แนวคิดข้ามศาสตร์ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

กรกนก เลิศเดชาภัทร[1] และอัศวนนทปกรณ์ ธเนศวีรภัทร[2*]

[1]สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน และ [2]สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
[*]E-mail: Atsawanonthapakorn.T@chula.ac.th

รับบทความ: 4 กรกฎาคม 2565 แก้ไขบทความ: 27 ตุลาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 26 พฤศจิกายน 2565

บทคัดย่อ

แนวคิดข้ามศาสตร์เป็นมิติหนึ่งของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเชื่อมโยงแนวคิดหลักและแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้ปฏิบัติกิจกรรมสะเต็มได้อย่างเข้าใจและมีความหมาย อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่นำเสนอความเข้าใจของครูก่อนประจำการเกี่ยวกับแนวคิดข้ามศาสตร์ในการออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษานั้นยังไม่ปรากฏมากนัก งานวิจัยนี้จึงมุ่งวิเคราะห์แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในบทเรียนสะเต็มตามมุมมองของครูก่อนประจำการ แหล่งข้อมูลคือ แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 14 แผน ที่ออกแบบโดยครูก่อนประจำการ รวมทั้งสิ้น 14 กลุ่ม ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยการนับความถี่ของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ ใช้การวิเคราะห์เนื้อหาร่วมกับการวิเคราะห์อุปนัยเพื่ออธิบายลักษณะย่อยของแนวคิดข้ามศาสตร์ ผลการวิจัยสะท้อนว่า แม้ว่าแนวคิดข้ามศาสตร์ทั้ง 7 ประการจะมีความสัมพันธ์กัน แต่ครูก่อนประจำการมองแยกออกจากกัน แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้มากที่สุด คือ มาตราส่วน สัดส่วน และปริมาณ เนื่องจากครูก่อนประจำการคุ้นชินกับการออกแบบชิ้นงานโดยแสดงขนาด จำนวน หรือข้อมูลเชิงตัวเลข ส่วนแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ไม่ปรากฏคือ แบบแผน อาจเนื่องมาจากครูก่อนประจำการอาจไม่เข้าใจลักษณะของแบบแผนที่ปรากฏอยู่ในบทเรียนสะเต็มที่ออกแบบ และมีประสบการณ์เกี่ยวกับแนวคิดสะเต็มไม่มากพอที่จะระบุและขยายความรายละเอียดของแนวคิดข้ามศาสตร์ดังกล่าวในบทเรียนนั้น ๆ

คำสำคัญ: แนวคิดข้ามศาสตร์ สะเต็มศึกษา ครูก่อนประจำการ

Crosscutting Concepts Embedded in the STEM Activities

Kornkanok Lertdechapat[1] and Atsawanonthapakorn Thanetweeraphat[2*]

[1]Division of Curriculum and Instruction and [2]Division of Science Education, Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand

[*]E-mail: Atsawanonthapakorn.T@chula.ac.th

Received: 4 July 2022 Revised: 27 October 2022 Accepted: 26 November 2022

Abstract

The dimension of crosscutting concepts (CCCs), one of the science learning dimensions, encourage students to meaningfully make the connection among the disciplinary core ideas, and the science and engineering practices to promote their understanding in STEM practices. However, there have been few previous research focus on preservice teachers' understanding about CCCs for designing STEM lessons. Therefore, this research aims to analyze the CCCs which were embedded in the fourteen STEM lesson plans. Each lesson plan was designed by a group of preservice teachers. The data were analyzed by counting frequencies of CCCs which were explicitly addressed in all fourteen lesson plans. The researchers also employed content analysis and inductive analysis to analyze and explain subcharacteristics of the CCCs. The findings indicated that the CCCs which were addressed in the STEM lesson plans were considered as separated concepts although they were related to each other. The highest frequency of CCCs that showed across fourteen STEM lesson plan was *Scale, Proportion, and Quantity*, because the preservice teachers were accustomed to design products illustrated size, numbers, or figures. On the contrary, CCCs which were not addressed in any lesson plans were in *Pattern*, since the preservice teachers may not understand the characteristics of pattern in their own lesson, and they seem to have a little experience of STEM conceptions for specifying and elaborating more details about CCCs in their STEM lessons.

Keywords: Crosscutting concepts, STEM education, Preservice teachers

บทนำ

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เป็นแนวคิดในการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสะเต็ม ทั้งวิทยาศาสตร์

คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริง (Burrows *et al*., 2018; Johnsonn *et al*., 2016) ลักษณะสำคัญของสะเต็มศึกษาที่สอดคล้องกับนิยามข้างต้น ได้แก่ การมุ่งเน้นปัญหาในชีวิตจริง การมีส่วนร่วมกับการออกแบบเชิงวิศวกรรมและการปฏิบัติทางสะเต็ม การบูรณาการบริบทและเนื้อหาในการแก้ปัญหา การพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 และการมีส่วนร่วมกับอาชีพทางสะเต็ม (Roehrig *et al*., 2021)

แนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในสหรัฐอเมริกาที่ได้นำเสนอผ่านเอกสารมาตรฐานการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ยุคใหม่ (next generation science standards: NGSS) นั้น ได้แบ่งมิติการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เป็น 3 ด้าน ได้แก่ แนวคิดหลักของศาสตร์ (disciplenary core ideas: DCIs) แนวคิดข้ามศาสตร์ (cross-cutting concepts: CCCs) และแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (science and engineering practices: SEPs) (National Research Council [NRC], 2012, 2013) มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจบริบทที่เกี่ยวข้องกับความรู้วิทยาศาสตร์ การได้มาซึ่งความรู้วิทยาศาสตร์ และแนวทางการเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับศาสตร์อื่นที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีความหมาย (NRC, 2013)

แม้ว่าผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความเข้าใจของผู้เรียนให้บรรลุเป้าหมายการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ทั้ง 3 มิติได้ คือ คุณครูวิทยาศาสตร์ (Duschl, 2012) แต่พบว่า ความท้าทายสำคัญของครูคือ การออกแบบการเรียนการสอนที่สอดแทรกและเชื่อมโยงมิติการเรียนการสอนทั้ง 3 ด้าน ในบริบทของกิจกรรมสะเต็มศึกษาและให้เหมาะสมกับระดับชั้นของผู้เรียน (Duschl, 2012) ทั้งนี้เพราะครูไม่มีความคุ้นเคยในจัดการเรียนการสอนที่เชื่อมโยงการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ทั้ง 3 มิติ (Criswell *et al*., 2022)

แนวทางสำคัญที่ช่วยให้ครูเอาชนะความท้าทายดังกล่าวได้ คือ การผสมผสานแนวคิดข้ามศาสตร์ในกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และส่งเสริมให้ผู้เรียนอภิปรายแนวคิดข้ามศาสตร์ที่สัมพันธ์กับกิจกรรมอย่างชัดแจ้ง (German, 2017) เนื่องจากแนวคิดข้ามศาสตร์เป็นเครื่องมือทางความคิดในการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติ ผ่านการเชื่อมโยงความรู้ในแขวงวิชาสาขาวิชาทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นั้น (Duncan and Cavera, 2015; NRC, 2013) และช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจและดำเนินการทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (NRC, 2013) ที่สำคัญคือ แนวคิดข้ามศาสตร์ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ด้วยความเข้าใจ (German, 2017) และประยุกต์ความรู้วิทยาศาสตร์ในการทำงานได้อย่างประสบความสำเร็จ (Duschl, 2012)

