การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษา ด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

ประดับชัย อินมณี

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
ปีการศึกษา 2568
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

65030675

การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษา ด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

ประดับชัย อินมณี

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
ปีการศึกษา 2568
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษา
ด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม”
ของ ประดับชัย อินมณี
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิเทพ ปิติพรเทพิน)

.....ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติยา บงกชเพชร)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรินภา กิจเกื้อกูล)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์พร สว่างเมฆ)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ดร.สุริยา ชาปู่)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนา พัดเกตุ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ รักษาราชการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

ผู้วิจัย ประดับชัย อินมณี

ประธานที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติยา บงกชเพชร

กรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรินภา กิจเกื้อกูล

ประเภทวิทยานิพนธ์ วิทยานิพนธ์ ปร.ด. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2568

คำสำคัญ สะเต็มศึกษา, ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา, การพัฒนาวิชาชีพ, การฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูวิทยาศาสตร์ ก่อนและระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นครูวิทยาศาสตร์ จำนวน 4 คน จากโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่ง ซึ่งรับผิดชอบการจัดการเรียนรู้รายวิชาสะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพออกแบบโดยใช้กลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติ และการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ที่นำแนวทางการปฏิบัติทางวิศวกรรมมาออกแบบกิจกรรมพัฒนาครู การวิจัยใช้ระเบียบวิธีเชิงคุณภาพแบบกรณีศึกษา เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย แบบสอบถามเกี่ยวกับการรับรู้ในความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ แบบสะท้อนจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ แบบสังเกตการปฏิบัติการสอน และแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นวิเคราะห์ภายในกรณี และวิเคราะห์ระหว่างกรณี จากนั้น ตรวจสอบความน่าเชื่อถือโดยใช้เทคนิคการตรวจสอบแบบสามเส้าด้านวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผลการวิจัย พบว่า ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครูมีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาค่อนข้างจำกัด ในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรและความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ได้บางส่วน แต่ยังขาดความเข้าใจในการบูรณาการเนื้อหาข้ามสาขาวิชา มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์แนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน และยังไม่เข้าใจขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างลึกซึ้ง อย่างไรก็ตาม ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครูผู้เข้าร่วมแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกองค์ประกอบ ครูสามารถออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาสอดคล้องกับมาตรฐาน

การเรียนรู้และบูรณาการศาสตร์ทั้งสี่ได้อย่างเป็นระบบ มีความเข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมากขึ้น สามารถวิเคราะห์ความรู้พื้นฐานของผู้เรียนและปรับกิจกรรมเพื่อแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งใช้การประเมินแบบสภาพจริงที่สะท้อนการมีส่วนร่วมของผู้เรียนในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโปรแกรมพัฒนาครูสะเต็มศึกษา เพื่อส่งเสริมและพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูในบริบทอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Title DEVELOPMENT OF SECONDARY TEACHERS' PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE FOR STEM EDUCATION THROUGH STEM PROFESSIONAL DEVELOPMENT PROGRAM FOCUSING ON ENGINEERING PRACTICES

Author Pradapchai Inmanee

Advisor Assistant Professor Thitiya Bongkotphet, Ph.D.

Co-Advisor Assistant Professor Sirinapa Kijkuakul, Ph.D.

Academic Paper Doctor of Philosophy (Science Education), Naresuan University, 2025

Keywords STEM Education, Pedagogical Content Knowledge for STEM, Professional Development, Engineering Practices

ABSTRACT

This study aimed to examine science teachers' Pedagogical Content Knowledge for STEM education (PCK for STEM) before and during their participation in a STEM professional development program focusing on engineering practice. The participants were four science teachers responsible for teaching STEM education in one public secondary school during the second semester of the 2024 academic year. The professional development program was designed through workshops and collaborative lesson-study development which integrated engineering practices into teacher development activities. A qualitative case study design was employed. The data were collected through a PCK perception questionnaire, semi-structured interviews questions, lesson plan analysis, reflective journals from workshop participation, classroom observations notes, and post-teaching reflective journals. The data were analyzed using content analysis, including within-case and cross-case analysis. The trustworthiness of the findings was ensured through methodological triangulation.

The findings revealed that prior to participation, teachers possessed limited PCK for STEM, particularly in curriculum interpretation and instructional strategies. They were partly able to articulate some learning objectives aligned with 21st -

century skills, yet they still lacked understanding in cross-disciplinary content integration, demonstrated limited ability to identify and address students' misconceptions, and had insufficient understanding of the engineering design process. However, during the professional development program, the participating teachers demonstrated noticeable improvement across all PCK for STEM components. They were able to design STEM lesson plans according to curriculum standards by integrating the four STEM disciplines systematically. They improved the understanding of the engineering design process, the ability to analyze students' background knowledge to revise classroom activities to solve misconceptions, and the ability to implement authentic assessment methods to reflect students' engagement in the engineering design process.

Implications from this study can be applied as guidelines for designing STEM teacher professional development programs aimed at enhancing pedagogical content knowledge for STEM education in other educational contexts.

ประกาศคณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติยา บงกชเพชร และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรินภา กิจเกื้อกูล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการดำเนินการตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู และตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย อีกทั้งได้มีส่วนร่วมในโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูที่ได้เข้ามาให้ข้อเสนอแนะ ให้ความมั่นใจในการดำเนินการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณฝ่ายบริหารที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านการจัดตารางสอนเพื่อความสะดวกในการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน และครูผู้ร่วมวิจัยได้เสียสละเวลาในการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพพัฒนาบทเรียนสะเต็มศึกษา และนำไปใช้พัฒนานักเรียนตลอดระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา แม่ยาย ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา รวมถึงขอบคุณทุกคนในครอบครัว ภรรยา บุตรชาย บุตรสาว ผู้ซึ่งรักและเป็นกำลังใจ รวมถึงคุณยายที่จากไปแล้วแต่ท่านเป็นผู้ที่เลี้ยงดูในวัยเด็กและคิดถึงเสมอมา ซึ่งบุคคลทั้งหมดนี้เป็นแรงบันดาลใจที่ยิ่งใหญ่ให้ประสบความสำเร็จในครั้งนี้

คุณประโยชน์อันใดเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน และผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิชาชีพครูทางด้านสะเต็มศึกษาต่อไป

ประดับชัย อินมณี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
ประกาศคุณูปการ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
คำถามวิจัย	6
จุดมุ่งหมายของการวิจัย	6
ขอบเขตการวิจัย	6
นิยามศัพท์เฉพาะ	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	11
สะเต็มศึกษา	20
ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน	27
การพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา	48
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	87
กรอบแนวคิดการวิจัย	99
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	100
ระเบียบวิธีวิจัย	100
บริบทที่ศึกษา	101
ผู้เข้าร่วมวิจัย	102
โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา	103
เครื่องมือวิจัยและการพัฒนาเครื่องมือวิจัย	112
การออกแบบงานวิจัย	125
ความน่าเชื่อถืองานวิจัย	138

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย..... 140
ระยะที่ 1 ผลการสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา..... 140
ระยะที่ 2 ผลการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม..... 171
บทที่ 5 บทสรุป..... 226
สรุปผลการวิจัย..... 226
อภิปรายผล..... 231
ข้อเสนอแนะ..... 238
บรรณานุกรม..... 240
ภาคผนวก..... 254
ประวัติผู้วิจัย..... 271

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงโครงสร้างรายวิชาสะเต็มศึกษา..... 15
ตาราง 2 แสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบของความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอน..... 37
ตาราง 3 แสดงองค์ประกอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา..... 44
ตาราง 4 แสดงรูปแบบการวัดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน..... 47
ตาราง 5 แสดงองค์ประกอบการออกแบบการพัฒนาวิชาชีพครู..... 61
ตาราง 6 แสดงการเปรียบเทียบการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Practice) และ
การปฏิบัติทางวิศวกรรม (Engineering Practice)..... 66
ตาราง 7 แสดงบทบาทและหน้าที่ของผู้เข้าร่วมการพัฒนาบทเรียน..... 86
ตาราง 8 แสดงสรุปกลวิธีในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา..... 96
ตาราง 9 แสดงสถานภาพของครูระดับมัธยมศึกษาที่เป็นผู้เข้าร่วมวิจัย..... 103
ตาราง 10 แสดงโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม..... 106
ตาราง 11 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา..... 112
ตาราง 12 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถาม..... 114
ตาราง 13 แสดงข้อคำถามแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างตามกรอบแนวคิด..... 116
ตาราง 14 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสัมภาษณ์..... 118
ตาราง 15 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้
สะเต็มศึกษา..... 119
ตาราง 16 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วม
ประชุมเชิงปฏิบัติการ..... 120
ตาราง 17 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา..... 121
ตาราง 18 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา..... 123
ตาราง 19 แสดงสรุปเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 124
ตาราง 20 แสดงการออกแบบงานวิจัย..... 125
ตาราง 21 แสดงข้อคำถามและพฤติกรรมบ่งชี้..... 128
ตาราง 22 แสดงการให้คะแนนความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษา..... 130
ตาราง 23 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา..... 131

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง 24 แสดงตัวอย่างการเตรียมข้อมูลและการให้รหัสข้อมูล..... 132
ตาราง 25 แสดงตัวอย่างการจัดหมวดหมู่ข้อมูลและหาประเด็นหลัก..... 133
ตาราง 26 แสดงรูปแบบของกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน..... 136
ตาราง 27 แสดงระดับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรม..... 141
ตาราง 28 แสดงคุณสมบัติของครูที่ใช้ในการสัมภาษณ์ก่อนเข้าร่วมโปรแกรม..... 142

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 แสดงหมวดหมู่เบื้องต้นเกี่ยวกับความรู้ที่จำเป็นสำหรับครูของ Shulman..... 28
ภาพ 2 แสดงแบบจำลองที่แสดงความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอน..... 29
ภาพ 3 แสดงแบบจำลองที่แสดงความรู้ที่จำเป็นสำหรับครู ของ Grossman..... 30
ภาพ 4 แสดงแบบจำลองที่แสดงความรู้ที่จำเป็นสำหรับครู ของ Carlsen..... 31
ภาพ 5 แสดงแบบจำลองความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน ของ Magnusson et al..... 32
ภาพ 6 แสดงแบบจำลองความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน ของ Park, & Oliver..... 33
ภาพ 7 แสดงองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน..... 34
ภาพ 8 แสดงแบบจำลองความรู้ทางวิชาชีพของครูวิทยาศาสตร์ ของ Gess-Newsome..... 35
ภาพ 9 แสดงแบบจำลองความรู้ทางวิชาชีพของครูวิทยาศาสตร์ ของ Carlson, & Daehler..... 36
ภาพ 10 แสดงความรู้ของครูเพื่อการสอนสะเต็มศึกษาที่มีประสิทธิภาพ..... 41
ภาพ 11 แสดงกรอบแนวคิดในการออกแบบการพัฒนาวิชาชีพครู..... 49
ภาพ 12 แสดงวงจรกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ของ NGSS..... 70
ภาพ 13 แสดงวงจรกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม Engineering is Elementary..... 71
ภาพ 14 แสดงวงจรกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม..... 72
ภาพ 15 แสดงโมเดลกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม..... 73
ภาพ 16 แสดงกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ของ Fan, & yu..... 74
ภาพ 17 แสดงกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ของ Dasgupta et al..... 75
ภาพ 18 แสดงวงจรการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (Lesson study cycle)..... 85
ภาพ 19 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย..... 99
ภาพ 20 แสดงการออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา..... 104
ภาพ 21 แสดงแผนภาพขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลระยะที่ 1..... 126
ภาพ 22 แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร..... 142
ภาพ 23 แสดงความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา..... 143
ภาพ 24 แสดงความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน..... 143
ภาพ 25 แสดงความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน..... 144
ภาพ 26 แสดงความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้..... 144
ภาพ 27 แสดงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู T01..... 146

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพ 28 แสดงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู T02..... 152
ภาพ 29 แสดงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู T03..... 157
ภาพ 30 แสดงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู T04..... 162
ภาพ 31 แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร..... 171
ภาพ 32 แสดงความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา..... 172
ภาพ 33 แสดงความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน..... 172
ภาพ 34 แสดงความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน..... 173
ภาพ 35 แสดงความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้..... 173
ภาพ 36 แสดงการเปรียบเทียบ PCK for STEM ของครู T01 ก่อน-หลังเข้าร่วมโปรแกรม..... 174
ภาพ 37 แสดงการเปรียบเทียบ PCK for STEM ของครู T02 ก่อน-หลังเข้าร่วมโปรแกรม..... 186
ภาพ 38 แสดงการเปรียบเทียบ PCK for STEM ของครู T03 ก่อน-หลังเข้าร่วมโปรแกรม..... 198
ภาพ 39 แสดงการเปรียบเทียบ PCK for STEM ของครู T04 ก่อน-หลังเข้าร่วมโปรแกรม..... 210
ภาพ 40 แสดงรูปแบบของความสัมพันธ์ของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา..... 231

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเตรียมพลเมืองให้พร้อมที่จะดำรงชีวิต และประกอบอาชีพในโลกใหม่แห่งศตวรรษที่ 21 เป็นสิ่งสำคัญ จะเห็นได้จากนโยบายและหลักสูตรในหลาย ๆ ประเทศโดยเฉพาะสหรัฐอเมริกา ได้ระบุถึงเป้าหมาย และคุณลักษณะของพลเมืองที่คาดหวังในศตวรรษที่ 21 โดยทักษะสำคัญจำเป็นประกอบด้วย ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ทักษะด้านข้อมูล สื่อและเทคโนโลยี ทักษะชีวิตและอาชีพ (Battelle for kids, 2019) สะเต็มศึกษา (STEM Education) มีความสำคัญต่อการส่งเสริมทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 เป็นการนำแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสร้างทักษะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของนักเรียนในอนาคตมาประยุกต์ใช้ โดยเน้นการฝึกปฏิบัติ แก้ปัญหาที่เชื่อมโยงกับบริบทในชีวิตจริง มีการบูรณาการความรู้ในด้านต่าง ๆ และสามารถที่จะพัฒนาทักษะต่าง ๆ ที่จำเป็นในการดำรงชีวิต และประกอบอาชีพ อาจกล่าวได้ว่าสะเต็มศึกษามีความสำคัญอย่างยิ่งในทุกระดับของการศึกษา (Ring et al., 2017; NRC, 2012)

สะเต็มศึกษา เป็นแนวคิดของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบบูรณาการความรู้ต่าง ๆ อันได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) เข้าด้วยกันสามารถนำองค์ความรู้สะเต็มไปใช้ในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่เหมาะสมกับบริบทของโลก (NRC, 2012) สะเต็มศึกษาถูกผลักดันให้เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามนโยบายของรัฐทั้งในและต่างประเทศ เพื่อส่งเสริมการรู้เรื่องสะเต็ม (STEM literacy) ให้กับพลเมืองทุกคน ทั้งนี้การรู้สะเต็มเป็นสิ่งที่จำเป็น สำหรับการดำรงชีวิตของนักเรียนทุกคนทั้งในปัจจุบันและอนาคต (Zollman, 2012) โดยแนวคิดการจัดการเรียนรู้บูรณาการสะเต็มศึกษามีหลายรูปแบบ เช่น แบบบูรณาการภายในวิชา (disciplinary) แบบบูรณาการพหุวิทยากร (multidisciplinary) แบบบูรณาการสหวิทยากร (interdisciplinary) และแบบบูรณาการข้ามวิชา (Transdisciplinary) (Vasquez et al., 2013) โดยในประเทศสหรัฐอเมริกา NGSS Lead States (2013) มีการเน้นให้มีการบูรณาการระหว่างสาขาสะเต็มในเชิงลึกมากขึ้นในสาขาสะเต็ม และเน้นย้ำถึงการบูรณาการการออกแบบและการปฏิบัติทางวิศวกรรมเข้ากับวิชาสะเต็มตั้งแต่ระดับอนุบาลถึงมัธยมศึกษาตอนปลาย (K-12 STEM)

ประเทศไทยได้จัดทำแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 ขึ้นเพื่อวางกรอบเป้าหมายและทิศทางการจัดการศึกษาของประเทศ โดยมุ่งจัดการศึกษาให้คนไทยทุกคนสามารถเข้าถึงโอกาสและความเสมอภาคในการศึกษาที่มีคุณภาพ พัฒนากำลังคนให้มีสมรรถนะ ในการทำงานที่สอดคล้องกับความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาประเทศ มุ่งพัฒนาผู้เรียนทุกคนให้มีคุณลักษณะและทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 จึงได้กำหนดให้สะเต็มศึกษาเป็นส่วนหนึ่งในยุทธศาสตร์ของการพัฒนาชาติ โดยให้ร้อยละของโรงเรียนที่จัดการศึกษาบูรณาการ องค์ความรู้แบบสะเต็มศึกษาเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี ผลิตและพัฒนากำลังคน ให้มีสมรรถนะในสาขาที่ตรงความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยการส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้เชิงบูรณาการองค์ความรู้แบบสหวิทยาการ เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและการสร้างสรรค์นวัตกรรมเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2560) เพื่อตอบสนองนโยบายของประเทศไทยที่มุ่งใช้การศึกษาเป็นตัวขับเคลื่อนให้ประเทศหลุดพ้นจากการเป็นประเทศที่มีรายได้ปานกลางมาเป็นประเทศที่มีรายได้สูง สามารถพัฒนาผู้สร้างนวัตกรรม นอกจากนี้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2566) ได้บรรจุให้เทคโนโลยี เป็นสาระการเรียนรู้หนึ่ง ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นการบูรณาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้าไว้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้เดียวกัน และมีการเชื่อมโยงเนื้อหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับคณิตศาสตร์ด้วย เพื่อเป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 อีกทั้งยังสนับสนุนให้มีการเปลี่ยนแปลงด้านการจัดการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อให้สอดคล้องกับแนวการจัดการศึกษาสะเต็มศึกษา (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (PCK for STEM) เป็นกรอบแนวคิดในการศึกษา การบูรณาการสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับครูในการบูรณาการสะเต็มศึกษา (Honey et al., 2014; Saxton et al., 2014) โดยความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจะช่วยให้ครูจัดการเรียนรู้สะเต็มที่มีประสิทธิภาพ ทำให้มีความรู้พื้นฐานที่หลากหลายอีกทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการพัฒนาครูก่อนประจำการและครูประจำการวิทยาศาสตร์ได้ (Faikhamta et al., 2020) จากการศึกษาเอกสารงานวิจัย องค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษามีอยู่อย่างหลากหลาย โดยปรับปรุงจากพื้นฐานความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ (PCK) (Juhler, 2016; Srikoom et al., 2018; Fan, & Yu, 2019; Chan et al., 2019; Aydin-Gunbatar et al., 2020; Ling et al., 2020; Sarkim, 2020; Faikhamta et al., 2020) เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตและพัฒนาครู อาจกล่าวได้ว่า ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา จึงเป็นความรู้ของครูที่แสดงถึงการบูรณาการความรู้ด้านต่าง ๆ เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบหลากหลาย

ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ เป็นต้น และจากการศึกษาเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา พบว่า ครูประสบปัญหาต่าง ๆ มากมายในการบูรณาการสะเต็มศึกษาในชั้นเรียน เช่น ครูประสบปัญหาในการบูรณาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี กับวิชาอื่น ๆ ในสะเต็ม โดยเฉพาะวิชาที่อยู่นอกขอบเขตความเชี่ยวชาญของตนเอง (Roehrig et al., 2012; Lau, & Multani, 2018; Alan et al., 2019) การสอนเนื้อหาที่ไม่อยู่ในสาระวิชาของตนเอง (Lau, & Multani, 2018) ซึ่งในการสอนสะเต็มนั้น ครูจะต้องมีความรู้ในเนื้อหาสะเต็มเนื่องจากสะเต็มเป็นการบูรณาการความรู้ 4 ศาสตร์ (วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์) เข้าด้วยกัน ต้องเข้าใจเนื้อหาเชิงลึกและธรรมชาติของแต่ละสาขาวิชา นอกจากนี้ครูวิทยาศาสตร์ยังมีการรับรู้ที่ไม่ชัดเจนและคลาดเคลื่อนในประเด็นธรรมชาติของเนื้อหาในสะเต็มศึกษา ความยากง่ายของเนื้อหาในกิจกรรม การสืบค้นข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยีขั้นสูง กระบวนการคิดเชิงวิศวกรรม และผลลัพธ์ของการเรียนรู้สะเต็มศึกษาซึ่งเป็นประเด็นปัญหาเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (ชุติมา วิชัยดิษฐ์ และชาตรี ฝ่ายคำตา, 2564) อีกทั้งไม่ได้ใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมอย่างเหมาะสม (Srikoom et al., 2018) ครูจำเป็นต้องมีโครงการพัฒนาวิชาชีพเพื่อเพิ่ม PCK for STEM ส่งเสริมให้มีความรู้ความสามารถในการจัดการเรียนการสอนสะเต็ม (Lau, & Multani, 2018; Srikoom et al., 2018)

การพัฒนาครูด้านการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเป็นเป้าหมายการจัดการศึกษาทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยประเทศไทยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ให้ความสำคัญ และผลักดันให้เกิดสะเต็มศึกษาขึ้นในประเทศไทย มีหน่วยพัฒนาครูโดยจัดตั้งศูนย์สะเต็มศึกษาแห่งชาติและสร้างเครือข่ายความร่วมมือด้านสะเต็มศึกษากับสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2565) เพื่อพัฒนาครูให้มีศักยภาพนำไปสู่การพัฒนาผู้เรียน จากการศึกษาเอกสารงานวิจัย พบว่า การพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาเน้นแนวทางการนำวิศวกรรมเข้าไปในหลักสูตร พัฒนาให้ครูเป็นผู้นำด้านหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ (Biswas et al., 2022; Porter et al., 2019; Doganca et al., 2023; Yilmaz, 2022) อีกทั้งปัญหาของการบูรณาการสะเต็มศึกษา เกิดเนื่องจากความรู้เนื้อหาของครูที่มีไม่เพียงพอ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการไม่เต็มใจที่จะสอนเกี่ยวกับวิศวกรรม (National Academy of Engineering and National Research Council: NAE & NRC, 2014) ครูวิทยาศาสตร์ขาดประสบการณ์ทางการศึกษาหรือปฏิบัติในด้านวิศวกรรม และมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนหรือขาดความรู้ด้านวิศวกรรมโดยสิ้นเชิง อีกทั้งการศึกษาด้านวิศวกรรมส่งผลต่อความเชื่อของครู เกี่ยวกับคุณค่าของการใช้การออกแบบทางวิศวกรรมในการบูรณาการการปฏิบัติงานด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เข้ากับการสอนในเนื้อหารายวิชา (Christian et al., 2021) จากการศึกษาเอกสาร

งานวิจัย พบว่า ครูประจำการมีความรู้เกี่ยวกับสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ค่อนข้างจำกัด (Cunningham, & Carlsen, 2014) ซึ่งเน้นย้ำถึงความสำคัญของการให้ความรู้เกี่ยวกับวิศวกรรมและกระบวนการออกแบบวิศวกรรมแก่ครูประจำการ นอกจากนี้ยังไม่พบการพัฒนาครูโดยเน้นการนำแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมไปใช้ (Srikoom et al., 2018) โดยวิศวกรรมในสะเต็มศึกษา ไม่มีครูที่จบการศึกษาด้านนี้มาโดยตรงจึงทำให้การสอนสะเต็มศึกษาเป็นไปอย่างไม่ลึกซึ้ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ที่จะส่งเสริมความรู้ด้านวิศวกรรมของผู้เข้าร่วม (สุทธิดา จำรัส, 2562)

แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม (Engineering practices) เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรใหม่ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นการอธิบายเกี่ยวกับพฤติกรรมที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการสำรวจตรวจสอบ สร้างรูปแบบ ทฤษฎี เกี่ยวกับโลก และกำหนดสิ่งสำคัญของแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมที่วิศวกรใช้ในการออกแบบ สร้างแบบจำลองและระบบ (NGSS, 2013) ซึ่งแนวปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม มีลักษณะคล้ายกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่มีลักษณะไม่เพียงแค่เป็นชุดขั้นตอนเดียวเท่านั้น ต้องมีการประสานทั้งความรู้และทักษะพร้อมกัน ซึ่งวิศวกรรมมีความสำคัญต่อสะเต็มศึกษาที่ให้มุมมองที่ครอบคลุมมีประโยชน์ต่อการเรียนรู้เนื้อหาเชิงแนวคิดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Cunningham, 2014) ทั้งนี้แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมอยู่บนพื้นฐานของการสืบเสาะหาความรู้ โดยการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาจะใช้การแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมเป็นแนวทางในการบูรณาการสะเต็มศึกษาเข้ากับการศึกษาวิทยาศาสตร์ผ่านการออกแบบทางวิศวกรรม (National Academy of Engineering and National Research Council: NAE & NRC, 2009; NRC, 2012) ซึ่งเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการวางแผนและออกแบบการวิจัยเพื่อพัฒนาครูสะเต็มศึกษาให้มีประสิทธิภาพ (Lin et al, 2021; Christian et al, 2021; Brand, 2020; Porter et al, 2019; Ross et al, 2022; Doganca, 2023; Irmak, 2022) โดยแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมมีกระบวนการกำหนดปัญหา ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ตามบริบทที่น่าสนใจ และดำเนินการแก้ปัญหาโดยประยุกต์แนวคิดทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (Dare et al., 2018; English, 2017; Moore et al., 2015; Roehrig et al., 2012) การออกแบบทางวิศวกรรมจึงถือเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบการพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา โดยผสมผสานความรู้ในสาขาวิชาที่หลากหลายผ่านวิศวกรรมศาสตร์และการปฏิบัติด้านวิศวกรรม (Fan, & yu, 2019; Correia, & Baptista, 2022) อีกทั้งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาของนักเรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อบูรณาการแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Christian et al, 2021) ดังนั้น การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา จึงควรทำให้ครูเข้าใจอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้นเกี่ยวกับการดำเนินการออกแบบทางวิศวกรรม ได้รับประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับกระบวนการออกแบบและการผลิต มีความคุ้นเคยกับสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และมีประสบการณ์ในการจัดการเรียนรู้การออกแบบทางวิศวกรรมในสะเต็มศึกษา (Fan, & yu, 2019)

ควรผลักดันความรู้ด้านแนวปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมให้เกิดขึ้นอย่างจริงจังในชั้นเรียนตามมาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตร (ชุติมา วิชัยดิษฐ์, 2563)

กลวิธีในการพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อให้ครูมีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา มีการนำกลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) เป็นกลยุทธ์เริ่มต้นในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา (ชุติมา วิชัยดิษฐ์, 2564; Faikhamta, 2020; Srikoom, 2018; Ling et al., 2020; Aydin-Gunbatar et al., 2020) โดยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพต้องมุ่งเน้นที่ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน มีการใช้สื่อการเรียนการสอนใหม่ และควรมีการประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อเริ่มกระบวนการเรียนรู้การพัฒนาวิชาชีพ ตามด้วยการประชุมเพื่อแก้ไขปัญหาและหารือเกี่ยวกับการปฏิบัติการสอน (Margot, & Kettler, 2019) และจากการศึกษาเอกสารงานวิจัย พบว่า การประชุมเชิงปฏิบัติสามารถพัฒนา PCK for STEM โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับองค์ประกอบความเข้าใจและการประเมินนักเรียน (Srikoom, 2018) และมีผลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อทัศนคติของครูวิทยาศาสตร์ในด้านสะเต็มศึกษา ด้านความรู้และการประยุกต์ใช้ อีกทั้งการประชุมเชิงปฏิบัติการควรมีการให้ตัวอย่างของความท้าทายในการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อให้ครูใช้เป็นแบบจำลองอ้างอิง และการสาธิตวิธีการออกแบบทางวิศวกรรมและการแก้ปัญหาในและนอกห้องเรียน สามารถปรับปรุง PCK for STEM ของครู (Faikhamta et al. 2020) นอกจากนี้ ครูจำเป็นต้องพัฒนา ความรู้เนื้อผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยกำหนดให้ครูต้องออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา แล้วนำไปใช้ในห้องเรียน เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในการออกแบบ (Vossen et al., 2019) โดยในการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์กลยุทธ์ที่ถูกแยกออกเป็นกลยุทธ์เดี่ยว ๆ ไม่สามารถพัฒนาวิชาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Loucks-Horsley et al., 2010) การศึกษาบทเรียนร่วมกัน (Lesson Study) เป็นกลยุทธ์หนึ่งที่ส่งเสริมการพัฒนาวิชาชีพครู (Professional Development) ผ่านการทำงานแบบร่วมมือกับกลุ่มครู โดยผู้ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ของผู้เรียนในบริบทการทำงานจริงในชั้นเรียนอย่างเป็นระบบ ทำให้ครูมีส่วนร่วมและสนับสนุนการพัฒนาบทเรียนร่วมกันอย่างมีความหมายและได้รับแนวคิดใหม่ ๆ เกี่ยวกับบทเรียนที่ได้รับการพัฒนา ตลอดจนความเข้าใจเชิงลึกจากประสบการณ์ตรงจากการพัฒนาบทเรียนซึ่งมีอิทธิพลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน (Burroughs, & Luebeck, 2010) และจากการศึกษาเอกสารงานวิจัย พบว่าการศึกษาบทเรียนร่วมกัน ส่งผลต่อความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน (ชุติมา วิชัยดิษฐ์, 2563; Juhler, 2016; Lertdechapat, & Faikhamta, 2021) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการพัฒนา PCK for STEM ของผู้เข้าร่วม ซึ่งสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ดีที่สุดสำหรับครูจะเกิดขึ้นเมื่อครูได้รับโอกาสในการสอน ร่วมกันสะท้อนคิดกับบุคคลอื่น ๆ และการตีความจากการปฏิบัติ (Darling Hammond, 2017) อีกทั้งกลยุทธ์การศึกษาบทเรียนร่วมกันที่นำไปใช้ในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษานั้นยังพบน้อยมาก (Juhler, 2016)

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาวิชาชีพครูมัธยมศึกษาโดยออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่นำแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมมาออกแบบกิจกรรมพัฒนาครู ให้ครูได้ร่วมมือกันในการพัฒนาบทเรียนสะเต็มศึกษาแล้วนำไปใช้จริงผ่านกลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา เป็นการเติมช่องว่าง (Closing the gap) งานวิจัยการพัฒนาวิชาชีพครูประจำการให้มีความรู้และความสามารถในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาซึ่งในประเทศไทยยังพบน้อยมากถือว่ามีความสำคัญ (ชาตรี ฝ่ายคำตา และคณะ, 2566) โดยเฉพาะโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูที่เน้นการปฏิบัติทางวิศวกรรมเป็นการเพิ่มองค์ความรู้ในงานวิจัยในประเด็นที่ขาดอยู่ ซึ่งครูเป็นผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการบ่มเพาะและพัฒนาเยาวชนคนไทยให้เกิดความรู้ ทักษะในศตวรรษที่ 21 ที่จะต้องออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ ตลอดจนปรับปรุงและพัฒนาบทเรียนที่จะส่งผลต่อการพัฒนานักเรียนอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

คำถามวิจัย

1. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นอย่างไร
2. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นอย่างไร

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม
2. เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา และพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระดับมัธยมศึกษา จากการเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน โดยมีการกำหนดขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ คือ ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และครูกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 4 คน ที่สมัครเข้าใจเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

2. ตัวแปรที่ศึกษา คือ ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

3. ระยะเวลาดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2568

นิยามศัพท์เฉพาะ

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (Pedagogical Content Knowledge for STEM) หมายถึง ความรู้ของครูระดับมัธยมศึกษาที่ช่วยให้ครูจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่มีประสิทธิภาพ โดยการบูรณาการวิศวกรรมศาสตร์และสาขาวิชาอื่นในสะเต็มศึกษาอย่างเหมาะสม ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจ สะเต็มศึกษา โดยความรู้ของครูประกอบไปด้วย 5 องค์ประกอบ ซึ่งปรับจากแนวคิดของ (Juhler, 2016; Chan et al., 2019; Aydin-Gunbatar et al., 2020) ให้เหมาะสมกับสภาพบริบท ดังนี้

1. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร (Knowledge of curriculum) ความรู้ของครูเกี่ยวกับการกำหนดวัตถุประสงค์ในบทเรียนสะเต็มศึกษา ซึ่งประกอบด้วยวัตถุประสงค์สำหรับวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ และการเชื่อมโยงระหว่างวัตถุประสงค์วิชาวิทยาศาสตร์กับวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษา

2. ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา (content knowledge) ความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม เข้าใจลักษณะเฉพาะและเนื้อหาที่เกี่ยวข้องของแต่ละวิชา สามารถนำความรู้ที่เกี่ยวข้องไปใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

3. ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน (Knowledge of learners) ความรู้เกี่ยวกับความยากลำบาก (difficulties) ในการเรียนรู้ของนักเรียนและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (misconceptions) ที่ผู้เรียนอาจพบขณะออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการ และใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

4. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน (Knowledge of Instructional strategy) ความรู้ของครูเกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนที่เหมาะสมที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม และการใช้ตัวอย่างและกิจกรรมในบทเรียนสะเต็มศึกษา

5. ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ (Knowledge of assessment) ความรู้ของครูเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนในบทเรียนสะเต็มศึกษา เช่น เนื้อหาวิทยาศาสตร์ กระบวนการทางวิศวกรรมและผลิตชิ้นงาน ทักษะในศตวรรษที่ 21 เป็นต้น และความรู้เกี่ยวกับการเลือกวิธีการประเมินที่เหมาะสม เช่น ประเมินชิ้นงาน ประเมินการนำเสนอ เป็นต้น

โดยความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา สามารถวัดด้วยการสัมภาษณ์ การสังเกตชั้นเรียน การสะท้อนจากการปฏิบัติการสอน การประเมินแผนการจัดการเรียนรู้ เป็นต้น

โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม (STEM Professional Development Program) หมายถึง กระบวนการพัฒนาความรู้และทักษะของครูระดับมัธยมศึกษา ในเรื่องกระบวนการและวิธีการทางวิศวกรรม (engineering) เพื่อให้สามารถนำหลักการ และวิธีการทางวิศวกรรม ไปบูรณาการในการจัดการเรียนการรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกระบวนการพัฒนาวิชาชีพประกอบด้วยการวิเคราะห์บริบทของครู สถานศึกษา การวางแผนกลยุทธ์ กิจกรรมการพัฒนาครู การนำไปปฏิบัติจริงในชั้นเรียน และการติดตามผลการพัฒนาวิชาชีพ

ในการศึกษาครั้งนี้มีการศึกษา ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนเข้าร่วมโปรแกรม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบโปรแกรมตามบริบทเฉพาะ ภายใต้กระบวนการออกแบบการพัฒนาวิชาชีพครู (Loucks-Horsley et al., 2010) โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย 2 กลวิธี คือ

1. การประชุมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) เป็นการประชุมเชิงปฏิบัติการ โดยมีกิจกรรมบูรณาการสะเต็มศึกษา ที่นำแนวทางการปฏิบัติทางวิศวกรรม ที่นักวิศวกรใช้ในการออกแบบสร้างแบบจำลองและระบบ NGSS (2013) เพื่อใช้สร้างประสบการณ์การเรียนรู้สะเต็มศึกษาของครูผ่านกิจกรรมส่งผลต่อความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย 8 ขั้นตอน ต่อไปนี้

1.1 การตั้งคำถามและการนิยามปัญหา
1.2 การสร้างและการใช้รูปแบบ
1.3 การวางแผนและดำเนินการสำรวจ
1.4 การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล
1.5 การใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ
1.6 การสร้างคำอธิบายและการออกแบบการแก้ปัญหา
1.7 การสนับสนุนให้มีการโต้แย้งด้วยหลักฐาน
1.8 การเก็บรวบรวม การประเมิน และการสื่อสารข้อมูล

2. การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (lesson study) เป็นกระบวนการที่สนับสนุนการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยให้ครูต่างสาขาวิชาพัฒนาบทเรียนสะเต็มศึกษาโดยใช้เนื้อหาในสาขาวิชาที่สอนวิทยาศาสตร์ร่วมกัน เพื่อให้เกิดกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลาย มีการนำไปใช้จริงในห้องเรียน ปรับปรุงบทเรียน ซึ่งเป็นรูปแบบของครูสถานศึกษาเดียวกันที่ครูเรียนรู้และพัฒนาบทเรียนไปด้วยกัน ซึ่งจะส่งเสริมความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู โดยกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกันมีขั้นตอน ดังนี้ (Juhler, 2016)

2.1 กำหนดเป้าหมายการเรียนรู้ของผู้เรียน

2.2 การอภิปรายกลุ่มและจัดทำแผนจัดการเรียนรู้

2.3 นำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้และสังเกตการปฏิบัติการสอน

2.4 การสะท้อนผลและดำเนินการแก้ไข

2.5 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงไปใช้

2.6 เผยแพร่เพื่อแบ่งปันความรู้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย เรื่อง การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดทฤษฎี จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนำเสนอเป็นแนวทางในการวิจัย มีหัวข้อดังนี้

1. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566)
    - 1.1 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
    - 1.2 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์
    - 1.3 คำอธิบายรายวิชา ผลการเรียนรู้วิชาสะเต็มศึกษาของสถานศึกษา
    - 1.4 หลักสูตรวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์กับการบูรณาการสะเต็มศึกษา
2. สะเต็มศึกษา
    - 2.1 ความหมายของสะเต็มศึกษา
    - 2.2 รูปแบบการสอนสะเต็มศึกษา
    - 2.3 แนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา
    - 2.4 กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม
    - 2.5 การวัดและประเมินผลสะเต็มศึกษา
3. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน
    - 3.1 แนวคิดทฤษฎีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน
    - 3.2 ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา
    - 3.3 การประเมินความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา
4. การพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา
    - 4.1 แนวคิดการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์
    - 4.2 การพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา
    - 4.3 โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่ส่งเสริมการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
6. กรอบแนวคิดการวิจัย

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

1. กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ได้กำหนดตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางที่ผู้เรียนจำเป็นต้องเรียนเป็นพื้นฐาน เพื่อให้สามารถนำความรู้ไปใช้ในการดำรงชีวิต หรือศึกษาต่อในวิชาชีพ ที่ต้องใช้วิทยาศาสตร์ มีการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการเรียนรู้ และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาความคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล ความคิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์วิจารณ์ มีทักษะที่สำคัญ ทั้งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะในศตวรรษที่ 21 ในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สามารถแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจ โดยใช้ข้อมูลหลากหลาย และประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้

เป้าหมายของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และสาระสำคัญ

ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองมากที่สุด เพื่อให้ได้ทั้งกระบวนการและความรู้ จากวิธีการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาจัดระบบเป็นหลักการ แนวคิด และองค์ความรู้การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงมีเป้าหมายที่สำคัญ (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2566) ดังนี้

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการ ทฤษฎี และกฎที่เป็นพื้นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อให้เข้าใจขอบเขตของธรรมชาติของวิชาวิทยาศาสตร์และข้อจำกัดในการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์
3. เพื่อให้มีทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางเทคโนโลยี
4. เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์ และสภาพแวดล้อมในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน
5. เพื่อนำความรู้ ความเข้าใจ ในวิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิต
6. เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหา และการจัดการ ทักษะในการสื่อสาร และความสามารถในการตัดสินใจ
7. เพื่อให้เป็นผู้ที่มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มุ่งหวังให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และแก้ปัญหาที่หลากหลาย ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้

ทุกขั้นตอน มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลาย เหมาะสมกับระดับชั้น โดยกำหนดสาระสำคัญ ดังนี้

1. วิทยาศาสตร์ชีวภาพ เรียนรู้เกี่ยวกับ ชีวิตในสิ่งแวดล้อม องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต การดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์ การดำรงชีวิตของพืช พันธุกรรม ความหลากหลายทางชีวภาพและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

2. วิทยาศาสตร์กายภาพ เรียนรู้เกี่ยวกับ ธรรมชาติของสาร การเปลี่ยนแปลงของสาร การเคลื่อนที่ พลังงาน และคลื่น

3. วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ เรียนรู้เกี่ยวกับ องค์ประกอบของเอกภพ ปฏิสัมพันธ์ภายในระบบสุริยะ เทคโนโลยีอวกาศ ระบบโลก การเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา กระบวนการเปลี่ยนแปลงลมฟ้าอากาศ และผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

4. เทคโนโลยี

4.1 การออกแบบและเทคโนโลยี เรียนรู้เกี่ยวกับการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีเพื่อดำรงชีวิตในสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ใช้ความรู้และทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และศาสตร์อื่น ๆ เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนางานอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม

4.2 วิทยาการคำนวณ เรียนรู้เกี่ยวกับการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความเข้าใจ มีทักษะการคิด เชิงคำนวณ การคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหาเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ ประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ในการแก้ปัญหาที่พบในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สาระและมาตรฐานการเรียนรู้

สาระที่ 1 วิทยาศาสตร์ชีวภาพ

มาตรฐาน ว 1.1 เข้าใจความหลากหลายของระบบนิเวศ ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งไม่มีชีวิตกับสิ่งมีชีวิต และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในระบบนิเวศ การถ่ายทอดพลังงาน การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในระบบนิเวศ ความหมายของประชากร ปัญหาและผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แนวทางในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 1.2 เข้าใจสมบัติของสิ่งมีชีวิต หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต การลำเลียงสารเข้า และออกจากเซลล์ความสัมพันธ์ของโครงสร้าง และหน้าที่ของระบบต่าง ๆ ของสัตว์และมนุษย์ที่ทำงานสัมพันธ์กัน ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะต่าง ๆ ของพืชที่ทำงานสัมพันธ์กัน รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 1.3 เข้าใจกระบวนการและความสำคัญของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม สารพันธุกรรม การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ

มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสมบัติของสสาร องค์ประกอบของสสาร ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค หลักและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร การเกิดสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

มาตรฐาน ว 2.2 เข้าใจธรรมชาติของแรงในชีวิตประจำวัน ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของวัตถุรวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 2.3 เข้าใจความหมายของพลังงาน การเปลี่ยนแปลงและการถ่ายโอนพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสสารและพลังงาน พลังงานในชีวิตประจำวัน ธรรมชาติของคลื่น ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเสียง แสง และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 3 วิทยาศาสตร์โลก และอวกาศ

มาตรฐาน ว 3.1 เข้าใจองค์ประกอบ ลักษณะ กระบวนการเกิด และวิวัฒนาการของเอกภพ กาแล็กซีดาวฤกษ์และระบบสุริยะ รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ภายในระบบสุริยะที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิต และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอวกาศ

มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจองค์ประกอบและความสัมพันธ์ของระบบโลก กระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในโลก และบนผิวโลก ธรณีพิบัติภัย กระบวนการเปลี่ยนแปลงลมฟ้า อากาศและภูมิอากาศโลก รวมทั้งผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

สาระที่ 4 เทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 4.1 เข้าใจแนวคิดหลักของเทคโนโลยีเพื่อการดำรงชีวิตในสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ใช้ความรู้และทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์และศาสตร์อื่น ๆ เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนางานอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม

มาตรฐาน ว 4.2 เข้าใจและใช้แนวคิดเชิงคำนวณในการแก้ปัญหาที่พบในชีวิตจริงอย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในการเรียนรู้ การทำงานและการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ รู้เท่าทัน และมีจริยธรรม

2. หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากคณิตศาสตร์ช่วยให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบมีแบบแผนสามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจ

แก้ปัญหา ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ คณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และศาสตร์อื่น ๆ อันเป็นรากฐานในการพัฒนาทรัพยากรบุคคลของชาติให้มีคุณภาพและพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศให้ทัดเทียมกับนานาชาติ การศึกษาคณิตศาสตร์จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทันสมัยและสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคม และความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เจริญก้าวหน้า อย่างรวดเร็วในยุคโลกาภิวัตน์

ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยคำนึงถึงการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เป็นสำคัญ นั่นคือ การเตรียมผู้เรียนให้มีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ การใช้เทคโนโลยี การสื่อสารและการร่วมมือ ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของระบบเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อม สามารถแข่งขันและอยู่ร่วมกับประชาคมโลกได้ ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จนั้น จะต้องเตรียมผู้เรียนให้มีความพร้อมที่จะเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ พร้อมที่จะประกอบอาชีพเมื่อจบการศึกษา หรือสามารถศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น ดังนั้นสถานศึกษาควรจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมตามศักยภาพของผู้เรียน

กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์จัดเป็น 3 สาระ ได้แก่ จำนวนและพีชคณิต การวัดและเรขาคณิต และสถิติและความน่าจะเป็น (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2566)

1. จำนวนและพีชคณิต เรียนรู้เกี่ยวกับระบบจำนวนจริงสมบัติเกี่ยวกับจำนวนจริง อัตราส่วน ร้อยละ การประมาณค่า การแก้ปัญหาเกี่ยวกับจำนวน การใช้จำนวนในชีวิตจริง แบบรูป ความสัมพันธ์ ฟังก์ชัน เซต ตรรกศาสตร์ นิพจน์เอกนามพหุนาม สมการ ระบบสมการ อสมการ กราฟ ดอกเบี้ยและมูลค่า ของเงิน ลำดับและอนุกรม และการนำความรู้เกี่ยวกับจำนวนและพีชคณิตไปใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ

2. การวัดและเรขาคณิต เรียนรู้เกี่ยวกับ ความยาว ระยะทาง น้ำหนัก พื้นที่ ปริมาตร และความจุ เงินและเวลา หน่วยวัดระบบต่าง ๆ การคาดคะเนเกี่ยวกับการวัด อัตราส่วนตรีโกณมิติ รูปเรขาคณิต และสมบัติของรูปเรขาคณิต การนึกภาพ แบบจำลองทางเรขาคณิต ทฤษฎีบททางเรขาคณิต การแปลงทางเรขาคณิตในเรื่องการเลื่อนขนาน การสะท้อน การหมุน และการนำความรู้เกี่ยวกับการวัด และเรขาคณิตไปใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ

3. สถิติและความน่าจะเป็น เรียนรู้เกี่ยวกับ การตั้งคำถามทางสถิติ การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณค่าสถิติ การนำเสนอและแปลผลสำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ หลักการนับ เบื้องต้น ความน่าจะเป็น การใช้ความรู้เกี่ยวกับสถิติและความน่าจะเป็นในการอธิบายเหตุการณ์ต่าง ๆ และช่วยในการตัดสินใจ

สาระและมาตรฐานการเรียนรู้

สาระที่ 1 จำนวนและพีชคณิต

มาตรฐาน ค 1.1 เข้าใจความหลากหลายของการแสดงจำนวน ระบบจำนวน การดำเนินการของจำนวน ผลที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการ สมบัติของการดำเนินการ และนำไปใช้

มาตรฐาน ค 1.2 เข้าใจและวิเคราะห์แบบรูป ความสัมพันธ์ ฟังก์ชัน ลำดับและอนุกรม และนำไปใช้

มาตรฐาน ค 1.3 ใช้นิพจน์ สมการ และอสมการ อธิบายความสัมพันธ์หรือช่วยแก้ปัญหาที่กำหนดให้

สาระที่ 2 การวัดและเรขาคณิต

มาตรฐาน ค 2.1 เข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการวัด วัดและคาดคะเนขนาดของสิ่งที่ต้องการวัด และนำไปใช้

มาตรฐาน ค 2.2 เข้าใจและวิเคราะห์รูปเรขาคณิต สมบัติของรูปเรขาคณิต ความสัมพันธ์ระหว่าง รูปเรขาคณิต และทฤษฎีบททางเรขาคณิต และนำไปใช้

