Journal of Intellect Education (IEJ), Volume 5, No.5
(September – October 2026) ISSN: 2822-0218 (Online)

Development and Appropriateness Evaluation of STEAM Lesson Plans Incorporating Self-Directed Learning and Connecting Mathematics and Science for Grade 8 Students

Chanankarn Suwanreang[1], Duangjan Kaewkongpan[2], Ratchanee Karawad[3] Pimpaka Intaros[4] & Nipa Jun-on[5*]

1 *Faculty of Education, Lamphang Rajabhat University, Thailand*
2 *Faculty of Science, Lamphang Rajabhat University, Thailand*
3 *Faculty of Science, Lamphang Rajabhat University, Thailand*
4 *Faculty of Science, Lamphang Rajabhat University, Thailand*
5 *Faculty of Science, Lamphang Rajabhat University, Thailand*
* *Corresponding author. E-mail: nipa.676@g.lpru.ac.th*

Abstract

This study aimed to (1) develop STEAM lesson plans covering eight learning units for Grade 8 students in educational opportunity expansion schools in Lampang Province, Thailand, by establishing connections among science tasks, mathematical applications, and five-stage self-directed learning activities; and (2) evaluate the appropriateness of the developed plans through expert assessment across six dimensions: key concepts, learning objectives, learning content, learning processes, instructional media, and measurement and evaluation. This developmental research reported the development and evaluation phases. Five experts participated in the evaluation. The research instruments included lesson plans covering eight learning units and a five-point rating scale to evaluate their appropriateness. The research instruments comprised lesson plans covering eight learning units and a 30-item appropriateness evaluation form using a five-point rating scale. Item–objective congruence (IOC) values for the evaluation form ranged from 0.80 to 1.00. Data were analyzed using means and standard deviations, while the characteristics of the plans were described narratively. The findings showed that (1) all eight units incorporated five self-directed learning stages: goal setting, planning, monitoring learning, seeking help when needed, and reflecting on the learning process. Mathematics was connected with science tasks through measurement, calculation, and the use of quantitative information to support decisions, depending on the activity. (2) All units received overall appropriateness ratings at the highest level, with mean scores ranging from 4.59 to 4.67. Across individual dimensions, key concepts, learning objectives, and instructional media received the highest rating in every unit, whereas learning content, learning processes, and measurement and evaluation received ratings ranging from high to the highest level. The findings guide lesson-plan design by connecting disciplinary knowledge with self-directed learning processes and identifying components that require review before classroom implementation.

Keywords: Lesson Plan Evaluation, Self-directed Learning, STEM/STEAM Integration, Connections, Mathematics and Science, Expert Review

Received: 2026-09-23; Revised: 2026-10-05; Accepted: 2026-10-05 **ISSN: 2822-0218 (Online)**

การพัฒนาและประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด STEAM ที่ผสานการเรียนรู้แบบนำตนเองและเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ชนันกาญจน์ สุวรรณเรือง[1] ดวงจันทร์ แก้วกงพาน[2] รัชนี คะระวาด[3] พิมพ์ผกา อินทะรส[5] และนิภา จันทร์อ่อน[5*]

1 คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

2 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

4 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

5 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

** Corresponding author. E-mail: nipa.676@g.lpru.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด STEAM จำนวน 8 หน่วย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา จังหวัดลำปาง โดยกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างภารกิจวิทยาศาสตร์ การใช้คณิตศาสตร์ และกิจกรรมการเรียนรู้แบบนำตนเอง 5 ขั้น และ 2) ประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ ในด้านสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อการจัดการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผล งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนาที่รายงานระยะพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแผน ผู้ให้ข้อมูลในการประเมินเป็นผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน เครื่องมือประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 8 หน่วย และแบบประเมินคุณภาพมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ แบบประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 30 ข้อ มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.80–1.00 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำเสนอลักษณะของแผนเชิงพรรณนา ผลการวิจัยพบว่า 1) แผนทั้ง 8 หน่วยกำหนดกิจกรรมตามกระบวนการนำตนเอง 5 ขั้น ได้แก่ การกำหนดเป้าหมาย การวางแผน การติดตามตรวจสอบการเรียนรู้ การขอความช่วยเหลือเมื่อจำเป็น และการสะท้อนกระบวนการ โดยเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับภารกิจวิทยาศาสตร์ผ่านการวัด การคำนวณ และการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณประกอบการตัดสินใจตามลักษณะกิจกรรม และ 2) แผนทุกหน่วยมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยรายแผนระหว่าง 4.59–4.67 เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่าสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ และสื่ออยู่ในระดับมากที่สุดทุกแผน ส่วนสาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด ผลการวิจัยให้แนวทางการออกแบบแผนที่เชื่อมโยงศาสตร์กับกระบวนการนำตนเอง และระบุองค์ประกอบที่ควรทบทวนก่อนนำไปใช้ในชั้นเรียน

คำสำคัญ: การประเมินแผนการจัดการเรียนรู้, การเรียนรู้แบบนำตนเอง, การบูรณาการ STEM/STEAM, การเชื่อมโยง, คณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์, การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ

บทนำ

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนใช้ความรู้จากทั้งสองศาสตร์ร่วมกันในการอธิบายปรากฏการณ์ วิเคราะห์ข้อมูล และแก้ปัญหาที่สัมพันธ์กับชีวิตประจำวัน การเรียนรู้ในลักษณะนี้จำเป็นต้องออกแบบความเชื่อมโยงระหว่างแนวคิดและกระบวนการของแต่ละศาสตร์ให้ผู้เรียนมองเห็นอย่างชัดเจน English (2016) เสนอว่า การบูรณาการสะเต็มศึกษาควรให้ความสำคัญกับบทบาทของศาสตร์ที่เกี่ยวข้องอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะคณิตศาสตร์ซึ่งอาจได้รับความสำคัญน้อยกว่าวิทยาศาสตร์ในกิจกรรมบูรณาการ การกำหนดให้ผู้เรียนใช้การวัด การคำนวณ การแสดงข้อมูล และการอธิบายความสัมพันธ์เชิงปริมาณจึงเป็นประเด็นสำคัญของการออกแบบกิจกรรม เพราะช่วยทำให้เห็นว่าคณิตศาสตร์มีส่วนสนับสนุนการทำความเข้าใจปัญหาและการตัดสินใจอย่างไร ทั้งนี้ ความเชื่อมโยงดังกล่าวควรปรากฏตั้งแต่จุดประสงค์การเรียนรู้ ภารกิจที่มอบหมาย และหลักฐานที่ใช้ประเมินการเรียนรู้ของผู้เรียน

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด STEAM ซึ่งเชื่อมโยงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์ เป็นแนวทางหนึ่งสำหรับออกแบบประสบการณ์ที่ให้ผู้เรียนใช้ความรู้ข้ามศาสตร์ผ่านการสืบค้น การออกแบบ และการสร้างสรรค์ผลงาน อย่างไรก็ตาม การระบุองค์ประกอบทั้งห้าศาสตร์ไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ยังไม่เพียงพอที่จะอธิบายคุณภาพของการบูรณาการ Quigley et al. (2017) ชี้ให้เห็นความจำเป็นของกรอบแนวคิดที่อธิบายองค์ประกอบของการสอนตามแนวคิด STEAM อย่างชัดเจน เพื่อเป็นฐานสำหรับการปฏิบัติและการศึกษาประสิทธิผล ขณะที่การทบทวนอย่างเป็นระบบของ Martín-Cudero et al. (2024) ซึ่งศึกษาการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ตามแนวคิด STEAM ในระดับมัธยมศึกษาและระดับก่อนมหาวิทยาลัย สะท้อนความจำเป็นในการพัฒนาทั้งฐานคิดและแนวปฏิบัติที่ช่วยให้ครูนำแนวทางดังกล่าวไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น แผนการจัดการเรียนรู้ควรแสดงให้เห็นว่าความรู้แต่ละศาสตร์ถูกนำมาใช้ในภารกิจใด มีความสัมพันธ์กันอย่างไร และผู้เรียนต้องแสดงความเข้าใจผ่านการปฏิบัติหรือผลงานลักษณะใด

ประเด็นที่ควรพิจารณาเป็นพิเศษคือระดับและลักษณะของการใช้คณิตศาสตร์ภายในกิจกรรมบูรณาการ Forde et al. (2023) ศึกษาการปรากฏของคณิตศาสตร์และระดับความต้องการทางการคิดของภาระงานในบทเรียน STEM พบว่า แม้บทเรียนที่มีคณิตศาสตร์จะได้รับคะแนนจากเครื่องมือสังเกตการจัดการเรียนรู้สูงกว่าในเกือบทุกรายการ แต่ภาระงานคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่ยังมีความต้องการทางการคิดระดับต่ำ ข้อค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่า การมีเนื้อหาคณิตศาสตร์อยู่ในกิจกรรมไม่สามารถใช้ยืนยันได้โดยตรงว่าผู้เรียนได้รับโอกาสในการคิดทางคณิตศาสตร์อย่างลึกซึ้ง สำหรับการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ จึงควรพิจารณาทั้งความถูกต้องของแนวคิดคณิตศาสตร์และหน้าที่ของแนวคิดนั้นในกระบวนการแก้ปัญหา เช่น การใช้ร้อยละเพื่อกำหนดความเข้มข้นของสารละลาย การใช้การวัดและเรขาคณิตเพื่อออกแบบชิ้นงาน และการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อเปรียบเทียบทางเลือก พร้อมกำหนดคำถามที่ให้ผู้เรียนอธิบายเหตุผลของวิธีดำเนินการและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์

นอกจากการเชื่อมโยงความรู้ข้ามศาสตร์แล้ว กิจกรรมที่ให้ผู้เรียนสืบค้น ออกแบบ และปรับปรุงชิ้นงานยังต้องอาศัยการจัดการกระบวนการเรียนรู้ของตนเอง แนวคิดการเรียนรู้แบบนำตนเองจึงเป็นฐานสำคัญสำหรับกำหนดบทบาทของผู้เรียนตลอดการทำกิจกรรม Garrison (1997) อธิบายการเรียนรู้แบบนำ

ตนเองผ่านความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการตนเอง การติดตามตรวจสอบการเรียนรู้ และแรงจูงใจ ซึ่งสะท้อนว่าการนำตนเองครอบคลุมทั้งการควบคุมการดำเนินงานและความรับผิดชอบต่อกระบวนการคิดของตนเอง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น การออกแบบกิจกรรมจึงควรมีโครงสร้างสนับสนุนที่ช่วยให้ผู้เรียนกำหนดเป้าหมาย วางแผน ติดตามความก้าวหน้า ขอความช่วยเหลือ และสะท้อนกระบวนการทำงานได้ตามความพร้อม โดยครูจัดคำถาม ทรัพยากร และข้อมูลย้อนกลับที่เหมาะสมกับภารกิจ