NRC (2013) กำหนดและอธิบายแนวคิดข้ามศาสตร์ 7 ประการ ได้แก่ 1) แบบแผน (patterns) เป็นโครงสร้างหรือลักษณะที่ปรากฏอย่างซ้ำ ๆ ในเหตุการณ์หนึ่ง ๆ 2) สาเหตุและผลกระทบ: กลไกและการอธิบาย (cause and effect: mechanism and explanation) เป็นการอธิบายความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลกระทบที่เกิดขึ้นในเหตุการณ์หนึ่ง ๆ 3) มาตราส่วน สัดส่วน และปริมาณ (scale, proportion, and quantity) เป็นการพิจารณาการวัดในลักษณะต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อโครงสร้างของระบบหรือเหตุการณ์หนึ่ง ๆ 4) ระบบ

และแบบจำลองของระบบ (systems and system models) เป็นการกำหนดขอบเขตที่ศึกษา รวมทั้งนำเสนอแบบจำลองของระบบเพื่อเป็นเครื่องมือในการทดสอบระบบนั้น 5) พลังงานและสสาร: การไหล วัฏจักร และการอนุรักษ์ (energy and matter: flows, cycles and conservation) เป็นการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของพลังงานและสสารภายในระบบ เพื่อช่วยให้ทำความเข้าใจข้อจำกัดและความเป็นไปได้ของระบบนั้น 6) โครงสร้างและหน้าที่การทำงาน (structure and function) เป็นการอธิบายลักษณะของวัตถุ คุณสมบัติ และหน้าที่การทำงานของวัตถุนั้น ๆ และ 7) ความคงที่และการเปลี่ยนแปลง (stability and changes) เป็นการอธิบายเงื่อนไขของระบบในแง่ของการเปลี่ยนแปลงและวิวัฒนาการที่เกิดขึ้นในระบบนั้น ๆ ทั้งนี้ แนวคิดดังกล่าวจะปรากฏสอดแทรกอยู่ในการทำงานทางวิศวกรรมศาสตร์เพื่อออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดในการทำงาน ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Pleasants and Olson, 2018)

งานวิจัยที่มุ่งศึกษาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ 3 มิติ มักปรากฏในการศึกษามิติแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ทั้งการวิเคราะห์เทียบกับการเรียนรู้แบบสืบสอบกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Dahsah, 2017) การศึกษาตัวชี้วัดในสาระวิทยาศาสตร์กับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Lertdechapat and Faikhamta, 2019) และการมุ่งศึกษาแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในประเด็นใดประเด็นหนึ่งในชั้นเรียนสะเต็มศึกษา (Thanetweeraphat, 2020) แม้ว่าจะพบเอกสารและงานวิจัยมุ่งนำเสนอว่า แนวคิดข้ามศาสตร์เป็นตัวเชื่อมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ทั้ง 3 มิติได้ (NRC, 2013; Talanquer, 2019) แต่จากการทบทวนวรรณกรรม งานวิจัยที่ศึกษาแนวคิดข้ามศาสตร์ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทชั้นเรียนสะเต็มศึกษา ยังไม่ปรากฏอย่างชัดเจน

ในบริบทของการพัฒนาวิชาชีพครู การทำความเข้าใจเหตุผลของการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนมีความสำคัญอย่างยิ่ง ต่อการพัฒนาครูก่อนประจำการให้สอดคล้องกับภูมิหลังของครูกลุ่มดังกล่าว (Faikhamta and Lertdechapat, 2022) สำหรับประเทศไทย การจัดการเรียนการสอนให้กับครูก่อนประจำการของสถาบันผลิตครูมุ่งเน้นการฝึกฝนด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่จำเพาะกับวิชาเอก รวมถึงกิจกรรมการเรียนรู้ที่บูรณาการในหลายศาสตร์ (Chamrat, 2019; Pimthong and Williams, 2020) อย่างไรก็ตาม การศึกษากับครูก่อนประจำการในด้านการทำความเข้าใจเหตุผลของการออกแบบการเรียนรู้โดยเฉพาะการสอนสะเต็มในบริบทของไทยยังปรากฏไม่มากนัก ดังนั้นการศึกษาแนวคิดข้ามศาสตร์ในชั้นเรียนสะเต็มจะช่วยให้ผู้เรียนทบทวนการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาด้วยความเข้าใจ สะท้อนความเชื่อเกี่ยวกับเป้าหมายในการสอนสะเต็มของครูก่อนประจำการ และช่วยให้ผู้สอนประเมินความเข้าใจของผู้เรียนได้ (Faikhamta and Lertdechapat, 2022) เนื่องจากการเลือกแนวคิดข้ามศาสตร์ที่สอดคล้องกับกิจกรรม จะสะท้อนถึงความเข้าใจธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ในบริบทสะเต็มศึกษา (Talanquer, 2019) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแนวคิดข้ามศาสตร์จะปรากฏในกิจกรรมสะเต็มอย่างเป็นธรรมชาติอันเนื่องมาจากธรรมชาติของวิศวกรรม-