สาระที่ 3 สถิติและความน่าจะเป็น

มาตรฐาน ค 3.1 เข้าใจกระบวนการทางสถิติ และใช้ความรู้ทางสถิติในการแก้ปัญหา

มาตรฐาน ค 3.2 เข้าใจหลักการนับเบื้องต้น ความน่าจะเป็น และนำไปใช้

3. หลักสูตรสะเต็มศึกษาของสถานศึกษา

สถานศึกษาได้จัดทำหลักสูตรสะเต็มศึกษา เป็นรายวิชา เพิ่มเติม สำหรับใช้จัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนแผนการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 โดยมีจำนวนห้องเรียนชั้นละ 4 ห้องเรียน แบ่งเป็น 4 รายวิชา โดยมีโครงสร้างรายวิชา ดังนี้

ตาราง 1 แสดงโครงสร้างรายวิชาสะเต็มศึกษา

ชั้น	ภาคเรียน	รหัสวิชา	รายวิชา	จำนวน (หน่วยกิต)	เวลาเรียน (คาบ)
ม.4	1	ค30203	คณิตศาสตร์กับสะเต็มศึกษา	1	40
ม.5	2	ว30260	สะเต็มศึกษา	1	40
ม.6	1	ว30261	สะเต็มคอมพิวเตอร์	1	40
ม.6	2	ว30262	โครงงานสะเต็มศึกษา	1	40

คำอธิบายรายวิชาและผลการเรียนรู้

คำอธิบายรายวิชา รหัสวิชา ค 30203 คณิตศาสตร์กับสะเต็มศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 เวลา 40 ชั่วโมง จำนวน 1.0 หน่วยกิต

ศึกษาความหมาย แนวคิด เป้าหมายของสะเต็มศึกษา ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการออกแบบ เชิงวิศวกรรม หลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่กำหนด วิเคราะห์ ออกแบบและสร้างสรรค์ผลงาน นวัตกรรม หรือสิ่งประดิษฐ์ โดยการบูรณาการหลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี นำมาใช้แก้ปัญหาตามขั้นตอนทำงานของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด รวบรวมข้อมูลและแนวคิด ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ทดสอบประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา

เพื่อให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์ คิดแก้ปัญหา การคิดอย่างมีวิจารณญาณ มีความสามารถในการทำงานร่วมกัน การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ นำความรู้ไปใช้สร้างสรรค์นวัตกรรม หรือชิ้นงานที่นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เห็นคุณค่าของการเรียนรู้และนำความรู้ไปใช้อย่างสร้างสรรค์

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายความหมาย แนวคิด เป้าหมาย ของสะเต็มศึกษาได้
2. อธิบายหลักการทำงานของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
3. ระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดหรือจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวันได้
4. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหาได้
5. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาโดยเชื่อมโยงความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีได้
6. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาตามที่ได้ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา
7. ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา
8. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาและผลการแก้ปัญหา

คำอธิบายรายวิชา รหัสวิชา ว30260 รายวิชา สะเต็มศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 เวลา 40 ชั่วโมง จำนวน 1.0 หน่วยกิต

ศึกษาความหมาย แนวคิด เป้าหมายของสะเต็มศึกษา ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการออกแบบ เชิงวิศวกรรม หลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และ

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่กำหนด วิเคราะห์ ออกแบบและสร้างสรรค์ผลงาน นวัตกรรม หรือสิ่งประดิษฐ์

โดยการบูรณาการหลักการทางวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี นำมาใช้แก้ปัญหาตามขั้นตอนทำงานของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด รวบรวมข้อมูลและแนวคิด ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ทดสอบประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา

เพื่อให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์ คิดแก้ปัญหา การคิดอย่างมีวิจารณญาณ มีความสามารถในการทำงานร่วมกัน การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ นำความรู้ไปใช้สร้างสรรค์นวัตกรรม หรือชิ้นงานที่นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เห็นคุณค่าของการเรียนรู้และนำความรู้ไปใช้อย่างสร้างสรรค์

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายความหมาย แนวคิด เป้าหมาย ของสะเต็มศึกษาได้
2. อธิบายหลักการทำงานของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
3. ระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดหรือจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวันได้
4. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหาได้
5. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาโดยเชื่อมโยงความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีได้
6. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาตามที่ได้ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา
7. ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา
8. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาและผลการแก้ปัญหา

คำอธิบายรายวิชา รหัสวิชา ว30261 รายวิชา สะเต็มคอมพิวเตอร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 1 เวลา 40 ชั่วโมง จำนวน 1.0 หน่วยกิต

ศึกษาความหมาย แนวคิด เป้าหมายของสะเต็มศึกษา ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการออกแบบ เชิงวิศวกรรม หลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่กำหนด วิเคราะห์ ออกแบบและสร้างสรรค์ผลงาน นวัตกรรม หรือสิ่งประดิษฐ์

โดยการบูรณาการหลักการทางวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี นำมาใช้แก้ปัญหาตามขั้นตอนทำงานของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ระบุปัญหา

จากสถานการณ์ที่กำหนด รวบรวมข้อมูลและแนวคิด ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ทดสอบประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา

เพื่อให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์ คิดแก้ปัญหา การคิดอย่างมีวิจารณญาณ มีความสามารถในการทำงานร่วมกัน การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ นำความรู้ไปใช้สร้างสรรค์นวัตกรรม หรือชิ้นงานที่นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เห็นคุณค่าของการเรียนรู้และนำความรู้ไปใช้อย่างสร้างสรรค์

ผลการเรียนรู้ของรายวิชา

1. อธิบายความหมาย แนวคิด เป้าหมาย ของสะเต็มศึกษาได้
2. อธิบายหลักการทำงานของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
3. ระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดหรือจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวันได้
4. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหาได้
5. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาโดยเชื่อมโยงความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีได้
6. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาตามที่ได้ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา
7. ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา
8. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาและผลการแก้ปัญหา

คำอธิบายรายวิชา รหัสวิชา ว30262 รายวิชา โครงงานสะเต็มศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 เวลา 40 ชั่วโมง จำนวน 1.0 หน่วยกิต

ศึกษาความหมาย ประเภท ของโครงงานสะเต็มศึกษา และขั้นตอนการทำโครงงานสะเต็มศึกษา หลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ปัญหาในชีวิตประจำวัน วิเคราะห์ ออกแบบและสร้างสรรค์ผลงาน นวัตกรรมหรือสิ่งประดิษฐ์

โดยการบูรณาการหลักการทางวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี นำมาใช้แก้ปัญหาตามขั้นตอนทำงานของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด รวบรวมข้อมูลและแนวคิด ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ทดสอบประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา

เพื่อให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์ คิดแก้ปัญหา การคิดอย่างมีวิจารณญาณ มีความสามารถในการทำงานร่วมกัน การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ นำความรู้ไปใช้

สร้างสรรค์นวัตกรรม หรือชิ้นงานที่นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เห็นคุณค่าของการเรียนรู้และนำความรู้ไปใช้อย่างสร้างสรรค์

ผลการเรียนรู้ของรายวิชา

1. อธิบายขั้นตอนการทำโครงงานสะเต็มศึกษาได้
2. ระบุปัญหาที่พบจากการรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยใช้การคิดอย่างมีวิจารณญาณได้
3. กำหนดขอบเขตของปัญหาได้
4. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาได้
5. วิเคราะห์และเลือกข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อใช้แก้ปัญหาได้
6. ประเมินความเป็นไปได้ของวิธีการแก้ปัญหา
7. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาโดยเชื่อมโยงความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ได้
8. เลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด
9. อธิบายแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาได้
10. วางแผนการแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นเป็นตอนได้
11. ดำเนินการแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย
12. บันทึกขั้นตอนการแก้ปัญหาและผลการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ตามความเป็นจริงและสอดคล้องกับปัญหา
13. ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไข เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาหรือเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิต
14. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาและผลการแก้ปัญหาให้ผู้อื่นเข้าใจโดยใช้ทักษะการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ
15. อธิบายประเด็นหรือปัญหาที่เกิดขึ้นจากการแก้ปัญหา และเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงกระบวนการแก้ปัญหา

4. หลักสูตรวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์กับการบูรณาการสะเต็มศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ ได้มีการปรับปรุงหลักสูตร โดยเฉพาะในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และกลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี เพื่อเอื้อให้เกิดการบูรณาการในลักษณะสหวิทยาการของรายวิชาเหล่านี้มากขึ้น จึงได้เกิดหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2566) (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2566) นอกจากนี้ได้เพิ่มสาระการเรียนรู้ที่ 4 (เทคโนโลยี)

มีการระบุถึงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และการเลือกใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสมเข้าไปด้วย ไม่เพียงแค่การเปลี่ยนแปลงด้านหลักสูตรเท่านั้น กระทรวงศึกษาธิการ ยังสนับสนุนให้มีการเปลี่ยนแปลงด้านการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่อส่งเสริมการบูรณาการระหว่างศาสตร์เหล่านี้ อีกทั้ง สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ยังได้นำเสนอแนวทางการจัดการเรียนการสอน ด้วย กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design process) เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การระบุปัญหา 2) การรวบรวมข้อมูลและแนวคิด 3) การเลือกและออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) การดำเนินการแก้ปัญหาเพื่อสร้างต้นแบบ 5) การทดสอบประเมิน และปรับปรุงแก้ไขต้นแบบ และ 6) การนำเสนอต้นแบบ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ ทั้งระดับนโยบาย หลักสูตร และชั้นเรียน สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงแนวทางการจัดการศึกษา (ลือชา ลดาชาติ, 2555ก)

โดยจากการหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบการจัดการเรียนรู้ โดยพิจารณาจากสาระการเรียนรู้หลักการเชื่อมโยงสาระหลักกับสถานการณ์ปัญหาในชีวิตประจำวัน การเลือกสาระการเรียนรู้รอง เพื่อนำมาออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ และเลือกกระบวนการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับบริบทของผู้เรียน

สะเต็มศึกษา

1. ความหมายของสะเต็มศึกษา

การพัฒนาให้เยาวชนในประเทศ มีความรู้ความสามารถทางเทคโนโลยีควบคู่ไปกับการมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ถือเป็นความท้าทายที่ยิ่งใหญ่สำหรับผู้นำทั่วโลก ซึ่งจะนำพาประเทศให้อยู่ได้ในศตวรรษที่ 21 แต่เพียงรู้สิ่งเหล่านี้อาจไม่เพียงพอ ประเทศต่าง ๆ ต้องการแรงงานที่มีทักษะซึ่งสามารถใช้ความรู้ของตนในการประดิษฐ์และสร้างสิ่งที่จะช่วยเหลือผู้คนทั้งในปัจจุบันและอนาคต (สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2558) โดยประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งเป้าหมายของการศึกษาวิทยาศาสตร์ว่าต้องพัฒนาให้ผู้เรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กับความรู้และทักษะทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยสถาบันวิจัยแห่งชาติ National Research Council (NRC, 2012) ได้พัฒนาหลักสูตรการศึกษาวิทยาศาสตร์แห่งชาติได้นำความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ไว้ด้วยกัน โดยหลักสูตรมีการแทรกเนื้อหา แนวคิดด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ลงสู่หลักสูตรวิทยาศาสตร์วิทยาศาสตร์อย่างเป็นรูปธรรม กลายเป็นที่มาของสะเต็มศึกษา (STEM Education) ที่มีการบูรณาการศาสตร์ 4 สาขาวิชา คือ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี

(Technology) วิศวกรรม (Engineering) และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกัน มีองค์กรและนักการศึกษาได้นิยามเกี่ยวกับสะเต็ม ไว้ดังนี้

Vasquez et al. (2013) กล่าวว่า สะเต็มศึกษาเป็นรูปแบบสหวิทยาการมีการบูรณาการ 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม โดยมีการบูรณาการเข้าไปในโลกแห่งความเป็นจริง ซึ่งเกี่ยวข้องกับประสบการณ์การเรียนรู้ของผู้เรียน

Butler et al., (2014) การได้รับความรู้และทักษะจากการทำกิจกรรมและการเรียนรู้ผ่านการเชื่อมโยงและบูรณาการในหลาย ๆ ด้าน มีความซับซ้อนซึ่งมีลักษณะสำคัญเป็นการเรียนรู้แบบบูรณาการในหลายสาขาวิชาและเป็นการปฏิบัติทางญาณวิทยา (Epistemological Practices)

Kennedy, & Odell (2014) กล่าวว่า สะเต็มศึกษา หมายถึง การสอนและการเรียนรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ทุกระดับตั้งแต่ชั้นอนุบาลจนถึงการศึกษาขั้นสูง รวมถึงกิจกรรมทั้งในและนอกห้องเรียนโดยถามคำถามและหาคำตอบผ่านการสอบสวน การออกแบบทางวิศวกรรมช่วยให้เราแก้ปัญหาโดยการสร้างและประเมินวิธีแก้ปัญหา

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) ได้ให้ความหมายของสะเต็มศึกษาไว้ว่า “เป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ ที่มุ่งแก้ไขปัญหาที่พบเห็นในชีวิตจริง เพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ทักษะชีวิต ความคิดสร้างสรรค์ และเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับนักเรียนในการปฏิบัติงานที่ต้องใช้องค์ความรู้และทักษะกระบวนการด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ รวมทั้งการนำไปสู่การสร้างนวัตกรรมในอนาคต

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าความหมายของสะเต็มศึกษา พบว่ามีสิ่งที่เหมือนกันคือการบูรณาการความรู้ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกัน เน้นการลงมือปฏิบัติจริง ทำให้ได้มาซึ่งความรู้และวิธีการแก้ปัญหา ผ่านกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตและการประกอบอาชีพ

สะเต็มศึกษาเป็นการบูรณาการทั้งการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ (Science Literacy) การรู้เรื่องเทคโนโลยี (Technology Literacy) การรู้เรื่องวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Literacy) เข้าด้วยกัน (Zollman, 2012) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

วิทยาศาสตร์ (Science Literacy) การศึกษาธรรมชาติของโลก รวมทั้งกฎเกณฑ์ที่เชื่อมโยงความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาในสาระวิชาวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา โลกดาราศาสตร์และอวกาศ เป็นความสามารถที่จะเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสาระวิชา และมีทักษะปฏิบัติเชิงวิทยาศาสตร์ มีกระบวนการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ที่ทำให้เกิดความรู้ใหม่ ๆ ทางวิทยาศาสตร์

เทคโนโลยี (Technology Literacy) ความเข้าใจ และความสามารถในการใช้งาน จัดการ และเข้าถึงเทคโนโลยีเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับผู้คน องค์กร ความรู้ กระบวนการ และอุปกรณ์ สิ่งประดิษฐ์ที่จะใช้ในการสร้างและดำเนินการทางเทคโนโลยี ตลอดจนประวัติศาสตร์เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการ ของมนุษย์

วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Literacy) ความเข้าใจในการพัฒนา หรือการได้มาของเทคโนโลยีโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและความรู้วิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นองค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบ การสร้าง ผลิตภัณฑ์ของมนุษย์ และกระบวนการสำหรับแก้ปัญหา โดยกระบวนการนี้อยู่ภายใต้ข้อจำกัด การออกแบบทางวิศวกรรม และข้อจำกัดอื่น ๆ ได้แก่ เวลา เงิน อุปกรณ์ที่มีอยู่ เป็นต้น โดยที่วิศวกรรมใช้แนวความคิดในด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับเครื่องมือทางเทคโนโลยี

คณิตศาสตร์ (Mathematics Literacy) ความสามารถในการวิเคราะห์ ให้เหตุผล และการประยุกต์แนวคิดทางคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างคำอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ ต่าง ๆ ภายใต้บริบทที่แตกต่างกัน รวมถึงบทบาทของคณิตศาสตร์และสามารถใช้คณิตศาสตร์ช่วยในการวินิจฉัยและตัดสินใจ ซึ่งเป็นการศึกษารูปแบบและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ตัวเลข และพื้นที่ เป็นต้น ซึ่งแตกต่างจากวิทยาศาสตร์ซึ่งต้องมีหลักฐานเชิงประจักษ์ โดยความรู้ในส่วนนี้เป็นความพยายามที่จะให้เหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง หรือทำให้ข้อกล่าวอ้างหมดไป

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของสะเต็มศึกษา คือการเป็นผู้รู้สะเต็ม ซึ่งการเป็นผู้รู้สะเต็มจะสามารถใช้ทักษะ แนวคิดและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม (Zollman, 2012) เพื่อทำความเข้าใจปัญหาที่ซับซ้อนโดยใช้ทักษะในศตวรรษที่ 21 รวมถึงการคิดค้นสิ่งใหม่ ๆ เพื่อแก้ปัญหา (Vasquez et al, 2013)

2. รูปแบบการสอนสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เป็นการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมหรือโครงงานที่บูรณาการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี (สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) โดยสะเต็มนั้นเป็นแนวทางในการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 สหวิทยาการ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวัน (NRC, 2012; Bybee, 2013; Vasques et al., 2013) ซึ่งการบูรณาการสามารถ แบ่งได้เป็น 4 ระดับ ดังนี้

2.1 การบูรณาการภายในวิชา (Disciplinary) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะแต่ละวิชาแยกกัน การจัดการเรียนรู้แบบนี้ คือ การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่เป็นอยู่ทั่วไป ที่ครูผู้สอนแต่ละวิชาต่างจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนตามรายวิชาของตนเอง

2.2 การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ (Multidisciplinary) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหา และฝึกทักษะของแต่ละวิชาแยกกัน แต่มีหัวข้อหลัก (Theme) ที่ครูทุกวิชากำหนดร่วมกัน และมีการอ้างอิงถึงความเชื่อมโยงระหว่างวิชานั้น ๆ การจัดการเรียนรู้แบบนี้ ช่วยให้นักเรียนเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหา ในรายวิชาต่าง ๆ กับสิ่งที่อยู่รอบตัว

2.3 การบูรณาการแบบสหวิทยาการ (Interdisciplinary) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหา และฝึกทักษะอย่างน้อย 2 วิชาร่วมกัน โดยกิจกรรมมีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของทุกวิชา เพื่อให้นักเรียนได้เห็นความสอดคล้องกันในการจัดการเรียนรู้ แบบนี้ครูผู้สอนในวิชาที่เกี่ยวข้องต้องทำงานร่วมกัน โดยพิจารณาเนื้อหาหรือตัวชี้วัดที่ตรงกัน และออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในรายวิชาของตนเอง โดยให้เชื่อมโยงกับวิชาอื่นผ่านเนื้อหาหรือตัวชี้วัดนั้น

2.4 การบูรณาการแบบข้ามวิชา (Transdisciplinary) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยให้เชื่อมโยง ความรู้ และทักษะที่เรียนรู้จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์กับชีวิตจริง โดยนักเรียนได้ประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะเหล่านั้น ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชุมชนหรือสังคม และสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ของตนเอง ครูผู้สอนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามความสนใจหรือปัญหาของนักเรียน โดยครูอาจกำหนดกรอบ หรือหัวข้อ หลักของปัญหากว้าง ๆ แล้วให้นักเรียนระบุปัญหาที่เฉพาะเจาะจงและวิธีการแก้ปัญหา ทั้งนี้ในการกำหนดกรอบของปัญหาให้นักเรียนศึกษานั้น ครูต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ของนักเรียน ได้แก่ ปัญหาหรือคำถามที่นักเรียนสนใจ ตัวชี้วัดในรายวิชาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องความรู้เดิมของนักเรียน

3. แนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) ได้พัฒนากิจกรรมสะเต็มเพื่อเป็นตัวอย่างให้ผู้สอนได้เห็นแนวทาง โดยเริ่มต้นจากการกำหนดประเด็นในการศึกษา แล้วมาพิจารณาเลือกตัวชี้วัดของแต่ละกลุ่มรายวิชา ทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี มาจัดกิจกรรมแบบบูรณาการร่วมกัน โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ ในการดำเนินกิจกรรมเพื่อเป็นแนวทางให้ครูผู้สอนนำไปพัฒนากิจกรรมสะเต็มแบบบูรณาการได้ด้วยตนเอง โดยอาจไม่จำเป็นต้องบูรณาการให้ครบทุกรายวิชา แต่ยังคงมีจุดเน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะต่าง ๆ ในการแก้ปัญหา โดยสามารถดำเนินการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาได้ 3 แนวทาง ได้แก่

1. จัดกิจกรรมสอดแทรกไปตามเนื้อหาที่เกี่ยวข้องของแต่ละรายวิชาในคาบเรียน ซึ่งเป็นกิจกรรม ที่เข้าไปสอดแทรกในคาบเรียน สามารถจัดกิจกรรมให้เสร็จสิ้นภายในคาบเรียน โดยผู้สอนแต่ละรายวิชาอาจพิจารณาตัวชี้วัดของกิจกรรมนั้นเป็นเกณฑ์ ว่าเกี่ยวข้องกับเนื้อหาอะไรบ้าง จากนั้นเมื่อถึงคาบการเรียนการสอนในเนื้อหานั้น ๆ ก็สามารถนำกิจกรรมสะเต็มเข้าไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้

2. จัดกิจกรรมไว้ในรายวิชาเลือกเสรี โดยการสอนในรูปแบบนี้ อาจทำได้ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหาพิเศษ หรือการทำโครงงาน โดยรูปแบบการสอนวิธีนี้เหมาะสำหรับกิจกรรมสะเต็มที่ต้องใช้เวลาในการดำเนินกิจกรรมค่อนข้างมากมีความซับซ้อน โดยผู้สอนสามารถจัดหาอาจารย์ที่ปรึกษา แก่ผู้เรียนได้ครอบคลุมในเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาออกแบบ และสร้างชิ้นงานของผู้เรียนได้

3. จัดกิจกรรมไว้ในกรมกิจกรรมนอกห้องเรียน เช่น ชุมนุม ชมรม ค่าย ซึ่งรูปแบบการจัดกิจกรรมแบบนี้ มักเป็นกิจกรรมสะเต็มที่มีความเกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาต่าง ๆ เช่น ปัญหาสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การสร้างนวัตกรรมที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ โดยการจัดกิจกรรมวิธีนี้สามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง

สุทธิดา จำรัส (2560) ได้เสนอแนะกรอบแนวคิดลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกิจกรรม อยากมีคุณภาพ ประกอบไปด้วย

1. การบูรณาการทั้ง 4 ศาสตร์ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์

2. ยึดกรอบแนวคิดความก้าวหน้าในการเรียนรู้ (Learning progression) ที่มุ่งเน้นพัฒนาการของผู้เรียน ตามลำดับขั้นจากง่ายไปหายาก เพื่อพัฒนาสร้างสรรค์ชิ้นงาน

3. กิจกรรมที่เชื่อมโยงไปยังบริบทโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน

4. เน้นทักษะในศตวรรษที่ 21

5. ใช้กิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐาน นำไปสู่การสร้างหรือประดิษฐ์ และการจัดเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน ที่นำไปสู่การแก้ปัญหา

6. เน้นการวัดและประเมินผลตามสภาพจริง

อีกทั้งการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบบูรณาการนี้ เพื่อมุ่งหวังให้ผู้เรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านการใช้ ทักษะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาค้นคว้าคิดค้นและแก้ปัญหา ซึ่งขึ้นอยู่กับบริบทของแต่ละโรงเรียนที่จะต้องพัฒนาและหาแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับตนเองและผู้เรียน โดยมีครูเป็นผู้ให้คำปรึกษา และต้องอาศัยความร่วมมือของครูในสาขาเดียวกันและต่างสาขาตลอดจนผู้บริหารในโรงเรียนที่จะช่วยกันขับเคลื่อนให้การเรียนการสอนสะเต็มศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

การจัดกระบวนการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เป็นการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมหรือโครงงานที่บูรณาการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ผนวกกับแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยนักเรียนจะทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจและฝึกทักษะด้านวิทยาศาสตร์

คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี และได้นำความรู้ออกแบบชิ้นงานมีวิธีการเพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557)

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นขั้นตอนของการแก้ปัญหาเพื่อสนองความต้องการ ซึ่งมีหลายรูปแบบแต่มีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. การระบุปัญหา (Identify a Challenge) เป็นขั้นตอนที่ผู้แก้ปัญหาทำความเข้าใจในสิ่งที่เป็นปัญหา ในชีวิตประจำวันและจำเป็นต้องหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

2. การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore) การรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา และประเมินความเป็นไปได้ ความคุ้มทุน ข้อดีข้อด้อยและความเหมาะสมเพื่อเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุด

3. การวางแผนและพัฒนา (Plan and Develop) การแก้ปัญหาต้องกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงานพร้อมทั้งกำหนดเป้าหมาย แม้ระยะเวลาในการดำเนินงานให้ชัดเจน รวมถึงการออกแบบและพัฒนาต้นแบบ (prototype) เพื่อใช้ทดสอบแนวคิดที่ใช้การแก้ปัญหา

4. การทดสอบและประเมินผล (Test and Evaluate) เป็นขั้นตอน ทดสอบและประเมินการใช้งานต้นแบบ เพื่อแก้ปัญหาโดยผลที่ได้อาจนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากยิ่งขึ้น

5. การนำเสนอผลลัพธ์ (Present the Solution) หลังการพัฒนาจะต้องมีการปรับปรุงทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลลัพธ์ ทั้งนี้ประสิทธิภาพตามที่ต้องการแล้ว ผู้แก้ปัญหาจะนำเสนอผลลัพธ์ โดยออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอาจมีลำดับขั้นตอนการดำเนินงานแตกต่างจากนี้ โดยอาจมีการสลับขั้นตอนหรือย้อนกลับขั้นตอนได้ โดยทั่วไปการสร้างชิ้นงาน หรือการแก้ปัญหามักจะเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำและต่อเนื่อง จนกว่าจะแก้ปัญหาได้

5. การวัดและประเมินผลสะเต็มศึกษา

การวัดผลและประเมินผลตามแนวทางสะเต็มศึกษานั้น เน้นการวัดและประเมินผลในสภาพจริง และที่ผู้เรียนแสดงออกขณะทำกิจกรรมเพื่อการเรียนรู้ ซึ่งสามารถสะท้อนถึงความรู้ความคิด เจตคติทางวิทยาศาสตร์ และความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดผลและประเมินผล ยังเป็นประโยชน์ต่อตัวผู้เรียนและตัวผู้สอนที่จะได้รับทราบ พัฒนาการความก้าวหน้าในการเรียนรู้ และความสำเร็จของผู้เรียนว่าอยู่ในระดับใด มีจุดเด่นใดที่ควรส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาเต็มศักยภาพ และมีจุดอ่อนใดที่ควรจะได้รับการแก้ไข รวมทั้งผู้สอนจะได้ข้อมูลที่เป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยการวัดประเมินผลการเรียนรู้ต้องสอดคล้องกับกรอบลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้

ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่ผ่านมา โดยต้องเน้นไปที่ชิ้นงาน เช่น การวัดด้วยเกณฑ์การให้คะแนน (Rubric score) การวัดด้วยเครื่องมือที่หลากหลาย ด้านความรู้ ทักษะ คุณลักษณะ เจตคติ โดยใช้การออกแบบการวัดตามสภาพจริง (Authentic assessment) และการประเมินเพื่อพัฒนาผู้เรียน (Formative assessment) (สุทธิดา จำรัส, 2560) ซึ่งแนวทางการวัดและประเมินผลมีดังนี้

1. การประเมินจากสภาพจริง (authentic assessment) คือ การประเมินความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียนจากการแสดงออก การกระทำหรือผลงานในขณะปฏิบัติกิจกรรมหรือสร้างชิ้นงาน ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการคิดระดับสูง กระบวนการทำงานและความสามารถในการแก้ปัญหาหรือการแสวงหาความรู้ โดยมีการประเมินหลาย ๆ ด้านโดยใช้วิธีการประเมินหลากหลายวิธี ในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับชีวิตและต้องประเมินอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มากพอที่จะสะท้อนถึงการพัฒนาและความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียนได้ โดยวิธีการและแหล่งข้อมูลที่ใช้ เช่น สังเกตการแสดงออกเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่ม ชิ้นงาน ผลงาน รายงาน การสัมภาษณ์ การประชุมปรึกษาหารือร่วมกันระหว่างผู้เรียนและครู การทดสอบ เป็นต้น

2. วัดและประเมินผลด้านความสามารถ (Performance assessment) คือ ความสามารถของผู้เรียน ประเมินได้จากการแสดงออกโดยตรงจากการทำงานต่าง ๆ หรือจากสถานการณ์การที่กำหนด โดยประเมินจากกระบวนการทำงาน กระบวนการคิด ความคิดขั้นสูง และผลงานที่ได้ โดยมีวิธีการและแหล่งข้อมูลที่ใช้ เช่น

2.1 การมอบหมายงานให้ทำ

2.2 การกำหนดชิ้นงาน หรืออุปกรณ์หรือสิ่งประดิษฐ์วิเคราะห์องค์ประกอบและกระบวนการทำงาน และเสนอแนะแนวทางเพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

2.3 การผสมตัวอย่างงานให้ และให้ผู้เรียนศึกษางานแล้วปฏิบัติตามขั้นตอน

2.4 การสร้างสถานการณ์จำลองที่สัมพันธ์กับชีวิตจริงของผู้เรียน

2.5 การทดสอบโดยใช้แบบทดสอบข้อเขียน

โดยแนวทางการประเมินตามสภาพจริง จะให้ความสำคัญต่อการประเมินโดยใช้ข้อสอบเขียนตอบน้อยมาก แต่จะให้ความสำคัญต่อการแสดงออกที่แท้จริงของผู้เรียนขณะทำกิจกรรมงานหรือกิจกรรมที่กำหนดให้ผู้เรียนทำ การตรวจให้คะแนนไม่สามารถให้อย่างชัดเจนแน่นอนเหมือนการตรวจให้คะแนนแบบข้อสอบเลือกตอบ ดังนั้น การประเมินจึงต้องมีการกำหนดแนวทางการให้คะแนนอย่างชัดเจน การกำหนดแนวทางอาจจัดทำโดยครู คณะครูหรือครูและผู้เรียนกำหนดร่วมกัน โดยมีแนวทางการประเมินนั้นจะต้องมีมาตรวัดว่า ผู้เรียนทำอะไรได้สำเร็จ และมีเกณฑ์การให้คะแนนอยู่ในระดับใด (Rubric score) (สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557)

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน เกิดขึ้นในต่างประเทศมาเป็นเวลานาน เริ่มต้นด้วย Shulman (1986) ทบทวนหลักสูตรการผลิตครูของประเทศสหรัฐอเมริกา ย้อนหลังไปหลาย 10 ปี เขาพบว่า หลักสูตรการผลิตครูมีการเปลี่ยนแปลงจุดเน้นที่สลับไปมาระหว่าง การเน้นความรู้ด้านเนื้อหา และการเน้นความรู้ด้านการสอน โดยการเปลี่ยนจุดเน้นที่สลับไปมาเช่นนี้อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ครูมีความรู้แยกส่วน ไม่เพียงพอในการจัดการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังเกิดข้อสงสัยว่าความรู้ด้านเนื้อหาในความคิดของครู แตกต่างจากความรู้เนื้อหาในความคิดของผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้นอย่างไร จึงไปสู่จุดเริ่มต้นของแนวคิดใหม่ที่มีชื่อว่า ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน (Pedagogical Content Knowledge: PCK) โดยความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนเป็นความรู้ของครูที่นอกเหนือจากความรู้ด้านเนื้อหา ครูต้องรู้ด้วยว่าจากสอนเนื้อหานั้นอย่างไรเพื่อให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหานั้นได้ ขณะเดียวกันความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนไม่ใช่ความรู้เกี่ยวกับวิธีสอนทั่วไปสำหรับเนื้อหาใดก็ได้ หากแต่เป็นความรู้เกี่ยวกับวิธีการสอนในเนื้อหาเฉพาะ ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนจึงไม่ใช่ทั้งความรู้ด้านเนื้อหาและความรู้ด้านวิธีสอนอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่มันเป็นผลการบูรณาการความรู้ 2 ประเภท (ลือชา ลดาชาติ, 2565ข)

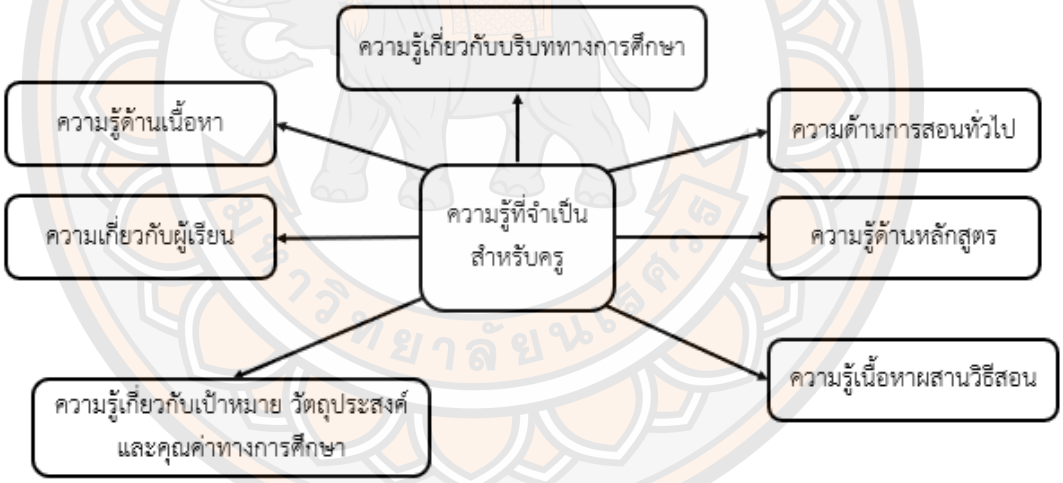
ในปัจจุบันความรู้เนื้อหากำหนดวิธีสอนได้กลายเป็นกรอบแนวคิดหลักในการผลิตครูวิทยาศาสตร์ของหลายประเทศทั่วโลก (Abell, 2008) ซึ่งมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องว่า ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนประกอบด้วยองค์ประกอบใดบ้าง (Magnusson et al., 1999) และจะสามารถนำมาพัฒนาครูอย่างไร

1. แนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน (Pedagogical Content Knowledge: PCK) เป็นความรู้ความเข้าใจของครูที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาวิชาด้วยการใช้วิธีสอน การนำเสนอ การใช้สื่อ แหล่งเรียนรู้ และการวัดผลประเมินผล ซึ่งมีนักวิชาการได้เสนอแนะอย่างหลากหลาย โดยมีลำดับดังนี้

Shulman (1986) ได้สรุปความรู้ที่ครูจำเป็น ต้องมีในการจัดการเรียนการสอนเนื้อหาเฉพาะเรื่องใด ๆ ให้ประสบผลสำเร็จออกเป็น 3 หมวดหมู่ 1) ความรู้ด้านเนื้อหาซึ่งเป็นสิ่งที่ครูต้องรู้และต้องการให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ 2) ความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอนเป็นสิ่งที่ครูต้องรู้ว่า ตนเองจะนำเนื้อหานั้นให้นักเรียนเข้าใจอย่างไร รวมถึงความรู้เกี่ยวกับสิ่งที่เป็นอุปสรรคในการเรียนรู้เนื้อหานั้น 3) ความรู้ด้านหลักสูตรซึ่งคงต้องดูว่าเนื้อหานั้นเกี่ยวข้องหรือเชื่อมโยงกับเนื้อหาอื่น ๆ อย่างไร ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจภาพรวมของเนื้อหาที่ตนเองได้เรียนรู้ทั้งหมด

Shulman (1987) ได้พัฒนาแนวคิดนี้และได้สรุปความรู้พื้นฐานของครู ออกเป็น 7 หมวดหมู่ ได้แก่ 1) ความรู้ด้านเนื้อหาซึ่งเป็นสิ่งที่ครูต้องการนำเสนอให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ 2) ความรู้ด้านการสอนทั่วไปซึ่งหมายถึง หลักการ วิธีการ และเทคนิคทั่วไปในการจัดการชั้นเรียน ซึ่งครูสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนเนื้อหาใด ๆ ก็ได้ 3) ความรู้ด้านหลักสูตร ซึ่งเป็นความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและความสัมพันธ์ในภาพรวมของเนื้อหาต่าง ๆ ที่นักเรียนจะต้องเรียนรู้ 4) ความรู้เนื้อหาประสานวิธีสอน ซึ่งเป็นความรู้ประเภทใหม่ที่เขาเสนอขึ้น โดยครูจำเป็นต้องรู้ว่าตนเองจะนำเสนอเนื้อหาเฉพาะเรื่องให้นักเรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจได้อย่างไร 5) ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนซึ่งครูต้องรู้ว่านักเรียนมีภูมิหลังและความรู้เดิมอย่างไร นักเรียนมีความถนัดในการเรียนรู้อย่างไร และอะไรบ้างที่เป็นข้อจำกัดหรืออุปสรรคในการเรียนรู้ของนักเรียน 6) ความรู้เกี่ยวกับบริบททางการศึกษาซึ่งเป็นความรู้เกี่ยวกับบริบทแวดล้อมในการจัดการเรียนการสอน 7) ความรู้เกี่ยวกับเป้าหมายวัตถุประสงค์และคุณค่าทางการศึกษา ซึ่งครูต้องรู้ว่าเป้าหมาย สุดท้ายของการจัดการศึกษาคืออะไร การจัดการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร และคุณค่าของการจัดการศึกษาคืออะไร



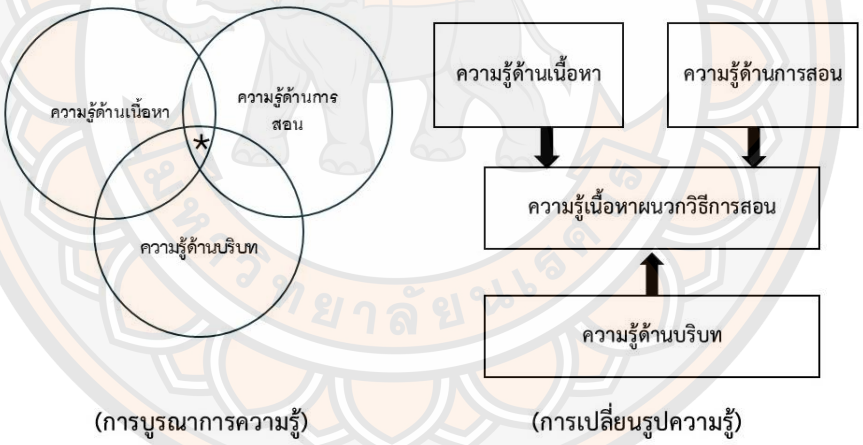
ภาพ 1 แสดงหมวดหมู่เบื้องต้นเกี่ยวกับความรู้ที่จำเป็นสำหรับครูของ Shulman

ที่มา: ลือชา ลดาชาติ, 2565, น. 18

Grossman (1989) ตีความว่า ความรู้เนื้อหาผสานวิธีการสอน เป็นความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาวิชาเฉพาะจะถูกสอนอย่างไร ดังนั้นความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอนจึงเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากการผสมผสานความรู้ด้านเนื้อหาและความรู้ด้านวิธีการสอนเข้าด้วยกัน

Geddis et al. (1993) ตีความว่า ความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอนเป็นความรู้ที่มีบทบาทในการเปลี่ยนเนื้อหาวิชาให้อยู่ในรูปแบบที่นักเรียนเข้าใจได้มากขึ้น ดังนั้นความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอนจึงเป็นความรู้ที่ครูใช้กระบวนการผสมผสาน ความรู้ด้านเนื้อหาและความรู้ด้านวิธีการสอนเข้าด้วยกัน โดย Grossman (1989; Geddis et al., 1993) เห็นตรงกันว่าความรู้เนื้อหา กำหนดวิธีสอนมีองค์ประกอบย่อย เช่น ความรู้เกี่ยวกับแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนและความรู้เกี่ยวกับกลวิธีในการแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนนั้น

Gess-Newsome (1999) จำแนกความแตกต่างของความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอนออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรก คือ 1) การบูรณาการความรู้ (Integration of Knowledge) ซึ่งมองว่าความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอนเกิดจากการบูรณาการความรู้ด้านเนื้อหาและความรู้ด้านการสอนตลอดจนความรู้ด้านบริบทเข้าด้วยกัน 2) การเปลี่ยนรูปความรู้ (Transformation of Knowledge) ซึ่งมองว่า ความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอนเกิดจากการเปลี่ยนรูปความรู้ด้านเนื้อหาซึ่งเดิมมักอยู่ในรูปที่นักเรียนเข้าใจได้ยากให้กลายเป็นความรู้ด้านเนื้อหารูปแบบใหม่ที่นักเรียนสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น โดยกระบวนการเปลี่ยนรูปนี้จะนำไปสู่วิธีสอนหรือวิธีนำเสนอที่จำเพาะเจาะจงกับเนื้อหาเรื่องนั้น ๆ



ภาพ 2 แสดงแบบจำลองที่แสดงความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอน

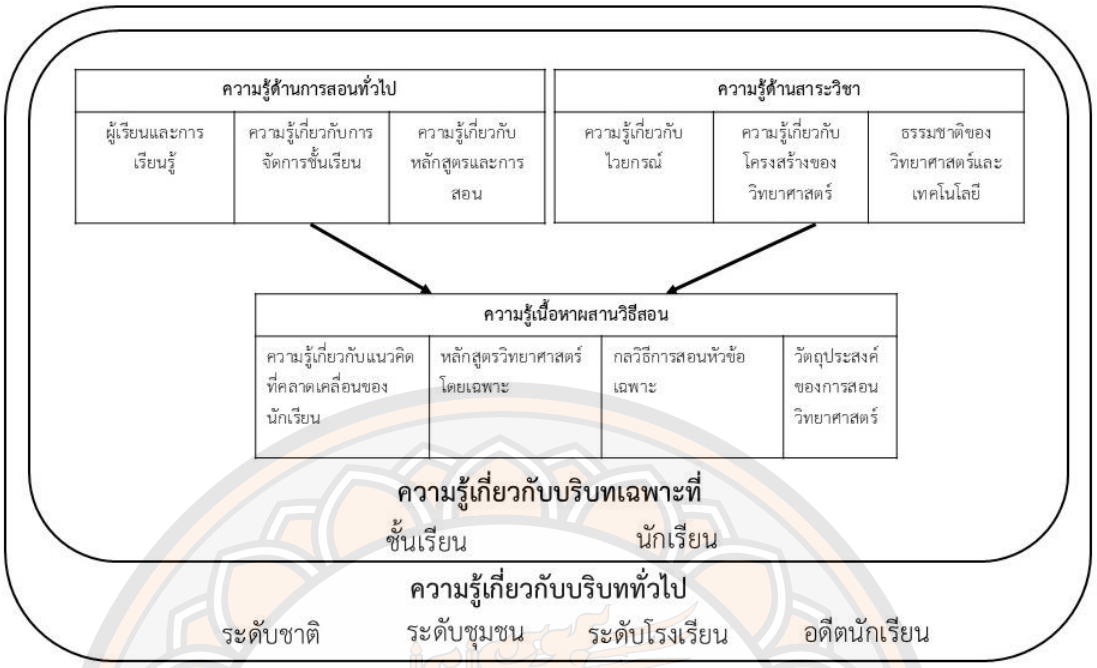
ที่มา: Gess-Newsome, 1999

Grossman (1991) ได้จัดหมวดหมู่ความรู้ที่จำเป็นสำหรับครูเหล่านี้ขึ้นใหม่ และนำเสนอเป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักได้แก่ 1) ความรู้ด้านสาระวิชา (Subject Matter Knowledge) 2) ความรู้ด้านการสอนทั่วไป (General Pedagogical Knowledge) 3) ความรู้ด้านบริบท (Pedagogical Content Knowledge) 4) ความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอน Knowledge of Context) โดยองค์ประกอบที่ 1-3 เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาองค์ประกอบที่ 4 ซึ่งเป็นความรู้แกนกลางที่ครูจำเป็นต้องใช้ในการจัดการเรียนการสอน

ภาพ 3 แสดงแบบจำลองที่แสดงความรู้ที่จำเป็นสำหรับครู ของ Grossman

ที่มา: Grossman, 1991

Carlsen (1999) ได้นำกรอบแนวคิด เกี่ยวกับความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนมาประยุกต์ใช้ในบริบทการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ความรู้ด้านสาระวิชา 2) ความรู้ด้านการสอนทั่วไป 3) ความรู้ด้านบริบท 4) ความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอน ซึ่งคล้ายกับ Grossman (1991) ได้นำเสนอไว้โดยความรู้ด้านบริบทถูกนำเสนอเป็นพื้นหลังความรู้อีก 3 ด้าน โดยประกอบด้วย ความรู้เกี่ยวกับบริบทเฉพาะที่ (Knowledge about the Specific Context) ที่มีเขตในระดับชั้นเรียนปัจจุบัน และความรู้เกี่ยวกับบริบททั่วไป (Knowledge about the General Education Context) ซึ่งประกอบด้วย บริบทระดับโรงเรียน ระดับชุมชน และระดับชาติ

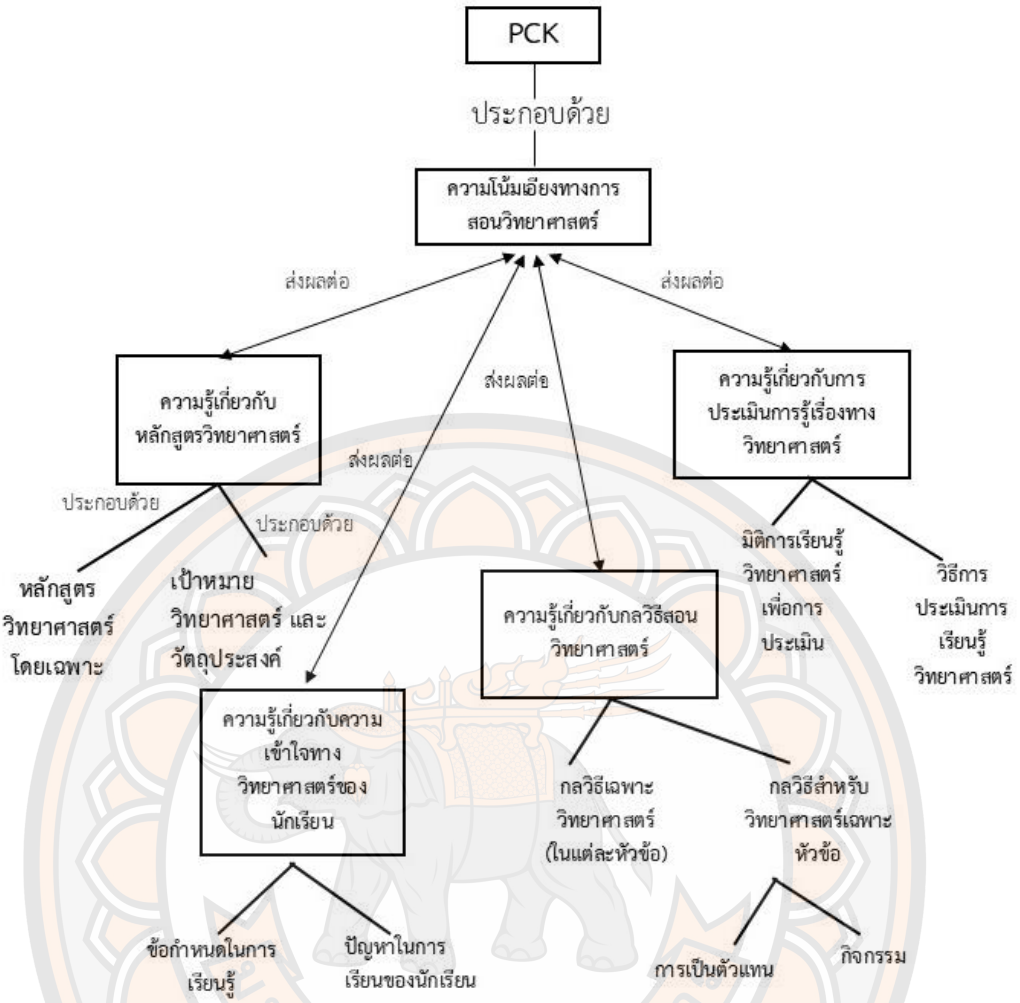


ภาพ 4 แสดงแบบจำลองที่แสดงความรู้ที่จำเป็นสำหรับครู ของ Carlsen

ที่มา: Carlsen, 1999

Magnusson et al. (1999) ได้นำเสนอกรอบแนวคิด ทางทฤษฎีเกี่ยวกับความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนสำหรับครูวิทยาศาสตร์ให้ละเอียดมากขึ้นเป็นแบบจำลองยอดนิยมที่นักวิทยาศาสตร์ศึกษาอ้างถึงอย่างแพร่หลาย โดยประกอบด้วย 5 องค์ประกอบย่อย ได้แก่

1. ความโน้มเอียงทางการสอนวิทยาศาสตร์ (Orientations to teaching science)
2. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ (knowledge of science Curricular)
3. ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน (knowledge of students' understanding of science)
4. ความรู้เกี่ยวกับกลวิธีสอนวิทยาศาสตร์ ((knowledge of instructional strategies)
5. ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการรู้ทางวิทยาศาสตร์ (knowledge of assessment of scientific literacy)



ภาพ 5 แสดงแบบจำลองความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน ของ Magnusson et al.