การสนับสนุนดังกล่าวควรคำนึงถึงความแตกต่างด้านประสบการณ์ ความพร้อม และโอกาสในการเข้าถึงแหล่งเรียนรู้ของผู้เรียนด้วย Morris et al. (2025) เสนอจากการทบทวนอย่างเป็นระบบว่า การเรียนรู้แบบนำตนเองมีศักยภาพในการสนับสนุนการมีส่วนร่วมและความครอบคลุมทางการศึกษา แต่การตีความศักยภาพนี้จำเป็นต้องพิจารณาเงื่อนไขและความตึงเครียดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการศึกษาอย่างทั่วถึง สำหรับการออกแบบแผนที่ใช้ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา ประเด็นที่ควรพิจารณาจึงได้แก่ ความเหมาะสมของภารกิจและวัสดุอุปกรณ์ ทางเลือกในการสืบค้นข้อมูล การทำงานร่วมกับเพื่อน และช่องทางขอความช่วยเหลือจากครู เพื่อให้ผู้เรียนมีส่วนรับผิดชอบการเรียนรู้ของตนเองควบคู่กับการได้รับการสนับสนุนที่จำเป็น

การพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยง STEAM กับการนำตนเองจึงต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเป้าหมายการเรียนรู้ เนื้อหา กระบวนการทำกิจกรรม สื่อ และการประเมินอย่างเป็นระบบ Halawa et al. (2024) ทบทวนงานวิจัยด้านการออกแบบการเรียนรู้ STEM ในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานจำนวน 229 เรื่อง และแสดงให้เห็นความหลากหลายของแนวทางออกแบบ ทั้งการเรียนรู้โดยใช้การออกแบบ การสืบเสาะ โครงงาน และปัญหาเป็นฐาน ตลอดจนความสำคัญของการเชื่อมแนวทางเหล่านี้กับเป้าหมายทางการศึกษา งานดังกล่าวสนับสนุนการพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้ในฐานะโครงสร้างที่กำหนดโอกาสการเรียนรู้ของผู้เรียน สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ประเด็นที่ควรศึกษาเพิ่มเติมจึงอยู่ที่การทำให้ความเชื่อมโยงระหว่างภารกิจวิทยาศาสตร์ การใช้คณิตศาสตร์ และกระบวนการนำตนเองปรากฏอย่างเป็นรูปธรรม พร้อมตรวจสอบความเหมาะสมขององค์ประกอบแผนก่อนนำข้อเสนอด้านการออกแบบไปใช้ในบริบทการสอน

สำหรับบริบทของการวิจัยครั้งนี้ การพัฒนาแผนมุ่งรองรับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา จังหวัดลำปาง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาลำปาง เขต 1–3 โดยมีศึกษานิเทศก์ ผู้บริหารสถานศึกษา และครูผู้สอนร่วมพิจารณาการออกแบบแผน บริบทพื้นที่เป็นฐานหนึ่งสำหรับกำหนดสถานการณ์ให้เชื่อมโยงเนื้อหาวิชากับกิจกรรมที่สัมพันธ์กับท้องถิ่น ตัวอย่างเช่น ภารกิจล่องสะเปาจาวหละกอน ซึ่งนำการออกแบบและสร้างสะเปามาเชื่อมโยงกับความรู้เรื่องแรงพยุง การจมและการลอย พร้อมกำหนดให้พิจารณาปริมาณสิ่งของที่บรรทุกได้และความคุ้มค่าของงบประมาณ ภารกิจลักษณะนี้เปิดพื้นที่ให้กำหนดบทบาทของคณิตศาสตร์ในการพิจารณาปริมาณและเปรียบเทียบทางเลือก ควบคู่กับการจัดโอกาสให้ผู้เรียนกำหนดเป้าหมาย วางแผน ตรวจสอบการทำงาน ขอความช่วยเหลือ และสะท้อนกระบวนการ ดังนั้น ประเด็นสำคัญของการพัฒนาแผนในบริบทนี้จึงอยู่ที่การแปลงสถานการณ์ที่สัมพันธ์กับพื้นที่ให้เป็นภารกิจการเรียนรู้ที่ระบุความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาวิทยาศาสตร์ การใช้คณิตศาสตร์ และบทบาทในการนำตนเองได้อย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง Forde et al. (2023) แสดงให้เห็นว่าการมีคณิตศาสตร์ปรากฏในกิจกรรมบูรณาการยังต้องพิจารณาควบคู่กับลักษณะของภาระงานและระดับการคิดที่กิจกรรมเรียกร้อง ขณะที่ Halawa et al. (2024) แสดงความหลากหลายของแนวทางออกแบบการเรียนรู้ STEM และความสัมพันธ์กับเป้าหมายทางการศึกษา ข้อค้นพบเหล่านี้เป็นฐานสำหรับกำหนดประเด็นศึกษา แต่ยังต้องมีหลักฐานเฉพาะของแผนที่พัฒนาขึ้นสำหรับบริบทโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษาในจังหวัดลำปาง โดยเฉพาะคำอธิบายว่าแผนแต่ละหน่วยกำหนดให้ใช้คณิตศาสตร์ในภารกิจวิทยาศาสตร์อย่างไร จัดโอกาสในการนำตนเองไว้ในขั้นกิจกรรมใด และองค์ประกอบของแผนมีความเหมาะสมตามการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญในระดับใด ช่องว่างที่งานวิจัยนี้มุ่งตอบจึงเป็นการจัดทำและนำเสนอหลักฐานการออกแบบแผนให้ตรวจสอบความเชื่อมโยงดังกล่าวได้ พร้อมรายงานความเหมาะสมด้านสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อ และการวัดและประเมินผล เพื่อให้ได้ข้อเสนอเชิงการออกแบบที่มีรายละเอียดเพียงพอสำหรับการพิจารณาปรับใช้และศึกษาการใช้จริงต่อไป

ด้วยเหตุนี้ การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้แบบนำตนเองตามแนวคิด STEAM สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา จังหวัดลำปาง โดยให้ความสำคัญกับการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ผ่านภารกิจที่สัมพันธ์กับเนื้อหาการเรียนรู้และบริบทของผู้เรียน การนำเสนอครอบคลุมองค์ประกอบและลักษณะของกิจกรรม ตลอดจนผลการตรวจสอบคุณภาพด้านสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อ และการวัดประเมินผล เพื่อให้ได้ข้อเสนอด้านการออกแบบแผนที่ครูสามารถนำไปพิจารณาปรับใช้ได้ ทั้งนี้ ผลการตรวจสอบคุณภาพของแผนเป็นหลักฐานด้านความเหมาะสมของการออกแบบ ส่วนผลต่อความสามารถทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียนเป็นประเด็นที่ต้องประเมินโดยตรงต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด STEAM จำนวน 8 หน่วย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา จังหวัดลำปาง โดยกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างภารกิจวิทยาศาสตร์ การใช้คณิตศาสตร์ และกิจกรรมการเรียนรู้แบบนำตนเอง 5 ขั้น

2. เพื่อประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ ในด้านสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อการจัดการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผล

คำถามการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด STEAM ทั้ง 8 หน่วย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา จังหวัดลำปาง ที่พัฒนาขึ้น มีลักษณะการเชื่อมโยงภารกิจวิทยาศาสตร์ การใช้คณิตศาสตร์ และกิจกรรมการเรียนรู้แบบนำตนเอง 5 ขั้นอย่างไร

2. แผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมตามการประเมินของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับใด เมื่อพิจารณารายหน่วยและจำแนกตามองค์ประกอบ 6 ด้าน ได้แก่ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อการจัดการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผล

หลักการ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเรียนรู้แบบนำตนเอง

การเรียนรู้แบบนำตนเองให้ความสำคัญกับความรับผิดชอบและการมีส่วนร่วมของผู้เรียนในการจัดการกระบวนการเรียนรู้ Garrison (1997) เสนอกรอบที่เชื่อมโยงองค์ประกอบสามด้าน ได้แก่ การจัดการตนเอง ซึ่งเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขและทรัพยากรในการเรียนรู้ การติดตามตรวจสอบตนเอง ซึ่งเกี่ยวข้องกับความรับผิดชอบต่อกระบวนการคิดและความเข้าใจ และแรงจูงใจในการเริ่มต้นและดำเนินภารกิจ กรอบดังกล่าวช่วยอธิบายการนำตนเองทั้งด้านการดำเนินงานและการกำกับความเข้าใจ สำหรับการประยุกต์ใช้ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น การเปิดโอกาสให้ผู้เรียนตัดสินใจจึงควรพิจารณาควบคู่กับการสนับสนุนจากครูและการเข้าถึงแหล่งเรียนรู้ โดยคำนึงถึงเงื่อนไขของบริบทและความแตกต่างระหว่างผู้เรียนตามข้อพิจารณาของ Morris et al. (2025)

ในงานวิจัยนี้ กิจกรรมการนำตนเองห้าขั้น ได้แก่ การกำหนดเป้าหมาย การวางแผน การติดตามตรวจสอบการเรียนรู้ การขอความช่วยเหลือเมื่อจำเป็น และการสะท้อนกระบวนการ เป็นโครงสร้างกิจกรรมที่ผู้วิจัยกำหนดในการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งแปดหน่วย ส่วนแบบจำลองการเรียนรู้แบบนำตนเองของ Garrison (1997) ใช้เป็นกรอบอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมดังกล่าวกับการจัดการตนเอง การติดตามตรวจสอบตนเอง และแรงจูงใจ จึงควรแยกระหว่างองค์ประกอบเชิงทฤษฎีของแบบจำลองกับขั้นกิจกรรมที่กำหนดขึ้นในงานวิจัย โดยกิจกรรมห้าขั้นนี้มิใช่ลำดับขั้นที่ Garrison เสนอไว้โดยตรง

ความสัมพันธ์ระหว่างกรอบแนวคิดกับกิจกรรมสามารถอธิบายได้ว่า การกำหนดเป้าหมายและการวางแผนสัมพันธ์กับการจัดการตนเอง เนื่องจากผู้เรียนต้องกำหนดทิศทางการเรียนรู้ เลือกวิธีดำเนินงาน และพิจารณาทรัพยากรที่จำเป็น การติดตามตรวจสอบการเรียนรู้สัมพันธ์กับการติดตามตรวจสอบตนเอง โดยให้ผู้เรียนพิจารณาความเข้าใจและความก้าวหน้าระหว่างปฏิบัติภารกิจ ส่วนการขอความช่วยเหลือเมื่อจำเป็นเกี่ยวข้องทั้งกับการตระหนักถึงข้อจำกัดของตนเองและการเลือกใช้ทรัพยากรสนับสนุน สำหรับการสะท้อนกระบวนการ ผู้เรียนพิจารณาผลการดำเนินงานเทียบกับเป้าหมายและทบทวนวิธีเรียนรู้ของตน ขณะที่แรงจูงใจเป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นและการดำเนินภารกิจตลอดกระบวนการ มิได้แยกเป็นขั้นกิจกรรมเฉพาะ

