



วารสารอิเล็กทรอนิกส์
ทางการศึกษา

JED, Vol. 20, No. 2, 2025. Article ID: OJED-20-02-008
Article Info: Received 24 June, 2025; Revised 8 September, 2025; Accepted 22 September, 2025

OJED
An Online Journal
of Education
www.tci-thaijo.org/index.php/OJED

การพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงระบบ เรื่อง การย่อยอาหารของมนุษย์ โดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามกรอบแนวคิดการใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์

The Development of Systems Thinking Ability on Human Digestion Using the Use-Modify-Create Framework

จกกริช เทียมเมือง¹ และ สกลรัตน์ แก้วดี^{2*}

Jakkrit Tiemmuang¹ and Sakolrat Kaewdee^{2*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียนก่อนและหลังเรียนรู้ตามกรอบแนวคิดการใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์ (UMC) และ 2) ศึกษากระบวนการคิดเชิงระบบของนักเรียนที่เรียนรู้ตาม UMC ตัวอย่างการวิจัยคือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 16 คน ซึ่งได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจงรูปแบบการทดลองเบื้องต้น กลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลังการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนการจัดการเรียนรู้และแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ ที่ใช้ในหน่วยที่ 1 ถึง 3 มีค่าดัชนีความสอดคล้อง 0.97 1.00 และ 1.00 ตามลำดับ 2) แบบทดสอบการคิดเชิงระบบที่มีค่าความเที่ยง 0.93 และ 3) แบบประเมินแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่มีค่าความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน 0.99 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้สถิติเชิงพรรณนาและ Wilcoxon และการวิเคราะห์เชิงคุณภาพใช้การวิเคราะห์เนื้อหาจากพฤติกรรมการสร้างแบบจำลองของนักเรียน ผลการวิจัยพบว่า 1) ความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) กระบวนการคิดเชิงระบบของนักเรียนมีการพัฒนาทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ (1) การระบุการจัดระบบ นักเรียนวิเคราะห์องค์ประกอบของระบบและระบุความสัมพันธ์ในระบบย่อยอาหารได้ (2) การวิเคราะห์กระบวนการของระบบ นักเรียนวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ได้ และ (3) การสร้างแบบจำลองของระบบ นักเรียนออกแบบและสร้างแบบจำลองใหม่ตามสถานการณ์ โดยวิเคราะห์สาเหตุและคาดการณ์ผลลัพธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงภายในระบบได้

คำสำคัญ : การคิดเชิงระบบ, กรอบแนวคิดการใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์, การย่อยอาหารของมนุษย์

¹ นิสิตมหบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อีเมล : 6480134827@student.chula.ac.th
Master student in Division of Science Education, Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education,
Chulalongkorn University. Email: 6480134827@student.chula.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประจักษ์สาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อีเมล : sakolrat.k@chula.ac.th
Assistant Professor (Ph.D.) in Division of Science Education, Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education,
Chulalongkorn University. Email: sakolrat.k@chula.ac.th

Abstract

The purposes of this research were to: 1) compare student's systems thinking ability before and after learned through the Use-Modify-Create framework (UMC), and 2) study student's systems thinking processes after learned through UMC. The research sample consisted of 16 sixth-grade students, selected through purposive sampling. The research employed a one-group pretest-posttest pre-experimental design. The research instruments included: 1) lesson plans and learning behavior observation forms used in units 1 to 3 with content validity, IOC indices of 0.97, 1.00, and 1.00 respectively; 2) a systems thinking test with reliability coefficient of 0.93; and 3) a evaluation form for computer models with an inter-rater reliability of 0.99. Quantitative data analysis included descriptive statistics and the Wilcoxon test. Qualitative analysis was conducted through content analysis of student behaviors during model construction. The results indicated that: 1) The student's systems thinking ability significantly improved after learning through the Use-Modify-Create framework, compared to before using the framework, at a statistical significance level of .05, and 2) Student's systems thinking process developed in all three dimensions: (1) Identifying system organization - students analyzed system components and identified relationships in the digestive system; (2) System Process Analysis - students analyzed the effects of relationships; and (3) System Modeling - students designed and built new models based on a given situation, analyzing causes and predicting outcomes based on changes within the system.

Keywords: systems thinking, Use-Modify-Create framework, human digestion

บทนำ

ทักษะการคิดเป็นเครื่องมือสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในศตวรรษที่ 21 มนุษย์เผชิญกับปัญหาที่มีความซับซ้อนหลากหลาย ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม เช่น ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพหรือการระบาดของโรคติดต่อใหม่ ซึ่งล้วนเป็นประเด็นที่เกี่ยวข้องกับระบบที่มีองค์ประกอบหลากหลาย มีความสัมพันธ์เชิงพลวัต การเข้าใจและจัดการกับปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยการคิดเชิงระบบ (systems thinking) เป็นกระบวนการคิดที่เน้นการมองภาพรวม ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบในระบบ ตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้น ทั้งทางตรงและทางอ้อม (Darling-Hammond, 2017; Senge, 2006) การคิดเชิงระบบเป็นความสามารถในการรับรู้ถึงการมีปฏิสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องและเข้าใจผลที่ตามมาของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเหล่านั้น การรับรู้ระบบที่ซับซ้อนและเข้าใจความสัมพันธ์ของระบบเป็นสิ่งสำคัญในการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม (ศูนย์ดำเนินงาน PISA แห่งชาติ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2566)

การคิดเชิงระบบถูกออกแบบการประเมินโดยอิงองค์ประกอบที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ใช้กรอบแนวคิดการคิดเชิงระบบของ Mambrey et al. (2020) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) การระบุองค์ประกอบในระบบ (System organization) (2) การวิเคราะห์กระบวนการของระบบ (System behavior)

และ (3) การสร้างแบบจำลองของระบบ (System modeling) ซึ่งเหมาะสมกับบทเรียนเรื่องการย่อยอาหารของมนุษย์ที่นักเรียนสามารถมองเห็นความเชื่อมโยงระหว่างอวัยวะต่าง ๆ และเข้าใจว่าการทำงานผิดปกติของส่วนใดส่วนหนึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบโดยรวม ตลอดจนระบบที่เกี่ยวข้องอย่างระบบหมุนเวียนเลือดหรือระบบขับถ่าย ความเข้าใจของนักเรียนจะลึกซึ้งและยั่งยืนมากกว่าการจำชื่อหรือหน้าที่ของอวัยวะต่าง ๆ (Hokayem, 2016) อีกทั้งการคิดเชิงระบบยังได้รับการเสนอให้เป็นหนึ่งในทักษะการคิดขั้นสูง (higher-order thinking skills) ที่ควรได้รับการส่งเสริมผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง โดยเฉพาะในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการศึกษาระบบในสิ่งมีชีวิตที่มีความซับซ้อน เช่น ระบบย่อยอาหาร ระบบหมุนเวียนเลือดหรือระบบนิเวศ เป็นต้น (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2564)