ที่มา: Magnusson et al., 1999

Park, & Oliver (2008) ได้ศึกษาความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนของครูวิทยาศาสตร์ พบว่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนวิทยาศาสตร์มีปฏิสัมพันธ์กันโดยตรง หากยังนำไปสู่การเพิ่มการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) ซึ่งเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งของความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนวิทยาศาสตร์ องค์ประกอบนี้เป็นความเชื่อที่ครูมีต่อความสามารถของตนเอง ในการส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนและยังพบว่า การสะท้อนคิด (Reflection) ทั้งในระหว่างและหลังการปฏิบัติการสอนเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โดยองค์ประกอบความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอน มีดังนี้

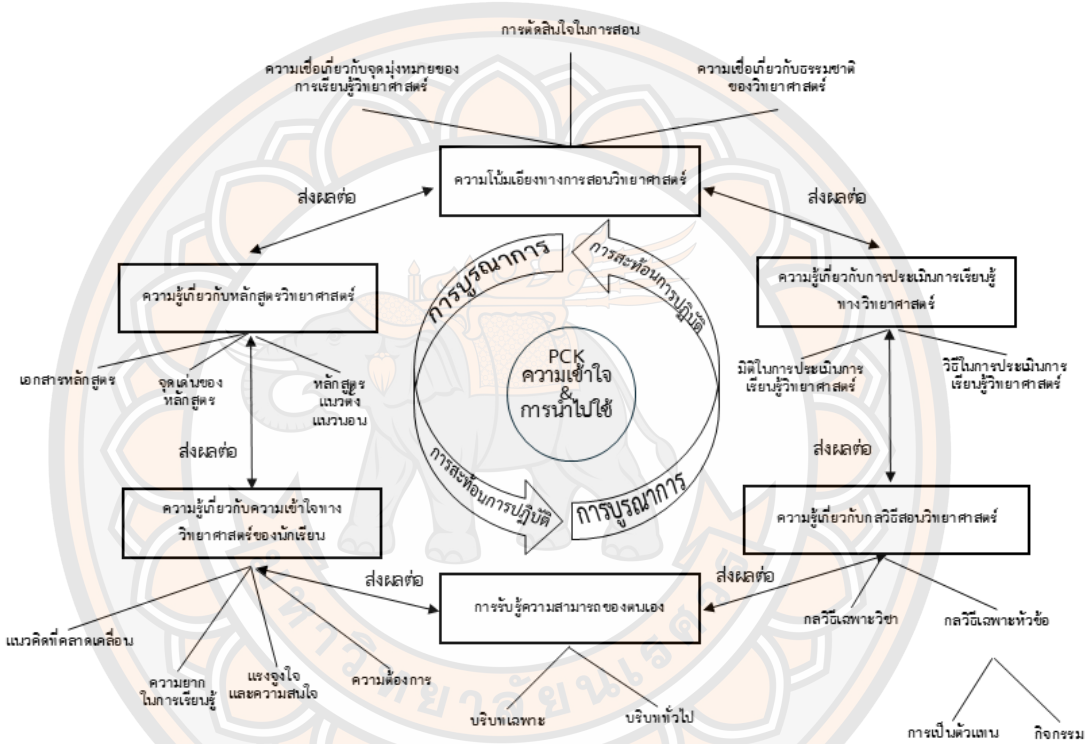
1. ความโน้มเอียงทางการสอนวิทยาศาสตร์ (Orientations to teaching science)
2. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ (knowledge of science Curricular)

3. ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน (knowledge of students' understanding of science)

4. ความรู้เกี่ยวกับกลวิธีสอนวิทยาศาสตร์ ((knowledge of instructional strategies)

5. ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ (knowledge of assessment of Science Learning)

6. การรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy)



ภาพ 6 แสดงแบบจำลองความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน ของ Park, & Oliver

ที่มา: Park, & Oliver, 2008

Park, & Chen (2012) ได้พัฒนาวิธีการสร้างแผนภาพ 5 เหลี่ยมเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละองค์ประกอบของความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนวิทยาศาสตร์ โดยแต่ละเหลี่ยม ประกอบด้วย 1) ความโน้มเอียงทางการสอนวิทยาศาสตร์ 2) ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน 3) ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ 4) ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ 5) ความรู้เกี่ยวกับกลวิธีสอนวิทยาศาสตร์ ซึ่งคล้ายกับแบบจำลอง ของ Magnusson et al. (1999) แต่แตกต่างที่โครงสร้างและความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบ โดย

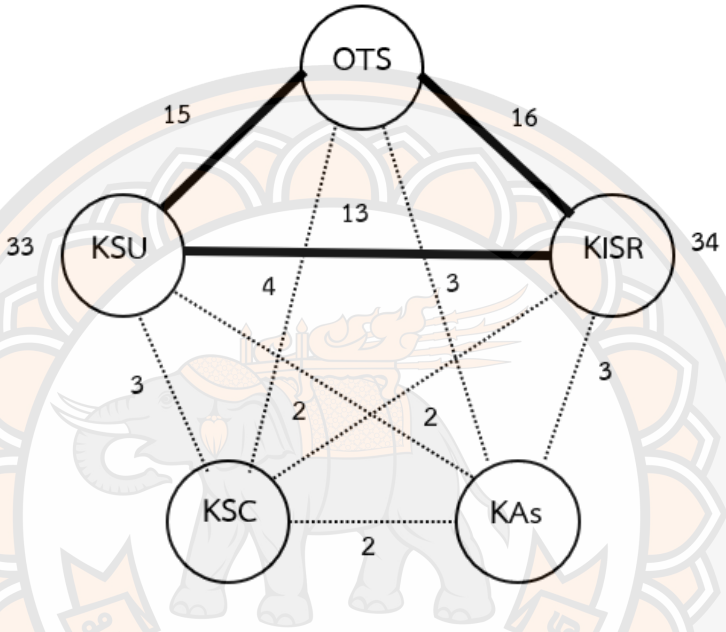
OTS แทนความโน้มเอียงทางการสอนวิทยาศาสตร์

KSU แทนความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

KSC แทนความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรวิทยาศาสตร์

KAs แทนความรู้เกี่ยวกับการประเมินการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์

KISR แทนความรู้เกี่ยวกับกลวิธีสอนวิทยาศาสตร์



ภาพ 7 แสดงองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน

ที่มา: Park, & Chen, 2010

Gess-Newsome (2015) จากการประชุมสุดยอดผู้นำที่ทำวิจัยเกี่ยวกับความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสำหรับครูวิทยาศาสตร์ เพื่อสร้างแบบจำลองใหม่ที่ดีกว่าเดิม โดยแบบจำลองมี 6 องค์ประกอบ ได้แก่

1. พื้นฐานความรู้ทางวิชาชีพของครู (Teacher professional knowledge bases)
2. ความรู้ทางวิชาชีพที่เฉพาะเจาะจงเนื้อหา (Topic specific professional knowledge)
3. ตัวขยายและตัวกรองในส่วนของครู (Teachers' amplifiers and filters)
4. การปฏิบัติการสอนที่ชั้นเรียน (Classroom practice)
5. ตัวขยายและตัวกรองในส่วนของนักเรียน (Student' amplifiers and filters)
6. ผลลัพธ์ที่เป็นการเรียนรู้ของนักเรียน (Student outcomes)

แบบจำลองนี้ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ถูกวางไว้ในการปฏิบัติการสอนในชั้นเรียน ซึ่งเป็นความรู้ส่วนบุคคลที่เกิดขึ้นในระดับชั้นเรียนเท่านั้น นอกจากนี้มีความพยายามที่จะเชื่อมโยงความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอน และทักษะของครูวิทยาศาสตร์กับการเรียนรู้ของนักเรียน จึงได้นำเสนอองค์ประกอบหนึ่งในแบบจำลองใหม่ ก็คือ ตัวกรองและตัวขยาย ซึ่งเป็นความเชื่อความรู้เดิม หรือภูมิหลังต่าง ๆ ที่นักเรียนแต่ละคนนำติดตัวเข้ามาในชั้นเรียน

ภาพ 8 แสดงแบบจำลองความรู้ทางวิชาชีพของครูวิทยาศาสตร์ ของ Gess-Newsome

ที่มา: Gess-Newsome, 2015

Carlson, & Daehler (2019) ได้นำเสนอแบบจำลองที่เป็นผลลัพธ์ของการประชุมความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนครั้งที่ 2 โดยแบบจำลองมีลักษณะเป็นรูปวงกลม 5 วงซ้อนกัน ซึ่งแต่ละวงมีขนาดแตกต่างกัน และแทนแต่ละองค์ประกอบของความรู้ทางวิชาชีพของครูวิทยาศาสตร์ วงกลมชั้นนอกสุดแทนสิ่งที่เป็นพื้นฐานความรู้ทางวิชาชีพของครู ถัดเข้ามาข้างในสู่จุดศูนย์กลาง วงกลมชั้นที่สองแทนความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนระดับส่วนรวมหรือความรู้ทางวิชาชีพที่จำเพาะเจาะจงเนื้อหา วงกลมชั้นที่สามแทนบริบทของการเรียนรู้ (Learning context) วงกลมชั้นในสุดจึงแทนความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนอีกระดับหนึ่งซึ่งมีชื่อว่า ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนระดับการปฏิบัติ (Enacted pedagogical content knowledge: ePCK) ซึ่งเป็นความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่ครูนำไปใช้จริง ทั้งในส่วนของการจัดทำแผนจัดการเรียนรู้ และการปฏิบัติการสอนในชั้นเรียน ตลอดจนการสะท้อนคิด ในระหว่างและหลังการปฏิบัติการสอน นอกจากนี้ได้เสนอมุมมองใหม่ต่อความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน โดยจำแนกออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับส่วนรวม 2) ระดับส่วนบุคคล และ 3) ระดับการปฏิบัติการ ซึ่งทำให้การศึกษาเรื่องนี้ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ภาพ 9 แสดงแบบจำลองความรู้ทางวิชาชีพของครูวิทยาศาสตร์ ของ Carlson, & Daehler

ที่มา: Carlson, & Daehler, 2019

ตาราง 2 แสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบของความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอน

ความรู้เกี่ยวกับ องค์ประกอบของ PCK	นักวิจัย						
	Shulman, 1986	Shulman, 1987	Gess-Newsome, 1999	Grossman, 1991	Magnusson et al., 1999	Park, & Oliver, 2008	Park, & Chen, 2012
เนื้อหาที่สอน	✓	✓	✓	✓			
เนื้อหาผสานวิธีสอน	✓	✓	✓	✓			
หลักสูตร	✓	✓			✓	✓	✓
กลยุทธ์/กลวิธีสอน		✓	✓	✓	✓	✓	✓
ความเข้าใจผู้เรียน		✓			✓	✓	✓
บริบท		✓	✓	✓			
เป้าหมายสำหรับการสอน		✓			✓	✓	✓
การประเมิน					✓	✓	✓
การรับรู้ความสามารถของตนเอง						✓	

จากตาราง 2 สามารถจำแนกองค์ประกอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่พบในงานวิจัยตั้งแต่ปี 1986 - 2012 ซึ่งหลังจากปี 2012 เป็นต้นมา ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนไม่ได้จำแนกตามองค์ประกอบดังกล่าว ซึ่งมีการสร้างแบบจำลองใหม่ที่แตกต่างจากองค์ประกอบเดิม ยกตัวอย่างเช่น ในแบบของ Gess-Newsome (2015) ได้นำเสนอองค์ประกอบหนึ่งก็คือ ตัวกรองและตัวขยาย ซึ่งเป็นความเชื่อความรู้เดิม หรือภูมิหลังต่าง ๆ ที่นักเรียนแต่ละคนนำติดตัวเข้ามาในชั้นเรียน โดยกรอบแนวคิดของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์ ยังสามารถใช้เป็นกรอบแนวคิดสำหรับการสะเต็มศึกษาได้อีกด้วย

ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนมีความสำคัญกับการผลิตครูวิทยาศาสตร์ การพัฒนาครูที่ปฏิบัติการสอนในโรงเรียนอยู่แล้วก็ยังคงเป็นเรื่องจำเป็น อีกทั้งครูจำเป็นต้องจัดการเรียนการสอนในเนื้อหาที่ตนเองไม่คุ้นเคย จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ในเรื่องที่ตนเองไม่คุ้นเคย ดังนั้นกระบวนการพัฒนาครูวิทยาศาสตร์อาจเริ่มต้นด้วยการนำเสนอความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนวิทยาศาสตร์ระดับส่วนรวม ทั้งนี้เพื่อให้ครูได้เห็นตัวอย่างการจัดการเรียน

การสอนวิทยาศาสตร์เรื่องนั้น และเพื่อให้ครูได้ทบทวนความรู้เนื้อหาวิทยาศาสตร์ เรื่องนั้นของตนเองไปพร้อมกัน จากนั้นครูสามารถนำตัวอย่างนั้นมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ตามความเหมาะสมกับตนเองและนักเรียน ซึ่งจะช่วยให้ครูพัฒนาความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนวิทยาศาสตร์ระดับบุคคล จากนั้นครูนำแผนการจัดการเรียนรู้นั้นไปใช้กับนักเรียนของตนเองและนำผลการใช้แผนจัดการเรียนรู้นั้นมาสะท้อนคิดร่วมกับครูคนอื่น ๆ (ลือชา ลดาชาติ, 2565ข) แต่ด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ อาทิ ภาระงานที่มาก เวลาที่จำกัด และระยะที่ห่างไกล การรวมกลุ่มกันของครูที่จัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เรื่องเดียวกันก็อาจไม่ใช่เรื่องง่ายในบริบทของประเทศไทย โดยในการศึกษาครั้งนี้ปรับใช้ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของ Magnusson et al. (1999) ซึ่งเป็นกรอบแนวคิดที่แพร่หลายและเป็นที่ยอมรับมีองค์ประกอบเหมาะสมสำหรับที่ใช้ในการสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนนำมาใช้ในสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับครูในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนเป็นคุณลักษณะการนำเสนอความเชี่ยวชาญในวิชานั้น ๆ แต่ละวิชาก็จะมีความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนแตกต่างกันออกไป (Park, & Oliver, 2008) ประเด็นสำคัญคือ ความแตกต่างที่เกิดจากความรู้ด้านวัตถุประสงค์ของหลักสูตร ความรู้ด้านเนื้อหา ความรู้กลยุทธ์การสอน และการประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้ ส่วนความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (PCK for STEM) มุ่งเน้นไปที่ทักษะการเรียนรู้ของนักเรียนในการทำความเข้าใจค้นหาวิธีการ และการประเมินความรู้ในทางปฏิบัติ โดยมุมมองของสะเต็มศึกษามักจะใช้รูปแบบของการพัฒนาทักษะในทางปฏิบัติ การออกแบบโครงงาน ใช้ปัญหาและการบูรณาการ สหวิทยาการ การศึกษาเริ่มให้ความสำคัญกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเพิ่มมากขึ้น โดยมีแนวคิดและองค์ประกอบ ดังต่อดังนี้

Honey (2014) เป็นหนึ่งในนักวิจัยกลุ่มแรก ๆ ที่ใช้แนวคิด "PCK for STEM" ในการศึกษา โดยได้เสนอกรอบการทำงานสำหรับสะเต็มศึกษาแบบบูรณาการ และวัตถุประสงค์หลักประการหนึ่งของกรอบการทำงานนี้คือ การช่วยเหลือการพัฒนาความรู้เนื้อหาเกี่ยวกับการสอนสะเต็มศึกษาของครู

Saxton et al. (2014) กล่าวถึง "STEM PCK" ในการศึกษาโดยยืนยันว่าคำจำกัดความของ PCK เป็นความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสาขาวิชาเดียว แต่สะเต็มศึกษาเป็นการบูรณาการหลายสาขาวิชา ดังนั้น จึงยังหาข้อสรุปไม่ได้ การกำหนดให้มีหลายสาขาวิชาจึงเป็นเรื่องที่ท้าทาย จากแนวคิดแบบจำลองความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนหน้านี้ จึงระบุองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบสำหรับ STEM PCK คือ

1. ความรู้ของครูในการคิดของนักเรียนเกี่ยวกับหัวข้อเฉพาะของสะเต็มศึกษา
2. การใช้กลยุทธ์ของครูสำหรับหัวข้อสะเต็มศึกษาเฉพาะด้าน
3. การใช้เทคโนโลยีของครูเพื่อให้บริบทที่แท้จริงในหัวข้อสะเต็มศึกษาเฉพาะเจาะจง

Allen et al. (2016) ให้คำจำกัดความ STEM PCK ว่า "เป็นความรู้ในการรับรู้และวัดการพัฒนาแนวความคิด กระบวนการสืบค้น และการเชื่อมโยงในโลกแห่งความเป็นจริงของนักเรียน เพื่อตั้งใจปรับเปลี่ยนการสอนอย่างมีประสิทธิผล" และได้ใช้ส่วนประกอบ STEM PCK โดยอ้างอิงจาก Saxton et al. (2014) มีแนวคิดดังนี้

1. การคิดของนักเรียนเกี่ยวกับหัวข้อเฉพาะสะเต็มศึกษา
2. กลยุทธ์การสอนสำหรับให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการสืบเสาะหาความรู้
3. ความเชื่อมโยงสะเต็มศึกษากับโลกแห่งความเป็นจริง

An (2017) เสนอ "ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนแบบบูรณาการแบบ สหวิทยาการ" เพื่อบูรณาการวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาของ Shulman (1987) ได้สนับสนุนทั้งสามหมวดหมู่ ได้แก่ ความรู้ด้านการสอน ความรู้เนื้อหา A และความรู้เนื้อหา B ครูควรมี PCK สำหรับเนื้อหา A และเนื้อหา B แยกจากกัน ส่งผลให้เนื้อหาการสอนแบบสหวิทยาการในความรู้ตอนท้าย

Srikoom et al. (2018) ใช้แนวคิดพื้นฐาน Magnusson et al. (1999; Grossman, 1990; Saxton et al., 2014) พัฒนาโมเดล PCK และแก้ไขและตั้งชื่อเป็น "PCK for STEM" ได้กำหนดองค์ประกอบแต่ละส่วน โดยพิจารณาลักษณะของสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่

1. ปฐมนิเทศการสอน (STEM orientations toward teaching STEM) หมายถึง รวมถึงการรับรู้และทัศนคติต่อสะเต็มศึกษาและเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

2. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร (knowledge of STEM curriculum) หมายถึง ความรู้หลักสูตรและมาตรฐานซึ่งจะสะท้อนถึงความสามารถของครูในการเชื่อมโยงเนื้อหาและมาตรฐานกับกิจกรรมสะเต็มศึกษาในระดับชั้นเฉพาะและรู้วิธีการออกแบบกิจกรรมอย่างเหมาะสม

3. ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจสะเต็มของนักเรียน (knowledge of students' understanding of STEM) หมายถึง ความรู้และความเชื่อของครูเกี่ยวกับความรู้เบื้องต้นของนักเรียนสำหรับการเรียนรู้ บทเรียนสะเต็มศึกษาและด้านที่นักเรียนมีปัญหา หมายถึง ความรู้ของครู เกี่ยวกับแนวคิดหรือหัวข้อสะเต็มศึกษาที่นักเรียนพบว่ายากต่อการเรียนรู้ รวมถึงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน

4. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนและการเป็นตัวแทนในสะเต็ม (knowledge of instructional strategies and representations in STEM) หมายถึง ความรู้เกี่ยวกับวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

5. ความรู้ในการประเมินผลการเรียนรู้ (knowledge of assessment in STEM learning) หมายถึง ความรู้เกี่ยวกับการประเมินกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและสิ่งประดิษฐ์หรือผลงานของนักเรียน

Fan and Yu (2019) มุ่งเน้นไปที่คุณลักษณะของ PCK ของครูโดยนำสะเต็มศึกษาที่เน้นด้านวิศวกรรมไปใช้ โดยถือว่าวิศวกรรมเป็นศูนย์กลางของสะเต็มศึกษา และเสนอ PCK for STEM ประกอบด้วย

1. ความรู้ในหลักสูตร (curriculum-oriented knowledge) ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบ และโครงสร้างของหลักสูตรโดยรวมและการออกแบบกิจกรรมการสอน

2. ความรู้วัตถุประสงค์และหลักสูตรทางการศึกษา (knowledge of educational purposes and curricula) ความรู้ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาเนื้อหาวิชา โครงสร้างหลักสูตร และวัตถุประสงค์ในการสอน

3. ความรู้ในเนื้อหาแต่ละสาขา (content knowledge) ความรู้แนวความคิดและขั้นตอนของแต่ละสาขาวิชา

4. ความรู้ในกลวิธีการสอน (knowledge of teaching strategies) กลยุทธ์ที่ใช้ในกระบวนการสอนเพื่อช่วยให้นักเรียนเรียนรู้

5. ความรู้ในบริบททางการศึกษา (knowledge of educational context) ความรู้ที่ครูสร้างสภาพแวดล้อมการสอนที่เหมาะสม

6. ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน (knowledge of learners) ความรู้เดิมของเกี่ยวกับผู้เรียนและแนวความคิดก่อนที่จะเริ่มหน่วยการเรียนรู้ใหม่

7. ความรู้เกี่ยวกับการประเมินผล (knowledge of learning assessment) ครูใช้เครื่องมือการประเมินที่เหมาะสมในการประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักเรียน

Chan et al. (2019) ได้ศึกษากรอบแนวคิด PCK for STEM อาศัยรูปแบบ Allen et al. (2016; Magnusson et al., 1999) โดยใช้แนวคิดความรู้เชิงปฏิบัติสำหรับสะเต็ม (Practical Knowledge for STEM) แทน PCK for STEM ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ

1. นักเรียน (student) ประกอบด้วย ความสามารถ (Abilities) คุณลักษณะในเจตคติ (affective characteristics) ความรู้เดิม (prerequisite knowledge) และความยากลำบาก (difficulties) และความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (misconceptions)

2. การประเมิน (assessment) ประกอบด้วย สิ่งที่จะประเมินและวิธีการประเมิน

3. หลักสูตร (curriculum) เกี่ยวกับวัตถุประสงค์โปรแกรมและจุดเด่นของหลักสูตร

4. การสอน (pedagogy) กลยุทธ์การสอนและการเป็นตัวแทนโดยอภิปรายว่าขอบเขตระหว่างองค์ประกอบทั้งสี่นี้ของแบบจำลองไม่ชัดเจนในทางปฏิบัติ และความเชื่อของครูที่มีบทบาทสำคัญในการใช้ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนในบริบทของห้องเรียน

ภาพ 10 แสดงความรู้ของครูเพื่อการสอนสะเต็มศึกษาที่มีประสิทธิภาพ

ที่มา: Chan et al., 2019

Aydin-Gunbatar et al. (2020) ใช้กรอบแนวคิด (Magnusson et al., 1999) ยกเว้นองค์ประกอบการปฐมนิเทศการสอนวิทยาศาสตร์ (orientation to teaching science) ได้อธิบายว่า PCK for STEM ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

1. ผู้เรียน (Learner) คือ ความรู้ของครูเกี่ยวกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับผู้เรียนในระหว่างการออกแบบหรือใช้แนวคิดวิทยาศาสตร์ในการออกแบบ

2. หลักสูตร (Curriculum) คือ ความรู้ของครูเกี่ยวกับเป้าหมายและวัตถุประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาในหลักสูตรสำหรับการศึกษาสะเต็มศึกษา

3. กลยุทธ์การสอน (Instructional strategy) คือ ความรู้ของครูเกี่ยวกับกลยุทธ์ที่นำไปใช้ในชั้น ในการสอนบูรณาการสะเต็มศึกษาและกลยุทธ์สำหรับการสอนโดยการออกแบบ

4. การประเมิน (Assessment) คือ ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการประเมิน กระบวนการสะเต็มศึกษา

Chanunan (2021) ใช้กรอบแนวคิดของ ของ Magnusson et al. (1999; Mishra, & Kohler, 2006; Saxton et al., 2014) เสนอ STEM PCK ของการสอนและการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยกำหนดให้เป็นความรู้ด้านเนื้อหาการสอนของครูที่ใช้สำหรับการสอนและการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ซึ่งประกอบด้วย 7 องค์ประกอบ

1. นิยามของสะเต็มศึกษา (Definition of STEM education) ความรู้ของครูเกี่ยวกับคำจำกัดความและประเด็นสำคัญของการศึกษาด้านสะเต็มศึกษา

2. ความรู้เกี่ยวกับเป้าหมายการสอนสะเต็มศึกษา (STEM Orientations towards STEM teaching) ความรู้และความเชื่อของครูเกี่ยวกับจุดประสงค์และเป้าหมายในการสอนและการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

3. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรสะเต็ม (Knowledge of STEM curriculum) ความรู้ของครูเกี่ยวกับเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

4. ความรู้เกี่ยวกับการเรียนรู้สะเต็มศึกษาของนักเรียน (Knowledge of students' STEM learning) ความรู้และความเชื่อของครูเกี่ยวกับความรู้ก่อนหน้าของนักเรียน ความยากในการเรียนรู้ แนวคิดที่คลาดเคลื่อน ความรู้ของครูเกี่ยวกับวิธีการเรียนรู้ของนักเรียนใน สะเต็มศึกษา

5. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนสะเต็มศึกษา (knowledge of STEM instructional strategies) ความรู้ของครูเกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนเนื้อหาเฉพาะเรื่องและวิธีการ บูรณาการสะเต็มศึกษาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้

6. ความรู้เกี่ยวกับการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับกลยุทธ์การสอนสะเต็มศึกษา (Knowledge of technology integration into STEM instructional strategies) ความรู้ของครูเกี่ยวกับเทคโนโลยีและวิธีการนำเทคโนโลยีมาใช้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

7. ความรู้เกี่ยวกับการประเมินผลการเรียนรู้สะเต็มศึกษา (Knowledge of students' STEM learning assessment) ความรู้ของครูเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้สะเต็มศึกษาของนักเรียน ความรู้เกี่ยวกับการระบุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ของนักเรียน ตามมาตรฐานหลักสูตร

ชุติมา วิชัยดิษฐ์ และชาตรี ฝ่ายคำตา (2564) ได้นำกรอบแนวคิดเกี่ยวกับ PCK for Science ของ Magnusson et al. (1999) มาดัดแปลงเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ได้รับการยอมรับและมีการนำมาปรับใช้ในการศึกษาและพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวาง และเป็นองค์ประกอบ

ที่ชัดเจนทำให้ง่ายต่อการศึกษาเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสำหรับครูวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่

1. ความรู้เกี่ยวกับเป้าหมายการสอนสะเต็มศึกษา (Orientations to Teaching STEM Education) หมายถึง ความเชื่อและการรับรู้ของครูเกี่ยวกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการสอนสะเต็มศึกษาที่สอดคล้องกับการรู้สะเต็ม (STEM Literacy) และการบูรณาการความรู้ ต่าง ๆ ในแต่ละระดับชั้น

2. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรสะเต็มศึกษา (Knowledge about STEM Education Curricula) หมายถึง ความเชื่อและการรับรู้ของครูเกี่ยวกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของหลักสูตรสะเต็มศึกษาที่แสดงให้เห็นถึงจุดประสงค์ ในการสอนทั้งด้านเนื้อหา ทักษะกระบวนการ รวมถึงทักษะที่สำคัญของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 (4C) และเจตคติที่สอดคล้องกับมาตรฐานหลักสูตรในแต่ละระดับชั้นของผู้เรียน และยังรวมถึงความรู้ของครูเกี่ยวกับกิจกรรม สื่อการสอน วัสดุ และแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของหลักสูตร

3. ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจในผู้เรียน (Knowledge of Students' Understanding) หมายถึง ความเชื่อ และการรับรู้ของครูเกี่ยวกับความรู้พื้นฐาน ความรู้ที่จำเป็นในการเรียนรู้ วิธีการเรียนรู้ที่ต่างกันของผู้เรียน และเนื้อหาวิชา ทักษะกระบวนการและการบูรณาการศาสตร์ที่ยากสำหรับความเข้าใจของผู้เรียน รวมไปถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อน

4. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนสะเต็มศึกษา (Knowledge of Instructional Strategies for Teaching STEM Education) หมายถึง ความเชื่อและการรับรู้ของครูเกี่ยวกับกลวิธีสอนที่สอดคล้องกับธรรมชาติและเป้าหมายของการสอนสะเต็มศึกษา และการเลือกกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาที่จะสอน ลำดับของกิจกรรมการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึงสาระสำคัญ แนวความคิดหลักของกิจกรรม การบูรณาการศาสตร์ การใช้เทคโนโลยี เครื่องมือ สื่อการสอนและแหล่งข้อมูลในแต่ละช่วงของกิจกรรม

5. ความรู้เกี่ยวกับการประเมินผลการเรียนรู้ (Knowledge about Assessment) หมายถึง ความเชื่อและการรับรู้ของครูเกี่ยวกับมิติของการประเมินผลการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา ซึ่งในมิติของการประเมินการเรียนรู้นี้จะขึ้นอยู่กับความรู้ของครูเกี่ยวกับการรู้สะเต็ม และความรู้ของครูเกี่ยวกับวิธีการประเมินการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในการประเมินการเรียนรู้ของผู้เรียนในมิติต่าง ๆ ของแนวคิดจากวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ทั้งส่วนที่เป็นทักษะ แนวคิด และกระบวนการ

ตาราง 3 แสดงองค์ประกอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

องค์ประกอบ PCK for STEM	นักวิจัย												
	Srikoom et al., 2018	Fan, & Yu, 2019	Chan et al., 2019	Yildirim, & Topalcengiz, 2019	Vossen et al., 2019	Aydin-Gunbatar et al., 2020	Ling et al., 2020	Sarkim, 2020	Faikhamta et al., 2020	Vichaidit, 2020	Chanunan, 2021	Rahman et al., 2022	Twaddle, & Smith, 2023
ความรู้เกี่ยวกับเป้าหมายการสอนสะเต็มศึกษา	✓	✓			✓		✓	✓	✓		✓		
ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร	✓	✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓		
ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓		
ความรู้เกี่ยวกับวิธีสอน/กลยุทธ์การสอน	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓		
ความรู้เกี่ยวกับบริบท		✓		✓						✓			
ความรู้ในทักษะในศตวรรษที่ 21				✓								✓	✓
ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา		✓		✓			✓					✓	✓
ความรู้เกี่ยวกับการบูรณาการ				✓									
นิยามของสะเต็มศึกษา											✓		
ความรู้เกี่ยวกับการบูรณาการเทคโนโลยี											✓		

จากตาราง 3 พบว่า การศึกษาเอกสารงานวิจัยความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ใช้องค์ประกอบแตกต่างกัน เพื่อบูรณาการความรู้ด้านสะเต็มศึกษาและเนื้อหาการสอน นอกจากนี้จะเห็นว่าบางงานวิจัยจะใช้โมเดล PCK ที่คล้ายกัน แต่แนวความคิดและคำจำกัดความของ PCK for STEM อาจแตกต่างกัน อีกทั้งบางงานวิจัย เช่น Lau and Multani (2018) ไม่ได้ระบุองค์ประกอบของกรอบ PCK ที่มีอยู่ในการศึกษา PCK for STEM โดยเป็นการบูรณาการ ความรู้ในการผสมผสานวิศวกรรมและสาขาวิชาอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน จะเห็นได้ว่าสะเต็มศึกษาเป็นการบูรณาการความรู้ 4 ศาสตร์เข้าด้วยกัน ครูต้องมีความเข้าใจเนื้อหาเชิงลึกและธรรมชาติของแต่ละสาขาวิชาด้วย รวมทั้งความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของผู้เรียน หลักสูตร สื่อวัสดุ แหล่งเรียนรู้ วิธีสอน รวมถึงการวัดและประเมินผล

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (PCK for STEM) ของ (Juhler, 2016; Chan et al., 2019; Aydin-Gunbatar et al., 2020) ซึ่งปรับจากองค์ประกอบ PCK ดั้งเดิมของ Magnusson et al. (1999) โดยไม่รวมองค์ประกอบความโน้มเอียงทางการสอนวิทยาศาสตร์ (Orientations to teaching science) เนื่องจากองค์ประกอบนี้มีอิทธิพลและได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบที่เหลือ (Juhler, 2016) อีกทั้งมีปัญหาในการกำหนดและวัดองค์ประกอบนี้ (Aydin-Gunbatar et al., 2020) โดยองค์ประกอบที่เลือกนี้เป็นแนวทางในการวางแผน ดำเนินการและสะท้อนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เพื่อนำความรู้ไปสู่การปฏิบัติจริงในชั้นเรียน (Chan et al., 2019) นอกจากนี้ความโน้มเอียงทางการสอนวิทยาศาสตร์ถือเป็นตัวขยายและตัวกรองในแบบจำลอง PCK ล่าสุด (Gess-Newsome, 2015; Carlson, & Daehler, 2019) ดังนั้นกรอบแนวคิดที่ใช้ในการสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่จำเป็นสำหรับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่มีประสิทธิภาพในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ซึ่งปรับจากแนวคิดของ (Juhler, 2016; Chan et al., 2019; Aydin-Gunbatar et al., 2020) ให้เหมาะสมกับสภาพบริบทที่ศึกษา ประกอบด้วย

1. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร (Knowledge of curriculum) ความรู้ของครูเกี่ยวกับการกำหนดวัตถุประสงค์ในบทเรียนสะเต็มศึกษา ซึ่งประกอบด้วยวัตถุประสงค์สำหรับวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ และการเชื่อมโยงระหว่างวัตถุประสงค์วิชาวิทยาศาสตร์กับวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษา

2. ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา (content knowledge) ความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม เข้าใจลักษณะเฉพาะและเนื้อหาที่เกี่ยวข้องของแต่ละวิชา สามารถนำความรู้ที่เกี่ยวข้องไปใช้ในกระบวนการออกแบบ เช่น ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการรวบรวมข้อมูล ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์สำหรับการสร้างแบบจำลอง เป็นต้น

3. ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน (Knowledge of learners) ความรู้เกี่ยวกับความยากลำบาก (difficulties) ในการเรียนรู้ของนักเรียนและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (misconceptions) ที่ผู้เรียนอาจพบขณะออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการและใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

4. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน (Knowledge of Instructional strategy) ความรู้ของครูเกี่ยวกับกลยุทธ์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม และการใช้ตัวอย่างและกิจกรรมในบทเรียนสะเต็มศึกษา

5. ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ (Knowledge of assessment) ความรู้ของครูเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนในบทเรียนสะเต็มศึกษา เช่น เนื้อหาวิทยาศาสตร์ กระบวนการทางวิศวกรรมและผลิตชิ้นงาน ทักษะในศตวรรษที่ 21 เป็นต้น และความรู้เกี่ยวกับการเลือกวิธีการประเมินที่เหมาะสม เช่น ประเมินชิ้นงาน ประเมินการนำเสนอ เป็นต้น

3. การประเมินความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

การวัดและประเมินความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษามีพื้นฐานเดิมจากการวัดและประเมินความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอน ซึ่งมีอยู่อย่างหลากหลาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบบจำลองที่นักวิจัยแต่ละคนใช้เป็นกรอบแนวคิดของการวิจัย โดยการวัดและประเมินเหล่านั้นอาจเป็นการวัดและประเมินในภาพรวมหรือในองค์ประกอบต่าง ๆ ก็ได้ ดังนั้นวิธีการวัดและประเมินความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนเป็นการทดสอบความมีเหตุผลของแบบจำลองที่ Magnusson et al. (1999) เสนอไว้ แต่เนื่องจากความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์มีหลายองค์ประกอบ วิธีการใดเพียงวิธีการเดียวจึงไม่เพียงพอ (Park, & Oliver, 2008) นักวิจัยจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการที่หลากหลาย Kind (2016) วัดและประเมินว่า ครูมีความโน้มเอียงทางการสอนวิทยาศาสตร์อย่างไร โดยนำเสนอข้อความที่บรรยายเหตุการณ์ที่ครูจัดการเรียนการสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์บางเรื่อง Park, & Chen (2012) ใช้ทั้งการสังเกตชั้นเรียนแบบไม่มีส่วนร่วม การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างเป็นรายบุคคล การเก็บรวบรวมแผนจัดการเรียนรู้ ตลอดจนสื่อการเรียนรู้ และตัวอย่างชิ้นงานของนักเรียน ในทำนองเดียวกัน Loughran et al. (2004) ได้พัฒนากลวิธีหนึ่ง ในการวัดและประเมินองค์ประกอบต่าง ๆ ของความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนของครูวิทยาศาสตร์ โดยกลวิธีนี้มีชื่อว่า “ตัวแทนเนื้อหา” (Content Representation: CoRe) ซึ่งเปิดโอกาสให้ครูสร้างตารางที่แสดงความคิดของตนเองเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ตนเองจัดการเรียนการสอน โดยแบบจำลองล่าสุด Carlson, & Daehler (2019) เสนอว่า การใช้แบบสอบถาม แบบวัด หรือตารางตัวแทนเนื้อหา วัดได้เพียงแค่ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์ระดับส่วนรวมเท่านั้น การวัดและประเมินความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์ระดับส่วนบุคคลสามารถเกิดขึ้นได้จากการวิเคราะห์ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ครูจัดทำขึ้น และการวัดและประเมินผลความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์ ระดับ

การปฏิบัติสามารถเกิดขึ้นได้จากการสังเกต การปฏิบัติการสอนจริงในชั้นเรียน โดยสรุปการวัดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนดังแสดงตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 4 แสดงรูปแบบการวัดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน

นักวิจัย	รูปแบบในการวัด
Kind, 2016	**แบบสอบถามปลายเปิด** โดยมีข้อความที่บรรยายเหตุการณ์จัดการเรียนการสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์ แล้วให้แสดงความคิดเห็นว่า จะดำเนินการอย่างไรต่อไปในการจัดการเรียนการสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์เรื่องนั้น
Demirdogen, & Uzuntiryaki-Kondakçı, 2016	**แบบสอบถาม** ที่มีข้อความบรรยายเหตุการณ์ที่ครูจัดการเรียนการสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์บางเรื่องแล้วให้ตอบคำถามในฐานะที่เป็นครูวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้มีการเขียนแผนจัดการเรียนรู้ สังเกตชั้นเรียน ร่วมกับการสัมภาษณ์ และจัดเรียงบัตรคำเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์
Cobern et al., 2014	**แบบวัดแบบเลือกตอบ** เพื่อใช้ประเมินความโน้มเอียงทางการสอนวิทยาศาสตร์ โดยใช้แบบวัด 4 ตัวเลือก โดยแต่ละตัวเลือก เป็นตัวแทนของการจัดการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ในระดับที่แตกต่างกัน ได้แก่ การสั่งสอนโดยตรง (Didactic direct) การสั่งสอนแบบมีส่วนร่วม (Active direct) การสืบเสาะภายใต้คำแนะนำ (Guided inquiry) การสืบเสาะอย่างอิสระ (Open inquiry)
Park, & Chen, 2012; Suh, & Park, 2017	**ใช้การสะท้อนคิด** หลังจากสังเกตชั้นเรียน เพื่อสร้างแผนภาพ 5 เหลี่ยม โดยใช้ข้อมูลจากการสังเกตชั้นเรียนแบบไม่มีส่วนร่วม การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างเป็นรายบุคคล แผนจัดการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ ชิ้นงานของนักเรียน เพื่อแสดงความเข้มหรือน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบและความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบเหล่านั้น
Loughran et al., 2004	**สร้างตารางคำถาม** เพื่อให้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ตนเองจัดการเรียนการสอน โดยใช้กลวิธี ตัวแทนเนื้อหา (Content Representation: Core) อาจมีการสัมภาษณ์เพิ่มเติม หลังตอบคำถามในตาราง
Kirschner et al., 2016	**คำถามปลายเปิด** ที่มีการเจาะจงเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ เฉพาะเรื่อง มีสถานการณ์ที่มีคำตอบของนักเรียน เพื่อให้แสดงถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อน
Park et al., 2018	**แบบวัดองค์ประกอบต่าง ๆ ของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนวิทยาศาสตร์** โดยใช้สถานการณ์ซึ่งอาจเป็นบทสนทนาในชั้นเรียนของนักเรียน จากนั้นจะให้ครูพิจารณาคำพูดของนักเรียน พร้อมทั้งระบุและให้เหตุผลและเสนอ กลวิธีการสอนเพื่อใช้จัดการเรียนการสอนให้นักเรียนกลุ่มนี้ พร้อมพิจารณากลวิธีสอน ที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน

นักวิจัย	รูปแบบในการวัด
Carlson, & Daehler, 2019	**ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์ มี 3 ระดับ** ได้แก่ 1) ระดับส่วนรวม 2) ระดับส่วนบุคคล และ 3) ระดับการปฏิบัติการ การวัดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนก่อนหน้านี้ เป็นเพียงแค่ การวัดระดับส่วนรวมเท่านั้น การวัดระดับส่วนบุคคลสามารถวัดได้จาก การวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ที่ครูจัดทำขึ้น ส่วนระดับการปฏิบัติ สามารถวัดได้จากการสังเกต การปฏิบัติการสอนจริงในชั้นเรียน

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษามีพื้นฐานมาจากความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อวัดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาอย่างหลากหลาย เช่น การสำรวจ (Lau, & Multani, 2018; Srikoom et al., 2018; Yıldırım, & Sahin, 2019; Faikhamta et al., 2020) การสัมภาษณ์ การสังเกตการสอน (ชุติมา วิชัยดิษฐ์, 2563; Chan et al., 2019; Sarkim, 2020; Lertdechapat, & Faikhamta, 2021; Huang et al., 2022; Lange et al., 2022; Correia, & Baptista, 2022) การเป็นตัวแทนเนื้อหา (CoRe) (Juhler, 2016; Aydin-Gunbatar et al., 2020) ชิ้นงานนักเรียน (ชุติมา วิชัยดิษฐ์, 2563; Srikoom et al., 2018) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงใช้การวัดและประเมินในองค์ประกอบต่าง ๆ ของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาในระดับส่วนบุคคลโดยใช้วิธีการที่หลากหลาย ได้แก่ แบบสอบถาม การสังเกตชั้นเรียน การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างเป็นรายบุคคล การเก็บรวบรวมแผนจัดการเรียนรู้ ตลอดจนสื่อการเรียนรู้ ตัวอย่างชิ้นงานของนักเรียน เป็นต้น

การพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

1. แนวคิดการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์

Loucks-Horsley et al. (2010) ได้เสนอกรอบแนวคิดในการออกแบบการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ 7 องค์ประกอบ ได้แก่

องค์ประกอบที่ 1 ตั้งวิสัยทัศน์และมาตรฐาน (Commit to vision & Standard)

องค์ประกอบที่ 2 วิเคราะห์การเรียนรู้ของผู้เรียนและข้อมูลอื่น (Analyze Student Learning & Other Data)

องค์ประกอบที่ 3 ตั้งเป้าหมาย (Set goals)

องค์ประกอบที่ 4 วางแผน (Plan)

องค์ประกอบที่ 5 ลงมือปฏิบัติ (Do)

องค์ประกอบที่ 6 ประเมินผล (Evaluates Results)

องค์ประกอบที่ 7 สะท้อนและปรับปรุง (Reflect & Revise)

โดยอาศัยตัวป้อนเข้า (input) ที่เป็นส่วนช่วยนักพัฒนาวิชาชีพในการตัดสินใจในการออกแบบกระบวนการพัฒนาวิชาชีพ 4 ตัว ได้แก่

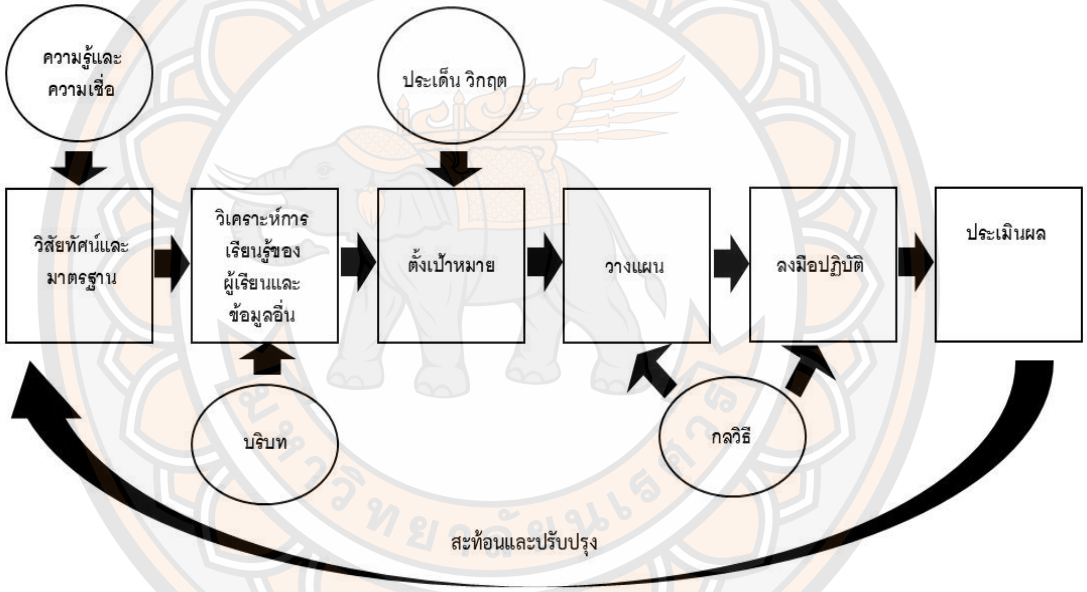
ตัวป้อนเข้าที่ 1 ความรู้และความเชื่อ (Knowledge & Beliefs)

ตัวป้อนเข้าที่ 2 บริบท (Context)

ตัวป้อนเข้าที่ 3 ประเด็นสำคัญ (Critical Issues)

ตัวป้อนเข้าที่ 4 กลวิธีเรียนรู้วิชาชีพ (Strategies)

ในส่วนของการใช้กลวิธีเรียนรู้วิชาชีพ (Strategies) จะขึ้นอยู่กับการวางแผน (Plan) และการลงมือปฏิบัติ (Do) ดังภาพ โดยมีรายละเอียด



ภาพ 11 แสดงกรอบแนวคิดในการออกแบบการพัฒนาวิชาชีพครู

ที่มา: Loucks-Horsley et al., 2010

องค์ประกอบที่ 1 ตั้งวิสัยทัศน์และมาตรฐาน (Commit to vision & Standard)

ผู้พัฒนาวิชาชีพควรจะต้องรู้จักหลักสูตร หลักสูตรเป็นตัวชี้วัดของนักเรียนและวิธีการสอนของครู โดยครูจะต้องมีความรู้ในเนื้อหา ซึ่งความรู้ในเนื้อหาส่งผลถึงวิธีการสอนของครู นอกจากหลักสูตรแล้วจะต้องรู้ว่าจะต้องจัดกิจกรรมในห้องเรียนอย่างไร ได้ลงมือใช้ในบริบทของตัวเอง มีผู้มาสังเกตการณ์ ครูสามารถสร้างชุมชนของการเรียนรู้วิชาชีพ ให้ครูได้มาพัฒนาบทเรียนร่วมกัน วิสัยทัศน์จะช่วยตอบคำถามว่าการพัฒนาครูที่เป็นแบบนี้เป้าหมายอยากให้เป็นแบบใด เช่น