การเชื่อมโยงข้างต้นเป็นการอธิบายเชิงแนวคิดของผู้วิจัย โดยกิจกรรมหนึ่งอาจสัมพันธ์กับองค์ประกอบของแบบจำลองมากกว่าหนึ่งด้าน และผู้เรียนสามารถย้อนกลับไปปรับเป้าหมายหรือแผนเมื่อพบข้อมูลหรือข้อจำกัดใหม่ การนำตนเองในบริบทนี้จึงเปิดโอกาสให้ผู้เรียนรับผิดชอบการเรียนรู้ควบคู่กับการสนับสนุนของครู ผ่านการจัดทรัพยากร การตั้งคำถาม และการให้ความช่วยเหลือตามความจำเป็น ลักษณะการมีส่วนร่วมของผู้เรียนในแต่ละขั้นแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะการมีส่วนร่วมของผู้เรียนตามขั้นกิจกรรมการเรียนรู้แบบนำตนเอง

ขั้นกิจกรรม	ลักษณะการมีส่วนร่วมของผู้เรียน
การกำหนดเป้าหมาย (Setting goals)	ทำความเข้าใจปัญหาและกำหนดสิ่งที่ต้องการเรียนรู้หรือผลที่ต้องการบรรลุ
การวางแผน (Creating a plan)	เลือกวิธีดำเนินงาน แหล่งข้อมูล วัสดุอุปกรณ์ และแบ่งหน้าที่ตามภารกิจ
การติดตามตรวจสอบการเรียนรู้ (Monitoring learning)	ตรวจสอบความก้าวหน้า ความเข้าใจ และปัญหาระหว่างดำเนินงาน
การขอความช่วยเหลือเมื่อจำเป็น (Seeking help when needed)	ระบุข้อสงสัยและใช้ความช่วยเหลือจากครู เพื่อน หรือแหล่งเรียนรู้เพื่อดำเนินงานต่อ
การสะท้อนกระบวนการ (Reflecting on the process)	พิจารณาผลลัพธ์เทียบกับเป้าหมาย อธิบายข้อจำกัด และเสนอแนวทางปรับปรุง

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด STEAM

STEAM เป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่เชื่อมโยงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์ผ่านประเด็นหรือภารกิจร่วมกัน การบูรณาการจึงควรพิจารณาความสัมพันธ์ของความรู้ วิธีการ และกระบวนการทำงานที่ผู้เรียนต้องใช้ Quigley et al. (2017) เสนอความจำเป็นของกรอบแนวคิดที่อธิบายองค์ประกอบการสอน STEAM อย่างชัดเจน เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติและการศึกษาประสิทธิผล แนวคิดนี้ช่วยให้การออกแบบกิจกรรมมุ่งไปที่สิ่งที่ผู้เรียนต้องคิดและปฏิบัติ ตลอดจนบทบาทของแต่ละศาสตร์ในการทำความเข้าใจและแก้ปัญหา

การทบทวนอย่างเป็นระบบของ Salonen et al. (2026) แสดงให้เห็นว่า STEAM มีการตีความและนำไปใช้หลากหลาย โดยศาสตร์ที่เกี่ยวข้องอาจทำหน้าที่เป็นทั้งเนื้อหาการเรียนรู้และส่วนหนึ่งของวิธีการหรือกระบวนการทำงาน อย่างไรก็ตาม ในกิจกรรมจำนวนหนึ่ง บางศาสตร์มีบทบาทจำกัดหรือไม่ปรากฏชัด ข้อค้นพบนี้สนับสนุนการพิจารณาว่าแต่ละศาสตร์มีส่วนต่อภารกิจอย่างไร มากกว่าการตรวจเพียงว่ามีชื่อศาสตร์ครบทั้งห้าด้านหรือไม่

สำหรับบริบทประเทศไทย Sritrakul (2018) ศึกษาสภาพและอุปสรรคของการจัดการเรียนรู้ STEM ในระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา โดยศึกษาเอกสารร่วมกับการสัมภาษณ์ครูและนักเรียนจากโรงเรียนศูนย์และเครือข่ายสะเต็มศึกษาในภาคเหนือจำนวนแปดโรงเรียน พบข้อจำกัดด้านแหล่งเรียนรู้ งบประมาณ และการสนับสนุนการดำเนินงาน รวมถึงความสำคัญของการพัฒนาครู ข้อค้นพบดังกล่าวเป็นข้อพิจารณาสำหรับการออกแบบกิจกรรมบูรณาการให้สัมพันธ์กับทรัพยากรและเงื่อนไขของโรงเรียน ในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาความชัดเจนของภารกิจ การเลือกใช้สื่อ และบทบาทการสนับสนุนของครูควบคู่กับความเชื่อมโยงระหว่างศาสตร์ ทั้งนี้ งานวิจัยดังกล่าวใช้ประกอบการพิจารณาบริบทการจัดการเรียนรู้ มิใช่แหล่งที่มาของกิจกรรมการนำตนเองห้าขั้น

สำหรับการอธิบายแผนการจัดการเรียนรู้ในงานวิจัยนี้ วิทยาศาสตร์เป็นฐานในการทำความเข้าใจปรากฏการณ์และเงื่อนไขของปัญหา เทคโนโลยีเกี่ยวข้องกับการเลือกใช้เครื่องมือและแหล่งข้อมูล วิศวกรรมศาสตร์เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ทดสอบ และปรับปรุงวิธีแก้ปัญหาภายใต้ข้อจำกัด ศิลปะสัมพันธ์กับการออกแบบลักษณะผลงานและการสื่อสาร ส่วนคณิตศาสตร์เกี่ยวข้องกับปริมาณ การวัด การคำนวณ และความสัมพันธ์ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจ การพิจารณาบทบาทเหล่านี้ต้องอ้างอิงกิจกรรมที่ปรากฏในแต่ละแผน โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดให้ทุกศาสตร์มีสัดส่วนเท่ากัน แต่ต้องอธิบายความสัมพันธ์กับจุดประสงค์และภารกิจได้อย่างมีเหตุผล

การเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์

การเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์เป็นการจัดโอกาสให้ผู้เรียนใช้แนวคิดและกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำความเข้าใจ อธิบาย และตัดสินใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือปัญหาทางวิทยาศาสตร์ English (2016) เน้นความจำเป็นของการทำให้ความเชื่อมโยงระหว่างศาสตร์ปรากฏชัด เพราะการมีเนื้อหาที่สัมพันธ์กันอยู่ในหลักสูตรไม่ได้รับประกันว่าผู้เรียนจะมองเห็นความสัมพันธ์นั้นด้วยตนเอง การออกแบบกิจกรรมจึงควรระบุทั้งแนวคิดคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องและเหตุผลที่ผู้เรียนต้องใช้แนวคิดดังกล่าวในภารกิจ

การพิจารณาบทบาทคณิตศาสตร์ควรครอบคลุมระดับการคิดที่กิจกรรมเปิดโอกาสให้ผู้เรียนใช้ด้วย Forde et al. (2023) พบว่าภาระงานคณิตศาสตร์ในบทเรียน STEM ที่ศึกษาส่วนใหญ่มีความต้องการทางการคิดระดับต่ำ แม้จะมีคณิตศาสตร์ปรากฏอยู่ในกิจกรรมแล้วก็ตาม ดังนั้น การออกแบบแผนควรกำหนดคำถามหรือภารกิจที่ให้ผู้เรียนเลือกวิธีดำเนินการ อธิบายเหตุผล และตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบควบคู่กับความถูกต้องของการคำนวณ เช่น การอธิบายเหตุผลในการเลือกความเข้มข้นของสารละลาย การกำหนดขนาดชิ้นงานภายใต้ข้อจำกัดของวัสดุ หรือการเปรียบเทียบทางเลือกจากข้อมูลที่วัดได้

ในบริบทหลักสูตรไทย การเชื่อมโยงดังกล่าวสัมพันธ์กับตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยพิจารณามาตรฐานและตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560 ด้านวิทยาศาสตร์ ตัวชี้วัด ว 2.1 ม.2/3 กำหนดให้ผู้เรียนประยุกต์วิธีแยกสารเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันโดยบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ ส่วนตัวชี้วัด ว 2.1 ม.2/5 เกี่ยวข้องกับการระบุความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละ ซึ่งต้องอาศัยการพิจารณาปริมาณและการคำนวณร่วมกับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560ข)

ด้านคณิตศาสตร์ มาตรฐาน ค 1.1 ครอบคลุมความเข้าใจเกี่ยวกับจำนวน การดำเนินการ และการนำไปใช้ ขณะที่มาตรฐาน ค 2.1 และ ค 2.2 เกี่ยวข้องกับการวัดและเรขาคณิตตามลำดับ จึงเป็นกรอบสำหรับพิจารณาบทบาทของการคำนวณปริมาณ การวัดขนาด และการใช้สมบัติของรูปเรขาคณิตในภารกิจวิทยาศาสตร์ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560ก) อย่างไรก็ตาม การเชื่อมโยงในแผนควรแยกให้ชัดระหว่างเนื้อหาตามตัวชี้วัดของชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 กับความรู้พื้นฐานจากระดับชั้นก่อนหน้าที่นำมาใช้ เช่น อัตราส่วนและร้อยละ การกำหนดภารกิจจึงควรระบุว่าผู้เรียนใช้ความรู้คณิตศาสตร์เรื่องใด เพื่ออธิบาย ออกแบบ หรือ

ประกอบการตัดสินใจในประเด็นวิทยาศาสตร์ใด โดยไม่ถือว่าการคำนวณทุกลักษณะเป็นการเรียนรู้ตัวชี้วัดคณิตศาสตร์ใหม่ของระดับชั้นนี้

ในงานวิจัยนี้ การเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์จึงพิจารณาจากสามประเด็น ได้แก่ แนวคิดคณิตศาสตร์ที่ปรากฏในกิจกรรม หน้าที่ของแนวคิดนั้นในการทำความเข้าใจหรือแก้ปัญหาวิทยาศาสตร์ และหลักฐานการเรียนรู้ที่แผนกำหนดให้ผู้เรียนแสดง การพิจารณาดังกล่าวช่วยอธิบายลักษณะการออกแบบแผนได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยยังคงแยกจากการประเมินว่าความสามารถทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียนเปลี่ยนแปลงไปเพียงใด ซึ่งต้องใช้เครื่องมือและข้อมูลการประเมินโดยตรง

ความสอดคล้องขององค์ประกอบและคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้