การคิดเชิงระบบเป็นทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 และเป็นพื้นฐานของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม พบว่า นักเรียนไทยส่วนใหญ่สามารถระบุองค์ประกอบของระบบได้ แต่ยังไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงเหตุผลที่ซับซ้อนในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และ สมยศ ชิดมงคล, 2560) แม้ในต่างประเทศ นักเรียนจะสามารถใช้เครื่องมือสร้างแบบจำลองเชิงระบบได้ แต่ยังคงประสบปัญหาในการคาดการณ์ผลกระทบทางอ้อมในระบบที่เปลี่ยนแปลงและในการแสดงความสัมพันธ์แบบพลวัตในโมเดลที่ตนสร้าง (Nguyen & Santagata, 2021) ในขณะที่การพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบให้แก่แก่นักเรียนนั้นมีการนำเสนอวิธีการ เทคนิค และรูปแบบไว้ต่าง ๆ เช่น 1) การพัฒนาการคิดเชิงระบบของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้กิจกรรมการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ในหัวข้อสายใยอาหาร ซึ่งช่วยให้นักเรียนเข้าใจกลไกของระบบมากขึ้น (Nguyen & Santagata, 2021) และ 2) การพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบให้แก่นักศึกษามหาวิทยาลัย โดยใช้ผังความคิดและผังโน้ตทัศน์ เพื่อช่วยให้นักเรียนเห็นความเชื่อมโยงขององค์ประกอบในระบบอย่างเป็นโครงสร้าง (Hung, 2008) แม้จะมีความพยายามในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลายเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ แต่ยังคงพบช่องว่างสำคัญ คือ การวิจัยส่วนใหญ่เป็นการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาใดวิชาหนึ่งและมุ่งประเมินการคิดเชิงระบบในเชิงปริมาณ ซึ่งขาดข้อมูลที่แสดงกระบวนการคิดเชิงระบบและการพัฒนาการคิดเชิงระบบของนักเรียนที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนการสอน งานวิจัยนี้จัดการเรียนรู้บูรณาการ 2 รายวิชา คือ วิทยาศาสตร์และวิทยาการคำนวณ ซึ่งพัฒนาการคิดเชิงระบบของนักเรียนผ่านการเขียนชุดรหัสและสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ รวมทั้งมีการวิเคราะห์กระบวนการและประเมินการพัฒนาการคิดเชิงระบบของนักเรียน ซึ่งไม่ปรากฏว่ามีการทำวิจัยในลักษณะนี้มาก่อน

Lee et al. (2011) ได้นำเสนอกรอบแนวคิดการใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์ (Use-Modify-Create framework: UMC) ที่ส่งเสริมการคิดเชิงระบบให้แก่แก่นักเรียน กล่าวคือ มีกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยให้นักเรียนได้วิเคราะห์องค์ประกอบของระบบ เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการทำงานในแต่ละองค์ประกอบ และสร้างสรรค์ระบบขึ้นใหม่จากการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ผ่านกิจกรรมหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นการใช้ (Use) เป็นการให้นักเรียนเรียนรู้การใช้โปรแกรมการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปผ่านการเขียนชุดรหัสแบบกล่อง (Block-based codes) 2) ขั้นการปรับแต่ง (Modify) เป็นการให้นักเรียนดัดแปลง

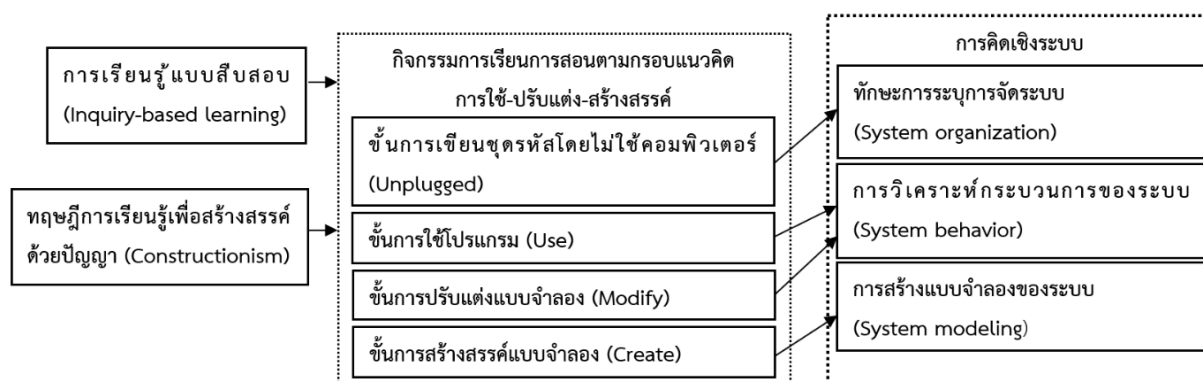
แบบจำลองคอมพิวเตอร์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ และ 3) ขั้นสร้างสรรค์ (Create) เป็นการให้นักเรียนออกแบบและสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ขึ้นมาใหม่จากสถานการณ์ที่ซับซ้อนมากขึ้น นอกจากการส่งเสริมการคิดเชิงระบบแล้ว กรอบแนวคิดนี้ยังช่วยส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจเนื้อหา การคิดสร้างสรรค์ และการแก้ปัญหาให้แก่ นักเรียนด้วย ดังปรากฏในงานวิจัยที่นำกรอบแนวคิดการใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์ไปใช้ในการจัดการเรียน เช่น 1) Rachmatullah and Wiebe (2022) ได้นำ UMC ไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นในประเทศอินโดนีเซีย เรื่อง สายใยอาหาร พบว่า นักเรียนที่เรียนรู้ผ่านการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ตาม UMC มีพัฒนาการด้านการคิดเชิงระบบและการคิดเชิงคำนวณอย่างมีนัยสำคัญ 2) Lytle et al. (2019) นำ UMC ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเรื่องสายใยอาหารกับนักเรียนระดับประถมศึกษาปีที่ 6 ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า UMC ช่วยให้นักเรียนรู้สึกเป็นเจ้าของงานที่สร้างขึ้นและสามารถเข้าใจแนวคิดเชิงระบบได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ยังช่วยลดความซับซ้อนของการเขียนชุดรหัสและส่งเสริมความสนใจในการเรียนรู้ และ 3) Sentance and Waite (2017) ประยุกต์ UMC ในการพัฒนาแนวทางการสอนเขียนโปรแกรม PRIMM สำหรับนักเรียนระดับมัธยมในประเทศอังกฤษ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้นเกี่ยวกับโครงสร้างและกระบวนการของโปรแกรมสามารถเชื่อมโยงแนวคิดเชิงระบบและพัฒนาแนวคิดเชิงคำนวณได้อย่างเป็นระบบ