ศาสตร์ (Antink–Meyer and Brown, 2019) แต่การให้ความสำคัญของการกำหนดแนวคิดข้ามศาสตร์ผู้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษามีความหลากหลาย โดยสามารถระบุเฉพาะแนวคิดข้ามศาสตร์ที่โดดเด่นหรือมุ่งให้ผู้เรียนพัฒนาผ่านกิจกรรมในครั้งนั้น ๆ (NRC, 2014) งานวิจัยนี้จึงมุ่งหาคำตอบเพื่อเติมเต็มช่องว่างของงานวิจัยทางแนวคิดข้ามศาสตร์ในกิจกรรมสะเต็ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวคิดข้ามศาสตร์ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้พัฒนาจากการทำกิจกรรมสะเต็ม ข้อค้นพบจากงานวิจัยนี้ จะเป็นข้อมูลสำหรับบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพครูก่อนประจำการให้สามารถการออกแบบกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดข้ามศาสตร์ให้ถูกต้อง เพื่อสามารถกำหนดขอบเขตของแนวคิดข้ามศาสตร์ได้อย่างสอดคล้องกับกิจกรรมสะเต็มศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเอกสาร (documentary research) โดยใช้แหล่งข้อมูลคือ แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาจำนวน 14 แผน ที่ออกแบบโดยกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งเป็นครูก่อนประจำการ สังกัดสาขาวิชามัธยมศึกษา (วิทยาศาสตร์) ชั้นปีที่ 2–4 ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาสะเต็มศึกษาในโรงเรียน ภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2564 จำนวน 14 กลุ่ม นิสิตเป็นผู้จัดกลุ่มด้วยตนเอง แบ่งเป็นกลุ่มละ 2 คน รวม 4 กลุ่ม และกลุ่มละ 3 คน รวม 10 กลุ่ม แผนการจัดการเรียนรู้นี้ ผู้วิจัยได้กำหนดโครงสร้างของแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายทุกกลุ่มมีแนวทางในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในลักษณะเดียวกัน ผู้วิจัยกำหนดหัวข้อ “แนวคิดข้ามศาสตร์” เป็นหัวข้อย่อยของสาระการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ของรายวิชานี้ เพื่อให้ผู้เรียนได้เลือกแนวคิดข้ามศาสตร์ที่มีความโดดเด่นและสอดคล้องกับกิจกรรมที่ออกแบบ ทั้งนี้ กลุ่มเป้าหมายสามารถปรับรูปแบบของแผนการจัดการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสม แต่ขอให้คงหัวข้อที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ไว้ให้ครบถ้วน และสามารถเพิ่มเติมหัวข้ออื่น ๆ ได้ตามที่กลุ่มเป้าหมายพิจารณาว่า จะช่วยให้การนำเสนอความคิดผ่านการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยกำหนดให้กลุ่มเป้าหมายทั้ง 14 กลุ่ม ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากลุ่มละ 1 แผน ที่เหมาะสมกับระยะเวลาการทดลองสอน 75 นาที กลุ่มเป้าหมายใช้เวลาในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ 1 สัปดาห์ จากนั้นกลุ่มเป้าหมายส่งแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบให้กับผู้วิจัยทุกคนซึ่งมีบทบาทเป็นผู้สอน ผู้วิจัยให้ข้อเสนอแนะในการปรับแก้ไขให้มีความเหมาะสมกับแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เลือกใช้ในจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา อย่างไรก็ตาม รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดข้ามศาสตร์ ผู้วิจัยไม่ได้ให้ข้อเสนอแนะในการปรับแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงแนวคิดข้ามศาสตร์ที่เลือกแต่อย่างใด การส่งแผนการจัดการเรียนรู้ให้กับผู้วิจัย ดำเนินการผ่านทางช่องทาง MyCourseVille ซึ่งเป็นระบบการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มหาวิทยาลัยเปิดโอกาสให้ผู้สอนและผู้เรียนใช้ในการเรียนการสอน ผู้ที่เข้าถึงแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มเป้าหมายแต่ละกลุ่มได้ มีเฉพาะผู้วิจัยหลักและผู้วิจัยร่วมในบทบาท

ของผู้สอนเท่านั้น โดยใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประมาณ 3 สัปดาห์ นับตั้งแต่ช่วงเวลาที่กลุ่มเป้าหมายส่งแผนการจัดการเรียนรู้ผ่านทาง MyCourseVille การใช้ข้อมูลย้อนกลับโดยผู้วิจัยหลักและผู้วิจัยร่วมในบทบาทผู้สอนเพื่อให้กลุ่มเป้าหมายปรับแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ และการส่งแผนการจัดการเรียนรู้ฉบับแก้ไขผ่านทางดังกล่าว

ผู้วิจัยพิจารณาแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ ตามที่ระบุในเอกสาร A Framework for K–12 Science Education: Practice, Crosscutting concepts, and Core Ideas ที่นำเสนอโดย NRC (2013) เนื่องจากเป็นเอกสารแม่แบบในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับชาติของสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้นำเสนอแนวคิดข้ามศาสตร์ 7 ประการ ได้แก่ 1) แบบแผน 2) สาเหตุและผลกระทบ: กลไกและการอธิบาย 3) มาตราส่วน สัดส่วน และปริมาณ 4) ระบบและแบบจำลองของระบบ 5) พลังงานและสสาร: การไหล วัฏจักร และการอนุรักษ์ 6) โครงสร้างและการทำงาน และ 7) ความคงที่และการเปลี่ยนแปลง

ผู้วิจัยได้กำหนดโครงสร้างของแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายทั้ง 14 กลุ่มมีแนวทางในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้และระบุรายละเอียดที่เกี่ยวข้องได้อย่างครบถ้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดข้ามศาสตร์ ผู้วิจัยกำหนดให้กลุ่มเป้าหมายระบุแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในกิจกรรมอย่างโดดเด่น โดยให้ระบุชื่อของแนวคิดข้ามศาสตร์และอธิบายเพิ่มเติมว่า ปรากฏในกิจกรรมอย่างไร ดังนั้น ข้อมูลแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงนำมาจากหัวข้อแนวคิดข้ามศาสตร์ที่กำหนดไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ และนำมาเฉพาะแผนการจัดการเรียนรู้ฉบับแก้ไขเท่านั้น เพื่อมั่นใจได้ว่า กลุ่มเป้าหมายจะไตร่ตรองข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดข้ามศาสตร์มาแล้วอย่างถี่ถ้วนก่อนระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ฉบับแก้ไข อีกทั้งผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลหลังจากได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลที่แสดงถึงตัวตนของกลุ่มเป้าหมายจะไม่ถูกระบุในบทความ และใช้หมายเลข 1–14 แทนการระบุตัวตนของกลุ่มเป้าหมายของงานวิจัยนี้

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัย ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูล 2 ขั้นตอน โดยใช้กรอบแนวคิดของแนวคิดข้ามศาสตร์ตาม NRC (2013) เป็นกรอบแนวคิดในการแปลความหมายข้อมูลของการระบุแนวคิดข้ามศาสตร์ในแผนการจัดการเรียนรู้ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยหลักนำข้อมูลแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 14 แผน มานับความถี่หรือจำนวนครั้งของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด และนำมาสร้างแผนภาพเพื่อแสดงจำนวนแผนการจัดการเรียนรู้ที่ระบุแนวคิดข้ามศาสตร์ เพื่อนำเสนอภาพรวมของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่กลุ่มเป้าหมายให้ความสำคัญ หรือแนวคิดข้ามศาสตร์ที่มีความโดดเด่นและสอดคล้องกับกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ออกแบบ เมื่อผู้วิจัยหลักดำเนินการแล้ว ส่งข้อมูลดิบ และผลการวิเคราะห์ให้กับผู้วิจัยร่วม เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ และพบประเด็นที่ไม่สอดคล้องกัน ผู้วิจัยหลักและผู้วิจัยร่วมจะอภิปรายแนวคิดข้ามศาสตร์นั้น ๆ เพื่อให้ได้ข้อสรุปของความถี่หรือจำนวน