มีประเด็นที่ครูมีความรู้ในเนื้อหาคลาดเคลื่อนก็ควรกำหนดเป้าหมายตามนี้ โดยมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ก่อนทำการพัฒนาควรศึกษาสภาพปัจจุบัน ดูนโยบายระดับชาติ งานวิจัย แล้วนำประเด็นที่พบมาวางแผนพัฒนา เพื่อลดช่องว่างระหว่างเป้าหมายและสภาพปัจจุบันโดยอาศัยตัวป้อนเข้า (input) ได้แก่ ความรู้และความเชื่อ (knowledge and beliefs) โดยพิจารณาจากองค์ประกอบ 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1. นักเรียนและการเรียนรู้ (Learners and Learning) ความรู้ใหม่สร้างขึ้นจากความรู้เดิมของผู้เรียน การเรียนรู้เป็นกระบวนการที่กระตือรือร้น ความรู้ถูกสร้างขึ้นผ่านกระบวนการของการเปลี่ยนแปลง ความรู้ใหม่มาจากประสบการณ์และปฏิสัมพันธ์กับความคิดและปรากฏการณ์ การเรียนรู้ต้องอยู่ในบริบทที่มีความหมายและเกี่ยวข้อง การเรียนรู้ได้รับการสนับสนุนผ่านการปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนเกี่ยวกับแนวความคิดของวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

2. ครูและการสอน (Teacher and Teaching) แนวคิดทั่วไปสามประการกำหนดกรอบสิ่งที่เรารู้เกี่ยวกับครูในปัจจุบันและการสอน 1) จุดประสงค์ของการสอนคือ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ 2) การสอน คือ อาชีพที่ต้องใช้ความรู้เฉพาะทาง และ 3) การปฏิบัติของการสอนมีความซับซ้อน

3. ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (The Nature of Science and Mathematics) การพัฒนาวิชาชีพที่มีประสิทธิภาพ ควรสะท้อนธรรมชาติของสาขาวิชา ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ส่วนคณิตศาสตร์เป็นกระบวนการแก้ปัญหา การให้เหตุผล และการสื่อสาร คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เป็นสาขาวิชาที่มีพลวัตซึ่งก่อให้เกิดความรู้ใหม่อย่างต่อเนื่อง

4. การเรียนรู้ของผู้ใหญ่และการพัฒนาวิชาชีพ (Adult Learning and Professional Development) ต้องคำนึงถึงการเรียนรู้ที่ผู้เรียนเป็นผู้ใหญ่ (Adult Learner) กิจกรรมต่าง ๆ ควรเน้นให้ครูมีโอกาสที่จะเรียนรู้แบบร่วมมือกันมีความเป็นผู้นำ สามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้ต่าง ๆ ได้ และสามารถออกแบบการเรียนรู้ที่เหมาะสม โดยการพัฒนาวิชาชีพที่มีประสิทธิภาพต้องได้รับการออกแบบให้ตรงกับเป้าหมายการเรียนรู้และความต้องการของนักเรียน ถูกขับเคลื่อนด้วยภาพที่ชัดเจนของการเรียนรู้และการสอน ต้องให้โอกาสครูได้สร้างความรู้ ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอน (PCK) ทักษะ การตรวจสอบ และสะท้อนจากการปฏิบัติเป็นสิ่งสำคัญ มาจากการวิจัยเป็นฐานและการที่ครูมีส่วนร่วมเสมือนเป็นนักเรียนในวัยผู้ใหญ่ ให้โอกาสครูได้ทำงานกับเพื่อนร่วมวิชาชีพและผู้เชี่ยวชาญในชุมชนการเรียนรู้เพื่อยกระดับการปฏิบัติการสอนอย่างต่อเนื่อง มีการสนับสนุนครูให้มีความลุ่มลึกในความเชี่ยวชาญของตนเองผ่านภาระงานของเขาและส่งเสริมบทบาทความเป็นผู้นำ มีการเชื่อมโยงกับส่วนอื่นของระบบการศึกษา มีการประเมินผลอย่างต่อเนื่อง

5. กระบวนการเปลี่ยนแปลง (Change Process) เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลาและความต่อเนื่อง ในระยะต่าง ๆ ของการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ แต่ละบุคคลต้องการความแตกต่างของการสนับสนุนและความช่วยเหลือ ความพยายามในการเปลี่ยนแปลงจะมีผลเมื่อ การเปลี่ยนแปลงถูกกำหนดไว้อย่างชัดเจนมีการสื่อสารสนับสนุนและความช่วยเหลือ โดยที่ผู้นำและนโยบายสนับสนุนการเปลี่ยนแปลง ระบบส่วนใหญ่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลง องค์กรมีส่วนร่วมอย่างต่อเนื่องของวงจรในการปรับปรุง การวิเคราะห์ข้อมูล กำหนดเป้าหมาย ดำเนินการประเมินผล เพื่อให้เกิดการปรับเปลี่ยน

องค์ประกอบที่ 2 วิเคราะห์การเรียนรู้ของผู้เรียนและข้อมูลอื่น (Analyze Student Learning & Other Data) ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับครูและนักเรียน ข้อมูลผลสัมฤทธิ์ของนักเรียน โดยใช้วิธีการประเมินที่หลากหลาย เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนรู้ของนักเรียนอย่างเหมาะสม ข้อมูลการเรียนรู้ของผู้เรียนที่จำแนกตามเชื้อชาติ ศาสนา สถานะทางเศรษฐกิจ และผู้เรียนที่มีความต้องการพิเศษ รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับการปฏิบัติการสอนในชั้นเรียน และโอกาสในการเรียนรู้ของผู้เรียน ข้อมูลเกี่ยวกับวัฒนธรรมองค์กรและภาวะผู้นำ ดังนั้นนักพัฒนาวิชาชีพต้องอาศัยตัวป้อนเข้า คือ บริบท (context) โดยพิจารณาจากองค์ประกอบ 8 องค์ประกอบ ดังนี้

1. นักเรียนและความต้องการในการเรียนรู้ของนักเรียน (Students and their learning needs) การออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพโดยเป้าหมายในการเรียนรู้ของครูต้องเชื่อมโยงกับเป้าหมายในการเรียนรู้ของผู้เรียน มีการเก็บข้อมูลการเรียนรู้ให้ชัดเจน จัดโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่มีลักษณะเฉพาะจำแนกตามประเภท และประเมินผลอย่างต่อเนื่อง และวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ของผู้เรียนเพื่อพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่สะท้อนตัวครูในการเปลี่ยนแปลงการปฏิบัติเพื่อพัฒนาผู้เรียน

2. ครูและความต้องการในการเรียนรู้ของครู (Teachers and their learning needs) ขอบเขตของความรู้ ความคิดและความสนใจสำหรับการเรียนรู้ของครู ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนและพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาวิชาและหลักสูตร และความรู้เกี่ยวกับการสอน นักพัฒนาวิชาชีพจะปรับปรุงการเรียนรู้ของนักเรียนภายในขอบเขตความรู้เหล่านี้ ซึ่งความสัมพันธ์ในการเรียนรู้วิชาชีพของครูที่สนับสนุนการเรียนรู้ของนักเรียน ได้แก่ ความเข้าใจในเนื้อหาของครู ช่องว่างระหว่างครูและการคิดของนักเรียน และความเข้าใจของครูต่อการตอบสนองของนักเรียน

3. หลักสูตร การจัดการเรียนการสอน การประเมิน การฝึกฝน และสิ่งแวดล้อมในการเรียนรู้ (Curriculum, Instruction, Assessment, Practice and Learning Environment) นักพัฒนาวิชาชีพจะประเมินสถานะปัจจุบันของการฝึกปฏิบัติในชั้นเรียนของคณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ ได้แก่ หลักสูตร การสอน การประเมิน สภาพแวดล้อมในการเรียนรู้ แล้วนำผลการประเมิน กำหนดเป้าหมายอย่างเหมาะสมในการพัฒนาวิชาชีพ ซึ่งจะได้ข้อมูลบนพื้นฐานความแตกต่างของครูแต่ละคน

4. วัฒนธรรมองค์กรและชุมชนแห่งการเรียนรู้วิชาชีพ (Organization Culture and professional Learning Communities) โรงเรียนทำหน้าที่เป็นชุมชนแห่งการเรียนรู้อย่างมืออาชีพ มีการกำหนดเป้าหมายอย่างชัดเจน วัดผลการเรียนรู้ของนักเรียนอย่างสม่ำเสมอ ทำงานร่วมกันเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ และมีการปรับปรุงเมื่อนักเรียนมีการเรียนรู้ที่ต่ำ ซึ่งชุมชนแห่งการเรียนรู้วิชาชีพจะช่วยพัฒนาการปฏิบัติการสอนของครูและการเรียนรู้ของนักเรียน

5. ภาวะผู้นำ (Leadership) นักพัฒนาวิชาชีพได้ทำงานเพื่อผลักดันความเป็นผู้นำให้เกิดขึ้นในทุกระดับของระบบการศึกษาเพื่อส่งเสริมการพัฒนาการศึกษาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ผู้นำมีบทบาทในการกำหนดเป้าหมายทางการศึกษาให้ชัดเจนและดำเนินงานโดยนำทรัพยากรต่าง ๆ มาใช้ให้เกิดบรรลุตามเป้าหมาย ในระดับโรงเรียน ครูใหญ่ต้องมีความเข้มแข็งในการสร้างชุมชนการเรียนรู้และสนับสนุนให้ครูได้นำสิ่งใหม่ ๆ มาใช้สอนในห้องเรียน รวมถึงการสร้างภาวะผู้นำให้กับครู ส่งเสริมให้ครูได้ช่วยเหลือสนับสนุนซึ่งกันและกันเพื่อให้เกิดความสำเร็จ

6. นโยบายระดับชาติ ระดับเขต และระดับท้องถิ่น (National, State and Local Policies) อิทธิพลของนโยบายที่มีต่อการตัดสินใจเกี่ยวกับการพัฒนาวิชาชีพส่วนใหญ่แล้วการตัดสินใจที่สำคัญที่สุดซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพการเรียนรู้และความเชี่ยวชาญนั้น จะเกิดขึ้นเมื่อครูและครูใหญ่ได้ร่วมกันประชุม เพื่อกำหนดเป้าหมายความสำเร็จของผู้เรียน เป้าหมายการเรียนรู้ของครู กระบวนการพัฒนาวิชาชีพ และวิธีการวัดประเมินผล เพื่อให้ทราบว่าการดำเนินงานนั้นมุ่งไปสู่ความสำเร็จตามเป้าหมาย

7. แหล่งทรัพยากรที่สามารถเข้าถึงได้ (Available Resource) ในการจะพัฒนาวิชาชีพจะต้องได้รับการสนับสนุนทรัพยากรที่อยู่อย่างเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลา เงิน วัสดุและความเชี่ยวชาญ แต่เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อการพัฒนาวิชาชีพครูคณิตศาสตร์และครูวิทยาศาสตร์ ดังนั้นจึงเห็นควรว่าจะต้องนำประเด็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมาเป็นประเด็นในการพิจารณา เช่น การมีอินเทอร์เน็ตเป็นการแบ่งปันการเข้าถึงโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพ ทำให้มีการสัมมนาผ่านเว็บ หลักสูตรออนไลน์ และเข้าถึงทรัพยากรอื่น ๆ ได้อย่างรวดเร็วและง่ายดายมากขึ้น

8. ครอบครัวและชุมชน (Family and Community) ปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคือ ภูมิหลังของครอบครัวและชุมชน เช่น เศรษฐกิจ เชื้อชาติ ชาติพันธุ์ และการศึกษา ดังนั้นครอบครัวจึงมีความเกี่ยวข้องต่อความสำเร็จของผู้เรียน สามารถกำหนดประเภทการทำงานร่วมกันของครอบครัว ชุมชน และโรงเรียนไว้ 6 มิติ คือ การเลี้ยงดูบุตรการสื่อสาร อาสาสมัครการเรียนรู้ที่บ้าน การตัดสินใจ และร่วมมือกับชุมชน

องค์ประกอบที่ 3 ตั้งเป้าหมาย (Set goals)

การตั้งเป้าหมายสำหรับการพัฒนาวิชาชีพ ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่

1. ด้านการเรียนรู้ของนักเรียน (Goals for student learning) ไปดูวิชาที่นักเรียนมีคะแนนต่ำ มาตรฐานที่มีการบ่งชี้ทางการเรียนต่ำ การวิเคราะห์ความต้องการของผู้เรียน ดูความแตกต่างของนักเรียนระหว่างกลุ่มด้านผลสัมฤทธิ์ ทำให้ช่องว่างระหว่างกลุ่มแคบลง

2. ด้านการเรียนรู้ของครู (Goals for teacher learning) เป้าหมายสำหรับครูจะมีความสัมพันธ์กับนักเรียน ในการพัฒนาครูจะรวมถึงการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาในแต่ละวิชาที่ครูสอน

3. ด้านการฝึกการปฏิบัติการสอน (Goals for teaching practice) การพัฒนาวิชาชีพที่จะส่งผลถึงตัวผู้เรียนได้ ผู้ที่เข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพจะสามารถนำความรู้ใหม่ ไปสู่การปฏิบัติการสอนในห้องเรียนได้อย่างไร นักออกแบบโปรแกรมพัฒนาครูควรที่จะออกแบบกิจกรรมให้ชัดเจน เพิ่มกิจกรรมที่ทำให้ครูเห็นภาพการจัดการเรียนการสอน

4. ด้านเป้าหมายขององค์กร (Goals for the organization) การสร้างภาวะผู้นำการเพิ่มความเข้มแข็งของกระบวนการชุมชนแห่งการเรียนรู้ เช่น ครูผู้นำแห่งการเปลี่ยนแปลง การตั้งเป้าหมายควรตั้งให้ชัดการประเมินจะชัดตามไปด้วยหลักฐานที่บอกว่าเป้าหมายบรรลุแล้ว

โดยองค์ประกอบด้านการตั้งเป้าหมายมีตัวป้อนเข้า คือ ประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณา (Critical Issues) โดยพิจารณาจากองค์ประกอบ 7 องค์ประกอบ ดังนี้

1. การสร้างศักยภาพเพื่อความยั่งยืน (Building Capacity for Sustainability) โปรแกรมการพัฒนาทางวิชาชีพจะบรรลุเป้าหมายและส่งผลกระทบกับนักเรียนในโรงเรียน โดยเกี่ยวข้องกับศักยภาพของโรงเรียนในหลาย ๆ มิติ ต้องให้ความสนใจเพื่อสร้างความรู้ร่วมกันในโรงเรียนสำหรับทุกคน โดยองค์ประกอบของศักยภาพของโรงเรียนที่ต้องให้ความสนใจ เช่น ความรู้ของครู ทักษะและนิสัย ชุมชนแห่งการเรียนรู้ ความสอดคล้องของโปรแกรม ทรัพยากรทางเทคนิค ความเป็นผู้นำของครูใหญ่ ควรให้ความสำคัญของการประเมินศักยภาพก่อนที่จะพัฒนาวิชาชีพ และใช้โอกาสนี้เพื่อวางแผนตั้งเป้าหมาย ไม่เป็นเพียงแต่ความรู้ของครู แต่รวมถึงศักยภาพของโรงเรียนด้านอื่นที่ยังด้อยด้วย

2. การจัดสรรเวลาสำหรับการพัฒนาวิชาชีพ (Making time for Professional Development) การพัฒนาวิชาชีพวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพ ครูต้องการเวลาที่เพียงพอสำหรับ การสำรวจเชิงลึก การสะท้อน และการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง การทำให้มีเวลาเพียงพอต่อโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ เป็นความท้าทาย ที่นักพัฒนาวิชาชีพต้องเผชิญ ในความเป็นจริงเวลาเป็นประเด็นสำคัญในทุกการเปลี่ยนแปลงของโรงเรียน เพื่อให้เวลาในการพัฒนาวิชาชีพอย่างมีคุณค่า ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องรวมทั้งครู ผู้บริหาร ผู้กำหนดนโยบาย และสาธารณชนต้องเริ่มทบทวนวิธีการใช้เวลา

3. การพัฒนาความเป็นผู้นำ (Developing Leadership) ภาวะผู้นำเป็นประเด็นที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาวิชาชีพ ความเป็นผู้นำทำให้เห็นเป้าหมายที่ชัดเจนในการเริ่มต้นพัฒนาวิชาชีพทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โครงการส่วนใหญ่มุ่งเน้นการเสริมสร้างทักษะการเป็นผู้นำให้กับผู้อำนวยการโรงเรียน หัวหน้าครู และนักการศึกษา เพื่อปรับปรุงการศึกษาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ให้ดีขึ้น งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาวิชาชีพและการเปลี่ยนแปลงในโรงเรียนเป็นที่ชัดเจนว่าความเป็นผู้นำและการสนับสนุนมีความจำเป็นสำหรับการพัฒนาวิชาชีพให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงด้านการสอนและการปฏิบัติการเรียนรู้ของครู

4. ความเท่าเทียม (Ensuring Equity) วัตถุประสงค์ของการพัฒนาวิชาชีพ คือ เพื่อเพิ่มพูนความรู้และทักษะของครูเพื่อตอบสนองความต้องการการเรียนรู้ของนักเรียนทุกคน และสิ่งที่จะเกิดขึ้นไม่ได้หากขาดความเสมอภาคกัน มีหลายประเด็นเกี่ยวกับความเท่าเทียมที่เกิดขึ้นกับการพัฒนาทางวิชาชีพ วิธีหนึ่งในการเตรียมผู้อำนวยความสะดวกและปลูกฝังความเท่าเทียมเป็น "เนื้อหา" ในการพัฒนาวิชาชีพคือ การมีส่วนร่วมของผู้เรียนในการสำรวจความสามารถทางวัฒนธรรม "การให้เกียรติความแตกต่างระหว่างวัฒนธรรม การเห็นความหลากหลายเป็นประโยชน์ และการปฏิสัมพันธ์อย่างมีความรู้และความเคารพในกลุ่มวัฒนธรรมที่หลากหลาย

5. การสร้างวัฒนธรรมการเรียนรู้วิชาชีพ (Building Professional Learning Culture) ชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพมีความเกี่ยวข้องกับทั้งแนวทางปฏิบัติของครูที่เปลี่ยนแปลงไปและวัฒนธรรมทางวิชาชีพที่เปลี่ยนแปลงไปโดยการฝังการเรียนรู้ของครูอย่างต่อเนื่องเข้าไปในวัฒนธรรม หากไม่มีวัฒนธรรมที่สนับสนุนการเรียนรู้ทางวิชาชีพของครูมีโอกาสรอดน้อยมาก เนื่องจากความรู้และทักษะที่เพิ่งได้รับจากครูไม่สามารถส่งผลที่ยั่งยืนต่อการปฏิบัติได้ จุดเริ่มต้นที่ดีในการสร้างวัฒนธรรมการเรียนรู้ทางวิชาชีพ ให้ครูผู้สอนนำเพื่อนร่วมงานและอาจารย์ใหญ่มาร่วมแบ่งปันการเรียนรู้มากขึ้น นักพัฒนาทางวิชาชีพสร้างชุมชนทางวิชาชีพของตนเองภายนอก และได้ทำงานร่วมกับผู้เข้าร่วมแต่ละคนเพื่อให้พวกเขามีวิธีในการสร้างชุมชนทางวิชาชีพของตนเอง

6. การรวบรวมการสนับสนุนทางสาธารณะ (Garnering Public Support) นักพัฒนาวิชาชีพ ต้องได้รับการสนับสนุนจากสาธารณะ และต้องเห็นคุณค่าของวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ศึกษาที่มีคุณภาพสำหรับเด็กและครูจะต้องมีโอกาสได้รับการปรับปรุงความรู้และทักษะในการสนับสนุนการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง โดยการปฏิรูปวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ศึกษา เป็นการสร้างความตระหนักในความสำคัญของวิทยาศาสตร์ศึกษาและประสิทธิภาพของการพัฒนาวิชาชีพ รวมถึงการกระตุ้นสาธารณะ ได้แก่ ครอบครัวและสมาชิกในชุมชนร่วมมือในการจัดประสบการณ์

7. การขยายผล (Scaling up) การขยายขนาดจะต้องเกี่ยวข้องกับผู้บริหารเขต ผู้นำโรงเรียน และครูในโรงเรียน นโยบายและโครงสร้างพื้นฐานในลักษณะที่สอดคล้องกันเพื่อรักษา

การปฏิบัติ หากการขยายขนาดเป็นไปประสบความสำเร็จ โดยให้โอกาสกับทุกคน ซึ่งครูแต่ละคนจะได้รับการสนับสนุนอย่างพอเพียงต่อการปฏิบัติ

องค์ประกอบที่ 4 วางแผน (Plan)

การพัฒนาวิชาชีพจะทำให้บรรลุเป้าหมายคือ การวางแผน เลือกกลวิธีใดก็ต้องเหมาะสมกับเป้าที่ตั้ง ใช้กลวิธีอะไรร่วมกับอะไร การวางแผน เช่น ถ้าเป้าหมายของเราเน้นที่การเพิ่มความรู้ในเนื้อหาของครูเลือกใช้กลวิธีอะไรในโรงเรียน มีครูที่เป็นผู้นำหรือไม่ ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการปฏิบัติการสอน โดยมีตัวป้อนเข้า คือ กลวิธีในการเรียนรู้วิชาชีพ (Strategies) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยกลวิธีในการเรียนรู้วิชาชีพต่าง ๆ รวมทั้งสิ้น 16 กลวิธี ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 การจุ่มตัวในเนื้อหา มาตรฐาน และงานวิจัย (Immersion in Content, Standard and Research) สะท้อนถึงแนวทางต่าง ๆ สู่การเรียนรู้ของครู ที่มีส่วนร่วมกับครูในการฝึกฝนวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น เนื้อหาและความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาการสอนและความเข้าใจมาตรฐานและการวิจัยกลยุทธ์การเรียนรู้ทางวิชาชีพนี้ประกอบด้วย 3 กลวิธี

1. การศึกษาหัวข้อหลักสูตร (Curriculum Topic Study) มีเป้าหมายในการพัฒนาครูให้เข้าใจหลักสูตรรายงานวิจัย และได้แนวทางการสอนที่สอดคล้องกับหลักสูตรในแต่ละระดับชั้น

2. การจุ่มตัวในการสืบเสาะหาความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ (Immersion in Inquiry in Science) มีเป้าหมายพัฒนาความรู้และประสบการณ์ตรงในด้าน เนื้อหาและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การทำงานร่วมกับนักวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ เป็นการเชื่อมโยงหลักการทางวิทยาศาสตร์สู่ปฏิบัติ

3. การสร้างรายวิชาที่เน้นด้านเนื้อหา (Content Course) มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาความรู้ในเนื้อหา ตามหัวข้อที่ควรรับผิดชอบ หรือมีการ ลงทะเบียนเรียน กับอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัย และนำความรู้ในเนื้อหาไปพัฒนาการสอน

กลุ่มที่ 2 การตรวจสอบการสอนและการเรียนรู้ (Examining Teaching and Learning) กลยุทธ์เหล่านี้ให้โอกาสในการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ โอกาสในการแก้ไขกับปัญหาที่แท้จริงที่พบในห้องเรียนและโรงเรียน ผู้เชี่ยวชาญใช้ "practice sessions" เพื่อเพิ่มพูนความรู้ ทักษะและประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 7 กลวิธี

1. การตรวจงาน และการคิดของนักเรียน (Examining Student Work and Thinking) มีเป้าหมายพัฒนาความเข้าใจ แนวคิดวิทยาศาสตร์ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยครูร่วมกันตรวจกันนักเรียนเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงการสอน

2. การสาธิตบทเรียน (Demonstration lessons) มีเป้าหมายเพื่อการเรียนรู้การปฏิบัติการสอนของครู โดยกลุ่มครูจะอภิปรายเป้าหมายจากการสังเกตการสอน และร่วมสะท้อนสิ่งที่ได้เรียนรู้จากการสังเกตการสอน

3. การสร้างบทเรียนร่วมกัน (Lesson Study) มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ โดยครูร่วมกันออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ และนำไปใช้ จากนั้นร่วมกันประเมินและสะท้อนบทเรียนเพื่อทำการปรับปรุง และนำไปใช้จนกว่าผู้เรียนจากบรรลุผลการเรียนรู้ จึงจะถือว่าบทเรียนมีประสิทธิภาพ

4. การวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาครู ประเมินการสอนของตนเอง รวมทั้งการเรียนรู้ของนักเรียน เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการปฏิบัติการสอน โดยครูจะสะท้อนการสอนของตนเอง และผลที่เกิดขึ้นกับนักเรียน

5. การอภิปรายรายกรณี (Case Discussion) มีเป้าหมายเพื่อเตรียมให้ครูแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในชั้นเรียน โดยมีการอ่านสถานการณ์ในชั้นเรียนที่กำหนด และร่วมกันหาแนวทางในการแก้ไข

6. การฝึกหัด (Coaching) ให้ครูที่มีประสบการณ์ในการสอน ได้แนะนำครูใหม่ในเรื่องการจัดการเรียนการสอน โดยมุ่งเน้นในการพัฒนาการสอน

7. การเป็นพี่เลี้ยง (Mentoring) มีเป้าหมายให้คำแนะนำครูใหม่ทางด้านเนื้อหาและวิธีการสอนจากครูที่มีประสบการณ์

กลุ่มที่ 3 การจัดหลักสูตรและการนำหลักสูตรไปใช้ (Implementing Curriculum) การคัดเลือกหลักสูตร การเลือกมาใช้ และการนำมาปฏิบัติ ปลูกฝังสิ่งเหล่านี้ในการพัฒนาวิชาชีพของครู นักพัฒนาวิชาชีพ ได้เขียนหลักสูตรขึ้นมากขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของครูและนักเรียน กลยุทธ์นี้เชื่อมโยงการปรับปรุงหลักสูตรและโอกาสในการเรียนรู้วิชาชีพของครู อยู่บนสมมติฐานหลายประการเกี่ยวกับการสอน การเรียนรู้ และการพัฒนาวิชาชีพ ประกอบด้วย 2 กลวิธี

1. การเลือกสื่ออุปกรณ์ในการจัดการเรียนการสอน (Instructional Material Selection) เป็นกระบวนการที่คู่ร่วมกันคัดเลือก ซื้ออุปกรณ์ในการจัดการเรียนการสอน โดยวิเคราะห์จากหลักสูตร และพัฒนาลักษณะสำคัญของครูในการพัฒนาสื่อการจัดการเรียนการสอน

2. การนำหลักสูตรไปใช้ (Curriculum Implementation) เป็นการนำหลักสูตรที่ผ่านการพัฒนา ทดลองใช้ การสะท้อน นำไปใช้ใหม่

กลุ่มที่ 4 (Professional Development Structure) โครงสร้างการพัฒนาวิชาชีพประกอบด้วย 4 กลวิธี กลยุทธ์เหล่านี้แตกต่างจากกลยุทธ์อื่น ๆ เนื่องจากจะไม่มีกระบวนการที่กำหนดไว้ชัดเจน เป็นเพียงวิธีการทั่ว ๆ ไปในการจัดระเบียบเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้ของครู นักพัฒนาวิชาชีพต้องระบุเนื้อหา กระบวนการ และเป้าหมายว่าสอดคล้องกับโครงสร้างของกลยุทธ์อย่างไร สร้างแผนการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับความต่อเนื่องของครู แทนที่จะสร้างประสบการณ์ที่โดดเดี่ยวและขาดการเชื่อมต่อ การให้โอกาสครูในการเชื่อมโยงแหล่งความรู้ภายนอกในลักษณะที่มุ่งเน้น ตรง และเข้มข้น

1. การศึกษาเป็นกลุ่ม (Study Group) ครูร่วมกันศึกษาหัวข้อเฉพาะกับสมาชิกในกลุ่ม เพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์ มีการสะท้อนให้เห็นถึงความคิดที่มีต่อกันปฏิบัติการสอนของตน

2. การอบรมเชิงปฏิบัติการ การศึกษาที่สถาบัน และการสัมมนา (Workshop Institutes and Seminar) ให้ครูเข้าร่วมฝึกอบรม ประชุม สัมมนา เรียนรู้ในระยะสั้น ๆ เพื่อพัฒนาความรู้

3. เครือข่ายผู้เชี่ยวชาญ (Professional Network) ครูได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้กับผู้เชี่ยวชาญในลักษณะเครือข่าย เพื่อหาความรู้ แลกเปลี่ยน วิธีการสอน วิเคราะห์ปัญหาจากการสอน

4. การพัฒนาวิชาชีพออนไลน์ (Online Professional Development) เป็นการใช้เทคโนโลยีมาช่วยสนับสนุนให้ครูได้พัฒนาความรู้และวิธีการสอน

องค์ประกอบที่ 5 ลงมือปฏิบัติ (Do)

นำการวางแผนมาลงมือปฏิบัติจริง ตามแผนที่วางเอาไว้ โดยนำทักษะและความรู้สถานการณ์ผู้อำนวยความสะดวก ความเข้าใจในกระบวนการเปลี่ยนแปลง กระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้ต้องใช้เวลา บางครั้งมันอาจจะแย่ลงก่อนที่จะดีขึ้น ควรจะติดตามการสอนของครูที่เข้าร่วมโปรแกรมให้ความช่วยเหลือเมื่อมีปัญหา สามารถจัดการปัญหาเมื่อการปฏิบัติอาจไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ เพื่อนำมาสะท้อนผลและปรับปรุงโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพต่อไป อาจใช้บุคคลภายนอกเพื่อให้สะท้อนมุมมองผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้ชัดเจน

องค์ประกอบที่ 6 ประเมินผล (Evaluates Results)

บทบาทสำคัญของการประเมินพิจารณาว่าการประเมินดูว่าบรรลุเป้าหมายหรือไม่ ประเมินการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการสอนตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ควรประเมินเชิงลึกในระยะยาว เพื่อที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงการปฏิบัติการสอน และประเมินแล้วควรสะท้อนว่าผลการประเมินเป็นอย่างไร โดยการประเมินโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพต้องตรวจสอบด้วยคำถามต่อไปนี้ เป้าหมายของโปรแกรมนั้นคืออะไร หลักฐานอะไรที่แสดงความสำเร็จของโปรแกรมนั้นคืออะไร เราจะเก็บข้อมูลประเมินการปฏิบัติตลอดโปรแกรมนี้อย่างไร และจะใช้ประโยชน์ของการประเมินประสบการณ์ของการเรียนรู้นี้ได้อย่างไร

องค์ประกอบที่ 7 สะท้อนและปรับปรุง (Reflect & Revise)

กระบวนการสะท้อนและปรับปรุงจะแฝงอยู่ในทุก ๆ ขั้นตอนของการออกแบบและใช้พัฒนาวิชาชีพครู นักออกแบบจำเป็นที่จะสะท้อนอย่างต่อเนื่อง มีข้อมูลอะไรที่เกิดขึ้นที่ส่งผลต่อการพัฒนาวิชาชีพ การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเชื่อ ดูผลกระทบของงานจากการปฏิบัติการสอน คิดถึงสิ่งที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของตัวครูและนักเรียน นักพัฒนาโปรแกรมควรประเมินในระหว่างโปรแกรม ซึ่งครูจะเรียนรู้เนื้อหาเพิ่มเติมอะไรหรือมีกลวิธีที่จะเพิ่มเติมในโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ ช่วยเราสะท้อนถึงประสิทธิภาพของโปรแกรม ใช้ประโยชน์ของกระบวนการ การสะท้อนและปรับปรุง

โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพตามกรอบแนวคิดการพัฒนาวิชาชีพครูของ Loucks-Horsley et al. (2010) ซึ่งได้ออกแบบการพัฒนาวิชาชีพครู โดยคำนึงถึงเป้าหมาย และปัจจัยนำเข้าต่าง ๆ รวมถึงการเลือกใช้กลวิธีที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาวิชาชีพครูอย่างมีประสิทธิภาพ

2. การพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา พบว่า งานวิจัยด้านการศึกษาสะเต็มมีความสำคัญมากขึ้นในระดับสากล (Li et al., 2020)

Surahman, & Wang (2023) พบว่า การพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาของครูประจำการมีการตีพิมพ์บทความมีจำนวนมากขึ้นทุกปี แตกต่างจากประเทศไทยที่พบว่า จำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาในประเทศไทยยังพบน้อยมาก (ชาตรี ฝ่ายคำตา และคณะ, 2566)

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาของไทย พบในกลุ่มนักศึกษาครูเป็นส่วนใหญ่ เนื่องมาจากการตีพิมพ์บทความในเรื่องดังกล่าวจะเป็นงานวิจัยของอาจารย์มหาวิทยาลัยที่มีหน้าที่ในการจัดการเรียนรู้ให้กับนักศึกษาครู หรือนิสิตปริญญาเอกในสายการศึกษาวิทยาศาสตร์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาของต่างประเทศ พบในกลุ่มครูเป็นส่วนใหญ่ โดยกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาขึ้นอยู่กับนโยบาย/โครงการเกี่ยวข้องกับการศึกษาในแต่ละประเทศ เช่นในต่างประเทศมีโครงการพัฒนาครูสะเต็มศึกษา เช่น โครงการพัฒนาคณาจารย์สะเต็มศึกษาแบบสหวิทยาการ (Borda et al., 2020) โครงการ National Science Foundation-ITEST (Kelley et al., 2020) โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพแรงจูงใจและโครงการสร้างชุมชน (Moreira et al., 2019) โครงการเตรียมผู้นำ STEM แบบบูรณาการรูปแบบใหม่ (Yilmaz, 2022) โครงการพัฒนาวิชาชีพ (PDP) ที่เน้นการสอน STEM แบบครอบคลุม (Smit et al., 2023) เป็นต้น ซึ่งมีอิทธิพลต่อนักวิจัยและบุคลากรทางการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนานิสิตครู นอกจากนี้กลุ่มเป้าหมายที่มีประสบการณ์นั้นทำเปลี่ยนแปลงได้ยาก ดังนั้น เป้าหมายของงานวิจัยจึงมุ่งไปสู่การพัฒนานิสิตครู เพื่อส่งเสริม ความรู้ด้านเนื้อหาและวิธีการสอนเป็นส่วนใหญ่

ประเด็นหลักที่มุ่งศึกษาในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษามุ่งศึกษาในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา โดยประเทศไทยมุ่งไปที่ประเด็นการรู้สะเต็ม (STEM Literacy) ความเข้าใจสะเต็ม พฤติกรรมหรือการปฏิบัติการสอนในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเพียงด้านเดียว ซึ่งสอดคล้องกับ ธนิกา วศินยานุวัฒน์ (2566) ได้สังเคราะห์เอกสารงานวิจัยสะเต็มศึกษาในด้านสะเต็มกับการพัฒนาวิชาชีพครู พบว่า เป็นการพัฒนาด้านความรู้ความเข้าใจเพียงด้านเดียว และแบบบูรณาการความรู้ควบคู่กับการปฏิบัติ พบน้อยลงมา และไม่พบด้านการพัฒนาแบบองค์รวม เนื่องมาจากครูจำนวนหนึ่งยังไม่เข้าใจลักษณะสำคัญของสะเต็มศึกษา และไม่ตระหนักถึงความสำคัญ

ของการสร้างนวัตกรรมด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรม ไม่เข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติ สะเต็ม การเลือกสื่อและการวัดประเมินผล (ชุติมา วิชัยดิษฐ์ และชาตรี ฝ่ายคำตา, 2564) ด้วยเหตุนี้ จึงควรส่งเสริมการสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติสะเต็มของครูเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความเข้าใจดังกล่าวจะส่งผลต่อการปฏิบัติการสอนให้มีประสิทธิภาพ ส่วนเป้าหมายหรือประเด็นหลักที่มุ่งศึกษาในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาของต่างประเทศมุ่งไปที่ นโยบาย หลักสูตร หรือมาตรฐานหลักสูตรทั้งในระดับชาติและระดับท้องถิ่น มีการพัฒนาครูสะเต็มศึกษาที่ไม่ได้มุ่งไปที่การพัฒนาด้านใดด้านหนึ่งเพียงอย่างเดียว โดยมีการพัฒนาให้สามารถบูรณาการความรู้ความเข้าใจและการปฏิบัติการสอนของครู อีกทั้งมีการพัฒนาครูแบบองค์รวม โดยมีการคำนึงถึงผลลัพธ์ สูงสุดที่คาดว่าจะได้รับคือการเปลี่ยนแปลงในการเรียนรู้ของนักเรียน (Brand, 2020)

รูปแบบในการพัฒนาครูสะเต็มศึกษา เพื่อนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของครูมีอย่างหลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่ต้องการศึกษา ว่าจะต้องให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านใด เช่น ด้านการปฏิบัติการสอน ด้านความรู้ความเข้าใจ โดยประเทศไทย พบรูปแบบการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา โดยใช้กิจกรรมกลางแจ้งและพื้นที่สร้างสรรค์เป็นส่วนใหญ่ อันเนื่องมาจากครูวิทยาศาสตร์ควรได้รับการส่งเสริมให้มีส่วนร่วมกับการออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่เชื่อมโยงกับบริบทในชีวิตจริง (อาทิตยา จิตร์เอื้อเฟื้อ, 2563; Chatmaneerungcharoen, 2022; Pitiporntapin et al., 2023) นอกจากนี้ปัจจัยเกี่ยวกับความร่วมมือในการสอน การหนุนนำอย่างต่อเนื่อง ผ่านกิจกรรมลงมือปฏิบัติ ศึกษาบทเรียน การทบทวนบทเรียนและการปฏิบัติ และการสะท้อนกันด้วยสามารถช่วยเหลือให้ครูมีการพัฒนาทางวิชาชีพสูงขึ้น (ชาตรี ฝ่ายคำตา และคณะ 2566) ส่วนรูปแบบการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาในงานวิจัยต่างประเทศ พบว่า ใช้หลักสูตรฝึกอบรม(Workshop) เป็นส่วนใหญ่ สอดคล้องกับ Surahman, & Wang (2023) ที่ได้วิเคราะห์เอกสารการพัฒนาโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาในครูประจำการ พบว่า การประชุมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) และการฝึกอบรม (Training) เป็นรูปแบบการเรียนรู้และกลยุทธ์ที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด ซึ่งรูปแบบกลยุทธ์ที่นำมาใช้นั้นขึ้นกับปัญหาในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยไม่สามารถแก้ไขปัญหาด้วยรูปแบบการเรียนรู้เฉพาะรูปแบบเดียว ดังนั้น รูปแบบการเรียนรู้และกลยุทธ์ต่าง ๆ ในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาเป็นการมอบประสบการณ์การเรียนรู้ที่แตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับเป้าหมายในด้านเข้าใจและทักษะที่จะสอน (Surahman, & Wang, 2023) ซึ่งในรูปแบบการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาโดยใช้หลักสูตรฝึกอบรม (Workshop) ก็จะมีกิจกรรมที่แตกต่างกันออกไปตามเป้าหมายหรือประเด็นที่มุ่งศึกษา เช่น เน้นความร่วมมือกันระหว่างนักการศึกษา ครู อาจารย์มหาวิทยาลัย นักวิจัย เพื่อช่วยเพิ่มความเข้าใจในแนวคิดของสะเต็มศึกษามากขึ้น กิจกรรมสร้างการรับรู้และความเชื่อของครูสะเต็ม (Christian et al., 2021) กิจกรรมพัฒนาทักษะการสร้างชุมชนแห่งการเรียนรู้ (Moreira et al., 2019) กิจกรรมพัฒนารูปแบบ

การเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ตอบโจทย์หลากหลายความต้องการและมาตรฐาน (Brand, 2020) กิจกรรมพัฒนาแผนการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยใช้การเรียนรู้จากการออกแบบ (Chai et al., 2020)

คุณลักษณะของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาที่มีประสิทธิภาพ มีลักษณะคือ โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาควรใช้แนวทางชุมชนแห่งการเรียนรู้ในการบูรณาการสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นเรื่องท้าทาย เนื่องจากครูจะสร้างเครือข่ายพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงควรสร้างชุมชนที่ยั่งยืนแห่งการเรียนรู้ (Kelley, & Knowles, 2016) โดยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาต้องส่งผลทำให้ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนที่ดีขึ้น โดยมีลักษณะสำคัญ คือ 1) มุ่งเน้นการพัฒนาเนื้อหาความรู้ของครูในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน 2) เน้นการใช้สื่อการเรียนการสอนใหม่ ๆ 3) จัดให้มีการประชุมเชิงปฏิบัติการภาคฤดูร้อนเพื่อเริ่มกระบวนการเรียนรู้โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูตามด้วยการประชุมเพื่อแก้ไขปัญหาและหารือเกี่ยวกับการฝึกปฏิบัติการสอน (Margot, & Kettler, 2019)

แนวทางในการพัฒนาสมรรถนะครูสะเต็มศึกษามีองค์ประกอบหลักที่สำคัญดังนี้ ครูต้องมีพื้นฐานความรู้ที่มั่นคงและลึกซึ้งในสาขาสะเต็มทั้ง 4 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เพื่อให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดพื้นฐานและสามารถเชื่อมโยงไปยังการประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้ มีทักษะการสอนเชิงบูรณาการ การสอนเชิงบูรณาการเป็นหัวใจสำคัญ ครูต้องสามารถเชื่อมโยงเนื้อหาจากหลายสาขาวิชาและสอนผ่านปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง เพื่อกระตุ้นการเรียนรู้ที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์ มีทักษะการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรม ครูควรนำเสนอเครื่องมือดิจิทัล นวัตกรรม และซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มพูนประสบการณ์การเรียนรู้และกระตุ้นความสนใจของนักเรียน มีทักษะการประเมินและการสะท้อนผล ครูต้องมีทักษะในการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนอย่างเป็นระบบ และสามารถสะท้อนผลการเรียนการสอนเพื่อพัฒนากระบวนการการเรียนรู้ให้ดียิ่งขึ้น และการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ครูควรส่งเสริมทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เช่น การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน และความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับนักเรียนในการเผชิญกับความท้าทายในอนาคต (SEAMEO, 2020)

นอกจากนี้ Darling-Hammond et al. (2017) อธิบายว่าการพัฒนาวิชาชีพครูที่มีประสิทธิภาพต้องมีองค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

ตาราง 5 แสดงองค์ประกอบการออกแบบการพัฒนาวิชาชีพครู

องค์ประกอบการออกแบบ (Design elements)	คำอธิบาย (Design elements)
เน้นเนื้อหา (Content focus) - ความรู้ในเนื้อหา (Content knowledge) - ความรู้ในวิธีการสอน (Pedagogical content knowledge)	กิจกรรมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูต้องเน้นเนื้อหาที่ครูสอนอยู่สอดคล้องกับบริบทกับห้องเรียน
การใช้แบบจำลองและการสร้างแบบจำลอง (Use of models and modeling) - ตัวอย่างสื่อการสอน STEM (Sample STEM instructional materials) - การเรียนรู้เชิงรุก (Active learning) - เข้าร่วมกิจกรรม/บทเรียนตัวอย่าง STEM (Engaging in sample STEM activities/lessons)	ครูผู้เข้าร่วมถูกพัฒนาด้วยรูปแบบการสอน (เช่นบทเรียนสาธิตและตัวอย่างวัสดุ) เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ
การเรียนรู้เชิงรุก Active learning	ครูผู้เข้าร่วมมีส่วนร่วมในการปฏิบัติกับห้องเรียนและนักเรียนของตนเอง
การทำงานร่วมกัน (Collaboration) - การทำงานร่วมกันแบบสหวิทยาการในโรงเรียน (In-school interdisciplinary collaboration) - นอกเหนือจากความร่วมมือของโรงเรียน (Beyond school collaboration)	ครูทำงานร่วมกันได้รับการอำนวยความสะดวกจากครู โรงเรียน และ/หรือระดับเขต
การฝึกสอนและการสนับสนุนจากผู้เชี่ยวชาญ (Coaching and expert support) - ความรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติงาน STEM (Knowledge of STEM practice) - กลยุทธ์การสอนเพื่อการสอนสะเต็มศึกษา (Instructional strategies for teaching STEM)	ชี้แนะให้การช่วยเหลือการนำไปใช้ของครูผู้เข้าร่วม ในเรื่องหลักสูตรใหม่ เครื่องมือและวิธีการสอน
ข้อเสนอแนะและการสะท้อนกลับ (Feedback and reflection) - ข้อเสนอแนะ (Feedback) - การสะท้อนกลับ (Reflection)	ครูผู้เข้าร่วมได้รับการสะท้อน ข้อมูลและการเปลี่ยนแปลงการปฏิบัติ
ระยะเวลาที่ยั่งยืน (Sustained duration) - ระยะเวลาที่ยั่งยืน (Sustained TPD)	ครูผู้เข้าร่วมมีโอกาสหลากหลายในการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้

จากการศึกษาคุณลักษณะของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษามีนักการศึกษากำหนดองค์ประกอบของการพัฒนาวิชาชีพครูไว้อย่างหลากหลาย เพื่อเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม ดังนั้นงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้แนวคิดการพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาตามรูปแบบของ Loucks-Horsley et al. (2010) และปรับให้สอดคล้องกับงานวิจัยการออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา เพื่อเป็นการตรวจสอบองค์ประกอบการพัฒนาวิชาชีพครูที่มีประสิทธิภาพ

3. โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่ส่งเสริมการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพส่งเสริมการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา เพื่อให้ครูมีความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่มีประสิทธิภาพซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

3.1 แนวคิดทฤษฎีที่สนับสนุนโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ

ในการออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ เพื่อส่งเสริมความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจะใช้กลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน มีแนวคิดและทฤษฎีการเรียนรู้ที่นำมาใช้เป็นกรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้

ทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivist Theory) เป็นแนวคิดที่เน้นการสร้างความรู้ใหม่ผ่านการมีส่วนร่วมในประสบการณ์ตรงและการสะท้อนกลับจากการเรียนรู้ ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู เนื่องจากครูสามารถใช้ประสบการณ์ที่ได้รับจากการฝึกอบรมและการทดลองปฏิบัติจริงในการพัฒนาวิธีการสอนของตน (Piaget, 1970; Vygotsky, 1978) แนวคิดนี้มีองค์ประกอบสำคัญหลายประการที่สนับสนุนการพัฒนาทักษะครู ดังนี้ การเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง (Active Learning) โปรแกรมพัฒนาครูควรออกแบบให้ครูได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมการสอนจริง เช่น กิจกรรมสะเต็ม การทดลองทางวิทยาศาสตร์ หรือการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ การลงมือปฏิบัติช่วยให้ครูเกิดความเข้าใจเชิงลึกและสามารถนำความรู้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการสอน (Kolb, 1984) มีการสะท้อนและทบทวนความรู้ (Reflection and Self-Assessment) การสะท้อนความคิดและการประเมินตนเองเป็นกระบวนการสำคัญในโปรแกรมพัฒนาครู ครูควรได้รับโอกาสในการสะท้อนความรู้ที่ได้รับ ทบทวนกระบวนการเรียนรู้ และพิจารณาการปรับปรุงการสอนให้เหมาะสม กระบวนการนี้ช่วยให้ครูสามารถพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่องและสร้างความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงกับความรู้เดิมได้ มีการเรียนรู้ผ่านการแก้ปัญหา (Problem-Based Learning - PBL) โดยการเรียนรู้แบบ PBL เป็นการฝึกฝนให้ครูเผชิญกับสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นในห้องเรียนจริง