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกรอบแนวคิด การใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์ กระบวนการของ UMC เกี่ยวข้องสอดคล้องกันกับการเรียนรู้แบบสืบสอบ (Inquiry learning) โดยทั้งสองแนวคิดมีการจัดการเรียนการสอนที่ให้นักเรียนเป็นผู้ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง ผ่านกระบวนการสำรวจ การตั้งสมมติฐานที่นำไปสู่การค้นพบจากการทดสอบ จนเกิดความเข้าใจใหม่ขึ้นได้ (Kong & Abelson, 2019) ในกระบวนการของ UMC นักเรียนจะได้ใช้โปรแกรมปรับแต่งแบบจำลองและสร้างสรรค์แบบจำลองที่จะแสดงผลออกมาเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ตามเนื้อหานั้น ๆ ผ่านการสืบค้นและทดลองปรับแต่งและสร้างสรรค์ด้วยตนเอง ร่วมกับการแลกเปลี่ยนกับเพื่อน สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา (Constructionism) ที่เน้นให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ได้ลึกและคงทนที่สุดเมื่อได้ลงมือพัฒนาสิ่งประดิษฐ์หรือผลงานที่มีความหมาย เชื่อมโยงกับความสนใจของตน (Papert, 1980) โดยมีการเอื้ออำนวยจากครูในบทบาทผู้อำนวยความสะดวกมากกว่าผู้ถ่ายทอดความรู้แบบบรรยายตรง โดยครูออกแบบสถานการณ์ที่ดึงดูดความสนใจของนักเรียนแล้วค่อย ๆ ลดระดับการช่วยเหลือเมื่อนักเรียนมีความคล่องสูงขึ้น กิจกรรมตาม UMC นำไปสู่การพัฒนาการคิดเชิงระบบประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 การเขียนชุดรหัสโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์ เรียนรู้และฝึกฝนทักษะ ทักษะการระบอบองค์ประกอบของระบบ ผ่านการจัดทำผังงานหรือแผนภาพแนวคิดที่แสดงองค์ประกอบและความสัมพันธ์ของระบบ ขั้นที่ 2 การใช้โปรแกรม และ ขั้นที่ 3 การปรับแต่งแบบจำลองเรียนรู้และฝึกฝนทักษะการวิเคราะห์กระบวนการของระบบ ผ่านการสำรวจแบบจำลองคอมพิวเตอร์และปรับแต่งเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อให้ระบบตอบสนองตามหลักวิทยาศาสตร์หรือสถานการณ์จำลอง และขั้นที่ 4 การสร้างสรรค์แบบจำลอง เรียนรู้และฝึกฝนทักษะการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ขึ้นมาใหม่เพื่อแสดงการทำงานของระบบเมื่อได้พบกับข้อผิดพลาดในการทำงานของแบบจำลองและใช้ทักษะการวินิจฉัย

ตลอดจนการคาดการณ์ผลกระทบเพื่อปรับแก้ระบบของแบบจำลองคอมพิวเตอร์แนวคิดและทฤษฎีที่เป็นฐานของกิจกรรมตามกรอบแนวคิด แสดงในกรอบแนวคิดในการวิจัย (ภาพ 1)

ภาพ 1

กรอบแนวคิดในการวิจัย



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบระดับความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด การใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์
2. เพื่อศึกษากระบวนการคิดเชิงระบบของนักเรียนที่เรียนรู้ตามกรอบแนวคิด การใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยทดลองเบื้องต้น (Pre-experimental design) ศึกษากลุ่มเดียววัดผลก่อนทดลองและหลังการทดลอง ตัวอย่างการวิจัยเป็นนักเรียนประถมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนขยายโอกาส ซึ่งในแต่ละระดับมีนักเรียนเพียงห้องเดียวและเป็นชั้นเรียนขนาดเล็ก ดังนั้นตัวอย่างของการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการเลือกห้องเรียนแบบเจาะจง และไม่สามารถจัดให้มีห้องเรียนกลุ่มควบคุมได้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ประชากรและตัวอย่าง

1.1 ประชากร คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 45 คน ในสถานศึกษาประเภทขยายโอกาสทางการศึกษาแห่งหนึ่ง

1.2 ตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 16 คน ในสถานศึกษาประเภทขยายโอกาสทางการศึกษาแห่งหนึ่ง โดยการใช้แบบเจาะจง (Purposive sampling)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้มี 2 ประเภท ดังนี้

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ แผนการจัดการเรียนรู้ตามกรอบแนวคิดการใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์ (UMC) เรื่อง การย่อยอาหารของมนุษย์ มีการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1) ศึกษาหลักการและแนวคิดพื้นฐานของ UMC โดยวิเคราะห์แนวทางของ Rachmatullah & Wiebe (2022) และกำหนดโครงสร้างของแผนการจัดการเรียนรู้ และออกแบบกิจกรรมตามลำดับขั้นของ UMC วางแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 หน่วย รวม 19 คาบเรียน ครอบคลุมเนื้อหาสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยอาหารของมนุษย์ และ สาระการเรียนรู้เทคโนโลยี เรื่อง การออกแบบและเขียนโปรแกรมอย่างง่าย กิจกรรมแบ่งเป็น 4 ขั้น คือ ขั้นการเขียนชุดรหัสโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์ (Unplugged) ขั้นใช้โปรแกรม (Use) ขั้นปรับแต่งแบบจำลอง (Modify) และขั้นสร้างสรรค์แบบจำลอง (Create) และสร้างเอกสารประกอบการสอน ได้แก่ ใบกิจกรรม ใบงาน ตัวอย่างแบบจำลองและสื่อการนำเสนอ รวมทั้งจัดทำแบบบันทึกพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อใช้เก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเรียน

2) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาและความเหมาะสมของการใช้ภาษา โดยนำแผนการจัดการเรียนรู้เสนอผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ผลการประเมิน พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of item-objective congruency: IOC) ระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมในแต่ละขั้นตอน สื่อการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลของแผนการจัดการเรียนรู้มีความสอดคล้องกับกรอบแนวคิดของ จำนวน 3 หน่วยการเรียนรู้ มีค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 1.00 และ 1.00 ตามลำดับ

3) ปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ เช่น แก้ไขกิจกรรมและการใช้คำถามในใบงานให้ชัดเจน และลำดับกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมบ่งชี้การคิดเชิงระบบของนักเรียน

4) ทดลองใช้ (try-out) แผนการจัดการเรียนรู้กับนักเรียนจำนวน 15 คนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่างวิจัย เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของกิจกรรมและเวลาที่ใช้ก่อนนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้เก็บข้อมูลจริง

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีดังนี้

1) แบบทดสอบความสามารถในการคิดเชิงระบบ เรื่อง การย่อยอาหารของมนุษย์ ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลความสามารถในการคิดเชิงระบบก่อนเรียนและหลังเรียน ซึ่งใช้แบบทดสอบชุดเดียวกัน มีการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

(1) วิเคราะห์หมโนทัศน์ เรื่องการย่อยอาหารของมนุษย์ จากมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560) ของชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เพื่อนำมาจัดทำโครงสร้างข้อสอบของแบบทดสอบความสามารถในการคิดเชิงระบบ