ครั้งของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ผู้วิจัยหลักและผู้วิจัยร่วมมีความเห็นตรงกัน จากนั้นผู้วิจัยหลักดำเนินการเรียบเรียงผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตอนที่ 1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ข้อมูลในตอนที่ 2 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยหลักนำข้อความที่ปรากฏในหัวข้อ “แนวคิดข้ามศาสตร์” เดียวกันในแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 14 แผน มาเรียงต่อกันและใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ตอนที่ 2 เพื่อพิจารณาเนื้อหาของแนวคิดข้ามศาสตร์ ผู้วิจัยหลักและผู้วิจัยร่วม วิเคราะห์ข้อมูลในตอนที่ 2 พร้อม ๆ กัน โดยนำข้อความดังกล่าวมาวิเคราะห์ใจความสำคัญ โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา ร่วมกับการลงรหัสแบบอุปนัย (Saldaña, 2021) เพื่อวิเคราะห์และนำเสนอรายละเอียดในแง่ของลักษณะย่อยของแนวคิดข้ามศาสตร์ในแต่ละข้อ ตามที่กลุ่มเป้าหมายได้ให้ความสำคัญในการออกแบบกิจกรรมสะเต็ม

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเริ่มจากการอ่านข้อความที่ผู้วิจัยหลักจัดเรียงต่อกันแล้ว จากนั้นผู้วิจัยหลักและผู้วิจัยร่วมทำความเข้าใจข้อความ กำหนดรหัสข้อมูลที่สอดคล้องกับข้อความจัดกลุ่มข้อมูลย่อย ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์เนื้อหานำสู่การนำเสนอหมวดหมู่ของข้อมูลที่ได้ ภายใต้หัวข้อลักษณะของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่พบในแต่ละข้อ โดยนำเสนอตัวอย่างข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ประกอบการนำเสนอลักษณะของแนวคิดข้ามศาสตร์ในแต่ละข้อด้วย ซึ่งจะสะท้อนกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ได้ออกแบบไว้โดยกลุ่มเป้าหมาย การนำเสนอในตอนที่ 2 นี้ ผู้วิจัยนำเสนอแนวคิดข้ามศาสตร์ทุกข้อที่ปรากฏในผลการวิเคราะห์ของขั้นตอนที่ 1 ดังที่ระบุมาข้างต้น ในกรณีการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 พบว่าไม่ปรากฏแนวคิดข้ามศาสตร์ในข้อใด ข้อมูลในตอนที่ 2 จะไม่สามารถนำเสนอแนวคิดข้ามศาสตร์นั้นได้ เนื่องจากไม่มีข้อความเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ในตอนที่ 2 ในกรณีที่ผู้วิจัยหลักและผู้วิจัยร่วมมีความเห็นไม่ตรงกัน ไม่ว่าจะเป็นในขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูล การกำหนดหมวดหมู่ของข้อมูล หรือการนำเสนอตัวอย่างของข้อความแนวคิดข้ามศาสตร์ที่สอดคล้องกับหมวดหมู่ของข้อมูล ผู้วิจัยหลักและผู้วิจัยร่วมจะให้เหตุผลประกอบความคิดเห็นของตน เพื่อนำสู่การตัดสินใจสรุปเป็นผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผู้วิจัยหลักและผู้วิจัยร่วมมีความเห็นตรงกัน

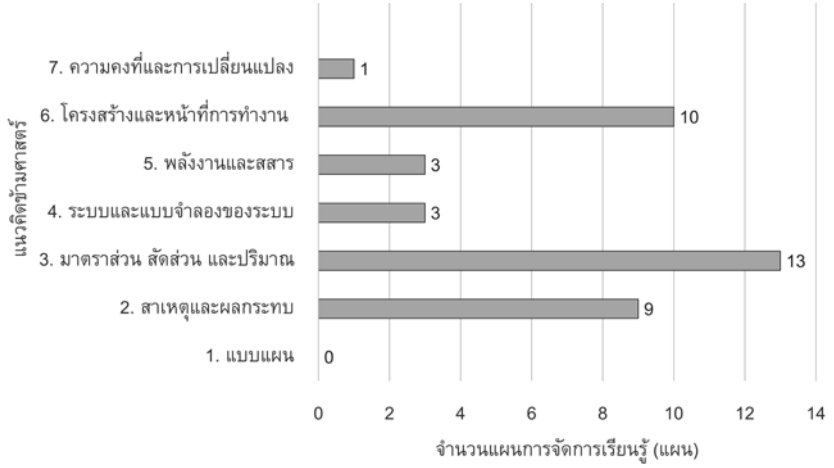
ผลการวิจัย

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิจัย 2 ตอน โดยเริ่มจากการนำเสนอภาพรวมของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 14 แผน ในตอนที่ 1 และในตอนที่ 2 จะเป็นการนำเสนอรายละเอียดของแนวคิดข้ามศาสตร์ ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 จำนวนแผนการจัดการเรียนรู้ที่ระบุแนวคิดข้ามศาสตร์

แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 14 แผน ได้กำหนดหัวข้อ “แนวคิดข้ามศาสตร์” ไว้ส่วนต้นของแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายระบุแนวคิดข้ามศาสตร์ที่มุ่งสอดแทรกในกิจกรรมของแผนการจัดการเรียนรู้ได้ตามมุมมองและการพิจารณาร่วมกับสมาชิกในกลุ่มที่ออกแบบบทเรียนนั้น ๆ ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มเป้าหมายทุกกลุ่มมุ่งนำเสนอแนวคิดข้ามศาสตร์ไม่ครบทุกข้อ โดยเลือกนำเสนอเฉพาะแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏเด่นชัดในกิจกรรม กล่าวคือ แนวคิดข้ามศาสตร์ที่กลุ่มเป้าหมายส่วนใหญ่ระบุใน

แผนการจัดการเรียนรู้คือ แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 3 มาตราส่วน สัดส่วน และปริมาณ (แผนการจัดการเรียนรู้ 13 แผน จาก 14 แผน) รองลงมาคือ แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 6 โครงสร้างและหน้าที่การทำงาน (แผนการจัดการเรียนรู้ 10 แผน จาก 14 แผน) ส่วนแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏน้อยที่สุด คือ แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 7 ความมั่นคงและการเปลี่ยนแปลง (แผนการจัดการเรียนรู้ 1 แผน จาก 14 แผน) อย่างไรก็ตาม ยังพบว่า แนวคิดข้ามศาสตร์ที่กลุ่มเป้าหมายทั้งหมดเลือกที่จะไม่นำเสนอในแผนการจัดการเรียนรู้ หรืออาจกล่าวได้ว่า ไม่มุ่งเน้นในการสอดแทรกในกิจกรรมคือ แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 1 แบบแผน จำนวนครั้งของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 14 แผนแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 จำนวนครั้งของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 14 แผน

ข้อมูลเชิงคุณภาพที่สะท้อนรายละเอียดของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่กลุ่มเป้าหมายมุ่งสอดแทรกในแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา แสดงข้อมูลดังตอนที่ 2

ตอนที่ 2 รายละเอียดของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้

แนวคิดข้ามศาสตร์ 7 ประการที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มเป้าหมายทั้ง 14 กลุ่ม มีรายละเอียดที่แตกต่างกันขึ้นกับสถานการณ์ของกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่แต่ละกลุ่มได้วางแผนไว้ อย่างไรก็ตาม แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 1 แบบแผน ไม่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มเป้าหมาย รายละเอียดที่กลุ่มเป้าหมายระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ แสดงได้ดังนี้

แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 2 สาเหตุและผลกระทบ: กลไกและคำอธิบาย กลุ่มเป้าหมายนำเสนอความเป็นสาเหตุและผลกระทบที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติหรือสอดแทรกในกิจกรรมสะเต็มศึกษาใน 4 ลักษณะ ได้แก่

ลักษณะที่ 1 การระบุความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างมโนทัศน์ กลุ่มเป้าหมายนำเสนอมโนทัศน์ที่มีความสัมพันธ์และส่งผลซึ่งกันและกัน ถ้ามโนทัศน์หนึ่งเปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลต่อมโนทัศน์อื่นอย่างไร เช่น ผลกระทบของเปลี่ยนแปลงสิ่งมีชีวิตในสายใยอาหาร ดังข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่ม 2 ที่

ระบุว่า *"ผู้สอนเพิ่มเงื่อนไขโดยกำหนดสถานการณ์ หากมีสิ่งมีชีวิตตัวหนึ่งถูกล่าหรือถูกทำให้หายไปจากสายใยอาหาร จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตตัวอื่น ๆ ในสายในอาหารอย่างไรบ้าง"*

ลักษณะที่ 2 การระบุความเชื่อมโยงระหว่างสาเหตุของปัญหากับผลกระทบที่เกิดขึ้นกลุ่มเป้าหมายนำเสนอที่มาที่ไปหรือความจำเป็นในการออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหา ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ต้องดำเนินการสร้างชิ้นงาน ดังข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่ม 5 *"...การที่วัตถุอยู่ไกลเกินไป ส่งผลให้ไม่สามารถเก็บ [วัตถุ] ได้ตามปกติ... จนกระทั่งนำไปสู่การคิดค้นว่า ควรใช้สิ่งประดิษฐ์ใดในการแก้ปัญหาได้..."* กล่าวคือ กิจกรรมการเรียนรู้มุ่งให้ผู้เรียนวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อออกแบบหรือสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาที่สาเหตุดังกล่าว

ลักษณะที่ 3 การระบุความเชื่อมโยงระหว่างแรงบันดาลใจในการออกแบบชิ้นงาน นำเสนอข้อมูลโดยแสดงถึงสาเหตุและผลที่เกิดขึ้น แรงบันดาลใจนี้จะเป็นแนวทางในการออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่กำหนด ดังข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มที่ 5 *"ให้นักเรียนช่วยกันวิเคราะห์สาเหตุจากวิดีโอว่า เพราะเหตุใดแม่นาคจึงสามารถเก็บมะนาวได้ เพื่อเป็นแนวคิดในการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ รวมทั้งวิเคราะห์สาเหตุหรือข้อบกพร่องของสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถคิดค้นได้ว่า เพราะเหตุใดสิ่งประดิษฐ์ที่ได้จึงได้ผลการทดลองเป็นเช่นนี้"* กล่าวคือ ลักษณะของการยืดแขนให้เหยียดยาวออกของแม่นาคในภาพยนตร์ไทย ที่ช่วยให้แม่นาคสามารถหยิบมะนาวที่กลิ้งไปไกลจากที่ตนอยู่ได้นั้น ช่วยให้ผู้เรียนออกแบบชิ้นงานที่เลียนแบบแขนของแม่นาคได้อย่างไร

ลักษณะที่ 4 การระบุความเป็นเหตุเป็นผลของการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์เพื่อสร้างชิ้นงานในการแก้ปัญหา ดังข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มที่ 14 *"อธิบายเหตุผลที่ใช้ในการเลือกวัสดุที่นำมาป้องกันมด"* แม้ว่ากลุ่มที่ 14 กำหนดวัสดุอุปกรณ์ให้กับนักเรียนเพื่อออกแบบเครื่องมือให้อาหารแมวที่ป้องกันมดขึ้น แต่นักเรียนจะต้องอธิบายให้ได้ว่า วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้ ช่วยป้องกันมดไม่ให้ขึ้นอาหารแมวได้อย่างไร

แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 3 มาตราส่วน สัดส่วน และปริมาณ แผนการจัดการเรียนรู้ที่กลุ่มเป้าหมายออกแบบไว้ ระบุข้อมูลเชิงปริมาณที่สะท้อนถึงมาตราส่วนหรือสัดส่วนที่ปรากฏในกิจกรรมสะเต็ม ใน 3 ลักษณะ ดังนี้

ลักษณะที่ 1 การกำหนดขนาดของชิ้นงานเป็นหนึ่งในเงื่อนไขของการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา เพื่อให้มีความจำเพาะกับปัญหามากขึ้น ดังข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มที่ 8 *"มีการวัด และการคำนวณสัดส่วน เพื่อพับกระดาษให้เป็นรูปร่าง 3 มิติ"* ซึ่งกระดาษ 3 มิตินี้ ช่วยในลดแรงกระแทกที่ส่งพัสดุเกิดความเสียหายจากการขนส่งได้

ลักษณะที่ 2 การวัดหรือศึกษาขนาดตามจริงของสิ่งที่มีอยู่ เพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นในการออกแบบชิ้นงาน ดังข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มที่ 5 *"นักเรียนหาข้อมูลสัดส่วนของมือ และการเลือกวัสดุที่ใช้ทำสิ่งประดิษฐ์"* เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่หยิบของที่หล่นอยู่ในระยะที่ไกลตัวได้ และกลุ่มที่ 6 ที่มุ่งให้ผู้เรียนออกแบบและสร้างเครื่องปั๊มลมให้มีขนาดเหมาะสมกับขนาดของตู้ปลา ดังข้อความที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ว่า *"นักเรียนต้องทำการ*

วัดปริมาตร และความสูงของขวดน้ำ ที่นำมาใช้ทำปั๊มลมอย่างง่าย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด"

ลักษณะที่ 3 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์เชิงปริมาณเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของการออกแบบชิ้นงาน ดังข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มที่ 2 *"ให้นักเรียนพิจารณา ความแตกต่างระหว่างโซ่อาหารกับสายใยอาหาร ในแง่ของความซับซ้อน และความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน"* เพื่อเป็นสถานการณ์ที่สะท้อนการทำงานทางชีววิทยา ทำให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของนักชีววิทยา เพื่อให้ผู้เรียนออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาโดยคำนึงถึงแนวคิดสำคัญดังกล่าว

แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 4 ระบบและการทำงานของระบบ กลุ่มเป้าหมายระบุลักษณะของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีการทำงานอย่างเป็นระบบ โดยกลุ่มเป้าหมายนำเสนอแนวคิดข้ามศาสตร์นี้ใน 2 ลักษณะ ดังนี้

ลักษณะที่ 1 การระบุมโนทัศน์ที่มีพื้นฐานในลักษณะของการทำงานอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลหรือแรงบันดาลใจในการออกแบบชิ้นงาน เช่น การศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อบริเวณนิ้วมือ และข้อมือ เพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นงานที่เลียนแบบการทำงานของมือเพื่อเก็บของที่อยู่ในระยะไกลได้ ดังข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มที่ 5 *"การสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับระบบการทำงานของมือ เช่น ระบบการทำงานของข้อต่อในมือ และระบบการทำงานของกล้ามเนื้อมือ เป็นต้น..."*

