระตุ้นให้นักเรียนใช้มโนทัศน์ระดับพื้นฐานที่มีอยู่โดยพิจารณาว่าองค์ความรู้ดังกล่าวมีความจำเป็นต่อการแก้ปัญหา หากพบข้อขัดแย้งจากการแก้ปัญหานักเรียนจะเกิดการย้อนกลับเพื่อปรับฐานของมโนทัศน์ ซึ่งในกระบวนการนี้จะส่งเสริมให้มโนทัศน์ระดับพื้นฐานมีความแข็งแรงขึ้น เมื่อนักเรียนเกิดการกระตุ้นผ่านสถานการณ์ปัญหาปลายเปิดและมโนทัศน์ระดับพื้นฐานมีเพียงพอจะส่งผลให้นักเรียนเกิดการตั้งข้อสังเกตจากมโนทัศน์เดิมกับสถานการณ์ที่พบจึงก่อให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ระดับต่อยอด อีกทั้งยังส่งเสริมการตั้งคำถามที่ต่อยอดจากปัญหาต้นทำให้นักเรียนตั้งข้อสงสัยและค้นหาองค์ความรู้ใหม่ด้วยกระบวนการวิธีการต่าง ๆ จนทำให้นักเรียนสามารถเกิดมโนทัศน์ระดับสมบูรณ์ได้ ซึ่งกระบวนการจะไม่ดำเนินการเป็นเชิงเส้นแต่จะเกิดการย้อนกลับได้เสมอขึ้นอยู่กับการเผชิญกับปัญหาและแนวทางในการแก้ปัญหาของนักเรียน

สาเหตุที่เป็นอุปสรรคต่อการความเข้าใจมโนทัศน์ เนื่องมาจากเหตุผลสำคัญ ดังนี้

1. มโนทัศน์พื้นฐานคลาดเคลื่อนหรือมโนทัศน์พื้นฐานไม่สมบูรณ์เป็นอุปสรรคหนึ่งต่อการสร้างและต่อยอดความเข้าใจมโนทัศน์ที่ผู้วิจัยพบมากในแต่ละวงปฏิบัติการ โดยมโนทัศน์เกี่ยวกับลำดับดำเนินการเป็นปัจจัยที่พบมากที่สุด เช่น $2+3ab$ พบว่า นักเรียนจะดำเนินการโดยนำ $2+3$และคูณกับ $ab$ ตามลำดับ จะได้ $5ab$ ซึ่งมโนทัศน์ในระดับพื้นฐานหากมีเพียงพอต่อปรับสมดุลทางความคิดได้ก็เพียงพอที่จะก่อกำเนิดมโนทัศน์ใหม่ได้ กล่าวคือ แม้มโนทัศน์ระดับพื้นฐานนักเรียนจะมีอยู่ในระดับที่ไม่สมบูรณ์ก็เพียงพอที่จะเสริมต่อมโนทัศน์ใหม่ได้ โดยระหว่างการเสริมต่อจะเกิดการปรับฐานมโนทัศน์ให้สอดรับกับฐานใหม่เสมอซึ่งเป็นกระบวนการสร้างมโนทัศน์ใหม่ ในการดำเนินการวิจัยผู้วิจัยสังเกตนักเรียนพบว่านักเรียนจะเกิดการย้อนกลับทางความคิดเพื่อกลับสู่มโนทัศน์เดิมเสมอ หากพิจารณาการสังเกตผลและรวบรวมข้อมูลที่เกิดจากการปฏิบัติ จะเห็นว่า ถึงแม้มโนทัศน์ระดับพื้นฐานยังไม่สมบูรณ์ก็สามารถต่อยอดระดับมโนทัศน์ได้แต่ก็ไม่สามารถต่อยอดได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับ Pirie & Kieren (1994: p.65-67 อ้างถึงใน ชานันท์ ข่าขันมะลี, 2559) ได้กล่าวว่า พัฒนาการความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนเป็นกระบวนการที่เป็นลักษณะไม่หยุดนิ่ง มีความต่อเนื่องเป็นไปตามระดับ แต่กระบวนการของพัฒนาการความเข้าใจจะไม่เป็นลักษณะเส้นตรง เมื่อนักเรียนเจอปัญหาในระดับพัฒนาการความเข้าใจที่สูงกว่าและไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทันที จะต้องย้อนกลับไปทำความเข้าใจในระดับพัฒนาการที่ต่ำกว่าเพื่อขยายความเข้าใจที่มีอยู่ให้เพียงพอหรือปรับเปลี่ยนให้ถูกต้องเพื่อสร้างความเข้าใจในระดับที่สูงกว่านั้น