(2) กำหนดโครงสร้างของแบบทดสอบ โดยใช้องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบตาม Mambrey et al. (2020) ได้แก่ 1) การระบุองค์ประกอบในระบบ 2) การวิเคราะห์กระบวนการของ

ระบบ และ 3) การสร้างแบบจำลองของระบบ ในแต่ละองค์ประกอบวัด 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ความสัมพันธ์ทางตรง ระดับที่ 2 ความสัมพันธ์อ้อมแบบเส้นตรง และระดับที่ 3 ความสัมพันธ์อ้อมแบบซับซ้อนและเป็นแบบทดสอบรูปแบบ 1) แบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 9 ข้อ สำหรับการระบุองค์ประกอบของระบบ และการวิเคราะห์กระบวนการของระบบ 2) แบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือกพร้อมอธิบายเหตุผล 6 ข้อ สำหรับองค์ประกอบการสร้างแบบจำลองของระบบ จากนั้นสร้างข้อคำถามและเกณฑ์การตรวจให้คะแนน

(3) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ตรวจแบบทดสอบ พบว่า มีค่าความตรงเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 แสดงว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบ

(4) ทดลองใช้แบบทดสอบกับนักเรียนจำนวน 15 คน ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่าง ผลการตรวจสอบ พบว่า แบบทดสอบมีค่าความยากง่าย (Level of difficulty: P) อยู่ระหว่าง 0.31-0.69 มีค่าอำนาจจำแนก (Power of discrimination: R) อยู่ระหว่าง 0.36-0.93 และมีค่าความเที่ยง (Reliability) เท่ากับ 0.93 แสดงว่าแบบทดสอบมีคุณภาพสามารถนำไปใช้ได้

2) แบบประเมินแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องมือวิเคราะห์กระบวนการคิดเชิงระบบ จากการประเมินชิ้นงานแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นในชั้น Create มีเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูปรีด (scoring rubrics) การพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพ มีดังต่อไปนี้

(1) ศึกษาความหมาย องค์ประกอบ และแนวทางการประเมินการคิดเชิงระบบ ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ และกำหนดกรอบการประเมินโดยอิงพฤติกรรมบ่งชี้ของ Mambrey et al. (2020)

(2) สร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูปรีดสำหรับการประเมินความสามารถในการคิดเชิงระบบจากกระบวนการสร้างแบบจำลอง โดยกำหนดคะแนนในแต่ละองค์ประกอบ ได้แก่ การระบุองค์ประกอบ (3 คะแนน) การวิเคราะห์กระบวนการของระบบ (3 คะแนน) และการสร้างแบบจำลองของระบบ (4 คะแนน) รวมคะแนนเต็ม 10 คะแนน

(3) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างหัวข้อและรายละเอียดการประเมินกับองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.95 ในทุกหัวข้อการประเมิน แสดงว่าแบบประเมินมีคุณภาพสามารถนำไปใช้ได้

(4) หาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Rater agreement index: RAI) โดยนำชิ้นงานแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่นักเรียนสร้างขึ้นระหว่างทดลองใช้แผนฯ จำนวน 13 ชิ้น มาประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 2 คน และผู้วิจัย รวม 3 คน พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินมีค่าเท่ากับ 0.99 แสดงว่า แบบประเมินมีความเที่ยงและผู้วิจัยสามารถใช้ในการประเมินแบบจำลองของนักเรียนได้

3) แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ ใช้บันทึกพฤติกรรมการเรียนรู้ระหว่างเรียน มีแนวทางการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

(1) ศึกษาแนวทางการสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ที่สะท้อนถึงการคิดเชิงระบบในบริบทเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(2) กำหนดโครงสร้างของแบบบันทึกตามองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบอิงตาม Mambrey et al. (2020) โดยแบบบันทึกใช้สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ทั้งเป็นกลุ่มและรายบุคคลใน 4 ขั้นตอน

(3) ตรวจสอบคุณภาพของแบบบันทึกพฤติกรรมการเรียนรู้ร่วมกันกับแผนการจัดการเรียนรู้ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ผลการตรวจสอบ พบว่า มีค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (IOC) เฉลี่ยเท่ากับ 0.97 แสดงว่าแบบบันทึกมีคุณภาพสามารถนำไปใช้ได้

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเป็นผู้สอนและเก็บข้อมูลการวิจัยด้วยตนเอง มีขั้นตอนการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้ 1) ชี้แจงวัตถุประสงค์การเข้าร่วม การพิทักษ์สิทธิ์ของการวิจัยและทดสอบก่อนเรียน (pretest) ด้วยแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดเชิงระบบ 2) จัดการเรียนการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ตามกรอบแนวคิด UMC จำนวน 3 แผน เป็นเวลา 19 คาบเรียน มีการเก็บข้อมูลระหว่างเรียนโดยสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้และท้ายคาบเรียนของแต่ละแผนมีการประเมินชิ้นงานแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่นักเรียนสร้างขึ้น ครูให้คำแนะนำสำหรับการพัฒนาการสร้างแบบจำลองแก่นักเรียน เพื่อให้เกิดพัฒนาการความสามารถในการคิดเชิงระบบ และ 3) เมื่อจัดการเรียนการสอนครบ 3 แผนแล้ว ให้นักเรียนทดสอบหลังเรียน (posttest) โดยใช้แบบทดสอบฉบับเดิม

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ข้อมูลเชิงปริมาณ

วิเคราะห์คะแนนจากแบบทดสอบความสามารถในการคิดเชิงระบบ เรื่อง “ระบบย่อยอาหารของมนุษย์” จำนวน 15 ข้อ ที่ได้จากการวัดผลก่อนเรียนและหลังเรียน จำแนกคะแนนออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (0–5 คะแนน), ระดับกลาง (6–10 คะแนน) และระดับสูง (11–15 คะแนน) จากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความสามารถก่อนและหลังเรียนด้วยการหาค่าเฉลี่ย (Mean: M) ค่าขนาดอิทธิพล (effect size) และ สถิติ Wilcoxon matched pairs signed-ranks ซึ่งให้ผลการทดสอบออกมาในรูปของค่า Z และ Asymp. Sig. (2-tailed) โดยค่า Z แสดงระดับความแตกต่างของลำดับคะแนนที่มีเครื่องหมาย (signed ranks) ระหว่างก่อนและหลังเรียน และค่า Asymp. Sig. (2-tailed) คือค่า p -value ที่ใช้เปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ .05 สถิตินี้เป็นสถิติแบบไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-parametric test) ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างขนาดเล็ก ($n = 16$) และไม่เป็นการแจกแจงแบบปกติ การเลือกใช้สถิตินี้จึงมีความเหมาะสมมากกว่าสถิติเชิงพารามิเตอร์ทั่วไป

4.2 ข้อมูลเชิงคุณภาพ

วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบพฤติกรรมการเรียนรู้ระหว่างเรียนของนักเรียนร่วมกับการประเมินชิ้นงานแบบจำลองคอมพิวเตอร์ โดยถอดรหัสพฤติกรรมที่สะท้อนกระบวนการคิดเชิงระบบตามลำดับกิจกรรม

ใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) วิเคราะห์กระบวนการคิดเชิงระบบจากพฤติกรรมการเรียนรู้ ได้แก่ การสร้างผังงาน การอ่านชุดรหัส การปรับแต่งรหัส และการสร้างชุดรหัส จากนั้นนำผลการประเมินชิ้นงานแบบจำลองคอมพิวเตอร์มาใช้อันยันและเชื่อมโยงพฤติกรรมที่สังเกตกับคุณภาพของชิ้นงาน

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ปรากฏผลดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบระดับความสามารถในการคิดเชิงระบบก่อนและหลังการทดลอง

ผู้วิจัยได้นำคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานและ Wilcoxon test พบว่า หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด การใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์ (UMC) ระดับความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียน 10 คน คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 62.5 สามารถพัฒนาไปอยู่ในระดับกลาง และ 2 คน คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 12.5 พัฒนาไปอยู่ในระดับสูง อย่างไรก็ตาม ยังมีนักเรียน 4 คน คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 25 ที่ยังคงอยู่ในระดับต่ำ ในด้านค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถในการคิดเชิงระบบหลังเพิ่มขึ้นจาก 2.50 เป็น 7.63 สะท้อนให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ตามกรอบแนวคิด UMC ช่วยส่งเสริมการพัฒนาทักษะคิดเชิงระบบอย่างชัดเจนร่วมกับค่าขนาดอิทธิพลเท่ากับ 0.88 จัดเป็น Effect Size ขนาดใหญ่และผลการทดสอบทางสถิติ มีค่า p-value เท่ากับ 0.00 จึงสามารถสรุปได้ว่า ระดับความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนตามกรอบแนวคิด UMC หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตาราง 1)

ตาราง 1

ผลการเปรียบเทียบระดับความสามารถในการคิดเชิงระบบก่อนและหลังเรียน ($n = 16$)

การ ทดสอบ	Z	Asymp			ระดับความสามารถในการคิดเชิงระบบ (คน)		
		Sign. (2-tailed)	M	r	ต่ำ	กลาง	สูง
ก่อนเรียน	-3.52	.00*	2.50	0.88	16	0	0
หลังเรียน			7.63		4	10	2

* $p < .05$

เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยแยกตามองค์ประกอบของความสามารถในการคิดเชิงระบบ พบว่า มีการพัฒนาที่แตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ องค์ประกอบที่มีการพัฒนามากที่สุดคือ ทักษะการวิเคราะห์กระบวนการของระบบ มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน 1.56 คะแนน และทักษะการสร้างแบบจำลองของระบบ มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน 3.25 คะแนน ร่วมกับค่าขนาดอิทธิพลเท่ากับ 0.88 จัดเป็น Effect Size ขนาดใหญ่และผลการทดสอบทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.00 และ 0.00 ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด

การใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์ มีทักษะการวิเคราะห์กระบวนการของระบบและทักษะการสร้างแบบจำลองของระบบสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่ทักษะการระบุดองค์ประกอบในระบบมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนเพียง 0.31 คะแนน ร่วมกับค่าขนาดอิทธิพลเท่ากับ 0.47 จัดเป็น Effect Size ขนาดกลางและผลการทดสอบทางสถิติมีค่าเท่ากับ 0.06 ซึ่งเกินจากระดับ .05 มาเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่า ทักษะการระบุดองค์ประกอบในระบบของนักเรียน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ซึ่งแม้จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ยังคงแสดงให้เห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในทางที่ดี ส่วนค่า SD ที่เพิ่มขึ้นในทุกองค์ประกอบหลังเรียน บ่งชี้ว่าคะแนนของนักเรียนมีการกระจายตัวเพิ่มขึ้น ไม่ใช่ทุกคนที่พัฒนาในอัตราเดียวกัน นักเรียนบางคนสามารถพัฒนาได้มาก ในขณะที่บางคนยังอยู่ในระดับต่ำ (ตาราง 2)

ตาราง 2

ผลการเปรียบเทียบคะแนนแยกตามองค์ประกอบความสามารถในการคิดเชิงระบบก่อนและหลังเรียน ($n = 16$)

ทักษะที่เป็นองค์ประกอบ ของการคิดเชิงระบบ	Z	Asymp Sign. (2-tailed)	r	M ก่อนเรียน	SD ก่อนเรียน	M หลังเรียน	SD หลังเรียน
การระบุดองค์ประกอบในระบบ (3 คะแนน)	-1.89	.06*	0.47	0.63	0.72	0.94	0.77
การวิเคราะห์กระบวนการของระบบ (6 คะแนน)	-3.52	.00*	0.88	1.88	1.20	3.44	1.71
การสร้างแบบจำลองของระบบ (6 คะแนน)	-3.52	.00*	0.88	0.00	0.00	3.25	1.18

* $p < .05$

2. กระบวนการคิดเชิงระบบผ่านการสร้างสรรค์แบบจำลองของนักเรียนระหว่างการทดลอง

นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิดการใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์ มีกระบวนการคิดเชิงระบบที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและเป็นลำดับ โดยสามารถแจกแจงทักษะที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นได้ดังนี้

ขั้น Unplugged นักเรียนเริ่มต้นจากการเรียนรู้การคิดอย่างเป็นระบบผ่านกิจกรรมที่ไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ผ่านการเขียนผังงาน (flowchart) เพื่อแสดงลำดับการทำงานของระบบ เริ่มจากระบบที่ไม่ซับซ้อน เช่น สารอาหารในมันฝรั่งทอด ไปสู่ระบบที่ซับซ้อนขึ้น เช่น สารอาหารในอาหารที่ตนเองชื่นชอบ ในขั้นนี้ นักเรียนได้พัฒนาทักษะการระบุการจัดระบบตามพฤติกรรมบ่งชี้ ได้แก่ 1) การระบุดองค์ประกอบของระบบ นักเรียนแยกแยะวัตถุดิบ เช่น มันฝรั่ง น้ำมัน และโยงโย่งสารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน 2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางตรง นักเรียนเชื่อมโยงว่ามันฝรั่งมีคาร์โบไฮเดรต น้ำมันมีไขมัน

และ 3) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางอ้อม นักเรียนตั้งข้อสังเกตถึงผลของการทอดซ้ำที่อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ ซึ่งเป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เชิงเส้นตรง

ขั้น Use นักเรียนได้เริ่มต้นปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่ครูจัดเตรียมไว้ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดความเข้าใจในโครงสร้างของระบบและตรรกะของการเขียนคำสั่ง ในขั้นนี้นักเรียนได้พัฒนาทักษะการวิเคราะห์กระบวนการของระบบตามพฤติกรรมบ่งชี้ ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ผลกระทบจากความสัมพันธ์ของเหตุและผลทางตรง นักเรียนสังเกตว่าหากบล็อกลำดับคำสั่งหายไปหรือวางผิดทำให้ระบบไม่สามารถแสดงผลได้ เช่น สไลด์ไม่ชนกับวัตถุทำให้ฉากไม่เปลี่ยน และ 2) การวิเคราะห์ผลกระทบจากความสัมพันธ์ของเหตุและผลทางอ้อม นักเรียนสังเกตและอธิบายได้ว่า ความผิดพลาดเล็กน้อยในคำสั่ง หรือไม่แสดงสารอาหารชนิดหนึ่ง จะส่งผลให้แบบจำลองแสดงผลผิดพลาด