หลักความสอดคล้องเชิงสร้างสรรค์ (constructive alignment) ของ Biggs (1996) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ และการประเมิน โดยจุดประสงค์ควรระบุความเข้าใจหรือการปฏิบัติที่ต้องการให้เกิดขึ้น กิจกรรมต้องเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงการปฏิบัตินั้น และการประเมินต้องตรวจสอบได้ตรงกับจุดประสงค์ แม้กรอบดังกล่าวพัฒนาขึ้นในบริบทอุดมศึกษา แต่ในการศึกษาครั้งนี้นำหลักความสอดคล้องมาใช้เป็นกรอบอธิบายความสัมพันธ์ภายในแผนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ตัวอย่างเช่น หากจุดประสงค์กำหนดให้ผู้เรียนใช้ข้อมูลเชิงปริมาณประกอบการออกแบบ กิจกรรมและการประเมินก็ควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงข้อมูล วิธีคำนวณ และเหตุผลในการตัดสินใจ

การประเมินคุณภาพของแผนยังต้องระบุขอบเขตของหลักฐานให้ชัดเจน Nieveen (1999) เสนอกรอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการศึกษาที่ครอบคลุมความตรง (validity) ความสามารถในการนำไปใช้ได้จริง (practicality) และประสิทธิผล (effectiveness) รวมถึงให้ความสำคัญกับการประเมินเพื่อปรับปรุงระหว่างพัฒนา กรอบนี้ช่วยให้เห็นว่าความเหมาะสมตามการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ การใช้งานในชั้นเรียน และผลที่เกิดกับผู้เรียนเป็นประเด็นที่ต้องอาศัยหลักฐานต่างกัน ผลประเมินของผู้เชี่ยวชาญจึงควรตีความตามรายการและเกณฑ์ที่ใช้ โดยไม่ขยายความเป็นข้อยืนยันประสิทธิผลต่อผู้เรียนทั้งหมด

สำหรับงานวิจัยนี้ การตรวจสอบคุณภาพครอบคลุมสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อ และการวัดและประเมินผล โดยให้ความสำคัญกับความถูกต้อง ความชัดเจน ความเหมาะสมกับผู้เรียน และความสอดคล้องระหว่างองค์ประกอบ ส่วนการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ใช้เป็นประเด็นในการอธิบายลักษณะของกิจกรรมตามที่ปรากฏจริงในแผน การประเมินจึงมุ่งให้ได้หลักฐานด้านคุณภาพของการออกแบบตามวัตถุประสงค์การวิจัย พร้อมระบุประเด็นที่ควรปรับปรุงก่อนนำไปใช้หรือศึกษาผลต่อผู้เรียนต่อไป

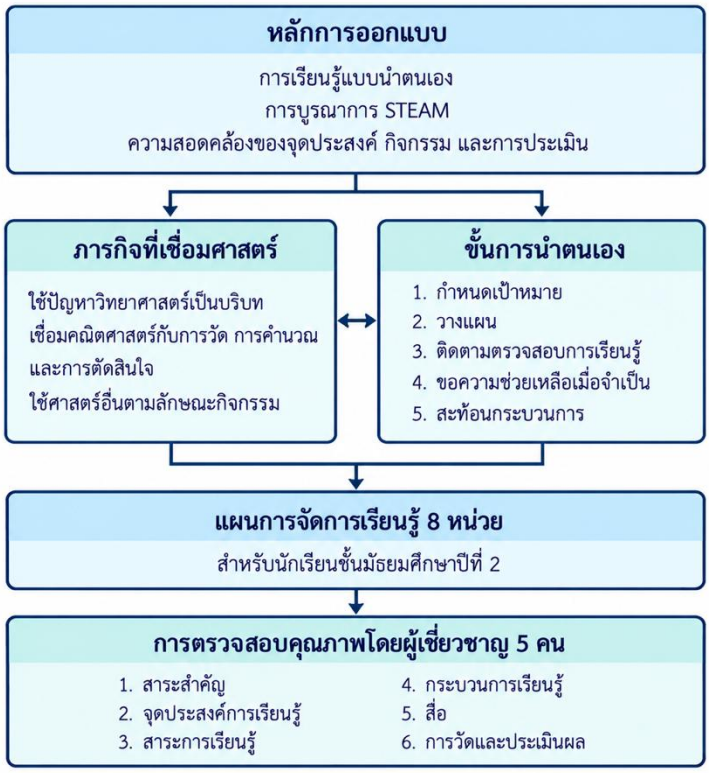
กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้กำหนดกรอบแนวคิดโดยเชื่อมโยงหลักการเรียนรู้แบบนำตนเอง แนวคิดการบูรณาการ STEAM และหลักความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ กิจกรรม และการประเมิน เพื่ออธิบายการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ หลักการเรียนรู้แบบนำตนเองให้ความสำคัญกับการจัดการตนเอง การติดตามตรวจสอบการเรียนรู้ และแรงจูงใจของผู้เรียน (Garrison, 1997) ขณะที่แนวคิด STEAM เป็นฐานสำหรับพิจารณาบทบาทและความสัมพันธ์ของศาสตร์ที่ผู้เรียนใช้ในการปฏิบัติภารกิจ

(Quigley et al., 2017) ส่วนหลักความสอดคล้องเชิงสร้างสรรค์ใช้ประกอบการพิจารณาว่าจุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรม และวิธีประเมินเชื่อมโยงกันอย่างเหมาะสมหรือไม่ (Biggs, 1996)

หลักการดังกล่าวเชื่อมโยงกับการกำหนดภารกิจในแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้เนื้อหาและปัญหาทางวิทยาศาสตร์เป็นบริบท และกำหนดบทบาทของคณิตศาสตร์ในการวัด คำนวณ แสดงข้อมูล หรือพิจารณาความสัมพันธ์เชิงปริมาณตามลักษณะกิจกรรม เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และศิลปะมีส่วนสนับสนุนการสืบค้น การออกแบบ การสร้างสรรค์ และการนำเสนอผลงานตามที่ปรากฏจริงในแต่ละแผน

ภารกิจที่เชื่อมศาสตร์กำหนดความรู้และการปฏิบัติที่ผู้เรียนต้องใช้ ส่วนโครงสร้างกิจกรรมการนำตนเองห้าขั้นที่กำหนดในงานวิจัยจัดโอกาสให้ผู้เรียนกำหนดทิศทาง วางแผน ตรวจสอบ ขอความช่วยเหลือ และสะท้อนการทำงาน ทั้งสองส่วนประกอบกันเป็นลักษณะการออกแบบแผนทั้งแปดหน่วย ซึ่งได้รับการประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญตามองค์ประกอบหกด้าน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้แบบนำตนเองตามแนวคิด STEAM ที่เชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Research) มุ่งพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้แบบนำตนเองตามแนวคิด STEAM ที่เชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 และตรวจสอบคุณภาพของแผนโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยรายงานระยะพัฒนาและประเมินคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ผู้ให้ข้อมูลและบริบทการพัฒนา

การพัฒนาแผนดำเนินการในบริบทโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา จังหวัดลำปาง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาลำปาง เขต 1–3 ผู้ร่วมพัฒนาประกอบด้วยผู้วิจัย ศึกษานิเทศก์จำนวน 3 คน ผู้บริหารสถานศึกษาจำนวน 29 คน และครูผู้สอนจำนวน 29 คน โดยศึกษานิเทศก์มีบทบาทในการคัดเลือกโรงเรียนและให้คำแนะนำเบื้องต้น ผู้บริหารสถานศึกษามีบทบาทในการสนับสนุนการใช้งานรูปแบบการสอนที่พัฒนาขึ้น และครูผู้สอนมีบทบาทหลักในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ สื่อการจัดการเรียนรู้ รวมไปถึงการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลและข้อพิจารณาจากผู้ร่วมพัฒนาเพื่อจัดทำโครงสร้างแผน จุดประสงค์ ภารกิจ สื่อ และการประเมินให้สัมพันธ์กับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 การดำเนินงานในระยะพัฒนาและประเมินความเหมาะสมที่รายงานในการวิจัยนี้อยู่ระหว่างพฤศจิกายน 2565 ถึงมีนาคม 2567

ผู้ให้ข้อมูลในการประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้เป็นผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน คัดเลือกโดยจากความเชี่ยวชาญ ผู้เชี่ยวชาญมีความเชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและการสอน ด้านการจัดการเรียนรู้แบบนำตนเอง ด้านการจัดการเรียนรู้ตามแนว STEAM ด้านการสอนวิทยาศาสตร์ และด้านการสอนคณิตศาสตร์ และมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้ ทำหน้าที่ประเมินความเหมาะสมของแผนและสื่อประกอบครอบคลุม 8 หน่วยการเรียนรู้ ตามรายการประเมินด้านสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อ และการวัดและประเมินผล

การตรวจสอบความสอดคล้องของรายการในแบบประเมินดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ซึ่งเป็นบุคคลกลุ่มเดียวกันกับผู้ประเมินแผนทั้งหมด ส่วนความสัมพันธ์กับกระบวนการพัฒนาแผน ผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินแผนไม่มีส่วนร่วมพัฒนาแผน โดยการตรวจสอบรายการของแบบประเมินและการประเมินแผนเป็นการพิจารณาคนละส่วน คือความสอดคล้องของเครื่องมือกับประเด็นที่ต้องการประเมิน และความเหมาะสมของแผนตามรายการในเครื่องมือนั้น ตามลำดับ

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ คุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้แบบนำตนเองตามแนวคิด STEAM ที่เชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยประเมินความเหมาะสมของแผนจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ครอบคลุมด้านสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อ และการวัดและประเมินผล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการแผนการจัดการเรียนรู้และประเมินคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย

1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบนำตนเองตามแนวคิด STEAM

แผนการจัดการเรียนรู้ครอบคลุมเนื้อหาวิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 8 หน่วย ได้แก่ 1) ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ 2) สารละลาย 3) ร่างกายมนุษย์ 4) การเคลื่อนที่และแรง 5) งานและพลังงาน 6) การแยกสารและการนำไปใช้ 7) โลกและการเปลี่ยนแปลง และ 8) ทรัพยากร

พลังงาน โดยจัดองค์ประกอบของแผนให้ครอบคลุมมาตรฐานและตัวชี้วัด สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กิจกรรม สื่อและแหล่งเรียนรู้ ตลอดจนการวัดและประเมินผล ซึ่งครอบคลุม 8 หน่วยการเรียนรู้ ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วยจำนวนรวม 8 แผน ใช้เวลาเรียนของแต่ละหน่วย 3-6 ชั่วโมง ดังนั้น ผลการประเมินที่รายงานจำแนกตามหน่วยการเรียนรู้จึงหมายถึงผลการพิจารณาความเหมาะสมในด้านสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อการจัดการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผล สื่อการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วยเอกสาร ใบงาน คลิปวิดีโอ สื่อนำเสนอ และแหล่งข้อมูลบนเว็บไซต์ โดยจัดเตรียมตามภารกิจของแต่ละหน่วย และกิจกรรมในแผนใช้กระบวนการนำตนเองห้าขั้น ได้แก่ การกำหนดเป้าหมาย การวางแผน การติดตามตรวจสอบการเรียนรู้ การขอความช่วยเหลือเมื่อจำเป็น และการสะท้อนกระบวนการ โดยเชื่อมโยงความรู้ตามแนวคิด STEAM ผ่านภารกิจที่กำหนดในแต่ละหน่วย บทบาทของคณิตศาสตร์พิจารณาจากกิจกรรมที่ปรากฏจริง เช่น การคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย การวัดและกำหนดขนาดชิ้นงาน และการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณประกอบการตัดสินใจ โดยมีสื่อประกอบการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วยเอกสาร ใบงาน คลิปวิดีโอ สื่อนำเสนอ และแหล่งข้อมูลบนเว็บไซต์ ซึ่งผู้วิจัยและครูผู้สอนร่วมกันพัฒนาและจัดเตรียมให้สัมพันธ์กับกิจกรรมของแต่ละหน่วย

2) แบบประเมินคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้

แบบประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 30 ข้อ ครอบคลุม 6 ด้าน ได้แก่ สาระสำคัญ 5 ข้อ จุดประสงค์การเรียนรู้ 6 ข้อ สาระการเรียนรู้ 4 ข้อ กระบวนการเรียนรู้ 5 ข้อ สื่อการจัดการเรียนรู้ 5 ข้อ และการวัดและประเมินผล 5 ข้อ รายการประเมินพิจารณาความสอดคล้องระหว่างองค์ประกอบ ความชัดเจน ความเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน และลักษณะกิจกรรมตามประเด็นที่กำหนดในแบบประเมิน โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนกำหนดให้ 5 หมายถึง มีความเหมาะสมมากที่สุด 4 หมายถึง มีความเหมาะสมมาก 3 หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง 2 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย และ 1 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อยที่สุด การสร้างแบบประเมินเริ่มจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง กำหนดประเด็นและรายการประเมิน แล้วเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คนตรวจสอบความสอดคล้องของรายการกับประเด็นที่ต้องการประเมิน โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item–Objective Congruence: IOC) กำหนดการให้คะแนนเป็น -1, 0, 1 และใช้เกณฑ์ยอมรับรายข้ออยู่ระหว่าง 0.80-1.00 ผลการตรวจสอบรายการจำนวน 40 ข้อ พบค่า IOC รายข้อระหว่าง 0.67–1.00 มีรายการผ่านเกณฑ์จำนวน 32 ข้อ ส่วนรายการที่ต้องแก้ไขได้รับการการแก้ไขและดำเนินการประเมินซ้ำจนได้รายการผ่านเกณฑ์จำนวน 36 ข้อ โดยแบบประเมินฉบับที่นำไปใช้ประเมินแผนประกอบด้วย 30 ข้อ

การดำเนินการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล

การดำเนินงานแบ่งเป็นสามส่วน ดังนี้

1) การศึกษาและออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้

ผู้วิจัยศึกษาเนื้อหา มาตรฐานและตัวชี้วัดของรายวิชาวิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 รวมถึงแนวคิดการเรียนรู้แบบนำตนเองและ STEAM จากนั้นร่วมกับผู้เกี่ยวข้องพิจารณาเนื้อหาและกิจกรรมที่เหมาะสมกับ

บริบทโรงเรียน เพื่อกำหนดโครงสร้างของแผน จุดประสงค์ ภารกิจ สื่อ และการประเมินให้สัมพันธ์กัน โดยการพิจารณาโครงสร้างแผนร่วมกับผู้เกี่ยวข้องดำเนินการผ่านการพิจารณาเอกสารและการประชุม จำนวน 3 ครั้ง ประเด็นที่พิจารณาครอบคลุมการออกแบบกระบวนการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการเรียนรู้แบบนำตนเองที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนว STEAM และนำข้อพิจารณาดังกล่าวไปกำหนดสื่อการจัดการเรียนรู้ จากนั้นผู้วิจัยและครูผู้สอนจัดทำรายละเอียดกิจกรรมตามโครงสร้างการนำตนเอง 5 ขั้นและเตรียมสื่อการจัดการเรียนรู้ประกอบของแต่ละหน่วย

2) การพัฒนาแผนและสื่อประกอบ

ผู้วิจัยและครูผู้สอนจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 8 หน่วย โดยกำหนดกิจกรรมตามกระบวนการนำตนเองห้าขั้น และจัดเตรียมสื่อประกอบตามลักษณะของแต่ละภารกิจ การพัฒนาสื่อดำเนินการผ่านการวิเคราะห์เนื้อหาและกิจกรรม ออกแบบโครงสร้างและองค์ประกอบของสื่อ และพัฒนาเป็นเอกสารหรือสื่อดิจิทัลสำหรับสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ และในการพัฒนาแผน ผู้วิจัยใช้กิจกรรมการนำตนเองห้าขั้นเป็นโครงสร้างร่วมสำหรับจัดลำดับกิจกรรมทั้งแปดหน่วย โดยกำหนดการปฏิบัติของผู้เรียนให้สัมพันธ์กับภารกิจของแต่ละหน่วย ตั้งแต่การระบุเป้าหมายและวางแผนดำเนินงาน การตรวจสอบความก้าวหน้าและปัญหา การขอความช่วยเหลือเมื่อจำเป็น จนถึงการพิจารณาผลการทำงานและแนวทางปรับปรุง โครงสร้างห้าขั้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบแผนในการวิจัย ส่วนการเชื่อมโยงกับองค์ประกอบการนำตนเองของ Garrison (1997) ใช้เป็นคำอธิบายเชิงแนวคิดของโครงสร้างกิจกรรม โดยการประเมินแผนในงานวิจัยนี้รายงานความเหมาะสมตามรายการประเมินหกด้าน และไม่ได้เป็นการทดสอบความตรงของโครงสร้างกิจกรรมห้าขั้นโดยเฉพาะ นอกจากนี้ การอธิบายการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ในงานวิจัยนี้พิจารณาจากจุดประสงค์ คำสั่งกิจกรรม และภารกิจที่กำหนดไว้ในแผน โดยระบุแนวคิดคณิตศาสตร์และหน้าที่ของแนวคิดนั้นในการปฏิบัติงานของผู้เรียน การนำเสนอส่วนนี้เป็นการอธิบายลักษณะของแผนที่พัฒนาขึ้น ไม่ได้กำหนดเป็นคะแนนประเมินด้านคณิตศาสตร์เพิ่มเติมจากแบบประเมินเดิม

3) การตรวจสอบคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้

ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้และสื่อประกอบเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คนประเมินคุณภาพตามองค์ประกอบหกด้าน จากนั้นรวบรวมผลการประเมินเพื่อนำมาสรุปคุณภาพรายข้อ รายด้าน และรายแผน รวมถึงพิจารณาประเด็นที่ควรปรับปรุงจากข้อเสนอแนะที่มีหลักฐานบันทึกไว้ การรายงานผลแยกคะแนนประเมินคุณภาพออกจากคำอธิบายลักษณะกิจกรรม เพื่อให้สามารถตรวจสอบที่มาของข้อค้นพบแต่ละส่วนได้

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลคะแนนประเมินคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้วิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำเสนอผลตามรายการประเมิน องค์ประกอบแต่ละด้าน และแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละหน่วย โดยการแปลผลค่าเฉลี่ยความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้กำหนดเกณฑ์ดังนี้ ค่าเฉลี่ย 4.51–5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 3.51–4.50 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับมาก ค่าเฉลี่ย 2.51–3.50 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย 1.51–2.50 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับน้อย และค่าเฉลี่ย 1.00–1.50 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับน้อยที่สุด และข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบและ

กิจกรรมของแผนนำเสนอเชิงพรรณนา เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาวิทยาศาสตร์ บทบาทของคณิตศาสตร์ ภารกิจ และขั้นการนำตนเอง ส่วนข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญนำมาสรุปตามประเด็นที่ปรากฏในบันทึกต้นฉบับ

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยใช้แสดงระดับความเหมาะสมของรายการประเมิน องค์ประกอบแต่ละด้าน และหน่วยการเรียนรู้ สำหรับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรายข้อ คำนวณจากคะแนนของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรายด้านคำนวณจากคะแนนเฉลี่ยของด้านนั้นที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรายหน่วยคำนวณจากคะแนนเฉลี่ยทั้ง 30 ข้อของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน โดยใช้สูตรส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่รายงานคู่กันจึงอ้างถึงคะแนนระดับเดียวกัน

จริยธรรมการวิจัย

การพิจารณาจริยธรรมของการวิจัยนี้มีสถานะแบบยกเว้น โดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ หมายเลขรับรอง IRBCMRU 2023/293.29.08 การแจ้งวัตถุประสงค์ขั้นตอน และการใช้ข้อมูลแก่ผู้ให้ข้อมูลดำเนินการโดยเอกสารการเข้าร่วมและมีการประชุมชี้แจงแบบปากเปล่า ผู้วิจัยจัดเก็บแบบประเมินและข้อมูลระบุตัวบุคคลด้วยวิธีให้รหัสสมมติ ส่วนการนำเสนอผลใช้วิธีปกปิดข้อมูลระบุตัวบุคคลที่ดำเนินการจริง

สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้แบบนำตนเองตามแนวคิด *STEAM* ที่เชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ ได้แผนการจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 8 หน่วย ได้แก่ 1) ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ 2) สารละลาย 3) ร่างกายมนุษย์ 4) การเคลื่อนที่และแรง 5) งานและพลังงาน 6) การแยกสารและการนำไปใช้ 7) โลกและการเปลี่ยนแปลง และ 8) ทรัพยากรพลังงาน แต่ละแผนประกอบด้วยมาตรฐานและตัวชี้วัด สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กิจกรรม สื่อและแหล่งเรียนรู้ ตลอดจนการวัดและประเมินผล

แผนการจัดการเรียนรู้กำหนดกิจกรรมตามกระบวนการนำตนเอง 5 ขั้น ได้แก่ การกำหนดเป้าหมาย การวางแผน การติดตามตรวจสอบการเรียนรู้ การขอความช่วยเหลือเมื่อจำเป็น และการสะท้อนกระบวนการ โดยครูนำเสนอสถานการณ์หรือภารกิจและจัดทรัพยากรสนับสนุน ส่วนผู้เรียนมีบทบาทในการสืบค้นข้อมูล วางแผน ดำเนินงาน ตรวจสอบปัญหา และนำเสนอผลงานตามกิจกรรมของแต่ละหน่วย สื่อประกอบมีทั้งเอกสาร ใบงาน คลิปวิดีโอ สื่อนำเสนอ และแหล่งเรียนรู้บนเว็บไซต์ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เอกสาร ใบงาน คลิปวิดีโอ สื่อนำเสนอ และแหล่งเรียนรู้บนเว็บไซต์

การเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ปรากฏผ่านการใช้ปริมาณ การวัด การคำนวณ และการพิจารณาเงื่อนไขในการปฏิบัติภารกิจ ตัวอย่างที่แสดงความเชื่อมโยงดังกล่าว ได้แก่ การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายสำหรับทำผ้ามัดย้อม การพิจารณาปริมาณสิ่งของที่สะเปาสามารถบรรทุกได้ภายใต้เงื่อนไขด้านงบประมาณ และการใช้การวัดและเรขาคณิตในการสร้างชิ้นงานเรื่องงานและพลังงาน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ภารกิจและการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ในแผนการจัดการเรียนรู้

หน่วยการเรียนรู้	ภารกิจที่กำหนดในแผน	การเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์
1. ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์	ออกแบบและสร้างแบบจำลองสิ่งมีชีวิตหรือสิ่งไม่มีชีวิตจากวัสดุธรรมชาติที่หาได้ในท้องถิ่น พร้อมนำเสนอและอภิปรายการเลือกวัสดุและขั้นตอนสร้างชิ้นงาน	ใช้การคำนวณขนาดและพิจารณารูปแบบของชิ้นงานร่วมกับการสังเกตลักษณะของสิ่งมีชีวิต สิ่งไม่มีชีวิต และวัสดุธรรมชาติ เพื่อกำหนดรายละเอียดของแบบจำลองให้สัมพันธ์กับสิ่งที่ต้องการนำเสนอ
2. สารละลาย	ออกแบบและทำผ้ามัดย้อมโดยใช้สีจากดอกอัญชัน	กำหนดและคำนวณความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการทำผ้ามัดย้อม เชื่อมกับเนื้อหาร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตรต่อปริมาตร และมวลต่อมวล
3. ร่างกายมนุษย์	ออกแบบและสร้างแผ่นกรองหรือหน้ากากจากวัสดุในท้องถิ่นภายใต้สถานการณ์ปัญหาฝุ่น PM 2.5	ใช้การคำนวณขนาดและพิจารณารูปแบบของแผ่นกรองหรือหน้ากากร่วมกับความรู้เรื่องระบบหายใจและสมบัติของวัสดุ เพื่อ

หน่วยการเรียนรู้	ภารกิจที่กำหนดในแผน	การเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์
	พร้อมพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุและปรับปรุงชิ้นงาน	ประกอบการออกแบบชิ้นงานตามเงื่อนไขของภารกิจ
4. การเคลื่อนที่และแรง	ออกแบบและสร้างสะเปาสำหรับบรรทุกสิ่งของ	พิจารณาปริมาณสิ่งของที่บรรทุกได้และความคุ้มค่าของงบประมาณร่วมกับความรู้เรื่องแรงพยุงและการลอยตัว
5. งานและพลังงาน	ออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาตามสถานการณ์และวัสดุที่กำหนด	ใช้การวัด การคำนวณ และเรขาคณิตเกี่ยวกับพื้นที่ ความสูง และรูปร่างของชิ้นงานร่วมกับความรู้วิทยาศาสตร์และการออกแบบเชิงวิศวกรรม
6. การแยกสารและการนำไปใช้	ออกแบบวิธีสกัดสีจากพืชในชุมชนโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ให้ได้สีเข้มข้นและมีปริมาตรอย่างน้อย 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำสารที่สกัดได้ให้เป็นผง	ระบุอัตราส่วนของพืชกับตัวทำละลายและปริมาณสารที่สกัดได้เทียบกับส่วนของพืชที่ใช้ ร่วมกับความรู้เรื่องการสกัดด้วยตัวทำละลายและการแยกสาร โดยใช้ปริมาณพืชเท่ากันตามเงื่อนไขกิจกรรมเพื่อประกอบการเปรียบเทียบวิธีดำเนินงาน
7. โลกและการเปลี่ยนแปลง	ออกแบบ สร้าง และทดสอบแบบจำลองกำแพงป้องกันชายฝั่งให้ทนต่อแรงปะทะของกระแสน้ำได้มากและนานที่สุด แล้วปรับปรุงชิ้นงานจากผลการทดสอบ	ใช้การเปรียบเทียบระยะเวลาความทนทานและผลการทดสอบกับสิ่งที่คาดการณ์ไว้ร่วมกับความรู้เรื่องการกัดเซาะชายฝั่งและการป้องกันผลกระทบของกระแสน้ำ เพื่อพิจารณาแนวทางปรับปรุงแบบจำลอง
8. ทรัพยากรพลังงาน	ออกแบบกังหันลมและอธิบายหลักการทำงาน ประโยชน์ และการใช้ความรู้แต่ละศาสตร์ในการประดิษฐ์ตามใบงาน	ใช้การคำนวนในการประดิษฐ์กังหันลมควบคู่กับหลักวิทยาศาสตร์และหลักการทำงานของกังหันลม

จากตารางที่ 1 คณิตศาสตร์มีบทบาทเป็นส่วนหนึ่งของการกำหนดรายละเอียดและพิจารณาความเป็นไปได้ของวิธีแก้ปัญหา ขณะที่วิทยาศาสตร์เป็นฐานสำหรับอธิบายปรากฏการณ์และเงื่อนไขของภารกิจ ส่วนศาสตร์อื่นมีส่วนสนับสนุนการสืบค้น การออกแบบ การสร้างสรรค์ และการนำเสนอผลงานตามลักษณะกิจกรรม ทั้งนี้ ตารางดังกล่าวแสดงลักษณะของกิจกรรมที่ออกแบบไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้

ผลการประเมินคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้โดยผู้เชี่ยวชาญ

1) ผลการประเมินคุณภาพรายแผน

ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 8 หน่วยมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยรายแผนระหว่าง 4.59–4.67 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วย

แผนการจัดการเรียนรู้	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์	4.62	0.49	มากที่สุด
2. สารละลาย	4.67	0.44	มากที่สุด
3. ร่างกายมนุษย์	4.59	0.48	มากที่สุด
4. การเคลื่อนที่และแรง	4.63	0.45	มากที่สุด
5. งานและพลังงาน	4.59	0.55	มากที่สุด
6. การแยกสารและการนำไปใช้	4.62	0.55	มากที่สุด
7. โลกและการเปลี่ยนแปลง	4.60	0.50	มากที่สุด
8. ทรัพยากรพลังงาน	4.64	0.51	มากที่สุด

ผลการประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 8 หน่วยมีความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยรายหน่วยระหว่าง 4.59–4.67 หน่วยสารละลายมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 4.67 รองลงมาคือหน่วยทรัพยากรพลังงาน มีค่าเฉลี่ย 4.64 และหน่วยการเคลื่อนที่และแรง มีค่าเฉลี่ย 4.63 ส่วนหน่วยร่างกายมนุษย์และหน่วยงานและพลังงานมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากันที่ 4.59

ผลการประเมินคุณภาพจำแนกตามองค์ประกอบของแผน

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบหกด้าน พบว่าด้านสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ และสื่อมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุดทุกแผน ส่วนด้านสาระการเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด ช่วงค่าเฉลี่ยรายด้านของแผนทั้ง 8 หน่วยแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ช่วงค่าเฉลี่ยความเหมาะสมรายด้านของแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 8 หน่วย

ด้านที่ประเมิน	ช่วงค่าเฉลี่ยระหว่างแผน	ระดับความเหมาะสมที่พบ	แผนที่ได้รับการประเมินในระดับมาก
สาระสำคัญ	4.56–4.80	มากที่สุด	—
จุดประสงค์การเรียนรู้	4.57–4.77	มากที่สุด	—
สาระการเรียนรู้	4.45–4.70	มาก–มากที่สุด	แผนที่ 7
กระบวนการเรียนรู้	4.44–4.76	มาก–มากที่สุด	แผนที่ 1 และ 3
สื่อการจัดการเรียนรู้	4.52–4.76	มากที่สุด	—
การวัดและประเมินผล	4.44–4.72	มาก–มากที่สุด	แผนที่ 3, 4, 5 และ 6

หมายเหตุ ช่วงค่าเฉลี่ยในตารางแสดงค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่าเฉลี่ยรายด้านระหว่างแผนทั้ง 8 หน่วย

จากตารางที่ 3 ด้านสาระสำคัญมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.56–4.80 ด้านจุดประสงค์การเรียนรู้ระหว่าง 4.57–4.77 และด้านสื่อระหว่าง 4.52–4.76 ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุดทุกแผน สำหรับองค์ประกอบที่มีผล

ประเมินระดับมาก พบว่าด้านสาระการเรียนรู้ของแผนที่ 7 มีค่าเฉลี่ย 4.45 ด้านกระบวนการเรียนรู้ของแผนที่ 1 และ 3 มีค่าเฉลี่ย 4.44 และ 4.48 ตามลำดับ ส่วนด้านการวัดและประเมินผลของแผนที่ 3, 4, 5 และ 6 มีค่าเฉลี่ย 4.48, 4.44, 4.48 และ 4.48 ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า แม้ผลประเมินรายแผนทั้งหมดอยู่ในระดับมากที่สุด แต่ความเหมาะสมขององค์ประกอบภายในแผนยังมีความแตกต่างกัน

อภิปรายผลการวิจัย

จากพัฒนาและประเมินคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้แบบนำตนเองตามแนวคิด STEAM ที่เชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ สามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

1. ผลการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 8 หน่วยแสดงให้เห็นการจัดโครงสร้างกิจกรรมที่เชื่อมเนื้อหาวิทยาศาสตร์กับภารกิจการสืบค้น ออกแบบ และสร้างสรรค์ผลงาน โดยกำหนดบทบาทของศาสตร์ที่เกี่ยวข้องตามลักษณะของแต่ละกิจกรรม ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับกรอบของ Quigley et al. (2017) ซึ่งให้ความสำคัญกับการจัดการเรียนรู้ผ่านปัญหา การบูรณาการศาสตร์ และกระบวนการแก้ปัญหา ประเด็นสำคัญของแผนที่พัฒนาขึ้นจึงอยู่ที่การกำหนดว่าผู้เรียนต้องใช้ความรู้ใดในการดำเนินภารกิจ และความรู้นั้นสัมพันธ์กับการปฏิบัติงานอย่างไร การอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวช่วยให้ครูเห็นแนวทางนำเนื้อหาวิชามาใช้ในการจัดกิจกรรมได้ชัดเจนกว่าการระบุชื่อศาสตร์ไว้ในแผนเพียงอย่างเดียว

การเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ปรากฏอย่างเป็นรูปธรรมในกิจกรรมบางหน่วย เช่น การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายสำหรับทำผ้ามัดย้อม การพิจารณาปริมาณสิ่งของที่สะเปาสามารถบรรทุกได้ และการใช้การวัดกับเรขาคณิตในการออกแบบชิ้นงาน คณิตศาสตร์ในกิจกรรมเหล่านี้จึงมีหน้าที่ประกอบการกำหนดรายละเอียดและตัดสินใจภายใต้เงื่อนไขของปัญหาวิทยาศาสตร์ การพิจารณาบทบาทเช่นนี้สัมพันธ์กับข้อเสนอของ Salonen et al. (2026) ที่ให้ความสำคัญกับการทำให้บทบาทของแต่ละศาสตร์ใน STEAM ปรากฏชัด ทั้งในฐานะเนื้อหาที่เรียนรู้และวิธีการดำเนินงาน อย่างไรก็ตาม ความชัดเจนของการบูรณาการควรพิจารณาเป็นรายกิจกรรม เพราะการมีองค์ประกอบ STEAM ครบในระดับแผนไม่ได้หมายความว่าทุกศาสตร์มีส่วนต่อภารกิจเท่ากัน