และพัฒนาวิธีแก้ไขปัญหาผ่านการคิดวิเคราะห์และการสร้างสรรค์ โดย PBL จะช่วยให้ครูสามารถสร้างความรู้ใหม่ที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนาการสอนได้ (Barrows, & Tamblyn, 1980) มีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน (Collaborative Learning) การทำงานร่วมกันระหว่างครูช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ ซึ่งส่งเสริมการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น การเรียนรู้แบบร่วมมือยังช่วยสร้างความรู้ใหม่ที่หลากหลาย และตอบโจทย์การพัฒนาวิชาชีพครูในหลายมิติ (Johnson, Johnson, & Holubec, 1998) มีการพัฒนาทักษะการวิจัยเพื่อสร้างความรู้ (Inquiry-Based Learning) Inquiry-Based Learning เป็นการเรียนรู้ผ่านการตั้งคำถามและค้นคว้าหาคำตอบ ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู ครูจะได้รับการฝึกฝนให้มีความสามารถในการวิจัยเชิงปฏิบัติการ เช่น การวิจัยชั้นเรียน ซึ่งช่วยให้ครูสามารถสร้างความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการสอนและการพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน (Dewey, 1933; National Research Council, 2000) มีการใช้เทคโนโลยีในการสร้างความรู้ (Technology-Enhanced Learning)การนำเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในโปรแกรมพัฒนาครู ช่วยให้ครูสามารถเข้าถึงแหล่งความรู้ใหม่ ๆ ได้สะดวกยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น การเรียนรู้ผ่านสื่อออนไลน์หรือชุมชนออนไลน์ในการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ซึ่งเทคโนโลยีสามารถช่วยเสริมสร้างความรู้ที่เหมาะสมและปรับใช้ในการสอนสะเต็มได้ (Jonassen, 2000)

แนวคิดการสร้างความรู้ด้วยตนเองช่วยส่งเสริมให้ครูสามารถพัฒนาความรู้และทักษะในเชิงลึก มีความมั่นใจในการสอนและพัฒนากระบวนการสอนอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูที่เน้นทฤษฎีนี้จะช่วยให้ครูสร้างความรู้ที่เหมาะสมและส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้เชิงบูรณาการที่มีประสิทธิภาพในห้องเรียน

ทฤษฎีการเรียนรู้สำหรับผู้ใหญ่ (Andragogy) เป็นแนวคิดที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่ออธิบายเกี่ยวกับการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ นักวิชาการผู้บุกเบิกที่ได้นำเสนอแนวคิดนี้อย่างเป็นระบบ Andragogy มาจากคำในภาษากรีกโบราณ "andr-" หมายถึง "ผู้ใหญ่" และ "agogos" หมายถึง "การนำทาง" ซึ่งแนวคิดกล่าวว่า การเรียนรู้ของผู้ใหญ่นั้นมีความต้องการและธรรมชาติที่แตกต่างจากการเรียนรู้ของเด็ก (Knowles, 1984) แนวคิดหลักของทฤษฎี Andragogy มีหลักการสำคัญ 5 ประการที่สะท้อนถึงลักษณะเฉพาะของการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ ซึ่งได้แก่ การเรียนรู้แบบมีทิศทางด้วยตนเอง การใช้ประสบการณ์เป็นฐานในการเรียนรู้ ความพร้อมในการเรียนรู้ การเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการแก้ปัญหา และแรงจูงใจภายใน การเรียนรู้แบบมีทิศทางด้วยตนเอง (Self-Directed Learning) ผู้ใหญ่มีแนวโน้มที่จะต้องการควบคุมการเรียนรู้ของตนเอง โดยเฉพาะในด้านการเลือกเนื้อหาและวิธีการเรียนรู้ ผู้ใหญ่จะมีความรับผิดชอบในการกำหนดเป้าหมายการเรียนรู้ รวมถึงการประเมินความก้าวหน้าของตนเอง ซึ่งต่างจากการเรียนรู้ของเด็กที่ส่วนใหญ่จะถูกกำหนดโดยครูหรือผู้สอน (Knowles, 1975) แนวคิดนี้ยังได้รับการสนับสนุนจากนักวิจัยอย่าง Tough (1979) ซึ่งพบว่า ผู้ใหญ่มักมีส่วนร่วมในการวางแผนการเรียนรู้ของตนเองและกำหนดขั้นตอนในการทำงานเพื่อบรรลุผล

การใช้ประสบการณ์เป็นฐานในการเรียนรู้ (Experience as a Resource) ผู้ใหญ่มักใช้ประสบการณ์ในชีวิตเป็นฐานในการเรียนรู้ใหม่ การเชื่อมโยงความรู้ใหม่เข้ากับประสบการณ์เดิมนั้นช่วยให้ผู้ใหญ่เข้าใจเนื้อหาได้รวดเร็วและลึกซึ้งขึ้น ตัวอย่างเช่น ผู้ใหญ่ที่เคยทำงานในสาขาวิชาชีพเฉพาะจะสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในบริบทของการทำงานได้ดีกว่าผู้ที่ไม่มีประสบการณ์มาก่อน (Merriam, & Bierema, 2013) การเรียนรู้ผ่านการทำงานจริงหรือการมีกรณีศึกษาและการอภิปรายในกลุ่มสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ได้ ความพร้อมในการเรียนรู้ (Readiness to Learn) Knowles (1984) กล่าวว่า ผู้ใหญ่จะมีความพร้อมในการเรียนรู้เมื่อรู้สึกว่าความรู้นั้นมีประโยชน์ในปัจจุบันหรืออนาคต โดยส่วนใหญ่มักจะมีแรงจูงใจในการเรียนรู้ในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่การงานหรือบทบาทในสังคม เช่น ผู้ใหญ่ที่ทำงานในด้านการบริการลูกค้าจะมีความพร้อมในการเรียนรู้ทักษะการสื่อสารเพื่อพัฒนาการทำงาน ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่มีเป้าหมายและประโยชน์ที่ชัดเจน (Taylor, & Kroth, 2009) การเรียนรู้ที่เน้นการแก้ปัญหา (Problem-Centered Learning) ผู้ใหญ่จะเรียนรู้ได้ดีเมื่อการเรียนรู้มีลักษณะเป็นการแก้ปัญหาในสถานการณ์จริง โดยเน้นที่การประยุกต์ความรู้เพื่อหาทางออกสำหรับปัญหาที่พบในชีวิตประจำวันหรือในการทำงาน เช่น การฝึกอบรมที่เน้นกรณีศึกษาและการประยุกต์ใช้ทักษะใหม่ในการแก้ปัญหาเฉพาะทางจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ใหญ่ (Knowles, Holton, & Swanson, 2015) แรงจูงใจภายใน (Internal Motivation) การเรียนรู้ของผู้ใหญ่มักได้รับแรงจูงใจจากภายใน เช่น ความต้องการพัฒนาทักษะ ความรู้สึกมีความสำเร็จในชีวิต หรือความอยากรู้ แรงจูงใจนี้ต่างจากการเรียนรู้ของเด็กที่มีแรงจูงใจจากภายนอกเป็นหลัก เช่น การให้คะแนนหรือรางวัล (Knowles, 1984) การส่งเสริมแรงจูงใจภายในจะช่วยให้ผู้ใหญ่มีความมุ่งมั่นในการเรียนรู้และทำให้เกิดการพัฒนาตนเองอย่างยั่งยืน

การประยุกต์ใช้ทฤษฎี Andragogy ในการออกแบบการเรียนรู้สำหรับผู้ใหญ่การนำทฤษฎี Andragogy มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโปรแกรมการเรียนรู้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใหญ่ได้ เช่น การฝึกอบรมในสถานประกอบการสามารถใช้กรณีศึกษาและกิจกรรมกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา หรือการออกแบบหลักสูตรที่มีความยืดหยุ่นในการเลือกเนื้อหาและวิธีการเรียนรู้ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถควบคุมกระบวนการเรียนรู้ได้เอง นอกจากนี้ การส่งเสริมให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการออกแบบหลักสูตรและเป้าหมายการเรียนรู้ยังเป็นการเสริมสร้างความรู้สึกมีส่วนร่วมและรับผิดชอบต่อการเรียนรู้ของตนเอง

3.2 การฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

แนวคิดของการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

วิศวกรรมเป็นกระบวนการที่วิศวกรนำแนวคิดของตนไปปฏิบัติจริงภายใต้ข้อจำกัดของข้อกำหนดและเงื่อนไขบางประการ โดยการนำวิศวกรรมไปใช้ในสะเต็มศึกษาสามารถส่งเสริมให้การจัดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

Kelley (2010) หลักสูตรสะเต็มที่เน้นด้านวิศวกรรมจึงถูกขับเคลื่อนโดยการเรียนรู้ที่น่าสนใจ ดึงดูดนักเรียนให้มีส่วนร่วมในกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ผ่านกิจกรรมการออกแบบทางวิศวกรรม การสืบค้นทางวิทยาศาสตร์ โดยจะถูกบูรณาการเข้ากับกิจกรรมและเสริมด้วยความรู้ทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และการประเมินผลกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

Bertram, & Loughran (2012) ยกตัวอย่างความท้าทายด้านการออกแบบทางวิศวกรรมให้ครูใช้เป็นต้นแบบอ้างอิงและการสาธิตวิธีการออกแบบทางวิศวกรรมและการแก้ปัญหาทั้งในและนอกห้องเรียนสามารถช่วยเพิ่มศักยภาพของครูได้โปรแกรมการพัฒนาทางวิชาชีพความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษาซึ่งได้รับการออกแบบตามเอกสารงานวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์ คือ 1) ช่วยให้ครูเข้าใจธรรมชาติของวิชาสะเต็มศึกษาและการบูรณาการ 2) ส่งเสริมครูในการนำทางแนวทางการสอนสะเต็มศึกษาของตนเอง 3) สนับสนุนครูในการบูรณาการสะเต็มศึกษาเข้ากับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ในห้องเรียนของตนเอง และ 4) สนับสนุนครูที่มีทัศนคติเชิงบวกทัศนคติต่อสะเต็มศึกษา ครูมีโอกาสที่จะวางแผนบทเรียน การสอน และสะท้อนการสอนผ่านการวิจัยเชิงปฏิบัติการ และนี่คือแนวคิดหลักในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์ ทั้งในแง่ของความเข้าใจและการปฏิบัติ

Fan et al. (2021) อธิบายหลักสูตรสะเต็มศึกษาที่เน้นด้านวิศวกรรมควรปฏิบัติตามหลักการพื้นฐาน 5 ประการ ต่อไปนี้

1. หัวข้อหลักสูตรควรเชื่อมโยงกับสถานการณ์ในโลกแห่งความเป็นจริง
2. ควรกำหนดขอบเขตความรู้วิชาสะเต็มศึกษาอย่างละเอียดถี่ถ้วนเพื่อสรุปเนื้อหาหลักสูตรให้ชัดเจน
3. การวางแผนหลักสูตรโดยรวมควรดำเนินการตามกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยมุ่งเน้นไปที่ขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงการกำหนดปัญหา การพัฒนาแนวทางแก้ไข การวิเคราะห์ การสร้างแบบจำลอง การทดสอบและการปรับเปลี่ยน และการเพิ่มประสิทธิภาพ
4. กิจกรรมการเรียนรู้ “การสอบถามและการทดลอง” และ “การออกแบบและการทำ” ที่เป็นระบบและใช้งานได้จริงควรดำเนินการเพื่อเน้นความเชื่อมโยงระหว่างหัวข้อหลักสูตรกับความรู้ในวิชาสะเต็มศึกษา และความช่วยเหลือในการสร้างความรู้ ประสบการณ์ และทักษะที่จำเป็น
5. กลยุทธ์การสอนควรเสนอวงจรประสบการณ์การเรียนรู้และเน้นการสำรวจ ตีความ ฝึก จำลอง ทดสอบ เชื่อมโยง และประยุกต์ใช้ความรู้

การออกแบบทางวิศวกรรมเป็นกุญแจสำคัญในการบูรณาการหลักสูตร สะเต็มศึกษา วิศวกรรมศาสตร์เป็นการออกแบบที่ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขบางประการ ตอบสนองความต้องการของมนุษย์และแก้ปัญหา ถือเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบหลักสูตรบูรณาการสะเต็มศึกษาโดยผสมผสานความรู้ในสาขาวิชาที่หลากหลายผ่านวิศวกรรมศาสตร์ (Fan, & yu, 2019)

หลักสูตรประเทศสหรัฐอเมริกาให้ความสำคัญกับสะเต็มศึกษามาอย่างยาวนาน เนื่องจากมีนโยบายที่ชัดเจนในการส่งเสริมสะเต็มศึกษาในการจัดการศึกษาทุกระดับชั้น โดยกรอบการศึกษาวิทยาศาสตร์ระดับอนุบาลถึงมัธยมศึกษาตอนปลาย เรียกว่า The Next Generation Science Standards (NGSS) ที่ออกแบบภายใต้วิทยาศาสตร์ศึกษา สำหรับ K-12 (A Framework for K-12 Science Education) โดยสภาวิจัยแห่งชาติ (NRC, 2012) จุดเด่นของมาตรฐานนี้คือ กล่าวถึงวิศวกรรมในฐานะศาสตร์สำคัญเช่นเดียวกับวิทยาศาสตร์ โดย NGSS แบ่งวิทยาศาสตร์ศึกษาออกเป็น 3 มิติ สำหรับสะเต็มศึกษา ได้แก่

1. การปฏิบัติด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Science and Engineering Practices) คือ กระบวนการสืบเสาะ (scientific inquiry) และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)

2. แนวคิดการตัดขวาง (Crosscutting Concepts) คือ การแนวคิดแบบตัดขวางเป็นการบูรณาการสาขาวิชาในสะเต็มศึกษา

3. แนวคิดหลักทางวินัย (Disciplinary Core Ideas) องค์ประกอบความรู้ที่จำเป็นในสาขาวิชาสะเต็ม

โดยการปฏิบัติด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Science and Engineering Practices) กล่าวถึง แนวทางในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้คำว่า การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Practice) และการปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Practice) ทั้งนี้ NGSS (2013) ได้จำแนกความแตกต่างโดยกำหนดเกณฑ์การพิจารณาไว้ 8 เกณฑ์ (สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2558) ดังรายละเอียดตามตาราง ต่อไปนี้

ตาราง 6 แสดงการเปรียบเทียบการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Practice) และการปฏิบัติทางวิศวกรรม (Engineering Practice)

การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Practice)	การปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Practice)
1. การตั้งคำถามและการนิยามปัญหา (Asking Questions and Defining Problems)	
วิทยาศาสตร์ เริ่มต้นด้วยการตั้งคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น ทำไมท้องฟ้าเป็นสีฟ้า หรือสาเหตุของมะเร็งคืออะไร จากนั้นจึงพยายามหาทฤษฎีมาอธิบาย ตอบคำถามเหล่านั้น ฉะนั้น เรื่องพื้นฐานที่นักวิทยาศาสตร์จะต้องปฏิบัติก็คือ การตั้งคำถามที่สามารถหาคำตอบได้ กำหนดว่ามีข้อมูลอะไรบ้างที่รู้อยู่แล้ว และตรวจสอบว่ามีคำถามอะไรบ้างที่มีคำตอบอยู่แล้ว	วิศวกรรมศาสตร์ เริ่มต้นด้วย การมีปัญหาหรือความต้องการ บางอย่างทางสังคมเกิดขึ้นแล้ว ต้องการการแก้ไข เช่น ปัญหาด้าน เชื้อเพลิงและพลังงานทางเลือก ปัญหาด้านระบบการคมนาคมขนส่งวิศวกรจะถามคำถามและกำหนดนิยาม เพื่อบอกขอบเขตของ ปัญหา และวิเคราะห์เกณฑ์บ่งชี้ความสำเร็จของการแก้ปัญหา รวมทั้งข้อจำกัดของการแก้ปัญหา

การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Practice)	การปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Practice)
2. การสร้างและการใช้รูปแบบ (Developing and Using Models)	
วิทยาศาสตร์ มักจะสร้างรูปแบบหรือสถานการณ์จำลองเพื่อช่วยในการสร้างคำอธิบายสำหรับปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ รูปแบบจะช่วยให้เราจินตนาการถึงสิ่งที่เกิดขึ้นก่อนหน้า และอาจใช้เพื่อทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นถัดไป รูปแบบอาจเขียนได้ในรูปประโยคต่อไปนี้ “ถ้า...ต่อมา...ดังนั้น...”	วิศวกรรมศาสตร์ จะใช้รูปแบบ (model) หรือสถานการณ์จำลอง ในการวิเคราะห์ระบบ (ระบบการแก้ปัญหา) ที่มีอยู่เพื่อหาข้อบกพร่อง หรือทดสอบความเป็นไปได้ของระบบ การทดสอบระบบจะใช้รูปแบบหลากหลายชนิด ทั้งนี้เพื่อให้มองเห็นจุดแข็งและข้อจำกัดของระบบที่ออกแบบไว้
3. การวางแผนและดำเนินการสำรวจ (Planning and Carrying Out Investigations)	
การสำรวจทางวิทยาศาสตร์ เกิดขึ้นในภาคสนาม หรือในห้องปฏิบัติการ นักวิทยาศาสตร์ จะต้องวางแผนว่าจะสำรวจอะไร บันทึกอะไร อะไรเป็นตัวแปรอิสระ ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ/สังเกตนี้ จะใช้เพื่อการทดสอบทฤษฎีเดิม หรืออธิบายสิ่งที่ค้นพบใหม่	วิศวกร ดำเนินการสำรวจข้อมูลเพื่อให้ได้หลักเกณฑ์และวิธีการทดสอบสิ่งที่ออกแบบ (designs) ดังนั้น วิศวกร จึงต้องกำหนดตัวแปรค่าที่ต้องการวัด และวิธีการเก็บข้อมูล เหมือนกับนักวิทยาศาสตร์ การสำรวจนี้จะช่วยให้วิศวกรทราบถึงประสิทธิภาพ ความทนทาน และข้อจำกัดของสิ่งที่ออกแบบ
4. การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล (Analyzing and Interpreting Data)	
การสำรวจทางวิทยาศาสตร์ จะได้ข้อมูลดิบที่ต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อตีความหมายข้อมูลนักวิทยาศาสตร์จะใช้เครื่องมือ เช่น ตาราง กราฟ รูปภาพ สถิติ มาช่วยในการวิเคราะห์และช่วยให้ทราบถึงข้อผิดพลาดบางอย่างที่อาจเกิดขึ้นจากการคำนวณ ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ใช้เทคโนโลยีช่วยเก็บข้อมูล ทำให้ได้ข้อมูลจำนวนมากง่ายต่อการวิเคราะห์มากยิ่งขึ้น	วิศวกร จะวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบ เพื่อให้รู้ว่าสิ่งที่ออกแบบนั้นได้ผลตรงตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้หรือไม่ ดังนั้น วิศวกร จึงต้องใช้เครื่องมือเพื่อวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลเช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์
5. การใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ (Using Mathematics and Computational Thinking)	
คณิตศาสตร์ และการคิดคำนวณ เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้แสดงค่า ตัวแปรและความสัมพันธ์ เช่น การจำลองสถานการณ์ สถิติวิเคราะห์ การรับรู้แสดงผลและประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์เชิงปริมาณ วิธีการทางคณิตศาสตร์และการคำนวณยังช่วยให้สามารถทำนายปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเทคนิคทางสถิติจะช่วยแสดงนัยสำคัญของความสัมพันธ์นั้น ๆ	การออกแบบทางวิศวกรรม ใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบ เช่น วิศวกรโครงสร้าง (Structural engineers) ทำการออกแบบโดยใช้คณิตศาสตร์คำนวณความเครียด (Stress) ของโครงสร้างที่รับได้ ผนวกกับความเหมาะสมของค่าใช้จ่ายที่จะเสียไป นอกจากนี้ วิศวกร มักสร้างแบบจำลองของสิ่งที่ ออกแบบ หรือชิ้นงานการออกแบบเพื่อมองหาวิธีการพัฒนาต่อยอดหรือปรับปรุงในเบื้องต้นก่อน

การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Practice)	การปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Practice)
6. การสร้างคำอธิบายและการออกแบบการแก้ปัญหา (Constructing Explanations and Designing Solutions)	
เป้าหมายของวิทยาศาสตร์ คือ การสร้างทฤษฎีที่สามารถให้คำอธิบายเกี่ยวกับลักษณะของโลกใบนี้ได้ ซึ่งทฤษฎีนั้น จะได้รับการยอมรับก็ต่อเมื่อสามารถอธิบายเกี่ยวกับโลกได้ดีกว่าทฤษฎีที่เคยมี ทั้งนี้ คำอธิบายที่สร้างขึ้น จะช่วยให้ทราบถึงระบบของโลกหรือสิ่งที่ศึกษา ต่อมา เมื่อพิจารณาถึงผู้เรียนในห้องเรียน เขาควรจำเป็นต้องสามารถสร้างคำอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้ด้วยความรู้ความเข้าใจในวิทยาศาสตร์และหลักฐานที่มีอยู่ในยุคปัจจุบัน	กระบวนการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ต้องอาศัยฐานความรู้ทางวิทยาศาสตร์และรูปแบบของโลกวัสดุ (Models of Material World) สร้างชิ้นงานสำหรับใช้แก้ปัญหา ผลลัพธ์ของการแก้ปัญหา ต้องตั้งอยู่บนสมดุลระหว่างความสามารถในการแข่งขัน เทคโนโลยีที่มีต้นทุน/ค่าใช้จ่าย ความปลอดภัย จรรยาบรรณ และระเบียบกฎหมายฉะนั้น จึงไม่มีวิธีการแก้ปัญหาใดเป็นวิธีที่ดีที่สุด วิศวกร จึงจำเป็นต้องออกแบบวิธีการ/ชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหา ที่เหมาะสมกับบริบท/สถานการณ์ขณะนั้นให้ได้มากที่สุด
7. การสนับสนุนให้มีการโต้แย้งด้วยหลักฐาน (Engaging in Argument from Evidence)	
วิทยาศาสตร์ ใช้เหตุผลและการโต้แย้ง เพื่อวิเคราะห์หาจุดแข็งและจุดอ่อน ที่นำไปสู่การได้คำอธิบายที่ดีที่สุด โดยนักวิทยาศาสตร์ จะปกป้องตนเองจากข้อโต้แย้งต่าง ๆ ด้วยการนำเสนอหลักฐานที่ค้นพบ และตรวจสอบความเข้าใจของตนเองจากหลักฐานและข้อคิดเห็นของเพื่อนร่วมงาน/บุคคลอื่น ทั้งนี้ เพื่อช่วยกันเลือก คำอธิบาย ที่เหมาะกับสถานการณ์/ปรากฏการณ์นั้น ๆ มากที่สุด	วิศวกรรมศาสตร์ ใช้เหตุผลและข้อโต้แย้ง เพื่อช่วยให้ค้นพบวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด วิศวกร จึงร่วมมือกันตลอดกระบวนการออกแบบมีการวิพากษ์วิจารณ์ผลงาน เปรียบเทียบความแตกต่าง หาหลักฐานจากการทดสอบ สร้างข้อโต้แย้งที่เป็นไปได้ ประเมินข้อโต้แย้งของบุคคลอื่น และสุดท้าย นำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงสิ่งที่ออกแบบเพื่อให้สามารถใช้แก้ปัญหาได้ทันท่วงที
8. การเก็บรวบรวม การประเมิน และการสื่อสารข้อมูล (Obtaining, Evaluating, and Communication Information)	
วิทยาศาสตร์ พัฒนาได้ด้วยการสื่อสารและโน้มน้าวให้ผู้อื่นยอมรับสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ค้นพบ การสื่อสารทำได้ด้วยการอธิบายปากเปล่า และ/หรือ เขียน โดยใช้ตาราง แผนผังกราฟ สมการ และการอภิปรายร่วมกันระหว่างนักวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้วิทยาศาสตร์ยังต้องการความสามารถด่านการตีความหมายข้อความเชิงวิทยาศาสตร์ที่พบเห็นได้จากเอกสาร อินเทอร์เน็ต การประชุม การบรรยาย ทั้งนี้ เพื่อการเชื่อมโยงข้อมูลและประเมินว่าข้อมูลที่นำเสนอนั้นมีความถูกต้องเที่ยงตรงเพียงใด	วิศวกร จะไม่สามารถพัฒนาการออกแบบได้โดยปราศจากการสื่อสารและการโน้มน้าว วิศวกรจึงต้องสามารถแสดงความคิดเห็น อธิบายปากเปล่าเขียน ผ่านการใช้ตาราง กราฟ การวาดภาพ หรือแบบจำลอง และการอภิปรายร่วมกันระหว่างวิศวกร นอกจากนี้วิศวกร ยังต้อง สามารถตีความหมายข้อความของเพื่อนร่วมงานประเมินผล และประยุกต์ใช้ข้อมูลได้ ในปัจจุบัน วิศวกรรม ใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสื่อสารและประสานงานระหว่างวิศวกรด้วยกันเช่นเดียวกับของวิทยาศาสตร์

จากตาราง 6 จะเห็นได้ว่า การปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์กับปฏิบัติการทางวิศวกรรมศาสตร์มีส่วนที่คล้ายคลึงกันมาก ทั้งในแง่ของการสร้างและการใช้รูปแบบ แต่อาจมีบางประเด็นที่การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และการปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ การปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ จะเริ่มต้นด้วยการตั้งคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ตนเองสนใจ ขณะที่ปฏิบัติการทางวิศวกรรมศาสตร์จะเริ่มต้นด้วยการกำหนดนิยามหรือขอบเขตของปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วและต้องการการแก้ไขและการปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ จะมุ่งสร้างคำอธิบายปรากฏการณ์ที่ได้ตั้งคำถามไว้ แต่การปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์จะมุ่งคิดออกแบบหาวิธีการแก้ปัญหาและสร้างชิ้นงาน (designs) เพื่อการแก้ปัญหานั้น (สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2558)

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เป็นกิจกรรมที่มีการคิดหาแนวทางในการแก้ปัญหาและพัฒนานวัตกรรมด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีหลายโมเดล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

The Next Generation Science Standard: NGSS (2013) ได้เสนอกรอบแนวคิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ฉบับใหม่ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยนำแนวคิดของวิศวกรรมผนวกเข้าไปในกระบวนการของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน กำหนดหลักการสำคัญของวิศวกรรมว่าเป็นกระบวนการของการแก้ปัญหาหรือการทำงาน หรือเรียกว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งมีขั้นตอนหลัก 3 ส่วน ประกอบด้วย

1. การกำหนดปัญหา (Defining) ระบุและกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งเกี่ยวกับการหาวิธีแก้ไข ที่คำนึงถึงเกณฑ์ของความสำเร็จ และข้อจำกัด

2. การพัฒนาแนวทางแก้ปัญหา (Developing) ควรเริ่มต้นจากสร้างสรรค์แนวทางที่เป็นไปได้ จากนั้นประเมินศักยภาพของแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุดเหมาะสมต่อเกณฑ์ของความสำเร็จและข้อจำกัด

3. การแก้ปัญหาด้วยแนวทางที่ดีที่สุด (Optimize) เป็นการลงมือปฏิบัติเพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา เพราะเป็นการทดสอบอย่างเป็นระบบตลอดจนมีการแก้ไขปรับปรุง

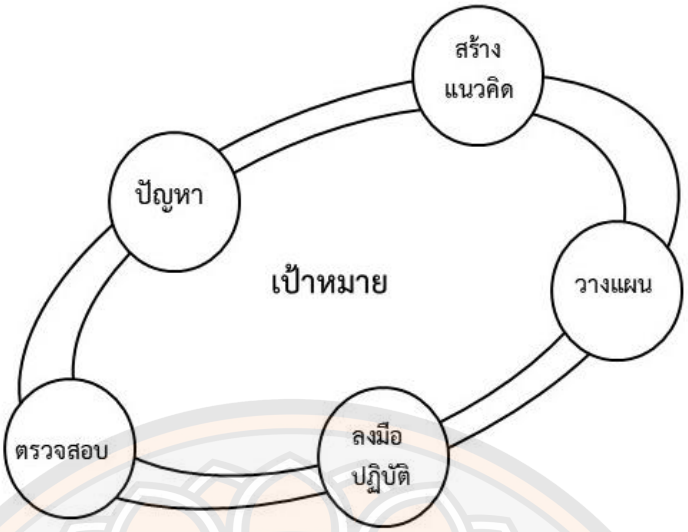
โดยการทำงานมีลักษณะเป็นวงจรที่สามารถย้อนกลับไปแก้ไขได้ ดังแผนภาพ

ภาพ 12 แสดงวงจรกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ของ NGSS

ที่มา: Next Generation Science Standard: NGSS, 2013

พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์บอสตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา (Museum of Science, Boston) ดำเนินโครงการพัฒนาเด็กให้รู้ วิศวกรรมและเทคโนโลยี (Engineering and technology literacy) หรือเรียกว่า Engineering is Elementary (EiE) เพื่อวิจัยพัฒนาหลักสูตรขับเคลื่อนมาตรฐาน และนำหลักสูตรไปใช้ในการเรียน โดยบูรณาการแนวความคิดด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี ทักษะทางวิทยาศาสตร์ โดยมีกลุ่มเป้าหมายคือเด็กนักเรียนในระดับประถมศึกษา (Grade 1-5) และใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วย (Moore et al., 2014)

1. ค้นหาปัญหา (Ask)
2. สร้างแนวคิดและเลือกแนวคิดที่ดีที่สุด (Imagine)
3. วางแผน (Plan)
4. ลงมือปฏิบัติ (Create)
5. ตรวจสอบ (Improve)



ภาพ 13 แสดงวงจรกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม Engineering is Elementary

ที่มา: Moore et al., 2014

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีบทบาทในการริเริ่มและส่งเสริมให้มีการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา เข้าสู่ชั้นเรียนได้ระบุถึงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบ 6 ขั้นตอน ได้แก่

1. ระบุปัญหา (Problem Identification) เป็นการทำความเข้าใจปัญหาหรือความท้าทาย วิเคราะห์เงื่อนไข หรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา

2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) เป็นการรวบรวมข้อมูล และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหา และประเมินความเป็นไปได้ ข้อดีและข้อจำกัด

3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อการออกแบบ ชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัด และเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด

4. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) เป็นการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้าง ชิ้นงานหรือวิธีการ แล้วลงมือสร้างชิ้นงานหรือพัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

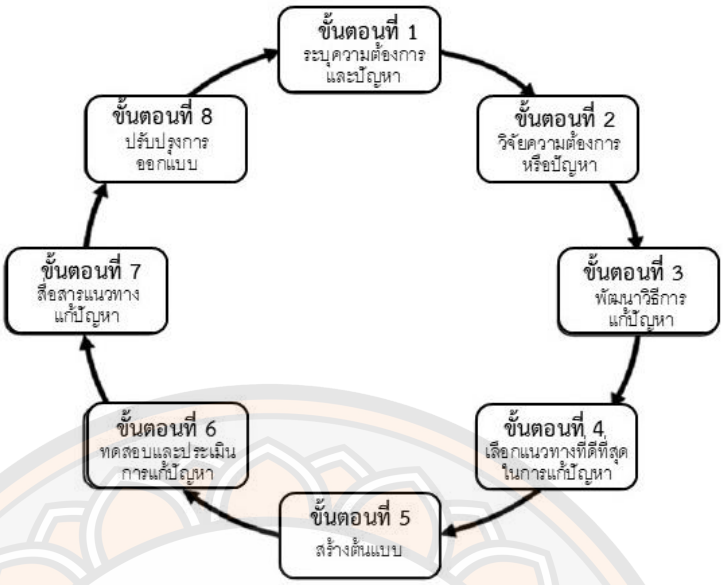
5. ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการ โดยผลที่ได้อาจนำมาใช้ในการปรับปรุง และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมที่สุด

6. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) เป็นการนำเสนอแนวคิด และขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงานหรือการพัฒนาวิธีการ ให้ผู้อื่นเข้าใจและได้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

ภาพ 14 แสดงวงจรกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

ที่มา: สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557

Massachusetts Department of Education (2006) ใช้ในการศึกษานี้เพื่อบูรณาการกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเข้ากับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน โดยโมเดลใช้ความเข้าใจเรื่อง “การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมิน” เป็นพื้นฐาน โดยสามขั้นตอนแรกเกี่ยวข้องกับ “การวิเคราะห์” ขั้นตอนที่สี่และห้าเกี่ยวข้องกับ “การสังเคราะห์” และสามขั้นตอนสุดท้ายเกี่ยวข้องกับ “การประเมิน” โดยมีรายละเอียดดังรูป



ภาพ 15 แสดงโมเดลกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

ที่มา: Massachusetts Department of Education, 2006

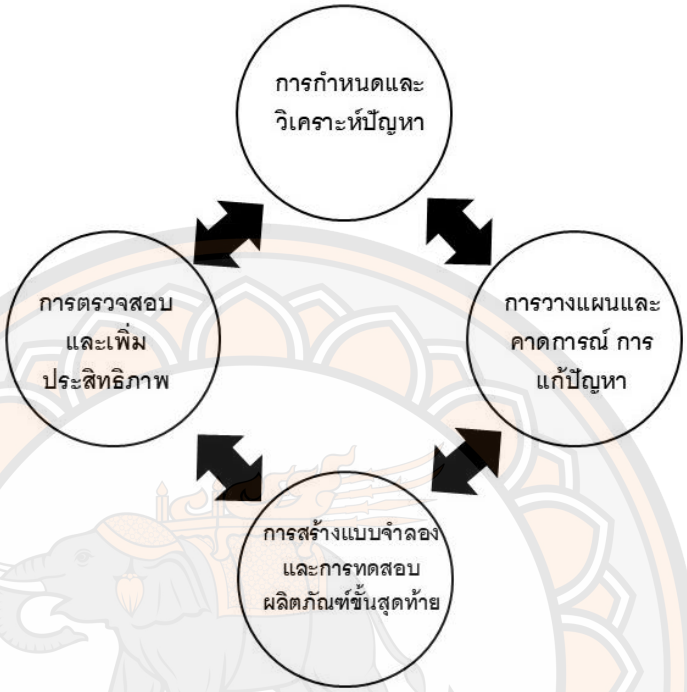
Fan, & Yu (2019) อธิบายองค์ประกอบหลัก 4 ประการของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ได้แก่

1. การกำหนดและวิเคราะห์ปัญหา (problem definition and analysis)
2. การวางแผนและคาดการณ์การแก้ปัญหา (solution planning and forecasting)
3. การสร้างแบบจำลองและการทดสอบผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (the practice modelling and testing of final products)
4. การตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพ (review and optimization)

นอกจากนี้ได้อธิบายว่า สะเต็มศึกษาที่เน้นด้านวิศวกรรมอาจบรรลุผลการประยุกต์ใช้แบบสหวิทยาการผ่านกระบวนการที่ประกอบด้วย 4 ส่วนต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการสอบถาม (inquiry stage) เป็นขั้นตอนการกำหนดและวิเคราะห์ปัญหา (Problem definition and analysis)
2. ขั้นการพัฒนา (development stage) เป็นขั้นตอนการวางแผนวิธีการแก้ปัญหาและการพยากรณ์; (Solution planning and forecasting)
3. ขั้นการปฏิบัติ (practice stage)เป็นขั้นตอนการปฏิบัติการสร้างแบบจำลองและการทดสอบผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (Modeling and testing of final products)

4. ขั้นสะท้อน (practice stage) เป็นขั้นตอนการสะท้อนการทบทวนและการเพิ่มประสิทธิภาพ (Review and optimization)

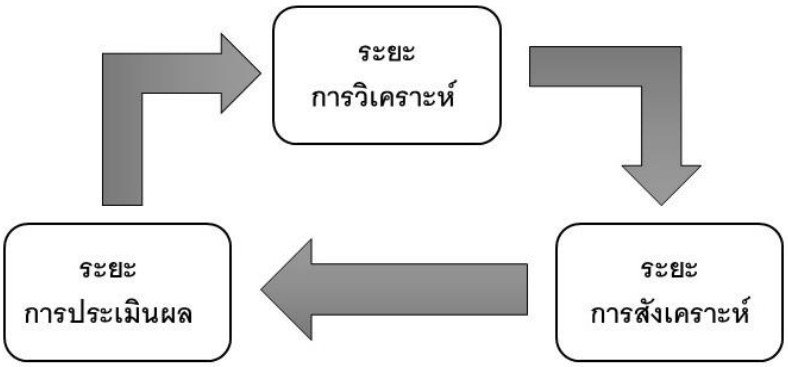


ภาพ 16 แสดงกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ของ Fan, & yu

ที่มา: Fan, & yu, 2019

Dasgupta et al. (2019) กล่าวว่า เมื่อวิเคราะห์โมเดลขั้นตอนการออกแบบส่วนใหญ่ของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ไม่ว่าจะแบบง่ายหรือซับซ้อน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะวนซ้ำ ได้แก่

1. ระยะการวิเคราะห์
2. ระยะการสังเคราะห์
3. ระยะการประเมินผล



ภาพ 17 แสดงกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ของ Dasgupta et al.

ที่มา: Dasgupta et al., 2019

ปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง (2564) กล่าวว่า กระบวนการออกแบบทั้งในเทคโนโลยีและวิศวกรรม จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันในแง่ขององค์ประกอบ แต่สิ่งที่ไม่ต่างกัน คือ การมีลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear) และสามารถวนซ้ำได้มีความยืดหยุ่นขึ้นอยู่กับปัญหาหรือจุดประสงค์ในการออกแบบ ดังนั้นกระบวนการออกแบบจึงอาจมีองค์ประกอบหรือมีลำดับในการดำเนินการแตกต่างกันได้ โดยศาสตร์แต่ละศาสตร์มีลักษณะและความเฉพาะตัวและต่างมีข้อดี ที่สามารถเติมเต็มกันได้ การนำศาสตร์เหล่านี้มาบูรณาการให้เกิดศาสตร์ใหม่คือ สะเต็มที่เกิดประโยชน์ใหม่ในแง่ที่จะเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา หรือตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่นับวันจะมีความซับซ้อน เกินกว่าที่ศาสตร์เพียงศาสตร์เดียวที่จะแก้ปัญหาหรือตอบสนองได้

Simarro, & Couso (2021) โมเดลกระบวนการออกแบบและวิศวกรรมหลายแบบได้รับการพัฒนาขึ้น ในบริบทที่หลากหลาย แต่ยังไม่คล้ายคลึงจากแนวคิดที่ว่าการเรียนรู้วิศวกรรมนั้นเกี่ยวข้องกับวัฒนธรรมที่ซับซ้อน ซึ่งแต่ละโมเดลเน้นไปที่การจัดลำดับกระบวนการที่สามารถนำไปใช้แก้ไขปัญหาใด ๆ ก็ได้ แม้กระทั่งปัญหาที่ไม่ได้มาจากวิศวกรรม ซึ่งวิศวกรรมไม่เพียงแค่เป็นชุดขั้นตอนเดียวเท่านั้น ซึ่งแนวทางปฏิบัติทางวิศวกรรม 8 ประการที่เสนอโดยสภาวิจัยแห่งชาติ (NRC, 2012) ก้าวข้ามแนวคิดเรื่องกระบวนการทางวิศวกรรมไปอีกขั้นหนึ่ง โดยนำเสนอวิศวกรรมว่าเป็นการมีส่วนร่วมในแนวทางปฏิบัติที่ต้องมีการประสานทั้งความรู้และทักษะพร้อมกัน ซึ่งวิศวกรรมมีความสำคัญต่อสะเต็มศึกษา การศึกษาด้านสะเต็มจะได้รับประโยชน์จากการเน้นย้ำถึงลักษณะเฉพาะของสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ เนื่องจากจะช่วยให้พวกเขาสามารถส่งเสริมการศึกษาด้านสะเต็มที่ดีได้ให้มุมมองที่ครอบคลุมและสมจริงมากขึ้นเกี่ยวกับสาขาสะเต็มทั้งหมด แนวทางปฏิบัติทางวิศวกรรมนั้นมีประโยชน์ไม่เพียงแต่ในแง่ของเนื้อหาของแนวทางปฏิบัติเท่านั้น แต่ยังมีประโยชน์ต่อการเรียนรู้เนื้อหาเชิงแนวคิดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จะเห็นได้ว่า การแก้ปัญหาตามขั้นตอนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม อาจมีลำดับขั้นตอนการดำเนินงานแตกต่างจากนี้ โดยอาจมีการสลับขั้นตอนหรือย้อนกลับขั้นตอนได้ และโดยทั่วไปการสร้างสรรค์ชิ้นงานหรือการแก้ปัญหาเรื่องใดเรื่องหนึ่ง มักเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำและต่อเนื่อง จนกว่าจะสามารถแก้ปัญหาได้ โดยประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถทำให้ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์และสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ใช้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นพื้นฐาน ผู้เรียนเข้าใจสาระวิชาและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มากขึ้น ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้และเชื่อมโยงกันระหว่างกลุ่มสาระวิชา สร้างกำลังคนด้านสะเต็มของประเทศไทย เพิ่มศักยภาพทางเศรษฐกิจของชาติ

การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาโดยใช้การฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

บทบาทของการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ได้รับความสำคัญในบริบทของการศึกษาด้านสะเต็มศึกษา มุมมองการศึกษารูปแบบใหม่ เช่น กรอบงานการศึกษาวิทยาศาสตร์ K-12 ของสภาวิจัยแห่งชาติ (NRC, 2012) ถือว่าแนวทางปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์เป็นหนึ่งในเสาหลักของการศึกษาด้านสะเต็ม (Simarro, & Couso, 2021) แนวปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมมีลักษณะคล้ายกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีการวนซ้ำ มีผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ที่จับต้องได้ โดยลักษณะการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยในการนำแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมไปให้ครูก่อนประจำการ และครูประจำการ ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ ในหลักสูตรการศึกษาทางด้านวิศวกรรม ในโครงการพัฒนาวิชาชีพครู โดยลักษณะของการออบแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมที่ยั่งยืน มีลักษณะดังต่อไปนี้ (Cunningham, 2014)

1. ดึงครูให้มีส่วนร่วมในแนวทางปฏิบัติทางวิศวกรรม (Engage Teachers in Engineering Practices) ให้ครูเข้าใจวิศวกรรม ความจำเป็นของวิศวกรรม เรียนรู้แนวปฏิบัติทางวิศวกรรมเพื่อให้เกิดความคุ้นเคย มีการลงมือปฏิบัติจากสถานการณ์กระบวนการออกแบบทาง วิศวกรรมที่ท้าทาย และเกิดการทำงานเป็นรูปแบบวงจรการออกแบบปรับให้เข้ากับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ของครูตามระดับความรู้ที่นำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน เช่น ครูประถมศึกษา กำหนดสถานการณ์ให้ออกแบบแมลงผสมเกสรดอกไม้จำลอง ครูกำหนดสถานการณ์ให้ประดิษฐ์อุปกรณ์ที่ช่วยเก็บตัวอย่างน้ำจากลำธาร เป็นต้น จากสถานการณ์เหล่านี้จะใช้วงจรของแนวปฏิบัติทางวิศวกรรม ซึ่งจัดในรูปแบบของประชุมเชิงปฏิบัติการ และมีการประเมินการพัฒนาวิชาชีพหลังจากเสร็จสิ้น

2. รูปแบบของการสอนที่สนับสนุนแนวทางปฏิบัติทางวิศวกรรม (Model Pedagogies that Support Engineering Practices) เป้าหมายของการสอนวิศวกรรม คือ การสร้างโครงสร้างกระบวนการแก้ปัญหาไม่ใช่การนำนักเรียนไปสู่ข้อสรุปที่กำหนดไว้ มีการให้ผู้เข้าร่วมนำเสนอวิธีแก้ปัญหาภายในข้อจำกัดที่กำหนด พิจารณาคุณสมบัติของวัสดุที่เหมาะสม ควรจัดกิจกรรมการอภิปราย และวิธีแก้ปัญหาที่หลากหลาย การวางแผนกิจกรรมที่ซับซ้อนซึ่งนักเรียนจะต้องสำรวจ

ปัญหาที่ไม่มีคำตอบตายตัว ความคุ้นเคยและความคล่องตัวในการทำงานด้านวิศวกรรมมีการแนะนำการออกแบบของนักเรียนด้วยคำถามที่เหมาะสม สร้างสรรค์ สร้างกลยุทธ์ต่าง ๆ เพื่อดำเนินการ หรือกำหนดว่าพวกเขาต้องการข้อมูลใด ทำงานเป็นกลุ่มและเรียนรู้ร่วมกันและซึ่งเป็นแนวทางปฏิบัติที่วิศวกรก็มีส่วนร่วมด้วยเช่นกัน ตั้งคำถามเพื่อให้การนำเสนอข้อโต้แย้งและหลักฐานที่สนับสนุนด้วยข้อมูล

3. ให้ครูได้รับประสบการณ์ทั้งในฐานะผู้เรียนและครู (Give Teachers Experience as Both Learners and Teachers) ครูมีส่วนร่วมกับเพื่อนร่วมงานในการทำกิจกรรมวิศวกรรมจะมีความกระตือรือร้นที่จะเชื่อมโยงสิ่งที่พวกเขากำลังทำกับประสบการณ์และเป้าหมายของพวกเขาในฐานะครูเสมอ เป้าหมายของการประชุมเชิงปฏิบัติการจะมอบประสบการณ์จากมุมมองฐานะผู้เรียนและครู การทำกิจกรรมในฐานะผู้เรียนจะมีประสบการณ์จากมุมมองของผู้เรียน ยังได้รับประโยชน์จากโอกาสในการพิจารณาถึงสิ่งที่ผู้สอนกำลังทำ เหตุผล และแนวทางการสอนเหล่านั้นอาจนำไปใช้ในห้องเรียนของตนเองได้อย่างไร

4. พัฒนาความเข้าใจของครูเกี่ยวกับพื้นฐานและความเชื่อมโยงระหว่างวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม (Develop Teachers' Understandings of the Fundamentals of and Connections Between Science, Engineering, and Technology) เนื่องจากวิศวกรรมและเทคโนโลยีเป็นเนื้อหาใหม่สำหรับครูส่วนใหญ่ จึงเป็นประโยชน์ที่จะทำงานเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจของครูเกี่ยวกับประเด็นพื้นฐานของ เทคโนโลยี วิศวกรรม และกระบวนการออกแบบวิศวกรรม สำหรับในการประชุมเชิงปฏิบัติการ กิจกรรมแนะนำ ได้แก่ "เทคโนโลยีคืออะไร" และ "วิศวกรรมคืออะไร" เราใช้สิ่งของและวัสดุในชีวิตประจำวันในการทำกิจกรรม เพื่อให้ผู้เข้าร่วมเข้าถึงและคุ้นเคยกับคำศัพท์เหล่านี้ได้ง่ายขึ้น และเพื่อดึงเอาแนวคิดที่ว่าเทคโนโลยีอยู่รอบตัวเรา และกระบวนการออกแบบวิศวกรรมเป็นกระบวนการแก้ปัญหาที่ทุกคนใช้ในช่วงสรุปผลตอนท้าย ผู้เข้าร่วมจะใช้สิ่งที่ค้นพบและประสบพบในการสร้างคำจำกัดความของเทคโนโลยีและกระบวนการออกแบบวิศวกรรม เมื่อผู้เข้าร่วมมีส่วนร่วมในความท้าทายด้านการออกแบบวิศวกรรม วิทยากรจะอ้างถึงสิ่งที่ผู้เข้าร่วมทำระหว่างกิจกรรมแนะนำเพื่อช่วยกำหนดกรอบและสนับสนุนความคิดของครู ครูมักจะแนะนำเทคโนโลยีและวิศวกรรมให้กับนักเรียนโดยใช้กิจกรรมเดียวกัน วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และเทคโนโลยีมีปฏิสัมพันธ์กัน การอภิปรายและการสะท้อนความคิดที่ชี้แจงขอบเขตและนั้นมีประโยชน์ ในทำนองเดียวกันแนวปฏิบัติความคิดของวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ก็มีความเชื่อมโยงกันเช่นกัน การเผยให้เห็นความคล้ายคลึงกันนั้นมีประโยชน์ แต่สิ่งที่สำคัญก็คือการชี้แจงความแตกต่าง