ขั้น Modify นักเรียนได้รับโจทย์ให้ปรับแต่งแบบจำลองเดิมภายใต้เงื่อนไขใหม่ เช่น การเปลี่ยนเมนูอาหาร หรือกลุ่มเป้าหมายผู้บริโภคเฉพาะ ในขั้นนี้นักเรียนได้พัฒนาทักษะการวิเคราะห์กระบวนการของระบบตามพฤติกรรมบ่งชี้ ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ผลกระทบจากความสัมพันธ์ของเหตุและผลทางตรง นักเรียนแสดงการวิเคราะห์ว่าหากเปลี่ยนเมนูอาหาร เช่น ข้าวผัดเป็นข้าวต้ม องค์ประกอบอาหารเปลี่ยนระบบการย่อยต้องเปลี่ยน เช่น ต้องเพิ่มปริมาณหรือการย่อยโปรตีน และการไม่ใส่คำสั่งให้เปลี่ยนฉากหรือคำสั่งที่แสดงผลต่อเนื่อง เช่น เมื่ออาหารเข้าสู่ปาก แต่ขาดคำสั่งซ่อนหรือเปลี่ยนสไลด์เก่า ระบบจะไม่แสดงการย่อย และ 2) การวิเคราะห์ผลกระทบจากความสัมพันธ์ของเหตุและผลทางอ้อม นักเรียนแสดงการวิเคราะห์ว่าหากมีคำสั่งผิดในช่วงแรกของโปรแกรมจะส่งผลกระทบเป็นลูกโซ่ไปสู่ส่วนท้ายได้

ขั้น Create นักเรียนสร้างแบบจำลองใหม่ที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น สถานการณ์อาหารสำหรับบุคคลที่มีความจำเพาะ ในขั้นนี้นักเรียนได้พัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของระบบตามพฤติกรรมบ่งชี้ ได้แก่ 1) การวิเคราะห์สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงในระบบ นักเรียนวิเคราะห์และเปลี่ยนจากนมเป็นน้ำเต้าหู้เนื่องจากบริบทการกินเจ สไลด์และผลการย่อยในระบบการย่อยโปรตีนต้องเปลี่ยนใหม่ เช่น การย่อยที่กระเพาะและลำไส้เล็ก และ 2) การคาดการณ์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง นักเรียนคาดการณ์การเปลี่ยนวัตถุดิบ เช่น อาหารคาร์โบไฮเดรตสูงไปเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง ระบบการย่อยจะเปลี่ยนจากเริ่มต้นที่ปากไปสู่การย่อยที่กระเพาะอาหาร และการดูดซึมจะเปลี่ยนตาม ส่งผลต่อแบบจำลองโดยรวม

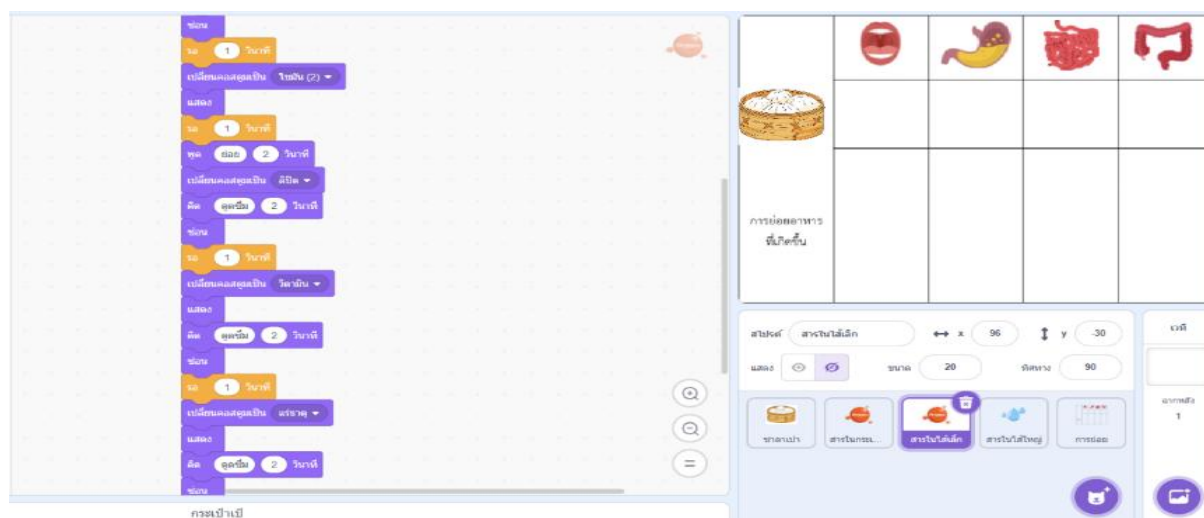
ผลงานแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของนักเรียนสะท้อนพัฒนาการคิดเชิงระบบครบสามองค์ประกอบ ได้แก่ (1) การระบุการจัดระบบ นักเรียนจัดลำดับขั้นตอนการย่อยอาหารได้ถูกต้อง ระบุองค์ประกอบของระบบและความสัมพันธ์พื้นฐานได้ครบ เช่น เมนูชาลาเปามีคาร์โบไฮเดรตจากแป้ง ไขมัน และโปรตีนจากไข่ เชื่อมโยงไปยังอวัยวะที่เกี่ยวข้อง คือ ปาก กระเพาะ ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ จมูกที่การขบเคี้ยว (2) การวิเคราะห์กระบวนการของระบบ นักเรียนชี้เหตุและผลทั้งทางตรงและทางอ้อมของการเปลี่ยนแปลงภายในระบบได้ เช่น เมื่อส่วนประกอบอาหารหรือเงื่อนไขเปลี่ยน กรณีก๊าซอ้วนหรือต้องควบคุมไขมัน นักเรียนอธิบายผลกระทบต่อขั้นย่อย ดูดซึมถัดไปและตำแหน่งที่ต้องเน้นหรือปรับเพิ่ม รวมทั้งตรวจพบความผิดพลาดการทำงานของระบบแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เช่น หากบล็อกลำดับคำสั่งที่ลำไส้ใหญ่หายไป อาหารจะไม่เปลี่ยน