2. ความไม่คงทนของมโนทัศน์เป็นอุปสรรคต่อการสร้างและต่อยอดความเข้าใจมโนทัศน์ โดยเฉพาะนักเรียนที่มีความบกพร่องทางการเรียนรู้ เรียนรู้ช้า หรือมีความเข้าใจในความรู้เบื้องต้นทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในระดับน้อย เนื่องด้วยความไม่คงทนของมโนทัศน์ก่อให้เกิดเกิดอุปสรรคและปัญหาต่อกระบวนการย้อนกลับในการนำมโนทัศน์มาใช้ ซึ่งสอดคล้องกับ Pirie & Kieren (1994, อ้างถึงใน ชานันท์ ข่าขันมะลี, 2559) ได้กล่าวว่า การย้อนกลับ (Folding Back) เป็นลักษณะที่สำคัญที่จำเป็นและสำคัญเชิงโครงสร้างของการพัฒนาระดับความเข้าใจมโนทัศน์ โดยปกตินั้นเมื่อเจอปัญหาหรือคำถามในแต่ละระดับที่ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทันที จะมีการย้อนกลับไปยังระดับความเข้าใจก่อนหน้า

3. การไม่เข้าใจความต้องการของสถานการณ์ปัญหา โดยเฉพาะการถ่ายทอดปัญหาผ่านประโยคข้อความจะส่งผลต่อความความใจที่ผิดพลาดของนักเรียนได้ โดยเฉพาะนักเรียนที่มีทักษะทางภาษาที่อ่อนจะได้รับผลกระทบอย่างยิ่ง ดังนั้นความสามารถทางภาษาโดยเฉพาะการตีความสามารถส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนทางมโนทัศน์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอัครพล พรมตรุษ และอุเทน ปุ่มสันเทียะ (2562) พบว่า สาเหตุของการเกิดมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับภาษาในการจัดการเรียนการสอน เรื่อง อสมการ ได้แก่ การแปลความหมายของศัพท์เฉพาะผิด การไม่เข้าใจความหมายของประโยคข้อความ และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและข้อผิดพลาดทางด้านภาษาเป็นหนึ่งในรูปแบบของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอีกด้วย

## ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ปรับลักษณะของปัญหาปลายเปิดให้หลากหลาย เช่น ผลลัพธ์เปิด หรือแนวทางการพัฒนาปัญหาเปิด เป็นต้น
2. เตรียมปัญหาปลายเปิดควรให้สอดคล้องกับระดับมโนทัศน์ของนักเรียน
3. วางแผนเรื่องระยะเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

## ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ทำการวิจัยในการพัฒนาด้านทักษะกระบวนการและเจตคติของนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้โดยวิธีการแบบเปิด
2. พัฒนาสื่อทำมือ นวัตกรรม หรือเทคโนโลยีที่นักเรียนสามารถทำการทดลองและสังเกตผลจากการได้ใช้สื่อนั้น
3. พัฒนาลักษณะของปัญหาปลายเปิดให้สอดคล้องแต่ละระดับพัฒนาการมโนทัศน์

## เอกสารอ้างอิง

ชานันท์ ข่าขันมะลี. (2559). *การศึกษาพัฒนาการความเข้าใจทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับรูปเรขาคณิตสองมิติและสามมิติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1* (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต). สาขาวิชาคณิตศาสตรศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

ชาญณรงค์ เฮียงราช. (2552). *ศาสตร์เกี่ยวกับการรับรู้กับคณิตศาสตร์ศึกษา*. ขอนแก่น: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประภัสสร เพชรสุ่ม, อภิณห์พร สถิตภาคีกุล และกตัญญุตา บางโท. (2560). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีการแบบเปิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารราชพฤกษ์*, *15*(1), 80 – 87.