ลักษณะที่ 2 การระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานที่ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างย่อย ๆ ที่มีลักษณะของการทำงานอย่างเป็นระบบ ชิ้นงานที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ปัญหานั้นจะมีกลไกการทำงานที่ต้องทำงานสัมพันธ์กันอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาได้อย่างประสบผลสำเร็จ เช่น การกำหนดภารกิจของกลุ่มที่ 10 ที่คาดหวังให้ผู้เรียนออกแบบอุปกรณ์จับเวลาที่สามารถแสดงเวลาได้อย่างเที่ยงตรงเพื่อให้ ดังข้อความที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ ดังนี้ *"ระบบการทำงานภายในอุปกรณ์จับเวลา ทั้งเส้นทางที่น้ำไหลผ่าน ปริมาณน้ำที่แทนที่ในอุปกรณ์..."*

แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 5 พลังงานและสสาร: การไหล วัฏจักร และการอนุรักษ์ กลุ่มเป้าหมายมุ่งนำเสนอมโนทัศน์เกี่ยวกับพลังงาน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายกลไกหรือการทำงานของชิ้นงานที่สร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหา ดังจะเห็นได้จาก ตัวอย่างของกลุ่มที่ 8 ที่มุ่งให้ผู้เรียนออกแบบวัสดุที่สามารถรับแรงกระแทกได้ดีเพื่อป้องกันหรือลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสินค้า โดยใช้ความรู้เรื่องการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ดังข้อความที่ระบุว่า *"ใช้ความรู้เรื่องการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่เกี่ยวเนื่องกับการดูดซับแรงกระแทก"* และตัวอย่างของกลุ่มที่ 5 ที่พิจารณาถึงการทำงานของกล้ามเนื้อมือ ซึ่งเป็นการออกแรงเพื่อให้สามารถหยิบสิ่งของที่อยู่ห่างไกลจากตัวได้ ดังข้อความต่อไปนี้ที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ *"นักเรียนต้องเรียนรู้เกี่ยวกับพลังงานที่เกี่ยวข้องในการออกแรง เพื่อให้มือสามารถหยิบสิ่งของได้"*

แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 6 โครงสร้างและหน้าที่การทำงาน กลุ่มเป้าหมายระบุแนวคิดข้ามศาสตร์นี้ใน 2 ลักษณะ ดังนี้

ลักษณะที่ 1 การพิจารณาชิ้นงานที่ออกแบบเพื่อแก้ปัญหา โดยพิจารณาด้านโครงสร้าง

และการทำงานของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อแก้ปัญหา ดังตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มที่ 3 ที่ระบุว่า *"วางแผนโครงสร้างของหุ่นยนต์มือ ให้มีลักษณะที่สอดคล้องกับสรีรวิทยาของมือมนุษย์ เพื่อทำหน้าที่หยิบจับสิ่งของ"* และกลุ่มที่ 8 ที่ระบุว่า *"มีการใช้โครงสร้างในการพับรูปร่าง 3 มิติ และการจัดวางโครงสร้าง 3 มิติ เพื่อให้สามารถดูดซับแรงกระแทกให้ได้มากที่สุด"* ข้อความจากแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งสองแผนสะท้อนให้เห็นว่า การพิจารณาโครงสร้างของชิ้นงานที่ออกแบบและสร้างขึ้น จะช่วยให้มองภาพออกว่า โครงสร้างของชิ้นงานนั้น ๆ ส่งผลให้มีการทำงานหรือกลไกที่สอดคล้องกับโครงสร้างอย่างไรบ้าง

ลักษณะที่ 2 การคำนึงถึงข้อจำกัด (constraints) ในด้านอุปกรณ์ที่จัดเตรียมไว้อย่างจำกัดสำหรับสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหา ผู้เรียนจำเป็นต้องศึกษาหรือมีข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่กำหนดไว้ ทั้งในด้านของรูปลักษณ์หรือโครงสร้างของอุปกรณ์และความสามารถของอุปกรณ์ในการทำงาน ดังตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มที่ 3 ที่ระบุว่า *"ในการออกแบบวางแผนการแก้ไขปัญหาการสร้างสะพานให้ได้ตามเงื่อนไข ผู้เรียนเข้าใจข้อจำกัดและโครงสร้างของอุปกรณ์ที่กำหนด เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์ ออกแบบสะพานที่สร้างขึ้นจากหลอดเพื่อรองรับวัตถุให้แข็งแรงและปลอดภัย"*

แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ 7 ความคงที่และการเปลี่ยนแปลง กลุ่มเป้าหมายนำเสนอแนวคิดข้ามศาสตร์นี้โดยการพิจารณาว่า ชิ้นงานที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงได้หรือไม่อย่างไร ดังจะเห็นได้จากแผนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มที่ 7 ที่ให้ความสำคัญกับสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อรองรับน้ำหนักของสิ่งของ เพื่อลดความเสียหายที่เป็นผลมาจากการกระแทกได้ ดังข้อความต่อไปนี้ที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ *"การทำตัวรับน้ำหนัก ต้องมั่นคงและลองเปลี่ยนรูปแบบที่แตกต่างจากเดิมเพื่อดูรูปฐานที่มั่นคงขึ้น"*

อภิปรายผล

หากพิจารณาผลวิจัยแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ครูก่อนประจำการไม่ได้ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้เลยคือ แบบแผน อาจเป็นเพราะครูก่อนประจำการกลุ่มดังกล่าวไม่ได้ลองทดสอบกิจกรรมสะเต็มที่ออกแบบ ก่อนนำกิจกรรมดังกล่าวมาทดลองสอนตามภารกิจที่ได้รับมอบหมาย จึงไม่สามารถสังเกตหรือทำความเข้าใจแบบแผนจากหลักฐานเชิงประจักษ์ที่จะได้จากการทดสอบชิ้นงาน ส่งผลให้ครูก่อนประจำการไม่สามารถวิเคราะห์แบบแผนที่อาจปรากฏในกิจกรรมสะเต็มที่ออกแบบ ข้อค้นพบของงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับข้อค้นพบของงานวิจัยของ Burrows *et al*. (2018) ที่สรุปประเด็นได้ว่า กลุ่มเป้าหมายสามารถวิเคราะห์แบบแผนของเหตุการณ์ที่มีลักษณะเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (scientific knowledge) ได้ เช่น การเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในบริเวณแหล่งน้ำไหลและแหล่งน้ำนิ่ง ส่วนเหตุการณ์ที่มีลักษณะเป็นของความยึดมั่นผูกพันทางวิทยาศาสตร์ (scientific engagement) กลุ่มเป้าหมายมักจะมองข้ามว่า สิ่งนั้นเป็นแบบแผนในมุมมองของแนวคิดข้ามศาสตร์ เช่น ลักษณะของสถานที่ที่เหตุการณ์นั้น ๆ ปรากฏขึ้นอย่างซ้ำ ก็นับว่าเป็นลักษณะของแบบแผนของเหตุการณ์ที่ศึกษาได้

อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์การทำงานทางวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรมุ่งสังเกตเหตุการณ์และความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ที่ปรากฏอย่าง

ซ้ำ ๆ เพื่อนำสู่การอธิบายว่า การทำงานที่เกิด ขึ้นของระบบที่กำลังศึกษา (Pleasants and Olson, 2018) อาจมีความใกล้เคียงกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในด้านการใช้คณิตศาสตร์และการคิดเชิงคำนวณ ในลักษณะของการหาแบบแผนของข้อมูลเพื่อนำสู่การระบุแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา (NRC, 2013) และครูก่อนประจำการมีความคุ้นเคยกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์มากกว่าแนวคิดข้ามศาสตร์ (Criswell *et al*., 2022) เนื่องจากสามารถเห็นภาพของการปฏิบัติตามแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ได้ชัดเจน และเป็นกิจกรรมที่นำสู่การออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา (Roehrig *et al*., 2021) ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าการที่ครูก่อนประจำการไม่ได้ระบุแนวคิดข้ามศาสตร์ด้าน แบบแผน ไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้อาจเป็นเพราะว่า ครูก่อนประจำการไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่า แบบแผนใดบ้างที่ปรากฏในกิจกรรมการเรียนรู้ที่ออกแบบ หรือไม่สามารถบอกได้ว่าสิ่งนั้นเป็นแบบแผนตามแนวคิดข้ามศาสตร์

ในทางตรงข้าม ผลวิจัยพบสะท้อนว่าแนวคิดข้ามศาสตร์ในด้านมาตราส่วน สัดส่วน และปริมาณ และด้านโครงสร้างและหน้าที่การทำงาน เป็นแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ครูก่อนประจำการระบุในแผนการจัดการเรียนรู้สูงสุด 2 อันดับแรก เมื่อเทียบกับแนวคิดข้ามศาสตร์ด้านอื่น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ การทำงานทางวิศวกรรมศาสตร์ ครูก่อนประจำการมักมองไปที่การร่างภาพชิ้นงานต้นแบบ (prototype) ก่อนนำสู่การสร้างชิ้นงานตามแบบร่างเพื่อแก้ปัญหา เพื่อใช้แบบจำลองดังกล่าวเป็นเครื่องมือในการสื่อสารระหว่างกลุ่มวิศวกรที่มาทำงานร่วมกัน เพื่อนำสู่การดำเนินการที่นำสู่การปรับภาพชิ้นงานต้นแบบและชิ้นงานที่สร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพโดยสอดคล้องกับผลการทดสอบ การดำเนินการเช่นนี้เป็นการทำงานทางวิศวกรรมศาสตร์ที่มีความคล้ายคลึงกับการทำงานทางวิทยาศาสตร์ (Antink–Meyer and Brown, 2019) ที่ใช้หลักฐานเชิงประจักษ์เป็นข้อมูลย้อนกลับในการปรับแก้ไขการทำงานให้บรรลุเป้าหมาย อีกทั้งครูก่อนประจำการกลุ่มนี้ยังมีประสบการณ์ในการทำกิจกรรมสะเต็มไม่มากนัก จึงให้ความสำคัญกับการออกแบบภาพร่างชิ้นงานต้นแบบให้มีรายละเอียดที่นำสู่การสร้างชิ้นงานได้ตรงตามที่ออกแบบ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดข้ามศาสตร์ในด้านโครงการและหน้าที่การทำงาน รวมทั้งการระบุขนาดของชิ้นงานและระบุจำนวนหน่วยของวัสดุที่เลือกใช้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดข้ามศาสตร์ในด้านมาตราส่วน สัดส่วน และปริมาณ การให้ความสำคัญกับภาพร่างชิ้นงานต้นแบบในลักษณะนี้ สอดคล้องกับการทำงานของกลุ่มวิศวกรที่มีประสบการณ์น้อยที่มีเป้าหมายในการทำงานร่วมกัน มักจะปฏิบัติตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างเคร่งครัด (Pleasants and Olson, 2018) ซึ่งการออกแบบภาพร่างชิ้นงานต้นแบบเป็นหนึ่งในขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมซึ่งเป็นกลไกการขับเคลื่อนกิจกรรมสะเต็ม (Lertdechapat and Faikhamta, 2021)

ประเด็นสุดท้าย แม้ว่าแนวคิดข้ามศาสตร์มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (NRC, 2013) แต่ครูก่อนประจำการนำเสนอแนวคิดข้ามศาสตร์แต่ละประการแยกจากกันอย่างชัดเจน อาจเป็นเพราะครูก่อนประจำการมีมุมมองการทำงานทางวิทยาศาสตร์ในลักษณะของการคิดเชิงเหตุและผลอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ เพื่อมุ่งสร้างคำอธิบายและแบบ-

จำลองของปรากฏการณ์ธรรมชาติ (Duncan and Cavera, 2015) มากกว่าการทำงานทางสะเต็มศึกษาซึ่งมีธรรมชาติการทำงานที่เน้นความเชื่อมโยงกันของแนวคิดข้ามศาสตร์อย่างเด่นชัด อีกทั้งอาจเป็นเพราะครูก่อนประจำการมีประสบการณ์ไม่มากนักในการออกแบบบทเรียนสะเต็ม จึงส่งผลให้ครูก่อนประจำการอาจไม่สามารถนำประสบการณ์เดิมของตนมาเป็นพื้นฐานในการออกแบบบทเรียนสะเต็มที่สะท้อนศาสตร์อื่นธรรมชาติของศาสตร์อื่นได้อย่างชัดเจน ซึ่งแตกต่างจากข้อค้นพบในงานวิจัยของ Vichaidit and Faikhamta (2017) ที่พบว่า ครูก่อนประจำการส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการเข้าร่วมและออกแบบกิจกรรมสะเต็มมาก่อน จึงมีมุมมองการสอนวิทยาศาสตร์ที่บูรณาการศาสตร์อื่นมาใช้ในการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาผ่านการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน จึงสามารถนำธรรมชาติของศาสตร์อื่นในสะเต็มมาบูรณาการร่วมกันได้ ดังนั้น จึงอาจสรุปได้ว่าภูมิหลังของครูที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะในจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ส่งผลต่อแนวทางการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา (Faikhamta and Lertdechapat, 2022)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