เป็นอาจารย์ ทำให้ระบบไม่สมบูรณ์ และ (3) การสร้างแบบจำลองของระบบ นักเรียนออกแบบและดัดแปลงแบบจำลองให้สอดคล้องกับสถานการณ์เฉพาะได้จริง เช่น เปลี่ยนนมเป็นน้ำเต้าหู้ในบริบทกินเจ ปรับสไปรตต์และซุสให้สให้จุดเกิดการย่อยสอดคล้องกับโปรตีนจากพืช พร้อมคาดการณ์ผลรวมของระบบเมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยน และตรวจสอบความสอดคล้องของผลลัพธ์กับหลักวิทยาศาสตร์อย่างเป็นองค์รวม

การแก้ไขแบบจำลองคอมพิวเตอร์ตามสถานการณ์และสถานการณ์เพิ่มเติม นักเรียนได้รับโจทย์ให้ปรับอาหารให้เหมาะสมกับผู้บริโภคที่มีลักษณะเฉพาะ โดยสถานการณ์หลักคือ “ภาวะอ้วน” และสถานการณ์เพิ่มเติมคือ “เบาหวาน” นักเรียนจึงต้องปรับส่วนประกอบของเมนูซาลาเปาให้เหมาะสมกับข้อจำกัดทางสุขภาพของกลุ่มเป้าหมายนี้ นักเรียนแสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงในระบบ โดยพิจารณาว่าอาหารที่มีแป้งสูงส่งผลต่อการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดและทำให้พลังงานส่วนเกินสะสมกลายเป็นไขมัน นักเรียนจึงลดการแสดงผลคาร์โบไฮเดรต สังเกตได้จากการย่อยที่ปากที่หายไป ลดปริมาณน้ำตาลหรือแป้ง เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของผู้ป่วยเบาหวานและผู้ที่มีภาวะอ้วน นอกจากนี้ นักเรียนยังคาดการณ์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงานกับโปรแกรมจัดเรียงลำดับของระบบย่อยอาหารได้ตามโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ (ภาพ 2)

ภาพ 2

แบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่นักเรียนเลขที่ 5 สร้างสรรค์ เรื่อง การย่อยซาลาเปา หลังได้รับสถานการณ์ภาวะอ้วนและเบาหวาน



อภิปรายผล

ผลวิจัยสอดคล้องกับ Mambrey et al. (2020) ที่ระบุว่าการคิดเชิงระบบมี 3 ทักษะ คือ การระบุองค์ประกอบ การวิเคราะห์กระบวนการ และการสร้างแบบจำลอง การใช้ UMC เปิดโอกาสให้ลงมือจาก Use สู่ Modify และ Create ตามที่ Lee et al. (2011) กล่าวว่า UMC ช่วยทำความเข้าใจระบบซับซ้อนและสอดคล้องกับแนวทางของ Mehren et al. (2018) และ Mambrey et al. (2020) ซึ่งแบ่งระดับการคิดเชิงระบบออกเป็น 3 ระดับ โดยในระดับสูง นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม

สามารถปรับเปลี่ยนจำลองเพื่อทำนายผลลัพธ์ของระบบได้ อีกทั้งการโต้แย้งเพื่อแก้ปัญหาในการออกแบบแบบจำลองสะท้อนถึงการเรียนรู้ร่วมกัน โดยสาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากประเด็นในมิติต่าง ๆ ดังนี้

การสร้างความรู้ผ่านการสร้างสิ่งที่จับต้องได้ (Artifact) การสร้างชิ้นงานที่มีความหมาย ตามแนวทางทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา (Constructionism) ของ Papert (1980) นักเรียนไม่ได้เป็นเพียงผู้ฟังแต่เป็นผู้สร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของตนเองในบริบทที่สัมพันธ์กับประสบการณ์ของตน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ส่งเสริมการเชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมและความรู้ใหม่ ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้แบบ “ลงมือทำ” (Learning by making) เกิดความเป็นเจ้าของการเรียนรู้ (Ownership) ขณะเดียวกันระหว่างการพัฒนาแบบจำลอง นักเรียนมีโอกาสแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยและเป็นมิตร เพื่อสร้างแบบจำลองจากประเด็นที่มีความหมาย ตามบริบทจริงและเสริมสร้างความคิดเชิงระบบได้อย่างยั่งยืน

การจัดลำดับการเรียนรู้แบบมีโครงสร้าง ตามแนวคิดนี้ไม่ได้มาจากการให้นักเรียนสร้างอะไรบางอย่างขึ้นมาทันที แต่มาจากการออกแบบลำดับขั้นการเรียนรู้ที่ค่อย ๆ เพิ่มความซับซ้อนและลดการช่วยเหลือลงทีละน้อย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดก้าวข้ามขีดจำกัดทางเขาวงกตปัญญา โดยการเสริมต่อการเรียนรู้ ผ่านการใช้โปรแกรมที่ครูสร้างไว้แล้ว (Martin et al., 2020)

การปฏิบัติที่ทำให้เห็นกลไกการทำงานของระบบผ่านชุดรหัส การทดลองลาก-วางบล็อกคำสั่งและรันดูผลลัพธ์ทันทีทำให้กระบวนการคิดของนักเรียนเป็นสิ่งที่จับต้องและสังเกตได้ นักเรียนไม่ได้เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลองที่ไม่มี ความหมายและไม่ได้เรียนวิทยาศาสตร์แบบท่องจำ แต่ได้ใช้ทักษะทางวิทยาการคำนวณในการอธิบายและสำรวจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนเห็นคุณค่าและประโยชน์ของทักษะการเขียนโปรแกรมที่ช่วยแก้ปัญหาในชีวิตจริง

ในขณะที่นักเรียนที่ได้ผลการประเมินระดับกลางมีการระบอบองค์ประกอบของระบบ นักเรียนกลุ่มนี้สามารถตีความและปรับใช้ความรู้ได้ระดับหนึ่ง แต่ยังคงส่งเสริมเพิ่มเติมในด้านการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ผลกระทบในระบบซึ่งเป็นทักษะระดับสูงขึ้น สำหรับนักเรียนที่ยังคงอยู่ในระดับต่ำ พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเข้าใจพื้นฐานด้านเนื้อหา ไม่คุ้นเคยกับการใช้เทคโนโลยีในการสร้างแบบจำลอง แม้จะมีกิจกรรม Unplugged เป็นการปูพื้นฐานก่อนใช้โปรแกรม แต่บางคนอาจต้องการคำแนะนำรายบุคคล

เมื่อพิจารณาแยกองค์ประกอบผลวิจัยชี้ว่า “ทักษะการระบอบองค์ประกอบของระบบ” ไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีเหตุปัจจัยหลัก 2 ประการ ได้แก่ (1) การตั้งคำถาม-สะท้อนคิดไม่ต่อเนื่อง คำถามกระตุ้นและการสะท้อนคิดที่เริ่มดีในขั้น Unplugged ไม่ได้ถูกสานต่อระหว่างการทำแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ทำให้แบบจำลองกลายเป็นสิ่งให้ “ทำตาม” มากกว่าถูกใช้เป็น “เครื่องมือสืบค้น” ส่งผลให้นักเรียนไม่ฝึกการระบอบองค์ประกอบ ขณะที่ทักษะเชิงพลวัต เช่น การทำนายหรือปรับแบบจำลอง ได้รับการฝึกมากกว่า และ (2) การออกแบบแบบสืบสอบยืนยันผล (Confirmation Inquiry) การเริ่มด้วยแบบจำลองที่กำหนดไว้ล่วงหน้าช่วยลดความกังวลและปูพื้นฐาน แต่ทำให้นักเรียนยึดติดโครงสร้างที่หามา จึงไม่ถูกท้าทายให้สำรวจ ทั้งยังจำกัดความยืดหยุ่นและความคิดสร้างสรรค์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