5. ให้ครูเข้าใจวิศวกรรมในฐานะแนวทางปฏิบัติทางสังคม (Help Teachers to Understand Engineering as a Social Practice) วิศวกรรมศาสตร์เป็นองค์กรเพื่อสังคม วิศวกรมักทำงานเป็นทีม สำหรับในห้องเรียนและในการพัฒนาวิชาชีพครูต้องมีส่วนร่วมในแนวทางปฏิบัติทางวิศวกรรมเป็นกลุ่ม การประชุมเชิงปฏิบัติการ สามารถเป็นแบบอย่างของกลยุทธ์ในการทำงานเป็นทีม

ที่เหมาะสมกับวัย นอกจากนี้เทคโนโลยีที่วิศวกรสร้างขึ้นมักได้รับการพัฒนาสำหรับลูกค้า ดังนั้น ความจำเป็นในการออกแบบให้ตรงตามข้อกำหนดของบุคคล กลุ่ม หรือสังคมอื่น ๆ ควรได้รับการสื่อสาร และนำไปปฏิบัติเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมทางวิศวกรรมด้วย สร้างสมดุลระหว่างการพิจารณาด้านวิทยาศาสตร์ เศรษฐกิจ การเมือง สิ่งแวดล้อม วัฒนธรรม จริยธรรม และสุนทรียศาสตร์

ตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้แนวคิดการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

Wheeler et al. (2014) ได้ออกแบบทางวิศวกรรมในการปฏิบัติจริง โดยกิจกรรมนี้นักเรียนจะได้มีส่วนร่วมในแนวทางปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งจำเป็นต่อการทำความเข้าใจว่าวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์มืออาชีพจัดการกับปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริงได้อย่างไร การออกแบบวิศวกรรมในการศึกษาได้รับการกำหนดไว้ดังนี้ กระบวนการออกแบบระบบส่วนประกอบ หรือกระบวนการเพื่อตอบสนองความต้องการที่ต้องการ เป็นกระบวนการตัดสินใจ (มักเป็นแบบวนซ้ำ) โดยนำวิทยาศาสตร์พื้นฐาน คณิตศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อแปลงทรัพยากรให้เหมาะสมที่สุดเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้ องค์ประกอบพื้นฐานในกระบวนการออกแบบ ได้แก่ การกำหนดวัตถุประสงค์และเกณฑ์ การสังเคราะห์ การวิเคราะห์ การสร้าง การทดสอบ และการประเมิน

กิจกรรมให้ผู้เข้าร่วมออกแบบและสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมี (โวลตาอิค) พร้อมมอเตอร์และพัดลม เพื่อช่วยให้สังเกตการผลิตพลังงานของเซลล์ สังเกตการผลิตพลังงานของเซลล์ ซึ่งเป็นกิจกรรมแบบสหสาขาวิชาและเกี่ยวข้องกับมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน โดยแนวทางการปฏิบัติทางวิศวกรรม (engineering practices) ประกอบไปด้วย

1. การตั้งคำถามและการนิยามปัญหา (Asking Questions and Defining Problems)

2. การสร้างและการใช้รูปแบบ (Developing and Using Models) กิจกรรมการสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีภายใต้ เงื่อนไข ข้อจำกัด

3. การวางแผนและดำเนินการสำรวจ (Planning and Carrying Out Investigations) กิจกรรมการออกแบบและทดสอบ เซลล์ไฟฟ้าเคมี

4. การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล (Analyzing and Interpreting Data) กิจกรรมการใช้ข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพของเซลล์ไฟฟ้าเคมีในการหมุนพัดลม

5. การใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ (Using Mathematics and Computational Thinking) กิจกรรมการกำหนดความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่จำเป็นสำหรับเซลล์ไฟฟ้าเคมี

6. การสร้างคำอธิบายและการออกแบบการแก้ปัญหา (Constructing Explanations and Designing Solutions) กิจกรรมระบุเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ดีที่สุดโดยอิงจากข้อมูล ความเป็นไปได้ ต้นทุน และความปลอดภัย

7. การสนับสนุนให้มีการโต้แย้งด้วยหลักฐาน (Engaging in Argument from Evidence) กิจกรรม

8. การเก็บรวบรวม การประเมิน และการสื่อสารข้อมูล (Obtaining, Evaluating, and Communication Information) กิจกรรมการแบ่งปันการออกแบบเซลล์ไฟฟ้าเคมีและผลลัพธ์ของกระบวนการออกแบบกับเพื่อนร่วมงาน

ก่อนเริ่มกิจกรรม นักเรียนควรมีความคุ้นเคยกับคำศัพท์ต่าง ๆ เช่น แคโทดและแอโนด สามารถทำการคำนวณที่เกี่ยวข้องได้ และมีทักษะในห้องปฏิบัติการที่เหมาะสม ความท้าทายในการออกแบบทางวิศวกรรมโดยทั่วไปจะใช้เวลาเรียน 2 คาบเรียน 90 นาที เริ่มต้นด้วยการให้กลุ่มนักเรียน 2 ถึง 4 คน ทำรายการวัสดุที่มีอยู่และข้อกำหนดในการออกแบบ กลุ่มนักเรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในการวางแผน ออกแบบ ทดสอบ และประเมินเซลล์โวลตาอิกและพัดลม ครูสามารถจัดรูปแบบบันทึกการออกแบบที่มีโครงสร้างสำหรับนักเรียนหรืออนุญาตก็ได้ นักเรียนสามารถสร้างผลงานของตนเองได้ตามขั้นตอนเหล่านี้

1. การระดมความคิด (Brainstorming) เขียนแนวความคิดใด ๆ เกี่ยวกับวิธีทำให้ภารกิจสำเร็จลุล่วงลงในบันทึกการออกแบบ รวมภาพร่างและวัสดุเพิ่มเติมที่จำเป็น

2. การวิจัย (Research) ค้นหาว่ามีอะไรให้เรียนรู้เกี่ยวกับความท้าทายนี้บ้าง เขียนคำถามที่ต้องการค้นคว้าในบันทึกการออกแบบ ต้องใช้สิ่งใดบ้างในการขับเคลื่อนมอเตอร์ วัสดุประเภทใดดีที่สุดสำหรับเซลล์ไฟฟ้าเคมี หลังจากที่คุณเขียนสิ่งที่คุณได้เรียนรู้แล้ว ให้กลับไปที่ขั้นตอนที่ 1 การระดมความคิด ใช้สีอื่นเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมไอเดียเดิมของคุณ

3. การออกแบบ (Design) วาดภาพเซลล์ไฟฟ้าพร้อมระบุชื่อและระบุวัสดุที่คุณจะต้องใช้ในการประกอบอุปกรณ์ในบันทึกการออกแบบ ขออนุมัติจากครูก่อนดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 4 การก่อสร้างและการทดสอบ

4. การก่อสร้างและการทดสอบ (Construction and testing) สร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีด้วยมอเตอร์และพัดลม ทดสอบการออกแบบ บันทึกข้อมูล และประเมินประสิทธิภาพ (ใบพัดของพัดลมหมุนหรือไม่ การออกแบบของคุณจะได้ผลอย่างไรในระยะยาว) เขียนข้อเสนอแนะหนึ่งข้อ เพื่อปรับปรุงการออกแบบของคุณในบันทึกการออกแบบ จากนั้นกลับไปที่ขั้นตอนที่ 3 แล้วทำการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมการออกแบบของคุณด้วยสีอื่น

5. การออกแบบใหม่ (Redesign) สร้างใหม่และทดสอบเซลล์ไฟฟ้าเคมีกับมอเตอร์และพัดลมโดยอิงจากการทดสอบเริ่มต้นและการปรับเปลี่ยนการออกแบบ ร่างแบบร่างขั้นสุดท้ายของการออกแบบในบันทึกการออกแบบ

6. การประเมินผล (Evaluation) ประเมินการออกแบบใหม่โดยอิงจากการออกแบบเดิม ประเมินการใช้เซลล์ไฟฟ้าเคมีเป็นแหล่งพลังงาน มีการใช้ไฟฟ้าเคมีอย่างไรและสามารถปรับปรุงได้อย่างไร อาจจำเป็นต้องค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อตอบคำถามนี้

3.3 การอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop)

การประชุมเชิงปฏิบัติการเป็นโครงสร้างสำหรับนักการศึกษาเพื่อเรียนรู้จากผู้อำนวยความสะดวกหรือผู้นำที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง รวมถึงจากเพื่อนร่วมงาน รวบรวมการศึกษาจากโรงเรียนเดียวกันหรือ จากรัฐหรือจากสถานที่ต่าง ๆ ในภูมิภาคหรือประเทศ เพื่อจัดประสบการณ์และการเรียนรู้ร่วมกัน เปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมมุ่งเน้นอย่างเข้มข้น กับหัวข้อที่น่าสนใจช่วงเวลาสั้น ๆ มีแนวโน้มที่จะกำหนดเป้าหมายการเรียนรู้แยกส่วนไป เช่น การเรียนรู้ที่จะใช้ชุดบทเรียนเฉพาะหรือกลยุทธ์การประเมินแบบใหม่ (Loucks-Horsley et al., 1990)

คุณสมบัติของการประชุมเชิงปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์และผลลัพธ์ที่ชัดเจน ผู้เข้าร่วมรู้ เป้าหมาย ความคาดหวัง วัตถุประสงค์และประโยชน์ที่ได้รับ เสนอคุณค่าแก่ผู้เข้าร่วมโดยกำหนดเป้าหมายเพื่อการเรียนรู้ และการเติบโตขึ้น มีความหลากหลาย มีกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลายที่ให้ผู้เข้าร่วมมีส่วนร่วม และดึงดูดด้วยการเรียนรู้อย่างหลากหลาย ให้เวลาสำหรับผู้เข้าร่วมในการปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกันและสร้างความสัมพันธ์กับเพื่อนร่วมงานใหม่ใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนที่มีประสิทธิภาพทำให้ “ทุกนาทีมีค่า” ตัวอย่างเช่น การสนทนาในมื้ออาหารกลางวันสามารถปรับเพื่อช่วยผู้เข้าร่วมได้ประมวลผลเนื้อหาในตอนเช้ากับเครือข่าย อำนวยความสะดวกรู้เนื้อหาเป็นอย่างดีและมีทักษะในวิธีการเรียนรู้สำหรับผู้ใหญ่ที่มีประสิทธิภาพ เข้าใจและตอบสนองต่อเป้าหมายของผู้เข้าร่วม การประเมินอย่างต่อเนื่องส่วนนี้จะได้รับการประเมินและข้อมูลย้อนกลับ ถูกนำมาใช้เพื่อปรับเปลี่ยน และยกระดับส่วนในอนาคต คุณภาพของเนื้อหาและการออกแบบ โดยมีเนื้อหาเป็นสิ่ง “น่าเชื่อถือ เป็นปัจจุบัน และน่าสนใจ” ทรัพยากรผู้เข้าร่วมสามารถเข้าถึงสื่อสิ่งพิมพ์หรืออิเล็กทรอนิกส์ที่ขยายการเรียนรู้และจัดหาเอกสารอ้างอิงเพื่อใช้ในอนาคต ผลผลิต ผู้เข้าร่วมจะได้รับคำแนะนำในการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์หรือผลผลิตที่สะท้อนถึงสิ่งที่พวกเขากำลังเรียนรู้ ได้แก่ การวาง กรอบแนวคิด การประเมิน หรือแผนที่ของความก้าวหน้าหรือความคิดผู้ชมที่เหมาะสม ส่วนนี้เป็นการสื่อสารอย่างชัดเจนเกี่ยวกับเป้าหมายและวัตถุประสงค์ในการกำหนดเป้าหมายที่จะได้รับของผู้ที่เข้าร่วม

โครงสร้างการประชุมเชิงปฏิบัติการใช้รูปแบบการสอนหรือการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เช่น แบบที่ใช้หลาย ๆ หลักสูตรวิทยาศาสตร์เป็นฐาน ตัวอย่างเช่น รูปแบบที่พัฒนาโดย National Center for Improving Science Education (NCISE) แนะนำ 4 ขั้นตอน ต่อไปนี้

1. เชิญ (Invite) สร้างความสนใจ ความอยากรู้อยากเห็น กระตุ้นการสนทนา ตั้งคำถาม เพื่อตอบสนองที่เปิดเผยสิ่งที่ครู/ผู้เรียนรู้หรือคิดเกี่ยวกับแนวคิด/หัวข้อ

2. สำรวจ (Explore) ส่งเสริมให้ครู/ผู้เรียนทำงานร่วมกันโดยไม่มีการบังคับโดยตรง คำแนะนำจากนักพัฒนาวิชาชีพ ให้หรือกระตุ้นโอกาสหรือประสบการณ์หลายอย่างให้กับสำรวจความคิด กลยุทธ์ หรือแนวคิด มีการสังเกตและฟังครู/ผู้เรียนขณะที่พวกเขาปฏิสัมพันธ์

3. อธิบาย (Explain) ส่งเสริมให้ครู/ผู้เรียนอธิบายแนวคิดและคำจำกัดความในคำพูดของตัวเอง ให้เหตุผล และคำชี้แจงจากอาจารย์/ผู้เรียน

4. นำไปใช้ (Apply) นำไปใช้เพื่อออกแบบการประชุมเชิงปฏิบัติการอย่างเหมาะสมและตรงตามวัตถุประสงค์ (Loucks-Horsley et al., 1990)

การประชุมเชิงปฏิบัติการที่ส่งเสริมการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวก วิธีสอนสะเต็มศึกษา

การออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่มีประสิทธิผล โดยการพัฒนาครูให้มีความรู้เรื่องสะเต็มศึกษาโดยพิจารณาตามกรอบแนวคิดการพัฒนาวิชาชีพที่สำคัญ คือ การพัฒนาความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา Shulman (1986) นำเสนอว่า ครูจะสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีความรู้ในเนื้อหาที่จะสอนผนวกกับความรู้เกี่ยวกับการสอนในเนื้อหานั้น ๆ ดังนั้นหากต้องการพัฒนาครูให้มีศักยภาพในการออกแบบการสอนและการปฏิบัติการสอนสะเต็มโดยต้องเปิดโอกาสให้ครูเข้าร่วมกิจกรรมที่ออกแบบสื่อ และการเรียนการสอนตามความเข้าใจและความต้องการของครูเอง โดยมีผู้เชี่ยวชาญมาให้ความรู้พื้นฐาน และให้ข้อเสนอแนะ

จากการสังเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาวิชาชีพครู พบว่า รูปแบบการพัฒนาวิชาชีพด้วยการประชุมเชิงปฏิบัติการ (workshop) ประกอบด้วยขั้นตอน คือ การอธิบายทฤษฎีการสาธิต หรือรูปแบบของการฝึกปฏิบัติทักษะ ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนดเงื่อนไข โดยให้ผลสะท้อนกลับเกี่ยวกับประสิทธิภาพ และการฝึกในสถานที่ทำงาน (Loucks-Horsley et al., 2010) โดยมีการนำกลยุทธ์การประชุมเชิงปฏิบัติการไปใช้ในการพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ให้มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (PCK for STEM) ดังต่อไปนี้

Avery (2009) ศึกษาการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มของครูประจำการที่สอนในระดับมัธยมศึกษา โดยอธิบายว่า กิจกรรมการพัฒนาวิชาชีพควรมุ่งเน้นให้ครูได้ฝึกปฏิบัติการเพื่อให้เข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับเนื้อหาวิชาและการบูรณาการศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี

Srikoom (2018) ได้พัฒนาโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสำหรับครูมัธยมศึกษา เพื่อพัฒนา PCK for STEM โดยออกแบบบนพื้นฐานตามบริบทของครู เช่น การจัดการเรียนรู้ในปัจจุบัน ปัญหาและความต้องการ โดยใช้กลวิธีที่มีประสิทธิภาพอย่างหลากหลาย เพื่อใช้ในการพัฒนา PCK for STEM เช่น การวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action research) ชุมแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (Professional Leaning Community: PLC) เพื่อพัฒนาแผนจัดการเรียนรู้ และการนำไปใช้ นอกจากนี้ ยังใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนกับการสอนสะเต็มศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู โดยการประชุมเชิงปฏิบัติการเป็นการพัฒนาความรู้ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process) การปฏิบัติทางวิศวกรรม (Engineering practices) และการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี (Mathematics and technology application) กิจกรรมในการประชุมเชิงปฏิบัติการ ยกตัวอย่าง เช่น

1. หัวข้อ สะเต็มศึกษาคือ อะไร ทำไมสะเต็มศึกษาจึงมีความสำคัญ
2. กิจกรรมสะเต็มศึกษา การวิเคราะห์กิจกรรมสะเต็มศึกษา
3. การพัฒนาแผนการเรียนรู้สะเต็มศึกษา การนำแผนจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้ซึ่งความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ได้นำกรอบแนวคิดของ Magnusson et al. (1999) มาเป็นแนวทางในการวิเคราะห์การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ต้องการให้ผู้เรียนนั้นสามารถบูรณาการความรู้ทั้ง 4 ศาสตร์ และสามารถนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหา ในชีวิตประจำวันได้อย่างเป็นระบบ

ชุติมา วิชัยดิษฐ์ (2563) ได้นำกลยุทธ์การประชุมเชิงปฏิบัติการ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสร้างความรู้ (Building Knowledge) ตระหนักถึงการพัฒนา (Developing Awareness) และ นำความรู้จากทฤษฎีที่ได้รับไปสู่การปฏิบัติจริง (Translating into Practice) (Mundry and Loucks-Horsley, 1999) ไปใช้ในการสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการบูรณาการความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มของครูวิทยาศาสตร์ โดยให้ครูตระหนักถึงความสำคัญของการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา อีกทั้งต้องการให้ครูนำความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนไปใช้จริงในห้องเรียน โดยกิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา จำนวน 7 แผนการเรียนรู้ประกอบด้วย

แผนการเรียนรู้ที่ 1 ประเด็น ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

แผนการเรียนรู้ที่ 2 กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม การวิเคราะห์ความรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์สู่การประยุกต์ใช้

แผนการเรียนรู้ที่ 3 แนวคิดสำคัญของกิจกรรมสะเต็ม

แผนการเรียนรู้ที่ 4 สร้างสิ่งประดิษฐ์ทางวิศวกรรม (STEM base) ขึ้นมาสำหรับแก้ปัญหาที่ประสบในชีวิตประจำวัน

แผนการเรียนรู้ที่ 5 ออกแบบแผนกิจกรรมเพื่อนำไปสู่แผนจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

แผนการเรียนรู้ที่ 6 ทดลองสอน และร่วมกันวิเคราะห์วิพากษ์ กิจกรรมสะเต็มศึกษา พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการพัฒนาปรับปรุง แก้ไขบทเรียน

Faikhamta et al. (2020) ได้พัฒนาวิชาชีพครูที่ส่งเสริมความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาของครูวิทยาศาสตร์ โดยใช้การประชุมปฏิบัติการ โดยกิจกรรมมีการใช้วงจรการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (classroom action research) เพื่อเลือกผลลัพธ์ของนักเรียนที่จะพัฒนา อีกทั้งยังให้ข้อเสนอแนะว่า คุณลักษณะที่สำคัญของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่ช่วยให้ครูมีความรู้ผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ควรมีกิจกรรมลงมือปฏิบัติ (hands-on) สร้างแบบจำลองให้ครูนำไปใช้ในชั้นเรียน นอกจากนี้ได้อธิบายว่า กิจกรรมควรมีความท้าทายด้านการออกแบบทางวิศวกรรม (engineering design) เพื่อให้ครูใช้เป็นตัวอย่างกิจกรรม ในการสาธิตวิธีการออกแบบทางวิศวกรรมและการแก้ปัญหาทั้งในและนอกห้องเรียนสามารถปรับปรุง PCK for STEM ได้

Ling et al., (2020) ได้สำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูในโรงเรียนที่มีบริบทแตกต่างกัน 3 โรงเรียน พบว่า การพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา ทั้งในรูปแบบของหลักสูตรระยะสั้น (course) หรือชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) ซึ่งจะช่วยให้ครูพัฒนา STEM-PCK

Aydin-Gunbatar et al., (2020) ได้พัฒนาโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู โดยใช้การฝึกอบรม (training) 13 สัปดาห์ ที่เน้นการวิจัย (research-based practices) ผลการวิจัย พบว่าโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพมีส่วนต่อการพัฒนา PCK for STEM โดยกิจกรรมมีแนวคิดว่าครูมีฐานความรู้ที่เพียงพอสำหรับเทคโนโลยีและคณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ แต่ขาดความรู้ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์แต่ยังให้ความสำคัญกับศาสตร์ที่เหลือในวงจรการเรียนรู้สะเต็ม โดยมีการแนะนำความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเบื้องต้น เรียนรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางวิศวกรรมและการออกแบบทางวิศวกรรม ให้ผู้เข้าร่วมได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมบูรณาการสะเต็มศึกษาเสมือนเป็นผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (K-12) จะให้ข้อมูลอันมีคุณค่าเกี่ยวกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นที่ผู้เรียนอาจมี และ/หรือแนวคิดที่เป็นไปได้ที่พวกเขาคิดค้นขึ้นเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ในกิจกรรมสะเต็ม อีกทั้งขอความสนับสนุนจากผู้เชี่ยวชาญในการให้ข้อเสนอแนะ หรือให้คำปรึกษาโดยตรง หรือออนไลน์ และควรมีการสะท้อนการเรียนรู้จากประสบการณ์การอบรมเชิงปฏิบัติการ

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่า การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจะใช้กลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติการเป็นกลยุทธ์เริ่มต้นในการพัฒนาวิชาชีพ ซึ่งในการประชุมเชิงปฏิบัติการมีจุดเน้นที่แตกต่างกันออกไป โดยมีกิจกรรมที่สอดคล้องเป้าหมายที่ตั้งเอาไว้ รวมถึงการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนที่เกิดขึ้นในตัวครู อีกทั้งในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา

จะพบว่า มีกิจกรรมทางด้านวิศวกรรมให้ลงมือปฏิบัติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำแนวฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม 8 ขั้นตอน มาออกแบบกิจกรรมให้ครูได้ใช้ความรู้และฝึกทักษะในการแก้ปัญหาในด้านวิศวกรรม ให้ครูทำงานร่วมกันในการทำกิจกรรมวิศวกรรม และเข้าใจการทำงานของวิศวกรที่จะส่งผลต่อความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (Lesson Study)

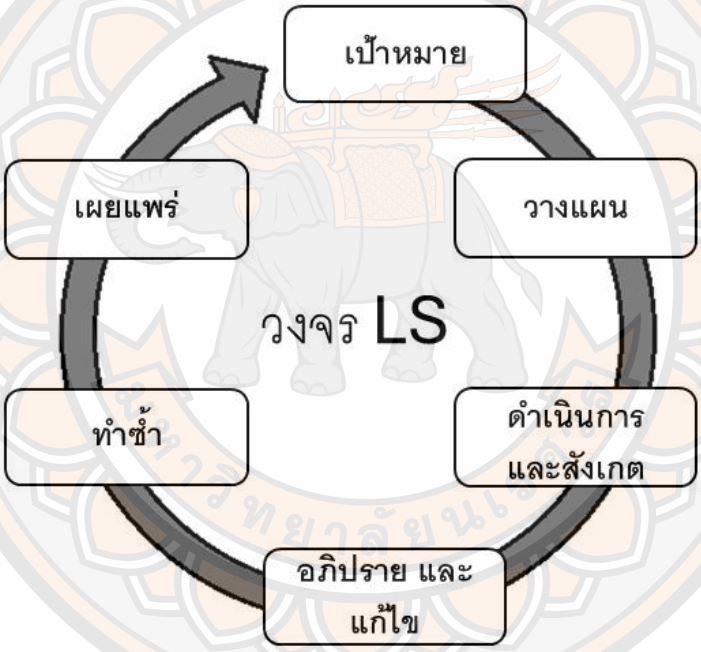
การศึกษาบทเรียนที่มีต้นกำเนิดในญี่ปุ่นเป็นวัฏจักรของการปรับปรุงการสอนที่เน้นการวางแผน การสังเกต และการอภิปรายบทเรียน การวิจัยและการกำหนดความหมายสำหรับการสอนและการเรียนรู้ (Lewis, 2008) ในญี่ปุ่นการศึกษาบทเรียนเป็นกระบวนการที่มีโครงสร้าง ซึ่งครูต้องพัฒนาบทเรียนเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนในทุกสาขาวิชา การใช้ผลการศึกษาบทเรียนทำให้ครูมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ว่าควรดำเนินการบทเรียนอย่างไรและเพราะเหตุใด กลุ่มครูจะต้องประชุมกันเป็นประจำเป็นเวลานาน เพื่อทำงานเกี่ยวกับการออกแบบการนำไปใช้ การทดสอบ และปรับปรุงบทเรียนหนึ่งหรือหลายบทเรียน การวิจัยบทเรียนเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษาบทเรียน (Loucks-Horsley et al., 2010)

โดยการพัฒนาบทเรียนร่วมกันมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้และได้แผนการจัดการเรียนรู้ที่มีคุณภาพรวมทั้งวิธีสอนที่มีประสิทธิภาพ โดยครูร่วมกันออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ และนำไปใช้ จากนั้นร่วมกันประเมินและสะท้อนบทเรียนเพื่อทำการปรับปรุงและนำไปใช้จนกว่าผู้เรียนจะบรรลุผลการเรียนรู้จึงจะถือว่าบทเรียนมีประสิทธิภาพ กลยุทธ์การเรียนรู้ทางวิชาชีพนี้มุ่งบรรลุผลทั้งสี่ประการ ได้แก่ การเพิ่มพูนความรู้ของครู การเสริมสร้างคุณภาพการสอน การพัฒนาความสามารถในการเป็นผู้นำ และการสร้างชุมชนการเรียนรู้อย่างมืออาชีพ ต้องการให้ครูเจาะลึกเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์หรือคณิตศาสตร์ที่ฝังอยู่ภายในบทเรียน ศึกษามาตรฐานและการวิจัยเพื่อระบุแนวทางการสอนที่เหมาะสมกับระดับชั้น พัฒนาผู้อำนวยความสะดวกและผู้นำในการพัฒนาบทเรียน และทำให้เกิดวัฒนธรรมภายในโรงเรียนที่ส่งเสริมการทำงานร่วมกัน การเรียนรู้ที่เน้นการปรับปรุงการเรียนการสอน (Loucks-Horsley et al., 2010)

ในการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์กลยุทธ์ที่ถูกแยกออกเป็นกลยุทธ์เดี่ยว ๆ ไม่สามารถพัฒนาวิชาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Loucks-Horsley et al., 2010) การศึกษาบทเรียนร่วมกัน (Lesson Study) เป็นกลยุทธ์หนึ่งที่ส่งเสริมการพัฒนาวิชาชีพครู (Professional Development) ผ่านการทำงานแบบร่วมมือกับกลุ่มครู และผู้ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ของผู้เรียนในบริบทการทำงานจริงในชั้นเรียนอย่างเป็นระบบ กลยุทธ์การพัฒนาบทเรียนร่วมกันทำให้ครูมีส่วนร่วมและสนับสนุนการพัฒนาบทเรียนร่วมกันอย่างมีความหมายและได้รับแนวคิดใหม่ ๆ เกี่ยวกับบทเรียนที่ได้รับการพัฒนา ตลอดจนความเข้าใจเชิงลึกจากประสบการณ์ตรงจากการพัฒนาบทเรียนซึ่งมีอิทธิพลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน (Burroughs, & Luebeck, 2010)

โดย Darling Hammond (2017) ระบุว่าสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ดีที่สุดสำหรับครู เมื่อครูได้รับโอกาสในการสอน ร่วมกันสะท้อนคิดกับบุคคลอื่น ๆ และการตีความจากการปฏิบัติ โดยกลยุทธ์การศึกษาบทเรียนร่วมกันส่งผลทำสามารถพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน (Bufasi, 2024) แต่กลยุทธ์การศึกษาบทเรียนร่วมกันที่นำไปใช้ในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษานั้น ยังพบอยู่น้อย (ชุติมา วิชัยดิษฐ์, 2563; Juhler, 2016)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน เป็นวิธีหนึ่งของการฝึกปฏิบัติที่รับการพิสูจน์ในการศึกษาทั้งในญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกาว่า นำไปสู่ผลเชิงบวกต่อการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครู (Lewis, & Tsuchida, 1999; Weiland et al., 2010) องค์ประกอบของวงจรการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ดังแสดงดังรูป



ภาพ 18 แสดงวงจรการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (Lesson study cycle)

ที่มา: Fernandez, & Yoshida, 2004

1. การสร้างเป้าหมาย (Goals) เป็นเป้าหมายโดยรวมและเป้าหมายทางวิชาการเฉพาะสำหรับบทเรียนที่กำลังศึกษา

2. การวางแผน (Plan) การอภิปรายและจัดทำแผนการสอน ให้รายละเอียดสำหรับบทเรียนที่จะจัดการเรียนรู้ มุ่งเน้นไปที่กิจกรรมที่นำไปใช้ และผลจากการเรียนรู้ของนักเรียนหรือสิ่งที่อาจเป็นปัญหาได้

3. ดำเนินการและสังเกต (Conduct and observe) ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยปกติแล้วกลุ่มจะเลือกครูหนึ่งคนเพื่อจัดการเรียนรู้บทเรียน

4. อภิปรายและแก้ไข (Discuss and refine) แผนการจัดการเรียนรู้จะถูกสะท้อนและแก้ไขในภายหลังตามข้อสังเกตที่เกิดขึ้นระหว่างบทเรียน จากนั้นจะมีการคาดการณ์ใหม่ซึ่งสะท้อนถึงผลที่ตามมาของการเปลี่ยนแปลงที่นำมาใช้

5. ทำซ้ำบทเรียน (Repeat) เลือกครูคนใหม่ในการนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแก้ไขไปใช้กับนักเรียนกลุ่มอื่น และครูที่เหลือสังเกตบทเรียน รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับนักเรียน ซึ่งให้ความชัดเจนเกี่ยวกับสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างบทเรียนจากการจัดการเรียนรู้ครั้งแรก

6. เผยแพร่ (Disseminate) นำสิ่งค้นพบจากการสังเกตที่เกี่ยวข้องประเมินและเผยแพร่เพื่อแบ่งปันความรู้

บทบาทของผู้เข้าร่วมในกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ซึ่งประกอบด้วยครูที่สอน ครูผู้สังเกตการณ์ และที่ปรึกษาหรือผู้เชี่ยวชาญ มีดังนี้

ตาราง 7 แสดงบทบาทและหน้าที่ของผู้เข้าร่วมการพัฒนาบทเรียน

บทบาท	หน้าที่และความรับผิดชอบ
ครูผู้สอน (Lead Teacher)	- เป็นผู้นำในการสอนบทเรียนที่ได้วางแผนร่วมกันในกลุ่ม โดยใช้แนวทางและกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นจากการวางแผน - แสดงบทบาทหลักในห้องเรียน ให้การเรียนรู้เกิดขึ้นตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ในแผน
ครูผู้สังเกตการณ์ (Observers)	- สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียน เช่น การมีส่วนร่วม ความเข้าใจ และการโต้ตอบ - บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับความสำเร็จหรือปัญหาที่เกิดขึ้นในบทเรียนเพื่อใช้ - ในการทบทวนและปรับปรุง
ที่ปรึกษาหรือผู้เชี่ยวชาญ (Advisor/Expert)	- ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบบทเรียนและเนื้อหาที่เหมาะสมตามเป้าหมาย - การเรียนรู้ - ช่วยสนับสนุนด้านเทคนิคการสอนและการประยุกต์ใช้แนวคิดทางการศึกษา เช่น การประเมินผล
ผู้เข้าร่วมประชุมทบทวน (Review Team)	- ร่วมประชุมทบทวนบทเรียนหลังการสอน เพื่อสะท้อนความคิดเห็นและเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง - วิเคราะห์ข้อมูลที่บันทึกโดยผู้สังเกตการณ์เพื่อหาแนวทางพัฒนาการสอนในครั้งถัดไป

ในกระบวนการนี้ ผู้เข้าร่วมทุกคนทำงานร่วมกันเพื่อพัฒนาบทเรียนผ่านการสอนจริงและการสังเกตการณ์ ซึ่งการแลกเปลี่ยนข้อมูลและการทบทวนเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาทั้งบทเรียนและทักษะของครูโดยกระบวนการการพัฒนาบทเรียนร่วมกันตามวงจรดังกล่าว เป็นตัวช่วยกำหนดขั้นตอนซึ่งนำมาจากความรู้ในงานวิจัย ซึ่งสามารถพัฒนา PCK ของครูได้ (Juhler, 2016) ดังนี้ 1) ด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน มุ่งความสนใจของกลุ่มวิจัยไปที่เนื้อหาความรู้ที่กำลังสอน 2) ด้านความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจนักเรียน มีการชี้นำการคิดของครูไปสู่มุมมองของนักเรียน การวางแผนเกี่ยวกับปัญหา แนวทางแก้ไข การตอบสนองและความเป็นไปได้ต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ วิธีที่นักเรียนสามารถตอบสนองได้ 3) ด้านความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน มีเชื่อมโยงกับวิธีการสอนนักเรียนโดยเฉพาะ 4) ด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินผล มีการพูดคุยกันในรายละเอียดเกี่ยวกับผลการเรียนรู้ของนักเรียนและวิธีที่วัดประเมินผลสิ่งที่ได้เรียนรู้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

ชุติมา วิชัยดิษฐ์ (2563) ได้พัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มของนิสิตครูวิทยาศาสตร์ ระหว่างฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู โดยการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ผู้วิจัยใช้แบบจำลอง PCK ของ Magnusson et al. (1999) ผู้เข้าร่วมเป็นนิสิตครูวิทยาศาสตร์ จำนวน 6 คน ใช้วิธีวิจัยแบบการศึกษารายกรณี (Case Study) มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 3 ระยะ เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตการสอนของนิสิตครู การสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับแผนการจัดการเรียนรู้ และการปฏิบัติการสอน และการตรวจสอบจากเอกสารต่าง ๆ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การสร้างข้อสรุปเชิงอุปนัยจากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ

ผลการวิจัยในระยะที่ 1 พบว่า นิสิตครูวิทยาศาสตร์มีเป้าหมายของการสอน สะเต็มที่เน้นการลงมือปฏิบัติโดยใช้รูปแบบการสอนโครงงานเป็นฐานที่มุ่งเน้นชิ้นงานมากกว่ากระบวนการ โดยนิสิตครูมีเป้าหมายในการสอนสะเต็มที่มุ่งเน้นแก้ปัญหาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่นิสิตครูส่วนใหญ่ยังไม่มีความชัดเจนในบางขั้นตอนของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ส่วนผลการวิจัยในระยะที่ 2 โครงการพัฒนานิสิตครูวิทยาศาสตร์ ช่วยส่งเสริมความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสมตามบริบทชั้นเรียนจริง การทดลองสอนสะเต็ม การร่วมกันวิพากษ์ ผลการวิจัยในระยะที่ 3 พบว่า นิสิตครูวิทยาศาสตร์มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนเกี่ยวกับการวางแผนดำเนินกิจกรรมเพื่อให้ผู้เรียนสะท้อนการเรียนรู้ด้านเนื้อหากระบวนการสะเต็มและการบูรณาการศาสตร์จากการสร้างชิ้นงาน สามารถออกแบบสถานการณ์ปัญหาที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนใช้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา โดยมีข้อเสนอแนะ คือ ควรให้นิสิตครูมีความเข้าใจ

อย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับเป้าหมายของ สะเต็ม คือ การรู้สะเต็ม (STEM literacy) ควรให้ความชัดเจนเกี่ยวกับโครงสร้างด้านหลักสูตรและแนวปฏิบัติในความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์ ทั้งที่กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกผสานอยู่ในแนวปฏิบัติของการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Practices) และการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มที่ถูกผลักดันให้เกิดขึ้นอย่างจริงจังในชั้นเรียนตามมาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตรแกนกลาง

Juhler (2016) ตรวจสอบการพัฒนา PCK ของครูก่อนประจำการ ในบริบทประเทศนอร์เวย์ในหลักสูตรฝึกปฏิบัติ ผู้วิจัยใช้แบบจำลอง PCK ของ Magnusson et al. (1999) ยกเว้นการปฐมนิเทศการสอนวิทยาศาสตร์ (orientation to teaching science) ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ นอกจากนี้ใช้การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (lesson study) เป็นโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ เพื่อสนับสนุนการพัฒนา PCK ของผู้เข้าร่วม การศึกษานี้วางแผนไว้เป็นการศึกษาระยะยาว และรวบรวมข้อมูลตลอดระยะเวลา 2 ปี มีการจัดตั้งกลุ่มการศึกษาบทเรียนร่วมกัน 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งประกอบด้วยครูก่อนประจำการ 4 คน และพี่เลี้ยง 1 คน กลุ่มที่สองประกอบด้วยก่อนประจำการ 3 คน และพี่เลี้ยง 1 คน กลุ่มหนึ่งถูกใช้เป็นกลุ่มควบคุม และไม่อยู่ภายใต้การแทรกแซง รวบรวมข้อมูลในทุกขั้นตอนของการศึกษาบทเรียนร่วมกัน การวางแผนการสอน และการสะท้อนเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล ได้แก่ CoRe การบันทึกวิดีโอการสอน และเอกสารสำหรับครู เช่น สไลด์การนำเสนอ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบนิรนัยและอุปนัย

จากผลการศึกษาพบว่า กลุ่มที่แทรกแซงมีความเข้าใจขอบเขตและลำดับของหลักสูตรดีขึ้น นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมในกลุ่มศึกษาบทเรียน กล่าวถึงความยาก และความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนมากกว่ากลุ่มควบคุมถึง 3 ครั้ง ผู้วิจัยระบุว่าการค้นพบนี้เกิดจากการใช้ CoRe ร่วมกับการศึกษาบทเรียนร่วมกันในกลุ่มแทรกแซง นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมในกลุ่มศึกษาบทเรียนร่วมกันได้เตรียมบทเรียนโดยใช้กลยุทธ์ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางมากขึ้น อีกทั้งครูก่อนประจำการในกลุ่มศึกษาบทเรียนร่วมกันก็สามารถใช้วิธีการประเมินหลากหลาย และตระหนักถึงวัตถุประสงค์ของการประเมินมากกว่ากลุ่มควบคุม ผู้วิจัยสรุปว่าการศึกษาบทเรียนร่วมกับ CoRe มีอิทธิพลในการกำหนดรูปแบบการพัฒนา PCK ของครูก่อนประจำการ และมุ่งเน้นไปที่องค์ประกอบ PCK

Lau, & Multani (2018) ได้สำรวจการพัฒนา PCK สำหรับ STEM สำหรับครูในบริบทของประสบการณ์ภาคสนามในพิพิธภัณฑ์ ผู้เข้าร่วมการศึกษาครั้งนี้ ครูฝึกหัดวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่ลงทะเบียนในโปรแกรม Mathematics and Science Teacher Education Residency (MASTER) โดย Design Lab ที่ New York Hall of Science ได้รับการวางแผนโดยเป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาโทมีจุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมการใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมของผู้เข้าร่วม การศึกษานี้ ไม่มีการใช้กรอบงาน PCK มีการใช้กลยุทธ์ประสบการณ์และการไตร่ตรองเพื่อช่วยในการพัฒนา PCK ของผู้เข้าร่วมประสบการณ์ภาคสนามส่วนใหญ่ ประกอบด้วย 3 ส่วน

กิจกรรมท้าทายการออกแบบ กิจกรรมสะท้อนกลับ และกระบวนการออกแบบการเรียนการสอน รูปแบบการสังเกตที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลเป็นแหล่งข้อมูลหลักที่ใช้ในการศึกษา ผลการวิจัยชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของครูที่เป็นผู้ช่วย และการศึกษา พร้อมพี่เลี้ยงเพื่อบูรณาการวิศวกรรมเข้ากับบทเรียน

นอกจากนี้ นักวิจัยพบว่ากิจกรรมการสะท้อนกลับมีความจำเป็นต่อการพัฒนา PCK สำหรับ STEM ของครูวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อครูต้องสอนเนื้อหาที่ไม่อยู่ในสาระวิชาของตนเอง นักวิจัยแนะนำว่าการศึกษาในอนาคตอาจใช้การศึกษาด้านการออกแบบในบริบทที่แตกต่างกัน เช่น โครงการพัฒนาวิชาชีพภาคฤดูร้อนหรือพิพิธภัณฑ์ เพื่อปรับปรุง PCK ของครูสำหรับ STEM

Srikoom et al. (2018) นำแนวคิดของ Magnusson et al. (1999) มาพัฒนา PCK สำหรับ STEM โดยกำหนดองค์ประกอบ PCK ใหม่โดยพิจารณาถึงคุณลักษณะของสะเต็มศึกษา จุดมุ่งหมายของการศึกษาครั้งนี้คือ เพื่อสำรวจโดยใช้กรณีศึกษาของการสอน STEM คุณลักษณะเด่นของการสอน STEM แบบผสมผสาน และรูปแบบต่าง ๆ PCK สำหรับ STEM 5 องค์ประกอบถูกนำมาใช้โดยใช้การประชุมเชิงปฏิบัติการซึ่งใช้เวลา 3 วัน จัดขึ้นเพื่อเพิ่ม PCK ของครูที่เข้าร่วมสำหรับ STEM ครูที่เข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ มีครู 6 คน ที่ได้รับเลือกให้เป็นผู้เข้าร่วมในการศึกษาครั้งนี้ ภูมิหลังของครูแตกต่างกัน 3 คน เป็นผู้สำเร็จการศึกษาด้านการศึกษาวิทยาศาสตร์ ในขณะที่คนอื่น ๆ สำเร็จการศึกษาจากหลักสูตร การจัดการศึกษา และสัตวศาสตร์ เก็บข้อมูลโดยใช้ แบบสำรวจ แผนการสอนสะเต็ม การสังเกตการสอน สิ่งประดิษฐ์ของนักเรียน การสัมภาษณ์ การสะท้อนของครู และการบันทึกการประชุมกลุ่ม

ข้อค้นพบหลักชี้ให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมมีปัญหาในการบูรณาการวิศวกรรม และจำเป็นต้องมีการฝึกอบรมพิเศษเพื่อสนับสนุนครู ผู้เข้าร่วมจำนวนมากไม่ได้ใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมอย่างเหมาะสมโดย PCK สำหรับ STEM ของผู้เข้าร่วมมีความก้าวหน้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับองค์ประกอบความเข้าใจและการประเมินของนักเรียน

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าครูจำเป็นต้องสร้างบริบทการเรียนรู้ที่แท้จริง เข้าใจความต้องการของนักเรียนในการมีส่วนร่วมในบทเรียน ใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม และเชื่อมโยงหัวข้อกับสาขาวิชา STEM อื่น ๆ เพื่อการบูรณาการ STEM ที่มีประสิทธิภาพ โดยในการศึกษาครั้งต่อไป แนะนำว่าควรตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของครูในบทเรียน STEM เพิ่มเติม ซึ่งความรู้ที่ได้รับในโปรแกรมการศึกษาของครูมีอิทธิพลอย่างมากต่อการปฏิบัติของครูในแง่ของการศึกษา STEM และโปรแกรมการศึกษาของครูและโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพควรสนับสนุนนิสิตครูและครูประจำการด้วยความรู้และทักษะที่จำเป็นเพื่อประสิทธิผลในการบูรณาการสะเต็มศึกษา

Yildirim, & Sahin-Topalcengiz (2018) ได้ทำการศึกษาเชิงปริมาณเพื่อพัฒนา STEM PCK Scale พวกเขาเสนอแบบจำลองชื่อ "STEMPCK" และสร้างรายการมาตราส่วนตามแบบจำลองนี้ โดยแบบจำลอง STEM PCK ประกอบด้วย เนื้อหาความรู้ ความรู้บูรณาการ ความรู้การสอน ความรู้ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และมิติย่อยความรู้บริบท ผู้เข้าร่วมการศึกษาได้รับเลือกจากแผนกต่าง ๆ ได้แก่ การศึกษาวิทยาศาสตร์ประถมศึกษา การศึกษาปฐมวัย การศึกษาคณิตศาสตร์ประถมศึกษา และการสอนในชั้นเรียน มีการวิเคราะห์สองแบบที่แตกต่างกันในกระบวนการพัฒนามาตรวัด การวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจดำเนินการกับครูก่อนประจำการ 443 คน และการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงยืนยันโดยดำเนินการกับนักเรียน 212 คน โดยผลลัพธ์แนะนำปัจจัย 6 ประการสำหรับ STEM PCK Scale ดังนี้ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21ความรู้การสอน คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มีทั้งหมด 56 รายการสำหรับมาตราส่วนการให้คะแนน 5 ระดับ

ผลการวิจัย พบว่า มาตราส่วนนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้ในการวัด PCK ของครูก่อนประจำการสำหรับ STEM สาขาต่าง ๆ นักวิจัยแนะนำว่าการศึกษาในอนาคตอาจใช้ประโยชน์จากปรับจำนวนครูก่อนประจำการจากแผนกต่าง ๆ (ฟิสิกส์ศึกษา การศึกษาด้านคอมพิวเตอร์ ฯลฯ) และกับครูประจำการ

Faikhamta et al. (2020) ได้ศึกษาผลกระทบของโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพ STEM ที่เป็นความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน (PCK) ต่อการรับรู้ของครูเกี่ยวกับการศึกษา STEM โดยใช้แบบจำลอง PCK ของ Park และ Oliver (2008) ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้การวิจัยเชิงปฏิบัติการ ผู้เข้าร่วมวิจัยประกอบด้วย ครูวิชาชีววิทยา เคมี ฟิสิกส์ และวิทยาศาสตร์ทั่วไป จำนวน 101 คน จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมระบุปัญหาขณะนำบทเรียน STEM ไปใช้ในห้องเรียน (เช่น การใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม การทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม) ผู้เข้าร่วมที่มีปัญหาคล้ายกันจะถูกจัดกลุ่มและขอให้จัดทำข้อเสนอการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาที่กำหนด จากนั้นเตรียมบทเรียน STEM ตามข้อเสนอ นักวิจัยให้ข้อเสนอแนะอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ ผู้เข้าร่วมจัดการเรียนรู้ตามแผนจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน รวบรวมข้อมูลจากนักเรียน และสะท้อนบทเรียน โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมไว้ ในการดำเนินกิจกรรม STEM การศึกษาได้รวมข้อมูลเกี่ยวข้องทั้งก่อนและหลัง จากการสำรวจ การสังเกตในห้องเรียน บันทึกสะท้อนความคิดของครู และแผนการจัดการเรียนรู้

ผลการวิจัย พบว่า โครงการพัฒนาวิชาชีพมีผลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อทัศนคติของครูวิทยาศาสตร์ในการศึกษาสะเต็มศึกษาด้านความรู้และการประยุกต์ใช้ ผลลัพธ์ยังชี้ให้เห็นว่าครูวิทยาศาสตร์มีความเข้าใจธรรมชาติที่สำคัญของวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี การมีส่วนร่วมกับโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพ STEM โดยใช้ PCK ช่วยให้ครูสามารถวินิจฉัยและปรับปรุงความสามารถในการจัดการเรียนรู้ STEM ของตัวเองจากการทำกิจกรรมภาคปฏิบัติได้ ครูได้เรียนรู้ธรรมชาติของ STEM มากขึ้นมีส่วนร่วมในวงจรของการออกแบบและการนำบทเรียน STEM ของตนเอง

ไปใช้ และมีส่วนร่วมกับการสะท้อนความเห็นของผู้อำนวยความสะดวกและเพื่อนร่วมงานเกี่ยวกับการสอน STEM ที่สำคัญ