แม้ว่าแนวคิดข้ามศาสตร์ทั้ง 7 ประการจะมีความสัมพันธ์กัน แต่ครูก่อนประจำการมีมุมมองว่าแนวคิดดังกล่าวแยกออกจากกัน และไม่ได้ปรากฏแนวคิดข้ามศาสตร์ทุกประการในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบโดยครูกลุ่มดังกล่าว แนวคิดข้ามศาสตร์ที่กลุ่มเป้าหมายส่วนใหญ่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้คือ แนวคิดด้านมาตราส่วน สัดส่วน และปริมาณ รองลงมาคือ แนวคิดด้านโครงสร้างและหน้าที่การทำงาน ส่วนแนวคิดข้ามศาสตร์ที่ปรากฏน้อยที่สุดคือ แนวคิดข้ามศาสตร์ด้านความมั่นคงและการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ แนวคิดข้ามศาสตร์ที่ไม่ถูกมุ่งเน้นในการสอดแทรกในกิจกรรมคือ แบบแผน สาเหตุสำคัญที่อาจส่งผลให้ครูก่อนประจำการมีมุมมองดังกล่าวคือ ครูก่อนประจำการอาจไม่เข้าใจอย่างถ่องแท้ว่า แบบแผน มีลักษณะเป็นอย่างไร จึงเลือกที่จะไม่ระบุแนวคิดข้ามศาสตร์ดังกล่าวไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ อีกทั้งประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มครูก่อนประจำการยังส่งผลต่อการระบุแนวคิดข้ามศาสตร์และการขยายความรายละเอียดของแนวคิดดังกล่าวในกิจกรรมที่ออกแบบ จึงส่งผลให้ปรากฏลักษณะของแนวคิดข้ามศาสตร์ในหลายมุมมอง แม้ว่าจะเป็นแนวคิดข้ามศาสตร์เดียวกันอีกด้วย

เนื่องจากแนวคิดข้ามศาสตร์เป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจการทำงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ หากนำผลวิจัยไปใช้ ผู้สอนควรส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดข้ามศาสตร์อย่างถ่องแท้ผ่านแนวทางการเหมาะสมกับบริบทการเรียนรู้ เช่น ในชั้นเรียนสะเต็มของครูก่อนประจำการ ผู้สอนควรส่งเสริมให้ครูก่อนประจำการได้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา ลงมือสร้างชิ้นงาน และทดสอบชิ้นงานตามบทเรียนที่ออกแบบ ก่อนนำกิจกรรมที่ออกแบบไปใช้สอนจริง เพื่อเปิดโอกาสผู้ออกแบบกิจกรรมได้สังเกต ทำความเข้าใจ และร่วมกันอภิปรายลักษณะของแนวคิดข้ามศาสตร์ที่สอดคล้องกับบทเรียนดังกล่าว โดยใช้กระบวนการและผลการทดสอบเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ในการนำอภิปรายร่วมกัน

งานวิจัยนี้พบว่า ครูก่อนประจำการอาจยังมีประสบการณ์ทางสะเต็มไม่มากนัก ซึ่งส่งผลต่อการระบุและอธิบายแนวคิดข้ามศาสตร์ที่จำเพาะ

กับกิจกรรมสะเต็มที่ออกแบบ ดังนั้นงานวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยอาจศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภูมิหลังของครูก่อนประจำการในมุมมองที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มกับการออกแบบบทเรียนสะเต็มที่สะท้อนแนวคิดข้ามศาสตร์ เพื่อทำความเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกระบุแนวคิดข้ามศาสตร์และลักษณะของมุมมองที่มีต่อแนวคิดดังกล่าว นอกจากนั้น ผู้วิจัยอาจนำเสนอมุมมองและแนวทางการออกแบบทเรียนสะเต็มที่สะท้อนแนวคิดข้ามศาสตร์ เพื่อให้ครูก่อนประจำการได้ศึกษา ทำความเข้าใจ และวิเคราะห์ตัวอย่างบทเรียนสะเต็มก่อนนำสู่การออกแบบบทเรียนสะเต็มด้วยตนเอง เพื่อให้ครูก่อนประจำทางสามารถออกแบบบทเรียนสะเต็มได้อย่างเข้าใจถึงที่มาที่ไปของการเชื่อมโยงกับแนวคิดข้ามศาสตร์ได้อย่างถ่องแท้ยิ่งขึ้น

การขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

จริยธรรมการวิจัยในคนของงานวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 2 สังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์และศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เลขที่ COA No. 045/65

เอกสารอ้างอิง

Burrows, A., Lockwood, M., Borowczak, M., Janak, E., and Barber, B. (2018). Integrated STEM: Focus on informal education and community collaboration through engineering. **Education Sciences** 8(4): 1–15.

Chamrat, S. (2019). Teachers as makers: The key provision of teacher preparations for STEM education. **Journal of Physics: Conference Series** 1340(1): 01285.

Criswell, B., Roemmele, C., and Holzer, M. (2022). Focusing the lens of the crosscutting concepts on secondary science learning breadcrumb. **The Science Teacher** 89(4): 58–65.

Dahsah, C. (2017). Scientific inquiry in the next generation science standards. **Humanity and Social Science Journal Ubon Ratchathani University** 8(2): 123–132. (in Thai)

Duncan, R. G., and Cavera, V. L. (2015). DCIs, SEPs, and CCs, oh my!: Understanding the three dimensions of the NGSS. **The Science Teacher** 82(7): 67–71.

Duschl, R. A. (2012). The second dimension—crosscutting concepts. **The Science Teacher** 9(2): 34–38.

Faikhamta, C., and Lertdechapat, K. (2022). STEM Teacher Education in Thailand. In Teo, T. W., Tan, A.–L., and Teng, P. (Eds), **STEM education from Asia: Trend and perspectives** (pp.88–106). London: Routledge.

German, S. (2017). Assessing crosscutting concepts. **Science Scope** 40(5): 70–72.

Hutner, T., Sampson, V., Brooks, H., Baze, C., Gregory, J., Sommerhauser, K., and Broadway, M. (2019). Developing a highway crash safety barrier. **Science Scope** 43(1): 36–43.

Johnsonn, C. C., Peters–Burton, E. E., and Moore, T. J. (2016). **STEM Road Map: A Framework for Integrated STEM Education.** New York: Routledge.

Lertdechapat, K., and Faikhamta, C. (2019). Analysis of science and engineering practices in a revised Thai science curriculum. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 10(2): 216–231. (in Thai)

Lertdechapat, K., and Faikhamta, C. (2021). Engineering design process: A drive of STEM activities. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 12(2): 356–368. (in Thai)

National Research Council (NRC). (2012). **A Framework for K–12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas**. Washington, DC: The National Academies.

National Research Council [NRC]. (2013). **Next Generation Science Standards: For States, By States**. Washington, DC: The National Academies.

Pimthong, P. and Williams, J. (2020). Preservice teachers' understanding of STEM education. **Kasetsart Journal of Social Sciences** 41(2): 289–295.

Pleasants, J., and Olson, J. K. (2019). What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K–12 education. **Science Education** 103(1): 145–166.

Roehrig, G. H., Dare, E. A., Ellis, J. A., and Ring–Whalen, E. (2021). Beyond the basis: A detailed conceptual framework of integrated STEM. **Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research** 3(11): 1–18.

Saldaña, J. (2021). **The Coding Manual for Qualitative Researchers**. 4th ed. London: Sage.

Talanquer, V. (2019). Crosscutting concepts as productive ways of thinking breadcrumb. **The Science Teacher** 87(2): 16–18.

Thanetweeraphat, A. (2020). Science Learning based on engineering design in community context. In Rujopakarn, S. (Ed.), **Science, Teach, Media, and Happy** (pp.87–100)**.** Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Vichaidit, C., and Faikhamta, C. (2017). Exploring orientations toward STEM education of pre–service science teachers. **Rajabhat Maha Sarakham University Journal** 11(3): 165–174.