เมื่อพิจารณาด้านคณิตศาสตร์เพิ่มเติม การกำหนดให้ผู้เรียนวัดหรือคำนวณเป็นจุดเริ่มต้นของการเชื่อมโยงศาสตร์ แต่คุณค่าทางการเรียนรู้ยังขึ้นอยู่กับคำถามและระดับการคิดที่ภารกิจเปิดโอกาสให้ผู้เรียนใช้ Forde et al. (2023) พบว่าภาระงานคณิตศาสตร์ในบทเรียน STEM ที่ศึกษาส่วนใหญ่ยังมีความต้องการทางการคิดระดับต่ำ ข้อค้นพบดังกล่าวเป็นข้อพิจารณาสำหรับแผนที่พัฒนาขึ้นว่า ควรตรวจสอบควบคู่กันระหว่างความถูกต้องของการคำนวณกับโอกาสในการอธิบายเหตุผล เช่น เหตุใดจึงเลือกความเข้มข้นหรือขนาดชิ้นงานนั้น และข้อมูลใดสนับสนุนการตัดสินใจ การพัฒนาแผนในระยะต่อไปจึงควรทำให้หลักฐานการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ปรากฏชัดในคำสั่งกิจกรรมและเกณฑ์ประเมิน ส่วนผลการวิจัยครั้งนี้สนับสนุนข้อสรุปด้านลักษณะการออกแบบกิจกรรม โดยยังต้องมีข้อมูลจากการปฏิบัติจริงเพื่อประเมินระดับการคิดของผู้เรียน

การจัดกิจกรรมผ่านขั้นการนำตนเองห้าขั้นช่วยทำให้บทบาทของผู้เรียนปรากฏตลอดกระบวนการทำงาน ตั้งแต่การทำความเข้าใจเป้าหมาย วางแผน ตรวจสอบความก้าวหน้า ขอความช่วยเหลือ และสะท้อนกระบวนการ รูปแบบนี้สามารถอธิบายผ่านกรอบของ Garrison (1997) ที่เชื่อมการจัดการตนเอง การติดตาม

ตรวจสอบการเรียนรู้ และแรงจูงใจเข้าด้วยกัน โดยขั้นการวางแผนสัมพันธ์กับการจัดการเงื่อนไขและทรัพยากร ส่วนการติดตามและสะท้อนผลสัมพันธ์กับการพิจารณาความเข้าใจและวิธีดำเนินงานของตนเอง ทั้งนี้ ห้าขั้นที่ใช้ในแผนเป็นการกำหนดกระบวนการกิจกรรมของงานวิจัย มิใช่ขั้นตอนที่ Garrison เสนอโดยตรง นัยต่อการนำไปใช้คือครูควรจัดคำถามและการช่วยเหลือให้เหมาะกับความพร้อมของผู้เรียน เพื่อให้การมีส่วนตัดสินใจเกิดขึ้นได้ภายในภารกิจที่มีโครงสร้างสนับสนุน

2. ผลการประเมินรายแผนที่อยู่ในระดับมากที่สุดทั้ง 8 หน่วย โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.59–4.67 สะท้อนการประเมินเชิงบวกต่อความเหมาะสมของแผนตามองค์ประกอบที่กำหนด โดยเฉพาะด้านสาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ และสื่อ ซึ่งได้รับการประเมินในระดับมากที่สุดทุกแผน ผลดังกล่าวอาจอธิบายได้จากลักษณะของแผนที่กำหนดเนื้อหา เป้าหมาย กิจกรรม และทรัพยากรประกอบไว้อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม คะแนนประเมินเพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถระบุได้ว่าองค์ประกอบใดเป็นสาเหตุให้แผนได้รับคะแนนสูง การตีความจึงควรพิจารณาร่วมกับรายละเอียดของแผนและรายการประเมิน ภายใต้หลักความสอดคล้องเชิงสร้างสรรค์ของ Biggs (1996) ซึ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ต้องการให้ผู้เรียนเรียนรู้ กิจกรรมที่เปิดโอกาสให้แสดงการเรียนรู้นั้น และวิธีประเมินที่สอดคล้องกัน

แม้ผลประเมินรายแผนอยู่ในระดับมากที่สุด แต่ผลรายด้านแสดงประเด็นที่ควรพิจารณาต่อ โดยด้านกระบวนการเรียนรู้ของแผนที่ 1 และ 3 อยู่ในระดับมาก และด้านการวัดและประเมินผลของแผนที่ 3, 4, 5 และ 6 อยู่ในระดับมากเช่นกัน ลักษณะนี้แสดงประโยชน์ของการรายงานผลจำแนกตามองค์ประกอบ เพราะค่าเฉลี่ยรายแผนอาจทำให้รายละเอียดที่ยังพัฒนาได้ปรากฏไม่ชัด ประเด็นสำหรับทบทวนจึงควรครอบคลุมความชัดเจนของลำดับกิจกรรม ความเหมาะสมของเวลา และความสัมพันธ์ระหว่างภารกิจกับหลักฐานที่ใช้ประเมิน โดยเฉพาะกิจกรรมบูรณาการซึ่งผู้เรียนอาจต้องแสดงทั้งความเข้าใจเนื้อหา กระบวนการทำงาน และเหตุผลในการตัดสินใจ อย่างไรก็ตาม การระบุข้อปรับปรุงเฉพาะรายการต้องพิจารณาคะแนนรายข้อและข้อเสนอแนะต้นฉบับประกอบ ไม่ควรอนุมานจากค่าเฉลี่ยรายด้านเพียงอย่างเดียว

ผลการประเมินครั้งนี้ควรตีความเป็นหลักฐานด้านความเหมาะสมของการออกแบบตามการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ Nieveen (1999) แยกคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการศึกษาเป็นความตรง ความสามารถในการนำไปใช้ได้จริง และประสิทธิผล ซึ่งต้องใช้หลักฐานประกอบต่างกัน สำหรับงานวิจัยนี้ คะแนนประเมินช่วยสนับสนุนการพิจารณาคุณภาพของแผนในระยะพัฒนา ขณะที่ความสะดวกในการใช้จริง การดำเนินกิจกรรมได้ตามเงื่อนไขของโรงเรียน และผลต่อการเรียนรู้ยังต้องได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติม นอกจากนี้ แบบประเมินที่ใช้ครอบคลุมองค์ประกอบทั่วไปหกด้าน จึงยังไม่ให้หลักฐานแยกเฉพาะเกี่ยวกับคุณภาพการบูรณาการคณิตศาสตร์หรือระดับความคิดทางคณิตศาสตร์ที่กิจกรรมเรียกร้อง

การประเมินครั้งนี้มีข้อจำกัดด้านขอบเขตของผู้ให้ข้อมูล โดยผลการประเมินสะท้อนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน แม้ผู้เชี่ยวชาญไม่ได้มีส่วนร่วมพัฒนาแผน แต่ข้อค้นพบยังจำกัดอยู่ภายใต้มุมมองและประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญกลุ่มนี้ การนำไปใช้ในบริบทอื่นจึงควรพิจารณาร่วมกับความคิดเห็นของครูผู้ใช้แผนและหลักฐานจากการจัดกิจกรรมจริง นอกจากนี้ การขาดข้อมูลคะแนนที่จำแนกตามผู้เชี่ยวชาญสำหรับตรวจสอบเพิ่มเติมทำให้ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Intraclass

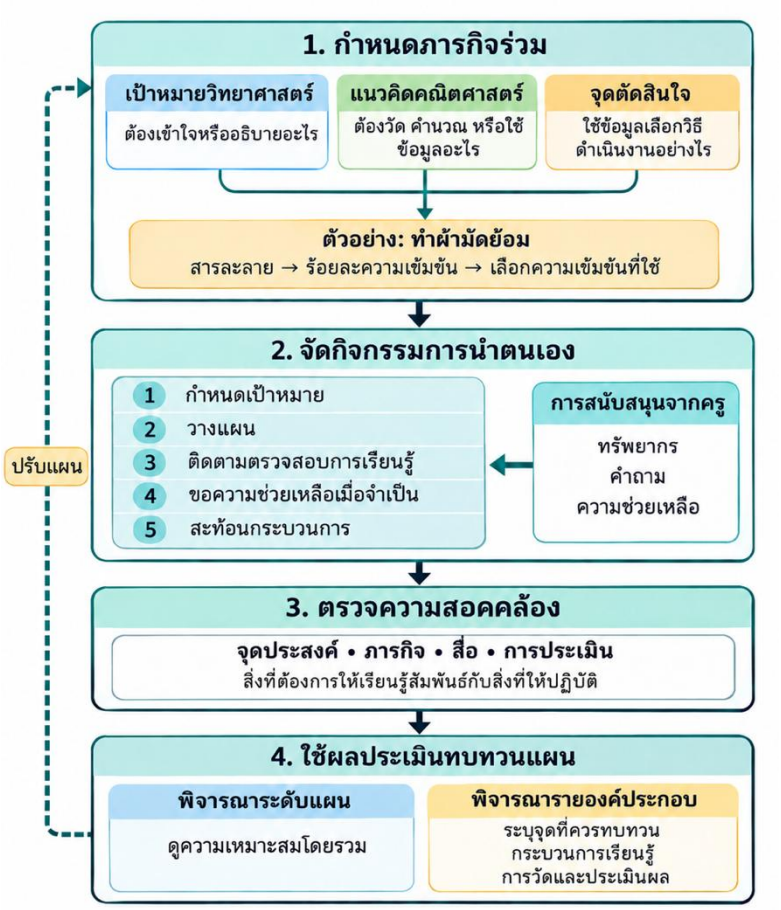
Correlation Coefficient: ICC) ค่าเฉลี่ยความเหมาะสมระดับสูงจึงควรตีความเป็นระดับคะแนนประเมินตามรายการที่กำหนด โดยไม่ใช้แทนหลักฐานยืนยันว่าผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสอดคล้องกัน และข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือค่าเฉลี่ยความเหมาะสมรายหน่วยอยู่ในช่วงสูงและใกล้เคียงกันระหว่าง 4.59–4.67 ซึ่งอาจมีข้อจำกัดในการจำแนกความแตกต่างของแผน การแปลผลจึงควรพิจารณาควบคู่กับคะแนนรายด้านและรายข้อ เพื่อให้เห็นองค์ประกอบที่ยังควรทบทวน ทั้งนี้ ความใกล้เคียงกันของค่าเฉลี่ยอาจเกี่ยวข้องกับความเหมาะสมของแผนที่มีลักษณะร่วมกัน หรือความสามารถของรายการประเมินในการจำแนกรายละเอียดของการออกแบบ แต่ข้อมูลที่รายงานยังไม่เพียงพอสำหรับระบุสาเหตุหรือยืนยันการเกิดภาวะคะแนนกระจุกที่เพดาน การตรวจสอบประเด็นดังกล่าวต้องพิจารณาการแจกแจงคะแนนและสัดส่วนการให้คะแนนสูงสุดเพิ่มเติม