ไมตรี อินทร์ประสิทธิ์. (2547). *การสอนโดยใช้วิธีการแบบเปิดในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ของญี่ปุ่น.* ขอนแก่น: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

_____. (2549). *การใช้วิธีการพัฒนากระบวนการคิดของนักเรียนแบบ Open Approach เพื่อส่งเสริมการพัฒนาวิชาชีพครูคณิตศาสตร์แบบ Lesson Study Approach* (รายงานวิจัย). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

_____. (2555). *การใช้วิธีการพัฒนากระบวนการคิดของนักเรียนแบบ Open Approach เพื่อส่งเสริมการพัฒนาวิชาชีพครูคณิตศาสตร์แบบ Lesson Study Approach*. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศักดิ์ศรี สุภาษร, นุจรี สุภาษร, วรรณวไล อธิวาสน์พงศ์ และสนธิ พลชัยยา. (2559). การพัฒนาความเข้าใจมโนมติเรื่องสารละลาย ด้วยการทดลองแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาคสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, *7*(1), 29 – 47.

อัครพล พรมตรุษ และอุเทน ปุ่มสันเทียะ. (2562). มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและข้อผิดพลาดทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง อสมการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. *วารสารครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, *47*(4), 539 – 561.

อัมพร ม้าคนอง. (2554). *ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Calik, M., Ayas, A., and Coll, R. K. (2009). Investigating the effectiveness of an analogy activity in improving students' conceptual change for solution chemistry concepts. *International Journal of Science and Mathematics Education, 7*(4), 651 - 676.

Cangelosi, J. (1988). *Development and Validation of the Underprepared Mathematics Teacher Assessment*. New York: John Wiley & Sons.

Inprasitha, M. (2010). "One Feature of Adaptive Lesson Study in Thailand-Designing Unit". In C. S. Cho, S. G. Lee, & Y. H. Choe (Eds.), *Proceeding of the 45th Korean National Meeting of Mathematics Education* (pp.193-206). Korea: Dongkook University, Gyeongju.

Kemmis, S., & Mc Taggart, R. (1988). *The action research planner* (3rd ed). Victoria: Deakin Uiversity Press.

Nohda, N. (1995). *Teaching and Evaluation Using "Open-Ended Problem" in classroom*. *International Reviews on Mathematical Education* , *27*(2), 57 – 61.

_____. (n.d.). *A study of "open approach" method in school mathematics teaching: Focus on mathematical problem solving activities & emclesh.* Ibaraki: Institute of Education, University of Tsukuba.

Pirie, S., & Kieren, T. (1994). *Beyond metaphor: Formalising in mathematical understanding within constructivist environments, For the Learning of Mathematics*. *14*(1), 39 - 43.

Supasorn, S. (2015). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit. *Chemistry Education Research and Practice, 16*(2), 393 - 407.

Supasorn, S., Supasorn, N., Athiwaspong, W., and Phonchaiya, S. (2016). Development of Conceptual Understandings on Solutions by Using Inquiry Experiments in Conjunction with Particulute Animations for Grade 8 Students. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, *7*(1), 29 – 47. [in Thai]

Takeuchi, Y., and Sawada, T. (Eds.) (1984). *Mondai kara mondai e (From problem to problem)*. Tokyo: Toyokan.

Westbrook, S.L., and Marek, E.A. (1992). A cross-age study of student understanding of the concept of diffusion. *Journal of Research in Science Teaching, 29*(1), 51 - 61.