Aydin-Gunbatar et al. (2020) ทำการศึกษากับครูก่อนประจำการวิชาเคมี โดยตรวจสอบ PCK สำหรับ STEM ของผู้เข้าร่วม เพื่อการพัฒนาหลักสูตร STEM วิชาเลือกที่เปิดสอนในหลักสูตรระดับปริญญาตรีในประเทศตุรกี มีการใช้แบบจำลอง PCK และปรับปรุงเป็น PCK สำหรับ STEM ของ Magnusson et al., (1999) องค์ประกอบ PCK สำหรับ STEM องค์ประกอบการปฐมนิเทศการสอนวิทยาศาสตร์ (orientation to the teaching science) ไม่รวมอยู่ในการศึกษานี้ นักวิจัยใช้โมเดล LESMER ซึ่งย่อมาจาก Learn, Experience, Study with Mentors and Reflection และรวมโมเดลนี้เข้ากับวิชาเลือกในโปรแกรมการศึกษาของครู ผู้เข้าร่วมได้รับการแนะนำให้รู้จักสะเต็มศึกษาด้านวิศวกรรม และกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม และกรอบการทำงานของ PCK ในช่วงเริ่มต้นหลักสูตร จากนั้นได้เข้าร่วมกิจกรรมสะเต็มศึกษากับพี่เลี้ยงและทบทวนแผนการจัดการเรียนรู้อยู่ร่วมกัน มีสะท้อนกิจกรรม การเตรียมแผนการจัดการเรียนรู้ร่วมกับพี่เลี้ยง การศึกษานี้ได้รับการวางแผนด้วยการออกแบบงานวิจัยเชิงคุณภาพ และมีครูวิชาเคมีระดับก่อนประจำการ 13 คน ที่เรียนวิชาเลือกเข้าร่วมด้วย ข้อมูลถูกรวบรวมผ่านการเป็นตัวแทนเนื้อหา (CoRe) และนำไปใช้ก่อนเข้าเรียนและหลังจบหลักสูตร

นอกจากนี้ ยังมีการสัมภาษณ์รายบุคคลเมื่อสิ้นสุดภาคการศึกษา และรวบรวมเอกสารสะท้อนความคิดรายสัปดาห์ในระหว่างภาคการศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีอุปนัยและนิรนัย มีการจัดหมวดหมู่สามหมวดหมู่เพื่อติดตาม PCK ของผู้เข้าร่วมสำหรับระดับ STEM เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์ข้อมูล

1. PCK-A สำหรับ PCK หัวข้อเฉพาะ
2. PCK-B สำหรับ มีการเปลี่ยนแปลง PCK สำหรับ STEM
3. PCK-C สำหรับ PCK สำหรับ STEM ซึ่งหมายถึงการเชื่อมโยงกันมากขึ้นระหว่างสาขาวิชา STEM

ผลการศึกษา พบว่า ผู้เข้าร่วมทุกคนมี PCK เฉพาะหัวข้อก่อนเข้าเรียน และ CoRes ไม่ได้แสดงให้เห็นลักษณะสำคัญของการศึกษา STEM หลังจากนำโมเดล LESMER ไปใช้ในหลักสูตรแล้ว PCK สำหรับ STEM ของผู้เข้าร่วมทุกคนก็ได้รับการปรับปรุง อย่างไรก็ตาม ระดับของการปรับปรุงแสดงให้เห็นความแตกต่าง PCK ของผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่ได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ และได้รวมสาขาวิชา STEM อย่างน้อยสองสาขาไว้ใน CoRe (PCK-C) PCK สำหรับ STEM ของผู้เข้าร่วม 5 คน ดีขึ้นในระดับปานกลาง (PCK-B) หลังจากการฝึกอบรม 13 สัปดาห์

สำหรับความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ผู้เข้าร่วมประเภท PCK-B ไม่ได้กำหนดวัตถุประสงค์สำหรับกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ถึงแม้ว่าจะรวมเข้ากับ CoRes ก็ตาม ในทางกลับกัน ผู้เข้าร่วมประเภท PCK-C ได้กำหนดวัตถุประสงค์สำหรับสาขาวิชา STEM อย่างน้อยสองสาขา

ในด้านความรู้ของผู้เรียน ผู้เข้าร่วมบางคนเน้นไปที่ความยากลำบาก (difficulties) และความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (misconception) เกี่ยวกับเคมี (PCK-B) แต่ส่วนใหญ่ให้คำอธิบายโดยละเอียดสำหรับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และความยากลำบาก ในมากกว่าหนึ่งสาขาวิชาของสะเต็มศึกษา (PCK-C)

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนผู้เข้าร่วมประเภท PCK-B ใช้คุณลักษณะบางอย่างของการศึกษา STEM ที่มีข้อจำกัด และใช้กลยุทธ์เดียว เช่น การเรียนรู้จากโครงงาน ใน CoRes โดยผู้เข้าร่วมประเภท PCK-C ใช้บริบทที่แท้จริง (authentic context) โดยใช้คุณลักษณะของการศึกษา STEM และใช้กลยุทธ์พิเศษอย่างน้อยหนึ่งกลยุทธ์ เช่น วิศวกรรมย้อนกลับ (reverse engineering) เพิ่มเติมในกลยุทธ์การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ในท้ายสุดนี้ ผู้เข้าร่วมบางคนมุ่งเน้นไปที่เนื้อหาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการประเมิน (PCK-B) ในขณะที่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่เนื้อหาเคมีผลิตภัณฑ์ของนักเรียน และสาขาวิชา STEM อื่น ๆ (PCK-C) ผู้วิจัยสรุปว่าการเข้าร่วมหลักสูตรและกิจกรรมการศึกษาบูรณาการ STEM เรียนกับพี่เลี้ยง และสะท้อนส่งผลให้ผู้เข้าร่วม PCK พัฒนา PCK สำหรับ STEM

Sarkim (2020) มุ่งเน้นการพัฒนา PCK สำหรับ STEM ของครูในบริบทบนพื้นฐานการวิจัยเชิงออกแบบ (design-based research) ของประเทศอินโดนีเซีย ผู้วิจัยเสนอแบบจำลอง PCK จากการศึกษาของ Magnusson et al. (1999) และใช้เป็นกรอบในการศึกษาโดยเน้นการศึกษาในสาขาวิชาการเรียนการสอน และประสบการณ์เป็นปัจจัยที่มีส่วนในการพัฒนา PCK ในแบบจำลองที่พัฒนาตามแบบจำลอง โดย PCK for STEM มีองค์ประกอบ 5 ประการ ได้แก่ ความรู้และความเชื่อเกี่ยวกับวัตถุประสงค์การสอน หลักสูตร วิธีการสอน นักเรียน และการประเมินการเรียนรู้ในการออกแบบการศึกษา ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก การเตรียม การทดลอง และการวิเคราะห์ย้อนหลัง ครูวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ จำนวน 10 คน จากโรงเรียนต่าง ๆ เข้าร่วมในการศึกษา เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลหลัก ได้แก่ แบบสอบถาม การสนทนากลุ่ม การสัมภาษณ์ และการสังเกต

ผลการศึกษา พบว่า ความเข้าใจของครูที่เข้าร่วมเกี่ยวกับการศึกษาสะเต็มศึกษาได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมยังสามารถบูรณาการวัตถุประสงค์จากหลักสูตรในบทเรียน STEM และส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนในบทเรียน STEM เมื่อสิ้นสุดการศึกษา การศึกษานี้ส่งผลให้ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้การวิจัยเชิงออกแบบในโครงการพัฒนาวิชาชีพ และควรศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้กรอบ PCK เพื่อส่งผ่านความรู้ของครูไปสู่การปฏิบัติในบทเรียน STEM

Delen et al. (2020) ได้แนะนำกรอบการทำงานใหม่ที่เรียกว่า "ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่เน้นการออกแบบ" (DPCK) เพื่อส่งเสริมการศึกษา STEM ในโปรแกรมการศึกษาของครูวิทยาศาสตร์ กรอบงาน DPCK อาศัยแนวคิดของ Honey et al., (2014) กรอบการทำงานของบูรณาการการศึกษา STEM และนำเสนอการเชื่อมโยงระหว่างความท้าทายในการออกแบบแนวคิดแบบตัดขวาง และการสอนการออกแบบเพื่อจุดประสงค์นี้ นักวิจัยได้ทดสอบกรอบการทำงานของ DPCK เป็นเวลาสองปี และทั้งสามหลักสูตรนี้เชื่อมโยงกับฟิสิกส์ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ตัวอย่างเช่น หัวข้อในฟิสิกส์คือ ทัศนศาสตร์ และมีการทดลองด้านทัศนศาสตร์หลายครั้งในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์จากนั้น ผู้เข้าร่วมหลักสูตรวิธีวิทยาศาสตร์จะมอบความท้าทายด้านการออกแบบกล้องโทรทรรศน์ หลักสูตรวิธีการทางวิทยาศาสตร์มุ่งเน้นไปที่การบูรณาการการปฏิบัติงานด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาความท้าทายด้านการออกแบบครูวิทยาศาสตร์ก่อนประจำการจำนวน 32 คน เข้าร่วมในการศึกษาวิจัยนี้ ผู้เข้าร่วมถูกขอให้ดำเนินการท้าทายด้านการออกแบบและสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ STEM แบบบูรณาการในหลักสูตร

จากผลการวิจัยพบว่า DPCK เป็นกรอบการทำงานที่น่าหวังในการเชื่อมโยงหลักสูตรที่มีอยู่อย่างตั้งใจและชัดเจนในโปรแกรมการศึกษาครูวิทยาศาสตร์สำหรับการศึกษาการบูรณาการสะเต็มศึกษาสรุปได้ว่าการใช้ความท้าทายในการออกแบบเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะส่งเสริม DPCK ดังนั้น ความท้าทายในการออกแบบหลายประการที่มุ่งเน้นไปที่ปัญหาในหัวข้อต่าง ๆ ควรมีการวางแผนที่สอดคล้องกัน ขณะเดียวกันก็ใช้กรอบการทำงานนี้ในโปรแกรมการศึกษาของครู

Lertdechapat, & Faikhamta (2021) พวกเขาใช้ PCK เป็นกรอบแนวคิดและการศึกษาเชิงลึกใน Hanuscin et al. (2018) และ Srikoom et al. (2018) เพื่อช่วยติดตามความก้าวหน้า PCK ของครูก่อนประจำการ นักวิจัยได้ใช้การศึกษาบทเรียนร่วมกัน (Lesson study) เป็นโปรแกรมการพัฒนาทางวิชาชีพ มีการออกแบบกรณีศึกษาหลายกรณี โดยมีครูก่อนประจำการ 4 คน ครูพี่เลี้ยงให้ความร่วมมือ 4 คน และอาจารย์ 3 คน เข้าร่วมในการศึกษานี้ มีการจัดตั้งกลุ่มศึกษาบทเรียนสี่กลุ่ม และครูฝึกสอนทำงานร่วมกับครูและคำแนะนำจากมหาวิทยาลัยในกลุ่มเหล่านี้ เครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลของการศึกษา ได้แก่ การสังเกตภาคสนาม การอภิปรายหลังบทเรียน และการสัมภาษณ์ติดตามผล PCK ของผู้เข้าร่วม สำหรับการพัฒนา PCK สำหรับ STEM ได้รับการตรวจสอบหลังการอภิปราย

จากผลการศึกษาพบว่ารูปแบบการพัฒนา PCK สำหรับส่วนประกอบ STEM แสดงให้เห็นความแตกต่างสำหรับผู้เข้าร่วม กล่าวคือ องค์ประกอบย่อย 6 ข้อ ใน 16 ข้อ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อสิ้นสุดการศึกษาความรู้ด้านกลยุทธ์การสอนและความรู้องค์ประกอบผู้เรียนมีการพัฒนามากที่สุด ส่วนความรู้หลักสูตรและการประเมินมีการพัฒนาน้อยที่สุด สรุปได้ว่าการศึกษาบทเรียนร่วมกันเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ในการพัฒนา PCK สำหรับ STEM

ของครูก่อนประจำการสำหรับผู้เข้าร่วม อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยกล่าวถึงความยากบางประการ เช่น การไม่ดำเนินการสอนซ้ำเนื่องจากการกำหนดตารางเวลาร่วมกัน รวมทั้งมีการแนะนำครูก่อนประจำการ และครูที่มีประสบการณ์ในกลุ่มศึกษาบทเรียนร่วมกันเมื่อสิ้นสุดการศึกษา การศึกษาบทเรียนร่วมกันสะท้อนการสอน ประสบการณ์ พบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการปรับปรุง PCK สำหรับ STEM ของผู้เข้าร่วม นอกจากนี้ นักวิจัยยังเน้นย้ำว่าส่วนสำคัญของการศึกษาบทเรียนคือ "การเรียนรู้ซึ่งกันและกัน" ในแง่ของการวางแผนและการดำเนินการตามแผนการจัดการเรียนรู้ STEM

Huang et al. (2022) ตรวจสอบผลของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพต่อวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและความเข้าใจของครูคณิตศาสตร์เกี่ยวกับสะเต็มศึกษา ส่วนหลักของการพัฒนาทางวิชาชีพ คือ การสังเกต (observation) การอภิปราย (discussion) และการสะท้อน (reflection) (ODR) ครู 82 คน จากภูมิหลังที่แตกต่างกันเข้าร่วมในการศึกษานี้ ครูถูกคาดหวังให้พัฒนาบทเรียน STEM ในหัวข้อวิทยาศาสตร์ 4 หัวข้อ จากนั้นจึงนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ในห้องเรียน ในขณะกลุ่มครูที่เหลือสังเกตและสะท้อนบทเรียนใช้เครื่องมือหลายอย่างในการรวบรวมข้อมูล เช่น แบบสอบถามการรู้เรื่องสะเต็ม (STEM Literacy) การสัมภาษณ์ การสังเกต และการอภิปรายกลุ่ม

ผลลัพธ์หลักของการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการรู้สะเต็มของครูที่เข้าร่วมได้รับการปรับปรุงและ PCK สำหรับ STEM ก็เริ่มพัฒนาขึ้น แนวทาง ODR มีอิทธิพลในการกำหนดความเข้าใจ STEM ของผู้เข้าร่วม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสังเกตทำให้ครูเข้าใจธรรมชาติของการศึกษา STEM และเรียนรู้วิธีใช้การออกแบบทางวิศวกรรม กระบวนการอภิปรายช่วยให้พวกเขาแบ่งปันความรู้และประสบการณ์ และสะท้อนกลับในส่วนที่สนับสนุนพวกเขาในการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหา

Lange et al. (2022) จัดทำ “โครงการความร่วมมือ STEM” แก่ครูก่อนประจำการที่เป็นผู้สอนในระดับชั้นอนุบาลและประถมศึกษา และตรวจสอบผลของโครงการนี้ต่อการรับรู้ความสามารถตนเอง (self-efficacy) และ PCK ของผู้เข้าร่วม ส่วนประกอบหลักของโครงการ คือ 1) การทำงานร่วมกัน (collaboration) 2) ปัญหาที่แท้จริง (authentic problems) 3) โอกาสในการเป็นมืออาชีพ (professionalization opportunities) 4) ข้อเสนอแนะ (scaffolded feedback) และ 5) การสะท้อนและประยุกต์โครงการ (reflection and applied projects) โครงการนี้ถูกนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของข้อกำหนดหลักสูตรสำหรับภาคการศึกษาเป็นเวลา 3 ปี ไม่มีการกล่าวถึงกรอบการทำงานของ PCK โดยเฉพาะในการศึกษานี้มีการใช้การออกแบบการวิจัยแบบผสมผสาน และมีผู้เข้าร่วม 164 คนในส่วนเชิงปริมาณของการศึกษา ในขณะที่ผู้เข้าร่วม 6 คน มีส่วนร่วมในส่วนเชิงคุณภาพ รวบรวมข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวัดความเชื่อในการรับรู้ความสามารถตนเองในการสอนวิทยาศาสตร์ (Science Teaching Efficacy Belief Instrument; STEBI) การทดสอบ STEM PCK การสะท้อน และการสัมภาษณ์สนทนากลุ่ม

ผลการวิจัย พบว่า ความมั่นใจในตนเองของผู้เข้าร่วมในการบูรณาการ STEM เพิ่มขึ้น โดยไม่คำนึงถึงภูมิหลังทางวิชาการที่แตกต่างกัน ในทำนองเดียวกัน คะแนน PCK ของผู้เข้าร่วมดีขึ้นเมื่อสิ้นสุดหลักสูตร ข้อมูลเชิงคุณภาพแสดงให้เห็นว่าการทำงานร่วมกัน การสะท้อน คำติชม และการมีส่วนร่วมกับนักเรียนในการสอนแบบจุลภาคมีอิทธิพลต่อ PCK ที่เพิ่มขึ้นของผู้เข้าร่วม

Correia, & Baptista (2022) ได้ตรวจสอบผลกระทบของโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพแบบสะเต็มศึกษาต่อเนื้อหาของครูก่อนประจำการระดับประถมศึกษาในความรู้เนื้อหา และ PCK ในแง่ของแนวคิดเรื่อง เสียง ไม่มีการระบุกรอบการทำงานของ PCK โดยเฉพาะในการศึกษานี้ ผู้เข้าร่วมการศึกษาคือครูก่อนประจำการระดับประถมศึกษาจำนวน 18 คน ที่ลงทะเบียนเข้าเรียนหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ผู้เข้าร่วมได้รับการแนะนำให้รู้จักสะเต็มศึกษา เข้าร่วมกิจกรรม STEM และพัฒนาแผนการสอน STEM เป็นกลุ่มในตอนท้ายรวบรวมข้อมูลผ่านแผนการจัดการเรียนรู้ บันทึกภาคสนาม และการสัมภาษณ์กลุ่มสนทนา วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หมวดหมู่ที่แนะนำโดย Thibaut et al. (2018) นอกจากนี้การบูรณาการ STEM ยังถูกกำหนดให้เป็นการบูรณาการเนื้อหา หรือบริบทโดยใช้คำอธิบาย (Roehrig et al., 2012)

ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความรู้ด้านเนื้อหา พบว่า ผู้เข้าร่วมมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องเสียง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับ PCK ผู้เข้าร่วมไม่นำแนวทางการสอนที่เน้นการออกแบบเป็นศูนย์กลางและการบูรณาการกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ในทำนองเดียวกัน ผู้เข้าร่วมประสบปัญหาในการประเมินผลลัพธ์ของบทเรียน STEM และมีเพียงไม่กี่กลุ่มเท่านั้นที่ใช้การประเมินที่มีรูบริคด้วย ในทางกลับกัน ทุกกลุ่มใช้การเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานหรือการสืบเสาะหาความรู้และเน้นการทำงานกลุ่มในแผนการสอน STEM นักวิจัยแนะนำให้มุ่งเน้นไปที่การปฏิบัติงานด้านวิศวกรรม (engineering practices) ในโปรแกรมการศึกษาครูประถมศึกษา และความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ด้านเนื้อหากับ PCK ในกิจกรรม STEM

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาวิชาชีพครูในด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็ม สามารถสรุปกลวิธีในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษาดังตารางด้านล่าง

ตาราง 8 แสดงสรุปกลวิธีในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

กลวิธีการพัฒนาวิชาชีพ	นักวิจัย								
	Lau, & Multani, 2018	Srikoom, 2018	Vossen et al., 2019	Vichaidit, 2020	Faikhamta et al., 2020	Ling et al., 2020	Aydin-Gunbatar et al., 2020	Lertdechapat, & Faikhamta, 2021	Bufasi, 2024
1. การประชุมเชิงปฏิบัติการ (Workshop)		✓		✓	✓				
2. คอร์ส (course)						✓			
3. การฝึกอบรม (training)							✓		
4. การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (Lesson study)				✓				✓	✓
5. การวิจัยเชิงปฏิบัติการ (action research)		✓			✓				
6. ชุมแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (Professional Leaning Community: PLC)		✓	✓			✓			
7. การเรียนรู้นอกห้องเรียน (Informal Learning)	✓								

จากตาราง 8 จะเห็นได้ว่ากลวิธีในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษามีความแตกต่างกันออกไป โดยกลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ มีนักวิจัยใช้แนวทางนี้หลายงานวิจัย ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยออกแบบกรอบแนวคิดและกลยุทธ์สำหรับการพัฒนาความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา วางแผนพัฒนาวิชาชีพโดยใช้กลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันเนื่องจากเหมาะสมกับบริบทของสถานศึกษา โดยนำชุมแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพมาช่วยเสริมการประชุมเชิงปฏิบัติการ มีการนำหลักการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรมมาใช้ในกิจกรรมของการประชุมเชิงปฏิบัติการ เพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้และนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ในการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน เพื่อที่จะส่งผลต่อการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา

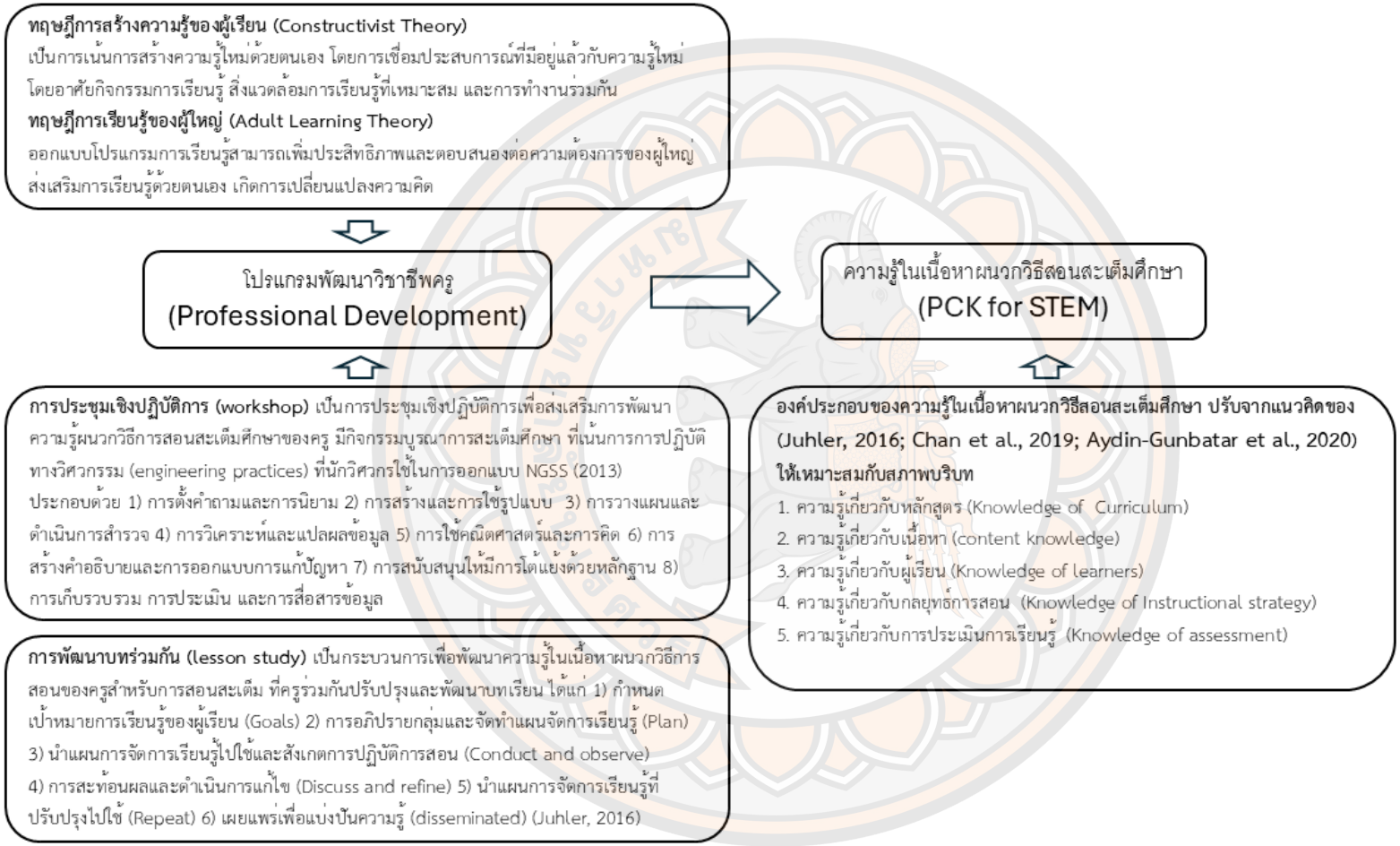
Moreira et al. (2019) พัฒนาโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพแรงจูงใจและโครงการสร้างชุมชนโดยใช้การรวมกลยุทธ์ (Combining Strategies) เวิร์คช็อป (Workshop) การโค้ช และการเป็นพี่เลี้ยง (Coaching & Mentoring) ประกอบด้วย 1) การพัฒนาวิชาการ 2) การพัฒนาความเป็นผู้นำและการสื่อสาร 3) การสอนและการประเมิน 4) การพัฒนาอาชีพ ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นนิสิตบัณฑิตศึกษา โดยใช้วิธีการดำเนินวิจัยแบบสอบถามปลายเปิดหลังจากดำเนินการแต่ละกิจกรรม แบบสำรวจเพื่อสะท้อนผลเกี่ยวกับโปรแกรม ผลการวิจัย พบว่า โปรแกรมนี้ช่วยให้นักศึกษา 13 คน ประสบความสำเร็จในการพัฒนาตนเองและเกิดชุมชนแห่งการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

Kelley et al. (2020) ศึกษาผลกระทบของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูและการพัฒนาหลักสูตรบูรณาการสะเต็มศึกษาต่อการรับรู้ความสามารถตนเองของครู (Teacher self-efficacy) โดยใช้โปรแกรม TRAILS ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ภายในชุมชนแห่งการปฏิบัติและใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริง ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นครูวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่ลงทะเบียนในโครงการ National Science Foundation-ITEST ที่เรียกว่า Teachers and Researchers การพัฒนาบทเรียนบูรณาการสะเต็มศึกษา (TRAILS) งานวิจัยใช้รูปแบบกึ่งทดลอง โดยมีกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง กลุ่มทดลองใช้การออกแบบทางวิศวกรรมการเลียนแบบชีวภาพ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ทดสอบก่อนหลัง และการทดสอบล่าช้าหลัง การทดสอบแบบสำรวจหลังการทดสอบโดยใช้ Wilcoxson signed-rank test ผลการวิจัยพบว่า การรับรู้ความสามารถตนเองของครูวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นหลังการพัฒนาวิชาชีพและหลังการนำบทเรียนไปใช้

Brand (2020) พัฒนาโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพการสอนวิทยาศาสตร์ที่ผสมผสานการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นความท้าทายเนื่องจากครูส่วนใหญ่มีความเข้าใจในการใช้งานทางวิศวกรรมเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย จึงควรสนับสนุนให้ครูตระหนักถึง

ความสำคัญของวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในด้านนวัตกรรมและในการแก้ปัญหา ทีมงานสหวิทยาการ ประกอบด้วย คณาจารย์ครุศาสตร์วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมเครื่องกล และนักศึกษาระดับปริญญาเอกแต่ละสาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ผู้ดูแลหลักสูตรอาชีพและเทคนิคร่วมมือกับครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และการศึกษาอาชีพและเทคนิค เพื่อพัฒนากรอบการทำงานสำหรับการบูรณาการปฏิบัติงานด้านวิศวกรรมเข้ากับหลักสูตร ครูมัธยม 16 คน เข้าร่วมโครงการ IBED มีการประชุมปฏิบัติการ (Workshop) 3 วัน ในฤดูร้อนซึ่งจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์บูรณาการการออกแบบวิศวกรรม มีการแนะนำความร่วมมือข้ามหลักสูตรแก่ครู เพื่อเป็นเป้าหมายในอนาคตสำหรับครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และประกอบอาชีพ (career) และการศึกษาด้านเทคนิค (technical education teachers) ผลการวิจัย พบว่า บูรณาการการปฏิบัติงานด้านวิศวกรรมเข้ากับหลักสูตร ได้รับแรงบันดาลใจในการปรับปรุงแก้ไขการปฏิบัติของตน โดยมุ่งหวังที่จะพัฒนาและดำเนินการสอนที่พวกเขาเห็นว่าเป็นประโยชน์ต่อนักเรียนของตน

Christian et al. (2021) พัฒนาโมเดลการพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อการรับรู้ความสามารถของตนเอง (self-efficacy) ด้านวิศวกรรมศาสตร์และความตระหนักในอาชีพ (career awareness) โดยใช้การประชุมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) การประชุมเชิงปฏิบัติพัฒนาวิชาชีพวิศวกรรมในสะเต็มศึกษาแบ่งเป็น 2 โมดูล 1) วิศวกรรมไฟฟ้าที่สอนร่วมกับคณะฟิสิกส์ศึกษา 2) เทคโนโลยีชีวภาพร่วมกับคณะศึกษาชีววิทยา ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นครูระดับมัธยมศึกษา ใช้วิธีการดำเนินวิจัยแบบวิธีผสมผสาน สำรวจผลกระทบทางอารมณ์ของการเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการด้านการศึกษา ด้านวิศวกรรมสำหรับสะเต็มศึกษาในระดับมัธยมศึกษา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาวิชาชีพ ผลการวิจัยพบว่า ครูที่เข้าร่วมช่วยเพิ่มความมั่นใจในการสอนวิศวกรรมอย่างมีนัยสำคัญ การประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อการพัฒนาวิชาชีพในมหาวิทยาลัยพัฒนาโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์และการศึกษาวิทยาศาสตร์ถือเป็นการแทรกแซงขั้นแรกที่มีประสิทธิผลเพื่อพัฒนาความรู้และทักษะด้านวิศวกรรมของครูระดับมัธยมศึกษา



ภาพ 19 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัย เรื่อง การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม 2) เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ผู้วิจัยนำเสนอวิธีการดำเนินการวิจัยตามลำดับ ดังนี้

1. ระเบียบวิธีวิจัย
2. บริบทที่ศึกษา
3. ผู้เข้าร่วมวิจัย
4. โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา
5. เครื่องมือวิจัยและการพัฒนาเครื่องมือวิจัย
6. การออกแบบงานวิจัย
7. ความน่าเชื่อถืองานวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษาการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative methodology) ตามแนวทางของ (Merriam, & Tisdell, 2016) โดยงานวิจัยมุ่งศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาในบริบทโรงเรียนมัธยมศึกษาที่มี การจัดการเรียนรู้รายวิชาสะเต็มศึกษา ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม และระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทาง ด้านวิศวกรรม โดยใช้กลวิธีพัฒนาวิชาชีพ การประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน มีการเก็บข้อมูลที่หลากหลาย เพื่อให้ได้ภาพรวมที่สมบูรณ์ของการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู ข้อมูลที่ได้รับทำการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา และใช้วิธีวิจัยแบบกรณีศึกษา (Case study) เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ในเชิงลึกในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ (Yin, 2009) โดยมีการวิเคราะห์ภายในกรณี (Within-case Analysis) และระหว่างกรณี (Cross-case Analysis) เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน

สะเต็มศึกษาของครูมัธยมของครูแต่ละคน จากนั้นมีการเปรียบเทียบแสดงความคล้ายคลึงหรือแตกต่างระหว่างกรณีศึกษา เพื่อให้เข้าใจถึงการพัฒนา ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาแต่ละองค์ประกอบ

บริบทที่ศึกษา

โรงเรียนมีบริบทเป็นโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่ ตั้งอยู่ในเขตเมือง ในจังหวัดที่อยู่ในภาคเหนือตอนล่าง โดยโรงเรียนเปิดสอนเฉพาะระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 มีเขตพื้นที่บริการการศึกษา 17 จังหวัดภาคเหนือ ได้แก่ พิษณุโลก ตาก กำแพงเพชร สุโขทัย อุตรดิตถ์ นครสวรรค์ เพชรบูรณ์ แพร่ น่าน พิจิตร ลำปาง อุทัยธานี เชียงราย เชียงใหม่ พะเยา แม่ฮ่องสอน และลำพูน ตั้งอยู่ใกล้มหาวิทยาลัยขนาดใหญ่หลายแห่ง มีจำนวนครูประมาณ 70 คน จำนวนครูวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 25 คน ครูคณิตศาสตร์ 11 คน มีจำนวนนักเรียนโดยประมาณ 1,600 คน จำนวนนักเรียนเฉลี่ยต่อห้องเรียน 40 คน มีลักษณะเป็นโรงเรียนเครือข่ายเพื่อให้เกิดความร่วมมือในด้านการพัฒนาทางวิชาการ โรงเรียนจัดแผนการเรียนเพื่อสนองความต้องการของผู้เรียนที่มีเป้าหมายในการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา โดยแบ่งเป็นแผนการเรียนดังนี้ แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ประกอบด้วย ห้องเรียนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี (Science Math Technology) ห้องเรียนวิทยาศาสตร์สุขภาพ (Health Science Program) ห้องเรียนวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Program) ห้องเรียนเทคโนโลยี คอมพิวเตอร์ (Technology Computer Program) ห้องเรียนสะเต็มศึกษา (STEM Education Program) แผนการเรียนนิติศาสตร์-รัฐศาสตร์ แผนการเรียนศิลป์–ภาษาอังกฤษ แผนการเรียนภาษาต่างประเทศที่ 2 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์การกีฬา และแผนการเรียนศิลปกรรม โรงเรียนมีความพร้อมในด้านบุคลากรในการจัดการเรียนรู้ มีห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ สื่อ วัสดุ เทคโนโลยี และอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ห้องเรียนทุกห้องมีทีวี จอโปรเจ็คเตอร์ บางห้องมีจอสัมผัสอัจฉริยะ นักเรียนอนุญาตให้นำโทรศัพท์มือถือ หรือแท็บเล็ตมาโรงเรียนเพื่อการศึกษา โรงเรียนได้จัดทำหลักสูตรห้องเรียนสะเต็มศึกษาโดยมีรายวิชาสะเต็มศึกษาเป็นวิชาเพิ่มเติมสำหรับจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนในระดับชั้นตั้งแต่ ม.4-ม.6 และจัดครูวิทยาศาสตร์ ครูคณิตศาสตร์และครูคอมพิวเตอร์รับผิดชอบในการจัดการเรียนรู้ ในลักษณะสอนเดี่ยวและสอนร่วม โดยกำหนดหน่วยกิตในรายวิชาสะเต็มศึกษา ภาคเรียนละ 1 หน่วยกิต 2 ชั่วโมง/สัปดาห์

ผู้วิจัยและผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นครูอยู่ในโรงเรียนดังกล่าวด้วยกัน ผู้วิจัยมีประสบการณ์สอนในโรงเรียนดังกล่าวประมาณ 2 ปี มีความคุ้นเคยกับผู้เข้าร่วมวิจัย โดยครูผู้เข้าร่วมวิจัยมีความกระตือรือร้นในการพัฒนาตนเองในด้านการจัดการเรียนรู้ มีความสนใจในการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเพื่อนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชา สะเต็มศึกษา โรงเรียนสามารถจัดตารางให้ครู

สอนรายวิชาสะเต็มศึกษาร่วมกันเพื่อความสะดวกในการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา จากครูต่างสาขา สังเกตชั้นเรียน สะท้อนผลการจัดการเรียนรู้

ผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 การสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ระยะที่ 2 การศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ สะเต็มศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระยะที่ 1 การสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาในระยะที่ 1

การสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา มีครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลในเชิงลึกตามสภาพบริบทของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ผู้วิจัยแบ่งการสำรวจกลุ่มที่ศึกษาตามลำดับต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 ครูทั้งหมดในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 36 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โดยยินดีให้ข้อมูลกับผู้วิจัย

กลุ่มที่ 2 คัดเลือกครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและคณิตศาสตร์ จำนวน 8 คน จากกลุ่มที่ 1 โดยเป็นครูที่เคยผ่านการอบรมหรือเคยสอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา เนื่องจากต้องการข้อมูลในเชิงลึกเกี่ยวกับสะเต็มศึกษา และยินดีให้ข้อมูลกับผู้วิจัย เพื่อทำการสัมภาษณ์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

กลุ่มที่ 3 คัดเลือกครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 4 คน จากกลุ่มที่ 2 โดยเป็นครูที่ได้รับมอบหมายให้สอนในรายวิชา สะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อทำการสังเกตการปฏิบัติการสอน โดยมีความสมัครใจและเต็มใจที่จะเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

ระยะที่ 2 การศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาในระยะที่ 2

เป็นการศึกษาแบบกรณีศึกษา โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกกลุ่มที่ศึกษาแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยเป็นครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 4 คน

ที่ได้รับมอบหมายให้สอนในรายวิชา สะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ตามหลักสูตรของสถานศึกษา โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกกรณีศึกษาซึ่งพิจารณาจาก

1. เป็นผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีผลการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาจากการสัมภาษณ์ และสังเกตการปฏิบัติการสอน

2. ยินดีเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ และให้ข้อมูลด้วยความสมัครใจ โดยผู้วิจัยแจ้งวัตถุประสงค์ของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพและการเก็บข้อมูล

3. สามารถเข้าร่วมกระบวนการวิจัยตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลวิจัย

4. สอนในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 สาขา เพื่อให้ครูจับคู่กับครูต่างสาขาวิชาในกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

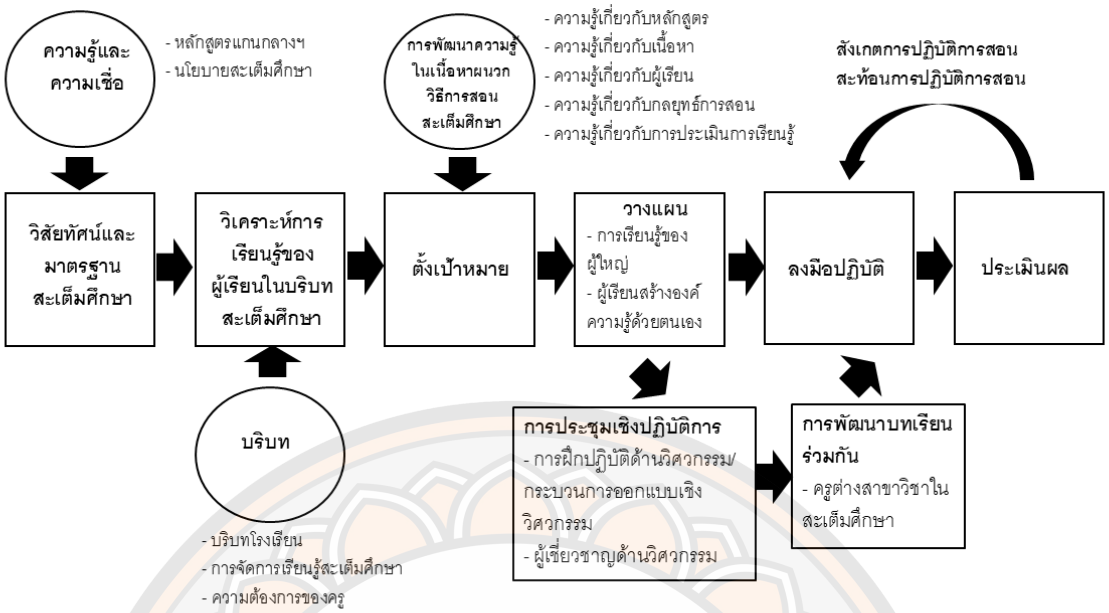
5. เป็นครูสถานศึกษาเดียวกัน เนื่องจากต้องการความยืดหยุ่นในการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน โดยข้อมูลผู้เข้าร่วมงานวิจัยสรุปได้ตามตารางด้านล่าง

ตาราง 9 แสดงสถานภาพของครูระดับมัธยมศึกษาที่เป็นผู้เข้าร่วมวิจัย

ครู	เพศ	อายุ (ปี)	ประสบการณ์ (ปี)	วิทยฐานะ	วุฒิการศึกษา	รายวิชาที่สอน	ประสบการณ์สอนในวิชาสะเต็มศึกษา
T01	ชาย	28 ปี	2 ปี	ไม่มีวิทยฐานะ	ค.บ. ฟิสิกส์	ฟิสิกส์	เคย
T02	หญิง	40 ปี	18 ปี	ไม่มีวิทยฐานะ	วท.บ. ฟิสิกส์ กศ.ม. การบริหารการศึกษา	ฟิสิกส์	เคย
T03	หญิง	45 ปี	18 ปี	ชำนาญการพิเศษ	กศบ. เคมี กศ.ม. หลักสูตรและการสอน	เคมี	เคย
T04	หญิง	45 ปี	19 ปี	ชำนาญการพิเศษ	วท.บ. เคมี กศ.ม. วิทยาศาสตร์ศึกษา	เคมี	เคย

โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

การออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม ได้นำข้อมูลจากการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาในระยะที่ 1 มาเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยในการออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม ได้ปรับตามกรอบแนวคิดการออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ (Loucks-Horsley et al., 2010) โดยผู้วิจัยดำเนินการ ดังนี้



ภาพ 20 แสดงการออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา

1. ตั้งวิสัยทัศน์และมาตรฐานของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา โดยพิจารณาปัจจัยนำเข้าในด้านความรู้และความเชื่อ ได้แก่ การศึกษาหลักสูตรหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2566) นโยบายที่เกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาของชาติ เช่น แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560 - 2579

2. วิเคราะห์การเรียนรู้ของผู้เรียนและข้อมูลอื่นจากปัจจัยนำเข้าด้านบริบท ได้แก่ วิเคราะห์บริบทของโรงเรียน หลักสูตรสถานศึกษา การจัดการเรียนการสอน การประเมิน ครูและความต้องการในการเรียนรู้ของครู โดยครูมีความจำเป็นต้องสอนรายวิชาสะเต็มศึกษาตามหลักสูตรของสถานศึกษาและมีความต้องการที่จะพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

3. ตั้งเป้าหมายสำหรับการพัฒนาวิชาชีพ ได้แก่ ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจากการพิจารณาข้อมูลความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาในระยะที่ 1 พบว่า ครูขาดความรู้ในการบูรณาการเนื้อหา วิธีสอน และกระบวนการทางวิศวกรรม ขาดความเข้าใจ “วิศวกรรม” ในบริบทของสะเต็มศึกษาซึ่งเป็นแกนหลักในการเชื่อมโยงวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีเข้ากับการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน รวมถึงเป้าหมายในการเรียนรู้ของผู้เรียนตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดในหลักสูตร

4. วางแผนพัฒนาโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม โดยพิจารณาความรู้ความเชื่อของครู บริบท ภูมิหลัง ของครูและความต้องการในการพัฒนาวิชาชีพ

รวมทั้งกลวิธี และระยะเวลาที่เหมาะสมในการพัฒนาวิชาชีพ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

4.1 แนวคิดการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ (Adult Learning Theory) โปรแกรมตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าครูเป็นผู้ที่มีประสบการณ์เดิมสูง จึงควรเชื่อมโยงกับปัญหาการสอนจริง เปิดโอกาสให้สะท้อนคิดจากประสบการณ์ เน้นการเรียนรู้ร่วมกันผ่านการลงมือทำ สามารถนำไปใช้ได้ในบริบทของโรงเรียน

4.2 แนวคิดการเรียนรู้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism Theory) การเรียนรู้ต้องเกิดจากที่ครูเผชิญสถานการณ์ปัญหาจริง ได้ทดลอง ออกแบบ ปรับปรุง และสะท้อนผลสร้างความรู้ใหม่ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

โดยผู้วิจัยเลือกกลวิธีประชุมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) เกี่ยวกับการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม โดยเป็นกิจกรรมให้ผู้เข้าร่วมได้พัฒนาความรู้ และการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม กระบวนการออกแบบทางด้านวิศวกรรมตามแนวทาง NGSS (2013) ซึ่งเป็นแนวทางการปฏิบัติทางวิศวกรรมที่นักวิศวกรใช้ในการออกแบบ สร้างแบบจำลอง และยกตัวอย่างกิจกรรมสะเต็มศึกษาผ่านสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน ให้ผู้เข้าร่วมได้ทำกิจกรรม อีกทั้งมีการออกแบบและปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาร่วมกัน โดยในตอนท้ายผู้เข้าร่วมได้เตรียมแผนการจัดการเรียนรู้ สื่อ อุปกรณ์ เพื่อนำไปใช้ในการสอนจริงในห้องเรียน โดยในการประชุมเชิงปฏิบัติการผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นวิทยากร และได้เชิญผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และประสบการณ์ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำเร็จการศึกษาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์มาร่วมเป็นวิทยากร เพื่อให้มีความรู้เข้าใจเกี่ยวกับแนวปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมในสะเต็มศึกษาอย่างลึกซึ้ง อีกทั้งการประชุมเชิงปฏิบัติที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรมมีการออกแบบกิจกรรมโดยปรับจากกรอบแนวคิด Roehrig et al. (2012; Cunningham, 2014) โดยให้ครูเข้าใจวิศวกรรม ความจำเป็นของวิศวกรรม เรียนรู้แนวปฏิบัติทางวิศวกรรมผ่านการลงมือปฏิบัติ ให้ครูทำงานร่วมกันในการทำกิจกรรมวิศวกรรม เข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานและความเชื่อมโยงระหว่างวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม และเข้าใจการทำงานของวิศวกรในฐานะแนวทางปฏิบัติทางสังคม

นอกจากนี้ยังใช้กลวิธีการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (lesson study) เข้ามาในโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา เนื่องจากมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ครูนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้จริงในห้องเรียน มีการสังเกตการปฏิบัติการสอน และสะท้อนการปฏิบัติการสอน โดยเน้นให้ครูเกิดการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างครูต่างสาขาวิชา มีการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ที่ร่วมกันออกแบบทำให้ครูเกิดการเปลี่ยนแปลงการปฏิบัติการสอนส่งผลให้บรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา 5 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้

เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ โดยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม มีรายละเอียดกิจกรรม ดังนี้

ตาราง 10 แสดงโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

กิจกรรม	วัตถุประสงค์	เนื้อหา	ความเชื่อมโยงกับ Engineering Practice	องค์ประกอบ PCK for STEM	ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง
1. แลกเปลี่ยนประสบการณ์ 1 ชั่วโมง 30 นาที	1. เพื่อสำรวจประสบการณ์เดิมของครูเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา	- ประสบการณ์เกี่ยวกับการอบรมสะเต็มศึกษา - ประสบการณ์เกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา - ปัญหาที่พบในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา	ตรวจสอบความรู้เดิมเกี่ยวกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	☐ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ☐ ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ☐ ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ☑ ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ☐ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	ผู้วิจัยและครูผู้เข้าร่วมวิจัย
2. รู้จัก STEM 1 ชั่วโมง 30 นาที	1. เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับสะเต็มศึกษา	- ความสำคัญของสะเต็มศึกษา - ความหมายของสะเต็มศึกษา - ระดับการบูรณาการ - การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา	- ทบทวนความรู้เดิมของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	☐ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ☐ ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ☐ ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ☑ ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ☐ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	ผู้วิจัยและครูผู้เข้าร่วมวิจัย
3. ตัว E ใน STEM 1 ชั่วโมง 30 นาที	1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิศวกรรม	- ธรรมชาติของวิศวกรรม (engineering) - การออกแบบวิศวกรรม	ความรู้เกี่ยวกับวิศวกรรมในสะเต็มศึกษา	☐ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ☑ ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา	ผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยและครูผู้เข้าร่วมวิจัย

กิจกรรม	วัตถุประสงค์	เนื้อหา	ความเชื่อมโยงกับ Engineering Practice	องค์ประกอบ PCK for STEM	ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง
	การออกแบบวิศวกรรม กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และการปฏิบัติด้านวิศวกรรม	(engineering design) - กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (engineering design process) - การปฏิบัติด้านวิศวกรรม (engineering practice)		☐ ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ☑ ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ☐ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	
4. กิจกรรมกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 1 ชั่วโมง 30 นาที	1. เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 2. เพื่อให้ครูใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้อย่างสร้างสรรค์	- กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบไปด้วย การระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา การดำเนินการแก้ปัญหา การทดสอบ การประเมินผลและปรับปรุงแก้ไข และการนำเสนอผลการแก้ไขหรือชิ้นงาน - ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการแก้ปัญหาสถานการณ์ที่กำหนด	กิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน (กังหันลมผลิตไฟฟ้า) ให้ครูออกแบบกังหันลมแล้วนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ชนิดของวัสดุ รูปร่างใบพัด เป็นต้น	☐ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ☑ ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ☐ ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ☑ ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ☑ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	ผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัย และครูผู้เข้าร่วมวิจัย