1. กระบวนการสร้างผังงาน (flowchart) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการช่วยจัดระบบความคิดก่อนเข้าสู่การเขียนโปรแกรม พบว่า การให้เขียนผังงานบนกระดาษมักทำให้นักเรียนรู้สึกท้อถอย เนื่องจากต้องลบบ่อยครั้งเมื่อต้องปรับเปลี่ยนความคิดหรือโครงสร้างใหม่ ส่งผลให้นักเรียนบางคนไม่ยอมทำหรือทำอย่างขาดความต่อเนื่อง ดังนั้น ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้โปรแกรมสร้างผังงานผ่านเครื่องมือดิจิทัล

2. การต่อยอดรูปแบบการสืบสอบ จากการวิจัยพบว่า กิจกรรมตามที่ผู้วิจัยออกแบบทำให้นักเรียนสร้างแบบจำลองที่กำหนดไว้เป็นหลัก ส่งผลให้การคิดหยุดอยู่เพียงการยืนยัน ดังนั้น แนะนำให้ยกระดับเป็นการสืบสอบแบบชี้แนะแนวทาง (Guided inquiry) ปรับกิจกรรมใช้แบบจำลองต้นแบบไม่สมบูรณ์ และคำถามชี้แนะแบบเปิด ให้นักเรียนตั้งสมมติฐาน วิเคราะห์ ทดลอง และใช้แบบจำลองเป็นเครื่องมือแก้ปัญหา

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. การขยายตัวอย่างและบริบทควบคุมการติดตามระยะยาว ควรทำวิจัยซ้ำกับตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้นและหลากหลายกว่าเดิม เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและการอ้างอิงในวงกว้างได้มากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งออกแบบการติดตามผลระยะยาวในหลักสูตรเป็นช่วงเวลา เพื่อตรวจสอบความคงทนของความสามารถในการคิดเชิงระบบ

2. การวิจัยเปรียบเทียบ ควรมีการวิจัยเชิงทดลองที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกรอบแนวคิดการใช้-ปรับแต่ง-สร้างสรรค์กับรูปแบบการสอนอื่น ๆ เช่น การสอนแบบบรรยาย การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ หรือการสอนแบบใช้ปัญหาเป็นฐาน เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบที่ชัดเจนเกี่ยวกับจุดเด่นและข้อจำกัดของแต่ละรูปแบบในการส่งเสริมการคิดเชิงระบบ หรือเปรียบเทียบกับงานในภูมิภาคอื่นเพื่อความหลากหลาย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และ สมยศ ชิดมงคล. (2560). การคิดเชิงระบบ: ประสพการณ์การสอนเพื่อพัฒนาการคิด

เชิงระบบ. *วารสารครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 45(2), 209-224.

<https://so02.tci-thaijo.org/index.php/EDUCU/article/view/107245>

ศูนย์ดำเนินงาน PISA แห่งชาติ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2566). *กรอบการ*

ประเมินด้านวิทยาศาสตร์. [https://pisathailand.ipst.ac.th/about-](https://pisathailand.ipst.ac.th/about-pisa/science_competency_framework)

[pisa/science_competency_framework](https://pisathailand.ipst.ac.th/about-pisa/science_competency_framework)

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2564). *หลักสูตรและการเรียนการสอนฐานสมรรถนะ*.

<https://cbethailand.com>

ภาษาอังกฤษ

- Darling-Hammond, L. (2017). Teacher education around the world: What can we learn from international practice? *European journal of teacher education*, 40(3), 291-309.
<https://doi.org/10.1080/02619768.2017.1315399>
- Hokayem, H. (2016). Patterns of reasoning about ecological systemic reasoning for early elementary students. *Science Education International*, 27(1), 117-135.
<https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1100182.pdf>
- Hung, W. (2008). Enhancing systems-thinking skills with modelling. *British Journal of Educational Technology*, 39(6), 1099-1120.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2007.00791.x>
- Kong, S. C., & Abelson, H. (2019). *Computational thinking education*. Springer Nature.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-6528-7>
- Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., Malyn-Smith, J., & Werner, L. (2011). Computational thinking for youth in practice. *Acm Inroads*, 2(1), 32-37.
<https://doi.org/10.1145/1929887.1929902>
- Lytle, N., Cateté, V., Boulden, D., Dong, Y., Houchins, J., Milliken, A., Isvik, A., Bounajim, D., Wiebe, E., & Barnes, T. (2019). Use, modify, create: Comparing computational thinking lesson progressions for stem classes. In B. Scharlau, R. McDermott, A. Pears, & M. Sabin (Eds.), *Proceedings of the 2019 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education* (pp. 395-401). Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/3304221.3319786>
- Mambrey, S., Timm, J., Landskron, J. J., & Schmiemann, P. (2020). The impact of system specifics on systems thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(10), 1632-1651. <https://doi.org/10.1002/tea.21649>
- Martin, F., Lee, I., Lytle, N., Sentance, S., & Lao, N. (2020). Extending and evaluating the use-modify-create progression for engaging youth in computational thinking. In J. Zhang, M. Sherriff, S. Heckman, P. Cutter & A. Monge (Eds.), *Proceedings of the 51st acm technical symposium on computer science education* (pp. 807-808). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3328778.3366971>

- Mehren, R., Rempfler, A., Buchholz, J., Hartig, J., & Ulrich-Riedhammer, E. M. (2018). System competence modelling: Theoretical foundation and empirical validation of a model involving natural, social and human-environment systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(5), 685-711. <https://doi.org/10.1002/tea.21436>
- Nguyen, H., & Santagata, R. (2021). Impact of computer modeling on learning and teaching systems thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(5), 661-688. <https://doi.org/10.1002/tea.21674>
- Papert, S. A. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic books. http://www.medientheorie.com/doc/papert_mindstorms.pdf
- Rachmatullah, A., & Wiebe, E. N. (2022). Building a computational model of food webs: Impacts on middle school students' computational and systems thinking skills. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(4), 585-618. <https://doi.org/10.1002/tea.21738>
- Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. Broadway Business. <https://agsystemsthinking.net/wpcontent/uploads/2018/07/sengeondialogue.pdf>
- Sentance, S., & Waite, J. (2017). PRIMM: Exploring pedagogical approaches for teaching text-based programming in school. In E. Barendsen & P. Hubwieser (Eds.), *Proceedings of the 12th Workshop on Primary and Secondary Computing Education* (pp. 113-114). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3137065.3137084>