สำหรับขอบเขตการนำผลไปใช้ งานวิจัยนี้รายงานหลักฐานจากการพัฒนาและประเมินความเหมาะสมของแผน โดยไม่ได้รายงานผลการทดลองใช้ในชั้นเรียนเพื่อรองรับข้อสรุปด้านความเป็นไปได้ในการดำเนินกิจกรรมหรือประสิทธิผลต่อผู้เรียน ข้อเสนอเชิงการออกแบบที่ได้จึงควรนำไปตรวจสอบผ่านการทดลองใช้ขนาดเล็กในระยะต่อไป โดยเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความชัดเจนของคำสั่ง เวลาและทรัพยากรที่ใช้ การสนับสนุนที่ผู้เรียนต้องการ และหลักฐานการใช้คณิตศาสตร์กับการนำตนเองระหว่างทำภารกิจ ก่อนศึกษาผลต่อการเรียนรู้หรือขยายการใช้แผนไปยังโรงเรียนที่มีบริบทแตกต่างกัน

ข้อค้นพบของงานวิจัยจึงมีส่วนสนับสนุนการพัฒนาแนวปฏิบัติสำหรับออกแบบแผนที่เชื่อมภารกิจข้ามศาสตร์กับกระบวนการนำตนเอง และแสดงให้เห็นความจำเป็นของการพิจารณาคุณภาพทั้งระดับแผนและระดับองค์ประกอบ ประเด็นนี้สัมพันธ์กับการทบทวนของ Martín-Cudero et al. (2024) ที่เน้นการพัฒนาฐานคิดและแนวปฏิบัติในการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ผ่าน STEAM อย่างต่อเนื่อง การนำแผนไปใช้ในบริบทอื่นจึงควรพิจารณาความพร้อมของผู้เรียน เวลา วัสดุ และทรัพยากรของโรงเรียน พร้อมเก็บหลักฐานจากการดำเนินกิจกรรมเพื่อเชื่อมข้อค้นพบด้านคุณภาพการออกแบบกับความเป็นไปได้ในการใช้และผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจริง

องค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยคือแนวทางการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยง ภารกิจวิทยาศาสตร์ การใช้คณิตศาสตร์ประกอบการตัดสินใจ และกระบวนการนำตนเอง ภายในกิจกรรมเดียวกัน โดยใช้ปัญหาหรือสถานการณ์ทางวิทยาศาสตร์เป็นบริบท กำหนดบทบาทของคณิตศาสตร์ตามความจำเป็นของภารกิจ และจัดขั้นกิจกรรมให้ผู้เรียนมีส่วนรับผิดชอบกระบวนการทำงาน ตัวอย่างเช่น การกำหนดความเข้มข้นของสารละลายสำหรับทำผ้ามัดย้อม การพิจารณาปริมาณสิ่งของที่สะเปาสามารถบรรทุกได้ และการวัดขนาดชิ้นงานภายใต้ข้อจำกัดของวัสดุ ลักษณะดังกล่าวทำให้บทบาทของคณิตศาสตร์ปรากฏผ่านสิ่งที่ผู้เรียนต้องใช้ในการออกแบบและแก้ปัญหาอย่างเป็นรูปธรรม ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โมเดลการออกแบบและทบทวนแผนการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และการนำตนเอง

จากภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบเหล่านี้นำไปสู่ข้อเสนอเชิงออกแบบว่า การกำหนดภารกิจควรระบุให้ชัดทั้งเป้าหมายทางวิทยาศาสตร์ แนวคิดคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง และจุดที่ผู้เรียนต้องตัดสินใจ พร้อมจัดกิจกรรมผ่านการนำตนเองห้าขั้น ได้แก่ การกำหนดเป้าหมาย การวางแผน การติดตามตรวจสอบการเรียนรู้ การขอความช่วยเหลือเมื่อจำเป็น และการสะท้อนกระบวนการ โดยครูจัดทรัพยากร คำถาม และความช่วยเหลือให้สัมพันธ์กับแต่ละขั้น แนวทางนี้เป็นฐานสำหรับพิจารณาความสอดคล้องระหว่างสิ่งที่ต้องการให้ผู้เรียนเรียนรู้กับวิธีดำเนินภารกิจที่กำหนดไว้ในแผน

นอกจากนี้ ผลการประเมินแสดงให้เห็นความสำคัญของการตรวจสอบคุณภาพทั้งระดับแผนและระดับองค์ประกอบ แม้แผนทั้ง 8 หน่วยได้รับการประเมินโดยรวมในระดับมากที่สุด แต่บางแผนยังมีองค์ประกอบด้านกระบวนการเรียนรู้และการวัดประเมินผลอยู่ในระดับมาก ข้อค้นพบนี้นำไปสู่แนวทางพัฒนาแผนที่ใช้ผลประเมินรายด้านประกอบการระบุจุดทบทวน โดยพิจารณาสาระสำคัญ จุดประสงค์ สาระการเรียนรู้ กิจกรรม สื่อ และการประเมินร่วมกัน องค์ความรู้จากงานวิจัยจึงมีขอบเขตเป็นข้อเสนอด้านการออกแบบและตรวจสอบความเหมาะสมของแผน ซึ่งสามารถใช้เป็นฐานสำหรับปรับแผนและศึกษาการนำไปใช้ในชั้นเรียนต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ครูควรพิจารณาความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้กับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน เวลา วัสดุอุปกรณ์ และแหล่งเรียนรู้ของโรงเรียนก่อนนำไปใช้ โดยสามารถปรับสถานการณ์หรือวัสดุให้สัมพันธ์กับบริบทท้องถิ่น พร้อมรักษาความเชื่อมโยงระหว่างจุดประสงค์ ภารกิจ และการประเมินผล

2. ครูควรทำให้บทบาทของคณิตศาสตร์ในแต่ละภารกิจปรากฏชัด โดยกำหนดให้ผู้เรียนแสดงวิธีวัด วิธีคำนวณ หรือข้อมูลที่ใช้ประกอบการตัดสินใจ พร้อมอธิบายเหตุผลและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์ ควบคู่กับการจัดคำถามและความช่วยเหลือที่เหมาะสมในกระบวนการนำตนเองทั้งห้าขั้น

3. ก่อนนำแผนไปใช้ ควรทบทวนองค์ประกอบรายด้าน โดยเฉพาะกระบวนการเรียนรู้และการวัดและประเมินผลซึ่งบางแผนได้รับการประเมินในระดับมาก ให้มีลำดับกิจกรรมและเวลาที่เหมาะสม รวมทั้งกำหนดหลักฐานการเรียนรู้และเกณฑ์ประเมินที่ครอบคลุมความเข้าใจเนื้อหา กระบวนการทำงาน และการให้เหตุผลของผู้เรียน

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แผนในชั้นเรียนจริง โดยเก็บข้อมูลจากการสังเกต การสะท้อนผลของครูและผู้เรียน และผลงานระหว่างกิจกรรม เพื่อพิจารณาความชัดเจนของคำสั่ง ความเหมาะสมของเวลา การเข้าถึงทรัพยากร และการสนับสนุนที่ผู้เรียนต้องการ แล้วนำผลมาปรับปรุงแผน

2. พัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ประเมินการใช้คณิตศาสตร์ในภารกิจวิทยาศาสตร์และกระบวนการนำตนเองโดยตรง เช่น เกณฑ์ประเมินการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ การอธิบายเหตุผล การตรวจสอบคำตอบ และการปรับแผนการทำงาน เพื่อให้ได้หลักฐานที่เฉพาะเจาะจงกว่าการประเมินความเหมาะสมของแผนโดยรวม

3. ศึกษาผลของการใช้แผนต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ความสามารถในการใช้คณิตศาสตร์ และการนำตนเองของผู้เรียน โดยใช้แบบแผนการวิจัยที่มีกลุ่มเปรียบเทียบและควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเหมาะสม รวมทั้งพิจารณาการนำไปใช้ในโรงเรียนที่มีบริบทแตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลลัพธ์และเงื่อนไขที่สนับสนุนการใช้แผน

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560ก). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560ข). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน.

Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, *32*(3), 347–364. https://doi.org/10.1007/BF00138871

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, *3*(1), Article 3. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1

Forde, E. N., Robinson, L., Ellis, J. A., & Dare, E. A. (2023). Investigating the presence of mathematics and the levels of cognitively demanding mathematical tasks in integrated STEM units. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, *5*(1), Article 3. https://doi.org/10.1186/s43031-022-00070-1

Garrison, D. R. (1997). Self-directed learning: Toward a comprehensive model. *Adult Education Quarterly*, *48*(1), 18–33. https://doi.org/10.1177/074171369704800103

Halawa, S., Lin, T.-C., & Hsu, Y.-S. (2024). Exploring instructional design in K-12 STEM education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, *11*(1), Article 43. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00503-5

Martín-Cudero, D., Cid-Cid, A. I., & Guede-Cid, R. (2024). Analysis of mathematics education from a STEAM approach at secondary and pre-universitary educational levels: A systematic review. *Journal of Technology and Science Education*, *14*(2), 507–528. https://doi.org/10.3926/jotse.2349

Morris, T. H., Koutsouris, G., Stentiford, L., & Bremner, N. (2025). Self‐directed learning—A framework for inclusion 'In' and 'Through' Education – A systematic review. *Review of Education*, *13*(1), Article e70028. https://doi.org/10.1002/rev3.70028

Nieveen, N. (1999). Prototyping to Reach Product Quality. In J. van den Akker, R. M. Branch, K. Gustafson, N. Nieveen, & T. Plomp (Eds.), *Design Approaches and Tools in Education and Training* (pp. 125–135). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4255-7_10

Quigley, C. F., Herro, D., & Jamil, F. M. (2017). Developing a conceptual model of STEAM teaching practices. *School Science and Mathematics*, *117*(1–2), 1–12. https://doi.org/10.1111/ssm.12201

Salonen, A., Sormunen, K., Eronen, L., & Kokko, S. (2026). The roles of S-T-E-A-M disciplines in STEAM education – systematic literature review of intervention studies. *International*

Journal of Technology and Design Education. Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s10798-026-10124-4

Sritrakul, P. (2018). The state of STEM education policy in Northern region, Thailand. *Humanities, Arts and Social Sciences Studies, 18*(1), 129–147. https://doi.org/10.14456/hasss.2018.11