กิจกรรม	วัตถุประสงค์	เนื้อหา	ความเชื่อมโยงกับ Engineering Practice	องค์ประกอบ PCK for STEM	ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง
5. กิจกรรมตามแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม 1 ชั่วโมง 30 นาที	1. เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม 2. เพื่อให้ครูใช้แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนดได้อย่างสร้างสรรค์	การปฏิบัติด้านวิศวกรรม (engineering practice) ประกอบด้วย 8 ขั้นตอนต่อไปนี้ 1) ขั้นตั้งคำถามและกำหนดปัญหา 2) ขั้นสร้างและใช้แบบจำลอง 3) ขั้นวางแผนและดำเนินการตรวจสอบ 4) ขั้นวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล 5) ขั้นใช้คณิตศาสตร์และการคิดเชิงคำนวณ 6) ขั้นสร้างคำอธิบายและออกแบบวิธีแก้ปัญหา 7) ขั้นโต้แย้งด้วยหลักฐาน 8) ขั้นรับข้อมูลประเมินผล และสื่อสารข้อมูล	กิจกรรมตามแนวปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม 8 ขั้นตอน (รถไฟฟ้าพลังงานงานแบตเตอรี่) ให้ครูออกแบบและสร้างเซลล์ไฟฟ้า เคมี (โวลตาอิค) เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้มอเตอร์	☐ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ☑ ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ☐ ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ☑ ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ☑ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	ผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัย และครูผู้เข้าร่วมวิจัย
6. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา	1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกรอบ	- ความหมายของ PCK for STEM - องค์ประกอบของ PCK for STEM 5 องค์ประกอบ	ความเชื่อมโยงกิจกรรมตามแนวปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมกับความรู้	☑ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ☑ ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา	ผู้วิจัย และครูผู้เข้าร่วมวิจัย

กิจกรรม	วัตถุประสงค์	เนื้อหา	ความเชื่อมโยงกับ Engineering Practice	องค์ประกอบ PCK for STEM	ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง
(PCK for STEM) 1 ชั่วโมง 30 นาที	แนวคิด PCK for STEM 2. เพื่อให้ครูสามารถวิเคราะห์การจัดการเรียนรู้โดยใช้กรอบแนวคิด PCK for STEM	- วิเคราะห์การจัดการเรียนรู้จากคลิปวิดีโอที่กำหนดโดยใช้กรอบแนวคิด PCK for STEM	ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา	☑ ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ☑ ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ☑ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	
7. ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 3 ชั่วโมง	1. เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์หลักสูตรสะเต็มศึกษา 2. เพื่อให้ครูสามารถเชื่อมโยงมาตรฐานการเรียนรู้ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้สู่การออกแบบแผนจัดการเรียนรู้ 3. เพื่อให้ครูสามารถออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาร่วมกัน	- มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์และกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 - ศึกษาคำอธิบายรายวิชา ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้หลักสูตรสะเต็มศึกษาของสถานศึกษา	ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อนำไปใช้จริง	☑ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ☑ ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ☑ ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ☑ ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ☑ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	ผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัย และครูผู้เข้าร่วมวิจัย

กิจกรรม	วัตถุประสงค์	เนื้อหา	ความเชื่อมโยงกับ Engineering Practice	องค์ประกอบ PCK for STEM	ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง
		- แนวทาง/วิธีการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา - องค์ประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา - แนวทางการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้			
8. การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (lesson study) ประชุมเชิงปฏิบัติการ 1 ชั่วโมง 30 นาที พัฒนาบทเรียนร่วมกัน 2 เดือน	1. เพื่อพัฒนาครูในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน	กระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (lesson study มีแนวทางการจัดการเรียนรู้ ดังนี้ 1) กำหนดเป้าหมายการเรียนรู้ของผู้เรียน 2) การอภิปรายกลุ่มและจัดทำแผนจัดการเรียนรู้ 3) นำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้และสังเกตการปฏิบัติการสอน 4) การสะท้อนผลและดำเนินการแก้ไข 5) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงไปใช้ 6) เผยแพร่เพื่อแบ่งปันความรู้	วงจรปรับปรุงวิธีสอนตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	☑ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ☑ ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ☑ ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ☑ ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ☑ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	ผู้วิจัยและครูผู้เข้าร่วมวิจัย

5. ลงมือปฏิบัติโดยนำการวางแผนมาลงมือปฏิบัติจริงตามแผนที่วางเอาไว้ โดยนำกิจกรรมการอบรมเชิงปฏิบัติการประกอบไปด้วย 8 กิจกรรม ได้แก่ 1) แลกเปลี่ยนประสบการณ์ 2) รู้จัก STEM 3) ตัว E ใน STEM 4) กิจกรรมกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 5)กิจกรรมตามแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม 6) ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (PCK for STEM) 7) ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 8) การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (lesson study) ไปใช้ในเวลาตารางที่กำหนดของสถานศึกษาในชั่วโมงส่งเสริมวิชาการและ PLC จำนวน 2 ชั่วโมง/สัปดาห์ จำนวน 5 สัปดาห์ ทั้งนี้การประชุมเชิงปฏิบัติในกิจกรรมที่ 3 ตัว E ใน STEM กิจกรรมที่ 5 กิจกรรมตามแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม และกิจกรรมที่ 7 ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีการประชาสัมพันธ์การเข้าร่วมกิจกรรมไปยังครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในโรงเรียนเดียวกัน รวมมีครูผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ 15 คน โดยผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นวิทยากรร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านสาขาวิศวกรรม ใช้เวลาจำนวน 1 วัน ในวันหยุด

6. ประเมินผลการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยพิจารณาจากเป้าหมายของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษารวมถึงการเปลี่ยนแปลงในการปฏิบัติการสอนของครู หลักฐานจากการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา เช่น พฤติกรรมของครูผู้เข้าร่วม แบบสะท้อนจากการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา

7. การสะท้อนและปรับปรุงโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเชื่อซึ่งสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงการปฏิบัติการสอน ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาที่สอดคล้องกับกรอบแนวคิด ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ ซึ่งอยู่ในวงจรการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

8. เมื่อออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาแล้ว จึงนำเสนอร่างโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเสนอแก่อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสมและความสอดคล้องของกิจกรรมการเรียนรู้ทางวิชาชีพที่ส่งเสริมการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา แล้วปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

9. นำโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญในด้านการพัฒนาวิชาชีพครู ด้านการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ด้านการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสมและความสอดคล้องของกิจกรรมการเรียนรู้ทางวิชาชีพที่ส่งเสริมการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา จากนั้นปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญแล้วนำโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นไปใช้

กับครูผู้ร่วมวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยมีรายละเอียดของข้อเสนอแนะซึ่งผู้วิจัยนำมาปรับปรุงแก้ไขดังรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 11 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

ข้อเสนอแนะ	การปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ
1. ควรเขียนให้ชัดเจนว่าคนผู้เข้าร่วมกิจกรรมเป็นผู้ เข้ารับการอบรมหรือนักเรียน	1. เขียนระบุในขั้นตอนของการทำกิจกรรมว่าเป็นผู้เข้ารับการอบรม
2. ตรวจสอบการเว้นวรรคข้อความให้ถูกต้อง ปรับคำภาษาอังกฤษให้สอดคล้องกับภาษาไทย	2. ปรับการเขียนเว้นวรรคตอน และปรับคำภาษาอังกฤษให้สอดคล้องกับภาษาไทย
3. เขียนอธิบายรายละเอียดการวัดและประเมินของแต่ละกิจกรรมให้ชัดเจน	3. ปรับการเขียนเกณฑ์รูบริคให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น
4. ปรับกิจกรรมกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมให้สอดคล้องกับความเป็นจริง โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ร่วมด้วย และควรเน้นให้ผู้เข้ารับการอบรมได้ออกแบบ และมีเนื้อหาความรู้ที่เกี่ยวข้องให้ศึกษา	4.ปรับกิจกรรมโดยยึดตามความเป็นจริง เน้นให้ออกแบบเอง และลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากใบความรู้ เป็นต้น
5. อธิบายเพิ่ม ภาพร่างที่ 2 เกิดจากอะไร เช่น เกิดจากการศึกษาใหม่ หรือการปรับปรุงภาพร่างที่ 1	5. เขียนอธิบายรายละเอียดการเขียนภาพร่างที่ 2 เกิดจากการปรับปรุงภาพร่างที่ 1
6. กิจกรรมแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมควรระบุขั้นตอนการสร้างชิ้นงานให้ชัดเจนว่าอยู่ขั้นตอนใด และปรับการเขียนเกณฑ์ขั้นสร้างและใช้แบบจำลอง	6. เขียนอธิบายให้ชัดเจนในขั้นตอนการสร้างชิ้นงานในกิจกรรมแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม และเขียนอธิบายเกณฑ์ขั้นสร้างและใช้แบบจำลองให้จัดเจน
7. ปรับภาษาแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ให้สื่อความหมายได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น	7. เขียนอธิบายเกณฑ์การวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ใหม่ให้สื่อความหมายได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เครื่องมือวิจัยและการพัฒนาเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ผู้ วิจัยโดยใช้กรอบแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาปรับจาก Juhler (2016; Chan et al., 2019; Aydin-Gunbatar et al., 2020) โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา 2) แบบสัมภาษณ์

กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา 3) แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 4) แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ 5) แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา และ 6) แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา

1. แบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

แบบสอบถามมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการรับรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาครอบคลุมความรู้ของครูทั้ง 5 องค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยแบบสอบถามนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัว เป็นการสอบถามลักษณะสำรวจรายการ (Check List) เกี่ยวกับข้อมูลส่วนตัว ประกอบด้วย เพศ อายุ ประสบการณ์ในการทำงาน ระดับชั้นที่สอน ประวัติการอบรมสะเต็มศึกษา

ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) เพื่อวัดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรสะเต็มศึกษาความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนสะเต็มศึกษา และความรู้เกี่ยวกับการประเมินผลการเรียนรู้ โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือ ขั้นตอนในการสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดและประเมินผลความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

2. ร่างแบบแบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่ครอบคลุมประเด็นความรู้ในเนื้อหาทั้ง 5 ด้าน

3. นำเสนอร่างแบบแบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา แล้วปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

4. นำเสนอร่างที่ปรับปรุงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และประสบการณ์ด้านการพัฒนาวิชาชีพครู ด้านความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ด้านการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างและเชิงเนื้อหาด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา และพิจารณาความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูล

5. จากการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างและเชิงเนื้อหาผู้เชี่ยวชาญมีรายละเอียดของข้อเสนอแนะซึ่งผู้วิจัยนำมาปรับปรุงแก้ไข ดังรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 12 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถาม

ข้อเสนอแนะ	การปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถาม
ด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร	
1. ควรมองโครงสร้าง หรือองค์ประกอบหลักสูตรมาใช้ถามในทางปฏิบัติ เพื่อดูว่าครู มีความรู้หรือไม่	1. ปรับข้อคำถามให้สอดคล้องกับ ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ สาระการเรียนรู้แกนกลาง สาระเพิ่มเติมตามหลักสูตร
2. ให้ระบุขอบเขตการกำหนดหลักสูตรให้ชัดเจนขึ้น เช่น วางแผนหรือออกแบบหน่วยการเรียนรู้ หรือบูรณาการเนื้อหาสะเต็มศึกษาลงในหลักสูตรของโรงเรียน เป็นต้น	2. ระบุขอบเขตการกำหนดหลักสูตรในข้อคำถามให้ชัดเจนขึ้นโดยกำหนดหลักสูตรเพื่อใช้ในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา
ด้านความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน	
1. แนะนำให้ระบุให้เฉพาะเจาะจงขึ้น เช่น ในด้านการเรียนรู้ และการพัฒนาทักษะวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยี เพื่อช่วยให้ผู้ตอบเข้าใจกรอบคำถามได้ชัดขึ้น	1. ปรับข้อคำถามให้เฉพาะเจาะจงกับผู้เรียนมากยิ่งขึ้น โดยเกี่ยวข้องกับนักเรียนในด้านสะเต็มศึกษา เช่น การประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหา หรือเชื่อมโยงกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา	
1. ปรับคำถามที่ถามเกี่ยวกับทักษะเฉพาะทาง ซึ่งอาจเกินขอบเขตการสอนในชั้นเรียนปกติ	1. ปรับคำถามให้สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เช่น สามารถค้นคว้า ออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้
2. ปรับข้อคำถามในด้านวิศวกรรม เชื่อมโยงมาสู่ชั้นเรียนเพื่อให้ผู้ตอบเข้าใจได้ง่ายขึ้นและสอดคล้องกับบริบทครู	1. ปรับข้อคำถามในบริบทวิศวกรรมให้เข้าใจได้ง่าย สอดคล้องกับบริบทของครูในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา
ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน	
1. ปรับข้อคำถามในด้านกลยุทธ์การสอนให้สอดคล้องกับระดับชั้นที่สอน ไม่จำเป็นที่จะต้องเชี่ยวชาญทุกระดับชั้น	1. ปรับข้อคำถามโดยระบุให้สอดคล้องกับระดับชั้นที่สอน หรือระบุระดับชั้นที่สอนอย่างชัดเจน
ด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	
1. ปรับข้อคำถามให้มีการใช้ภาษาและการเรียบเรียงให้มีความชัดเจนได้ใจความ	1. ปรับคำถามให้มีการใช้ภาษาและการเรียบเรียงให้มีความชัดเจน สื่อสารได้ตรงประเด็น
ข้อเสนอแนะในด้านอื่น ๆ	
1. ปริมาณข้อคำถามค่อนข้างมาก อาจต้องพิจารณาตัดทอนหรือปรับให้กระชับ	1. ปรับลดจำนวนข้อคำถามให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะข้อที่มีความคล้ายคลึงกัน

6. นำข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงต่อไป โดยตัวอย่างดังอย่างแบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ในภาคผนวก ข

7. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาในรูปแบบออนไลน์โดยใช้ Google Form กับครูทั้งหมดในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ จำนวน 36 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567

2. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ครอบคลุมความรู้ของครูทั้ง 5 องค์ประกอบ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยปรับจากกรอบแนวคิดของ (Chan et al., 2019) โดยผู้วิจัยมีรายละเอียดขั้นตอนในการสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ ดังนี้

กำหนดวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบสัมภาษณ์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระดับมัธยมศึกษา

2.1 ศึกษาประเภท รูปแบบการสัมภาษณ์ จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนิยามองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

2.2 กำหนดนิยามของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้กรอบแนวคิด PCK for STEM โดยปรับจาก Juhler (2016; Chan et al., 2019; Aydin-Gunbatar et al., 2020) ประกอบด้วย ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

2.3 ร่างแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง โดยสร้างคำถามตามกรอบแนวคิดของนิยามในแต่ละองค์ประกอบ จำนวน 5 องค์ประกอบ มีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิด ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 13 แสดงข้อคำถามแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างตามกรอบแนวคิด

PCK for STEM	นิยาม	ข้อคำถาม
ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร	ความรู้ของครูเกี่ยวกับการกำหนดวัตถุประสงค์ในบทเรียนสะเต็มศึกษา ซึ่งประกอบด้วยวัตถุประสงค์สำหรับวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ และการเชื่อมโยงระหว่างวัตถุประสงค์วิชาวิทยาศาสตร์กับวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษา	1. เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ อะไร 2. เพื่อบรรลุเป้าหมาย ครูออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษา และนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้อย่างไร 3. ครูกำหนดหลักสูตรในสาขาวิชาของตนเองกับหลักสูตรสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร
ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา	ความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม เข้าใจลักษณะเฉพาะและเนื้อหาที่เกี่ยวข้องของแต่ละวิชา สามารถนำความรู้ที่เกี่ยวข้องไปใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	1. ครูคิดว่าเนื้อหาในสาขาวิชาของตนเองกับเนื้อหาในสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร 2. ครูคิดว่าเนื้อหาใดมีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจก่อนการจัดการเรียนรู้ 3. ครูคิดว่าเนื้อหาใดมีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจเมื่อเสร็จสิ้นการสอน
ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน	ความรู้เกี่ยวกับความยากลำบาก (difficulties) ในการเรียนรู้ของนักเรียนและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (misconceptions) ที่ผู้เรียนอาจพบขณะออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการ และใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์	1. ครูคิดว่านักเรียนมีสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในการเรียนรู้เกี่ยวกับสะเต็มศึกษาอย่างไร 2. ครูจะทราบได้อย่างไรว่านักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 3. ครูคิดว่านักเรียนควรมีความรู้และทักษะอะไรมาก่อนที่จะทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาเพราะเหตุใด
ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน	ความรู้ของครูเกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนที่เหมาะสมที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม และการใช้ตัวอย่างและกิจกรรมในบทเรียนสะเต็มศึกษา	1. ครูใช้กลยุทธ์ที่ใช้จัดการเรียนรู้ในสาขาวิชาของตนเองกับสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร 2. ครูใช้กลยุทธ์ใดเพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในสะเต็มศึกษา

PCK for STEM	นิยาม	ข้อคำถาม
		3. เพื่อบรรลุเป้าหมาย ครูออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้อย่างไร 4. ครูวางแผนออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษาโดยพิจารณาจากอะไร
ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	ความรู้ของครูเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนในบทเรียนสะเต็มศึกษา เช่น เนื้อหาวิทยาศาสตร์ กระบวนการทางวิศวกรรม และผลิตชิ้นงาน ทักษะในศตวรรษที่ 21 เป็นต้น และความรู้เกี่ยวกับการเลือกวิธีการประเมินที่เหมาะสม เช่น ประเมินชิ้นงาน ประเมินการนำเสนอ เป็นต้น	1. ครูใช้การประเมินในสาขาวิชาของตนเองกับสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร 2. ครูมีการประเมินการเรียนรู้ผู้เรียนในประเด็นใดบ้าง เพราะเหตุใด หรือมีหลักฐานอะไรบ้าง 3. ครูใช้เครื่องมือ/วิธีการใดในการวัดและประเมินผล และใช้ในช่วงใดในการจัดการเรียนรู้

2.4 นำเสนอร่างแบบสัมภาษณ์ให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องระหว่างข้อคำถาม และนิยามของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

2.5 ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์แล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และประสบการณ์ด้านการพัฒนาวิชาชีพครู ด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ด้านการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างและเชิงเนื้อหา และพิจารณาความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูล ครอบคลุมพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

จากการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างและเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ มีรายละเอียดของข้อเสนอแนะซึ่งผู้วิจัยนำมาปรับปรุงแก้ไข ดังรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 14 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสัมภาษณ์

ข้อเสนอแนะ	การปรับปรุงแก้ไขแบบสัมภาษณ์
ภาษาและการเรียบเรียงข้อคำถามให้มีความชัดเจน ได้ใจความ สื่อสารได้ตรงประเด็น	ปรับภาษาและการเรียบเรียงข้อคำถามให้มีความชัดเจน สื่อสารได้ตรงประเด็นกับวัตถุประสงค์
อธิบายความหมายของคำว่าหลักสูตรให้ชัดเจนว่าเป็นกิจกรรมที่สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาหรือออกแบบรายวิชา	ปรับข้อคำถามให้เข้าใจความหมายของหลักสูตรโดยอธิบายเพิ่มเติมว่าเป็นการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับหลักสูตร
ปรับปรุงหรือขยายความคำถาม ในการสัมภาษณ์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น หรือปรับรูปแบบคำถามตามบริบทของครูผู้ตอบสัมภาษณ์แต่ละคน	ปรับปรุงข้อความถามให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับครูผู้ตอบสัมภาษณ์ และตรงกับวัตถุประสงค์

2.6 ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นนำแบบสัมภาษณ์ไปทดลองใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพในประเด็น ความชัดเจนของข้อคำถาม ความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ จากนั้นนำผลการทดลองใช้มาปรับปรุงแก้ไขในส่วนบกพร่องเพื่อให้ถูกต้องก่อนนำไปเก็บข้อมูลจริง

2.7 ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์กับครู จำนวน 8 คน ใช้เวลาสัมภาษณ์คนละประมาณ 30-40 นาที ในช่วงภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โดยบันทึกเทปขณะสัมภาษณ์ โดยตัวอย่างแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ในภาคผนวก ข

3. แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระดับมัธยมศึกษา จากการออกแบบแผนจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในการปฏิบัติการสอน โดยใช้ร่วมกับแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา โดยผู้วิจัยใช้ระหว่างการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา โดยการสร้างแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

3.1 กำหนดวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบวิเคราะห์แผนจัดการเรียนรู้ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้ตรวจสอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระดับมัธยมศึกษาจากการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้

3.2 ศึกษาแนวคิดทฤษฎีเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน และการกำหนดนิยามของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาสำหรับใช้ตรวจสอบในแผนการจัดการเรียนรู้

3.3 กำหนดรูปแบบของแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยพิจารณาหลักฐานบ่งชี้ที่ปรากฏในแผนจัดการเรียนรู้ โดยประกอบไปด้วยองค์ประกอบ ดังนี้ 1) มาตรฐานการเรียนรู้/ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้อง 2) ลักษณะการบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี 3) ความท้าทายในการแก้ปัญหาในชีวิตจริง 4) การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 5) กิจกรรมกระตุ้นให้ลงมือปฏิบัติและเน้นการมีส่วนร่วมในการทำงานเป็นทีม 6) การเลือกวิธีการและเครื่องมือในการวัดและประเมินผล

3.4 นำเสนอร่างแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องระหว่างประเด็นในการวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้และนิยามของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

3.5 นำเสนอร่างแบบวิเคราะห์แผนจัดการเรียนรู้กับอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องระหว่างประเด็นในการวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้และนิยามของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

3.6 นำแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนที่ได้รับการแก้ไขปรับปรุงแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ 1) ผู้เชี่ยวชาญในด้านการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ 2) ผู้เชี่ยวชาญทางด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา 3) ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

3.7 จากการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาจากผู้เชี่ยวชาญมีรายละเอียดของข้อเสนอแนะ ดังรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 15 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

ข้อเสนอแนะ	การปรับปรุงแก้ไขแบบวิเคราะห์แผน
ระบุคะแนนของเกณฑ์การประเมินให้ชัดเจน ความแตกต่างของแต่ละระดับคะแนนควรมีความชัดเจน	เขียนคำอธิบายของระดับคะแนนแต่ระดับให้ละเอียดและมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

3.8 นำข้อเสนอแนะที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงต่อไป โดยตัวอย่างแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ในภาคผนวก ข

4. แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ

แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา หลังเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ สะเต็มศึกษาในช่วงประชุมเชิงปฏิบัติการ โดยมีลักษณะเป็นแบบเขียนตอบพร้อมให้เหตุผลประกอบ ซึ่งผู้วิจัยมีขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือ ดังนี้

4.1 กำหนดวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ เพื่อวัดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

4.2 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างข้อคำถาม

4.3 ร่างข้อคำถามแล้วนำเสนอร่างแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

4.4 นำแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการที่ได้รับการแก้ไขปรับปรุงแล้ว เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ได้แก่ 1) ผู้เชี่ยวชาญในด้านการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ 2) ผู้เชี่ยวชาญทางด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา 3) ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พิจารณาความถูกต้องและชัดเจนของข้อคำถาม

4.5 จากการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการโดยผู้เชี่ยวชาญมีรายละเอียดของข้อเสนอแนะ ซึ่งผู้วิจัยนำมาปรับปรุงแก้ไข ดังรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 16 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ

ข้อเสนอแนะ	การปรับปรุงแก้ไขแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ
เพิ่มหัวข้ออื่น ๆ ในตอนท้ายเพื่อให้ผู้เข้าร่วมสะท้อนได้ครบทุกประเด็น	เพิ่มหัวข้ออื่น ๆ ในตอนท้ายของแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ

4.6 นำข้อเสนอแนะที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงต่อไป โดยตัวอย่างแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงในภาคผนวก ข

5. แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา

แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษามีวัตถุประสงค์ตรวจสอบพฤติกรรมการสอนที่แสดงออกถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระดับมัธยมศึกษา ในสถานการณ์จริงขณะที่ครูจัดการเรียนรู้ ลักษณะ ของแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาเป็นตารางบันทึกสิ่งที่เกิดขึ้นตามข้อคำถามที่กำหนด ในขณะที่ครูปฏิบัติการสอน โดยมีขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

5.1 แบบการสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาของครู มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินทักษะการสอนสะเต็มศึกษา โดยบันทึกในแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาตามองค์ประกอบที่ครอบคลุมลักษณะสำคัญของสะเต็มศึกษา

5.2 ศึกษาแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดองค์ประกอบและนิยามของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

5.3 สร้างรายการพฤติกรรมบ่งชี้ในการสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา แล้วนำรายการพฤติกรรมบ่งชี้ไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์พิจารณาความถูกต้องและเหมาะสม จากนั้นนำมาแก้ไขและปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ

5.4 นำแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 3 ท่าน ได้แก่ 1) ผู้เชี่ยวชาญในด้านการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา 3) ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อพิจารณาความเหมาะสม และความสามารถในการนำไปใช้ตีความพฤติกรรมของครูที่บ่งชี้ถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

5.5 จากการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของแบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการโดยผู้เชี่ยวชาญมีรายละเอียดของข้อเสนอแนะซึ่งผู้วิจัยนำมาปรับปรุงแก้ไข ดังรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 17 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา

ข้อเสนอแนะ	การปรับปรุงแก้ไขแบบสังเกตการปฏิบัติการสอน
ปรับภาษาและเรียบเรียงข้อความของประเด็นการสังเกตการปฏิบัติการสอนให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น	เขียนประเด็นการสังเกตการปฏิบัติการสอนให้เข้าใจง่ายตรงกับสิ่งที่สังเกตมากยิ่งขึ้น

5.6 นำข้อเสนอแนะที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงต่อไปโดยตัวอย่างแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาในภาคผนวก ข

6. แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา

แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อสะท้อนตนเองในฐานะผู้สอนหรือสะท้อนครูผู้สอนในฐานะผู้สังเกตการปฏิบัติการสอน ในองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ซึ่งใช้แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาในขั้นอภิปรายและแก้ไขของกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน โดยลักษณะของแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา เป็นตารางที่ระบุประเด็นคำถามที่สะท้อนถึงองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยมีขั้นตอนการสร้างแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนดังนี้

6.1 กำหนดวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาเพื่อนบันทึกการสะท้อนคิดของครู ที่บ่งชี้ถึง ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาใน 5 องค์ประกอบ

6.2 ศึกษาแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดข้อคำถาม เข้าสู่ประเด็นการสะท้อนเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

6.3 กำหนดนิยามความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ปรับจากกรอบแนวคิด PCK for STEM ของ Juhler (2016; Chan et al., 2019; Aydin-Gunbatar et al., 2020) ซึ่งประกอบไปด้วย ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้ในเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

6.4 ร่างแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาโดยสร้างประเด็นการสะท้อนตามกรอบแนวคิดของนิยามแต่ละองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยลักษณะของแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา เป็นข้อคำถามเพื่อสะท้อนตนเองในฐานะผู้สอนหรือสะท้อนครูผู้สอนในฐานะผู้สังเกตการณ์ปฏิบัติการสอน

6.5 นำเสนอร่างแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องระหว่างประเด็น ในการสะท้อนตนเองของครูและนิยามของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

6.6 นำแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาที่ได้รับการปรับปรุงแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 3 ท่าน ได้แก่ 1) เชี่ยวชาญในด้านการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ 2) เชี่ยวชาญด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา 3) ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อพิจารณาความเหมาะสม และความสามารถในการนำไปใช้ตีความพฤติกรรมของครูที่บ่งชี้ถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

6.7 จากการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาจากผู้เชี่ยวชาญมีรายละเอียดของข้อเสนอแนะ ดังรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 18 แสดงข้อแนะนำและการปรับปรุงแก้ไขแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา

ข้อเสนอแนะ	การปรับปรุงแก้ไขแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอน
อาจจะให้สะท้อนในแต่ละขั้นตอนของการทำกิจกรรมในห้องว่านักเรียนเกิดทักษะสมรรถนะอะไรเพิ่มขึ้น ต่างจากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ไม่ได้ใช้ สะเต็มศึกษาอย่างไร	เพิ่มประเด็นการสะท้อนการปฏิบัติการสอนในแต่ละขั้นตอนของการทำกิจกรรมของแผนจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษาและแผนวิทยาศาสตร์

6.8 นำข้อเสนอแนะที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงต่อไปโดยตัวอย่างแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาในภาคผนวก ข

จากการสร้างและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล สามารถสรุปเครื่องมือตามช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลได้ดังตาราง

ตาราง 19 แสดงสรุปเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล	ช่วงเวลาการใช้เครื่องมือวิจัยในการเก็บรวบรวมข้อมูล			
	ก่อนเข้าร่วม โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา	ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา		หลังเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา
		การประชุมเชิงปฏิบัติการ	การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน	
1. แบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา	✓	-	-	-
2. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง	✓	-	-	✓
3. แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา	-	✓	-	-
4. แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ	-	✓	-	-
5. แบบสังเกตการณ์ปฏิบัติงานสอนสะเต็มศึกษา	✓	-	✓	-
6. แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา	-	-	✓	-

การออกแบบงานวิจัย

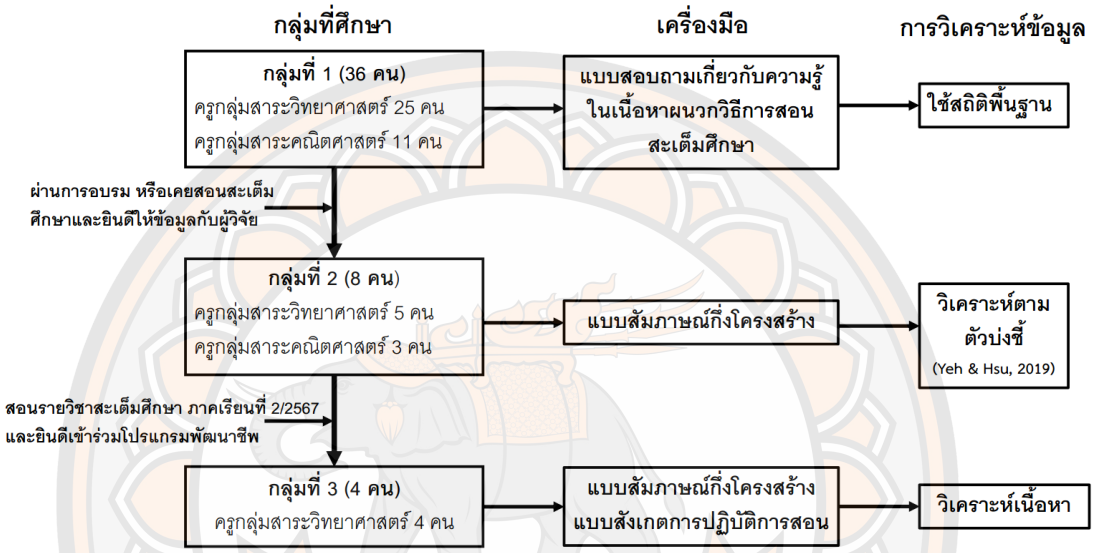
งานวิจัยการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม ผู้วิจัยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 การสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ระยะที่ 2 การศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม โดยผู้วิจัยได้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มที่ศึกษา การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของงานวิจัย ดังต่อไปนี้

ตาราง 20 แสดงการออกแบบงานวิจัย

ระยะที่	คำถามวิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือ
1	1. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นอย่างไร	1. เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม	1. แบบสอบถามความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ปรับจาก Yıldırım, & Sahin (2019) 2. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ปรับจาก Chan et al. (2019) 3. แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา
2	2. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม	2. เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม	1. แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 2. แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ 3. แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา 4. แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา 5. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา Chan et al. (2019)

ระยะที่ 1 การสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ

ในระยะนี้ผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาว่าความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นอย่างไร โดยมีขั้นตอนการเก็บข้อมูลตามแผนผังต่อไปนี้



ภาพ 21 แสดงแผนภาพขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลระยะที่ 1

กลุ่มที่ศึกษาในระยะที่ 1 ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 เป็นครูทั้งหมดในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 36 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โดยยินดีให้ข้อมูลกับผู้วิจัย เพื่อทำแบบสอบถามความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

กลุ่มที่ 2 คัดเลือกครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและคณิตศาสตร์ จำนวน 8 คน จากกลุ่มที่ 1 โดยเป็นครูที่เคยผ่านการอบรมหรือเคยสอนในรายวิชา สะเต็มศึกษา และยินดีให้ข้อมูลกับผู้วิจัย เพื่อทำการสัมภาษณ์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา เพื่อสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

กลุ่มที่ 3 คัดเลือกครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 4 คน จากกลุ่มที่ 2 โดยเป็นครูที่ได้รับมอบหมายให้สอนในรายวิชา สะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 เพื่อทำการสังเกตการปฏิบัติการสอน โดยมีความสมัครใจและเต็มใจที่จะเข้าร่วมโปรแกรม

พัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา โดยข้อมูลผู้เข้าร่วมงานวิจัยสรุปได้ตามตารางด้านล่าง เพื่อสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา และสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. นำแบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาให้ครูทั้งหมดในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ จำนวน 36 คน ทำแบบสอบถามความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นแบบสำรวจออนไลน์โดยใช้ Google Form และมีการตอบเพื่อแสดงความประสงค์เข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

2. ผู้วิจัยได้คัดเลือกครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและคณิตศาสตร์ จำนวน 8 คน โดยเป็นครูที่เคยผ่านการอบรมหรือเคยสอนในรายวิชา สะเต็มศึกษา และยินดีให้ข้อมูลกับผู้วิจัย เพื่อทำการสัมภาษณ์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาโดยใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง ดำเนินการสัมภาษณ์เป็นรายบุคคล ใช้เวลาคนละประมาณ 30-40 นาที ทั้งนี้ได้ใช้เครื่องบันทึกเสียงขณะทำการสัมภาษณ์

3. คัดเลือกครูที่ใช้ในการสัมภาษณ์ จำนวน 4 คน โดยเป็นครูที่ได้รับมอบหมายให้สอนในรายวิชา สะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 เพื่อทำการสังเกตการปฏิบัติการสอน ซึ่งครูทั้ง 4 คน ได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา ตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จำนวน 2 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมบันจีจัมป์ และกิจกรรมสเลอปี้ ใช้เวลาจัดกิจกรรม 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง

ดังนั้น ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในระยะที่ 1 จะใช้เครื่องมือวิจัย 3 ประเภท ได้แก่ แบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐานในการหาค่าเฉลี่ย และร้อยละเป็นรายข้อ

2. การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยปรับใช้แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล (Yeh, & Hsu, 2019) โดยจำแนกคำตอบตามพฤติกรรมบ่งชี้สะท้อนถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาใน 5 ด้าน โดยถ้าคำตอบในการสัมภาษณ์สอดคล้องกับพฤติกรรมบ่งชี้จะได้รับ 1 คะแนน จากนั้นหาร้อยละ

ของคะแนนเต็มของแต่ละข้อแล้วนำมาเขียนกราฟแท่งแสดงระดับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูทั้ง 8 คน ใน 5 ด้าน ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

โดยกรอบแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษาจำแนกตามพฤติกรรมบ่งชี้มีลักษณะ ดังนี้

ตาราง 21 แสดงข้อคำถามและพฤติกรรมบ่งชี้

PCK for STEM	ข้อคำถาม	พฤติกรรมบ่งชี้
ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร	1. เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ อะไร 2. เพื่อบรรลุเป้าหมาย ครูออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษา และนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้อย่างไร 3. ครูกำหนดหลักสูตรในสาขาวิชาของตนเองกับหลักสูตรสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร	1. ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา 2. ครูสามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา สอดคล้องกับมาตรฐานหลักสูตรได้ชัดเจนและเหมาะสม 3. ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้เหมาะสม 4. ครูสามารถเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตร
ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา	1. ครูคิดว่าเนื้อหาในสาขาวิชาของตนเองกับเนื้อหาในสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร 2. ครูคิดว่าเนื้อหาใดมีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจก่อนการจัดการเรียนรู้ 3. ครูคิดว่าเนื้อหาใดมีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจเมื่อเสร็จสิ้นการสอน	1. ครูมีความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม 2. ครูสามารถนำความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี มาใช้ในการจัดกิจกรรมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

PCK for STEM	ข้อคำถาม	พฤติกรรมบ่งชี้
ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน	1. ครูคิดว่านักเรียนมีสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในการเรียนรู้เกี่ยวกับสะเต็มศึกษาอย่างไร 2. ครูจะทราบได้อย่างไรว่านักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 3. ครูคิดว่านักเรียนควรมีความรู้และทักษะอะไรมาก่อนที่จะทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เพราะเหตุใด	1. ครูสามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่ผู้เรียนจำเป็นของผู้เรียนก่อนทำกิจกรรมได้ 2. ครูสามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้
ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน	1. ครูใช้กลยุทธ์ที่ใช้จัดการเรียนรู้ในสาขาวิชาของตนเองกับสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร 2. ครูใช้กลยุทธ์ใดเพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในสะเต็มศึกษา 3. เพื่อบรรลุเป้าหมาย ครูออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้อย่างไร 4. ครูวางแผนออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษาโดยพิจารณาจากอะไร	1. ครูสามารถเลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 2. ครูสามารถใช้แนวทางการสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม 3. ครูสามารถออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหาสาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษาอย่างเหมาะสม
ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	1. ครูใช้การประเมินในสาขาวิชาของตนเองกับสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร 2. ครูมีการประเมินการเรียนรู้ผู้เรียนในประเด็นใดบ้าง เพราะเหตุใด หรือมีหลักฐานอะไรบ้าง 3. ครูใช้เครื่องมือ/วิธีการใดในการวัดและประเมินผล และใช้ในช่วงใดในการจัดการเรียนรู้	1. ครูสามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม 2. ครูสามารถเลือกวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม

โดยคะแนนความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษาจำแนกตามพฤติกรรมบ่งชี้มีรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 22 แสดงการให้คะแนนความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษา

องค์ประกอบของ PCK for STEM	จำนวนข้อคำถาม (ข้อ)	จำนวนพฤติกรรมบ่งชี้ (ข้อ)	คะแนนเต็ม (คะแนน)
1. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร	3	4	12
2. ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา	3	2	6
3. ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน	3	2	6
4. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน	4	3	12
5. ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	3	2	6
รวม	**16**	**13**	**42**

การวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจำแนกคำตอบตามพฤติกรรมบ่งชี้สะท้อนถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาโดยปรับใช้แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล (Yeh, & Hsu, 2019) มีวิธีการวิเคราะห์ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

ข้อคำถาม “ครูกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้อะไรสำหรับนักเรียนในสะเต็มศึกษา”

พฤติกรรมบ่งชี้

1. ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา

2. ครูสามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษาสอดคล้องกับมาตรฐานหลักสูตรได้ชัดเจนและเหมาะสม

3. ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้เหมาะสม

4. ครูสามารถเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

ตาราง 23 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

ครู	ตัวอย่างคำตอบ	พฤติกรรมบ่งชี้	คะแนน
T01	“นักเรียนมีทักษะในการออกแบบที่ใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม”	ข้อ 3	1
T02	“นักเรียนได้รู้จักการบูรณาการความรู้ที่มีอยู่ไปใช้ในการทำกิจกรรม”	ข้อ 1	1
T03	“เมื่อจัดการเรียนรู้แล้วนักเรียนสามารถที่จะคิดเองได้ ออกแบบเองได้”	ข้อ 3	1
T04	“นักเรียนมีความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี” “พัฒนากระบวนการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม”	ข้อ 1 ข้อ 3	2
T05	“นักเรียนสามารถใช้ในการแก้ปัญหาจริงในชีวิตประจำวัน”	ข้อ 3	1
T06	“นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้จากแนวคิดวิชาต่าง ๆ”	ข้อ 1	1
T07	“นักเรียนสามารถสรุปองค์ความรู้และใช้ความรู้ของแต่ละศาสตร์”	ข้อ 1	1
T08	“นักเรียนสามารถแก้ปัญหาจนได้ผลลัพธ์เป็นชิ้นงาน”	ข้อ 3	1

จากตาราง 22 แสดงตัวอย่างการหาค่าคะแนนของการวิเคราะห์ข้อคำถามในแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ข้อที่ 1 โดยข้ออื่น ๆ จะวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกันจนครบทุกข้อในแต่ละด้าน จากนั้นรวมคะแนนหาค่าร้อยละจากคะแนนเต็มแต่ละด้าน แล้วนำไปเขียนกราฟแท่งเพื่อเปรียบเทียบในระดับวามรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

การวิเคราะห์แบบกรณีศึกษา

โดยการวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้เป็นแบบกรณีศึกษาในรูปเป็นแบบพหุกรณีศึกษา (multiple-case study) โดยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. วิเคราะห์ภายในกรณี (Within-case Analysis) เป็นการนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา และแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา มาทำการเปรียบเทียบการปฏิบัติของครูที่บ่งชี้ถึงองค์ประกอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา 5 องค์ประกอบ แบ่งเป็น 4 กรณี โดยผู้วิจัยขอนำเสนอเป็นแผนภูมิเรดาร์เพื่อแสดงระดับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ พร้อมคำอธิบายสนับสนุนในแต่ละด้าน และการสรุปเชิงอุปนัยเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนก่อนเข้าร่วมในแต่ละกรณี

2. วิเคราะห์ระหว่างกรณี (Cross-case Analysis) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา และแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษามาวิเคราะห์ โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Merriam, & Tisdell, 2016) ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

2.1 เตรียมข้อมูล (Preparing) การเตรียมข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง โดยจัดระเบียบข้อมูลจากการถอดเทปที่บันทึกเสียงการสัมภาษณ์ โดยการถอดเทปแบบคำต่อคำ (transcribe verbatim) โดยแสดงเป็นบทสนทนาระหว่างผู้วิจัยและผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 4 คน ซึ่งได้ถอดข้อมูลเสียงเป็นเนื้อความเอกสาร แล้วจึงตรวจสอบความน่าเชื่อถือกับผู้ให้ข้อมูล (member checking) โดยส่งเนื้อความเอกสารไปยังผู้เข้าร่วมการวิจัย เพื่อให้ยืนยันว่าบทสัมภาษณ์นั้นถอดความได้ตรงกับที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยให้สัมภาษณ์

2.2 ให้รหัสข้อมูล (Coding) ซึ่งกำหนดจากคำสำคัญมีการจัดระเบียบเนื้อหาข้อมูล โดยลดทอนข้อมูลให้เหลือเฉพาะประเด็นที่ต้องการวิเคราะห์ จากนั้นจัดหมวดหมู่ข้อมูล (Categorizing) จากนั้นนำข้อความมาใส่ในรูปวลีสั้น ๆ ดังตัวอย่างการให้รหัสข้อมูลจากการสัมภาษณ์ ดังต่อไปนี้

ตาราง 24 แสดงตัวอย่างการเตรียมข้อมูลและการให้รหัสข้อมูล

ผู้พูด	คำพูด	รหัสข้อมูล
ผู้วิจัย	ครูกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้อะไรสำหรับนักเรียนในสะเต็มศึกษา	
ครู T01	เป้าหมายสะเต็มคือให้นักเรียนใช้ความรู้ในชีวิตประจำวันมาแก้ปัญหา	ใช้ชีวิตจริง, แก้ปัญหา
ครู T02	กำหนดเป้าหมายให้นักเรียนใช้ศาสตร์ทั้ง 4 ในการทำกิจกรรม	ใช้ 4 ศาสตร์, ทำกิจกรรม
ครู T03	กำหนดวัตถุประสงค์ให้นักเรียนคิด ออกแบบ และสร้างผลงานเอง	คิดเอง, ออกแบบ, สร้างผลงาน
ครู T04	กำหนดวัตถุประสงค์ให้นักเรียนบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี	บูรณาการศาสตร์

2.3 หมวดหมู่ข้อมูล (Categorizing) ทำการรวบรวมรายชื่อรหัสข้อมูลทั้งหมดไว้เป็นหมวดหมู่ จากนั้นทำการพิจารณา ลดทอนรหัสข้อมูลให้มีจำนวนลดลง โดยพิจารณาความซ้ำซ้อนของรหัสข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้รหัสเรียบร้อยแล้ว กลับมารวมกันใหม่ (reassembling data) เพื่อให้ได้ข้อมูลเป็นกลุ่ม ๆ (clustering) ตามลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยมีการพิจารณา

ร่วมกับเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลอื่น ๆ เพื่อหาข้อสรุป เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Triangulation)

2.4 หาประเด็นหลักของข้อมูล (Thematizing) จากกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะร่วมกันหรือมีความสัมพันธ์กัน โดยอธิบายจากหลักฐาน ดังตาราง

ตาราง 25 แสดงตัวอย่างการจัดหมวดหมู่ข้อมูลและหาประเด็นหลัก

รหัสข้อมูล	จัดหมวดหมู่ข้อมูล	ประเด็นหลัก
ใช้ชีวิตจริง, แก้ปัญหา, คิดเองออกแบบ, สร้างผลงาน	กำหนดวัตถุประสงค์เน้นลงมือปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง	ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์และเชื่อมโยงสาระวิชาในสะเต็มศึกษามีความหลากหลาย
ใช้ 4 ศาสตร์, บูรณาการศาสตร์	กำหนดวัตุประสงค์แบบบูรณาการ	

2.5 นำเสนอเป็นประเด็นหลักของข้อมูลในรูปแบบระหว่างกรณีโดยเปรียบเทียบความสอดคล้องและความแตกต่างของข้อมูลและมีการอภิปรายเชิงลึก (Thick Description) จากการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูทั้ง 4 กรณี ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

ระยะที่ 2 การศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

ในระยะนี้ผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาว่าโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมส่งผลต่อการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาอย่างไร

กลุ่มที่ศึกษาในระยะที่ 2 เป็นครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 4 คน โดยเป็นครูที่ได้รับมอบหมายให้จัดการเรียนการสอนในรายวิชา สะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โดยยินยอมเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาโดยใช้การประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันและยินดีให้ข้อมูลกับผู้วิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. การประชุมเชิงปฏิบัติการ

1.1 ผู้วิจัยได้จัดการประชุมเชิงปฏิบัติการโดยใช้เวลาในชั่วโมงชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) ตามตารางที่กำหนดไว้ของสถานศึกษา จำนวน 4 ชั่วโมง/สัปดาห์ ทั้งหมด 5 สัปดาห์ รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 20 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นวิทยากรและมีผู้เข้าร่วมอบรมประกอบด้วยครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจำนวน 4 คน ซึ่งเป็นครูที่ได้รับมอบหมายให้จัดการเรียนการสอนรายวิชาสะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โดยกิจกรรมการประชุมเชิงปฏิบัติการประกอบไปด้วย 8 กิจกรรม ได้แก่ 1) แลกเปลี่ยนประสบการณ์ 2) รู้จัก STEM 3) ตัว “E” ใน STEM 4) กิจกรรมกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 5) กิจกรรมตามแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม 6) ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (PCK for STEM) 7) การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา 8) การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (lesson study)

นอกจากนี้ได้จัดการประชุมเชิงปฏิบัติในหัวข้อ “การอบรมชิงปฏิบัติการความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาและการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา” ใช้ระยะเวลา 1 วัน (6 ชั่วโมง) ในสถานที่โรงเรียนของผู้ร่วมวิจัย โดยผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นวิทยากรร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม โดยผู้เชี่ยวชาญมีคุณสมบัติ คือ จบสาขาวิศวกรรมศาสตร์ มีประสบการณ์ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา สามารถให้ข้อเสนอแนะการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา รวมทั้งให้มุมมองของวิศวกรในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในครั้งนี้มีผู้เข้าร่วมอบรม คือ ครูวิทยาศาสตร์ 4 คน ที่ได้รับมอบหมายให้จัดการเรียนการสอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567และมีการประชาสัมพันธ์การประชุมเชิงปฏิบัติการไปยังครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในโรงเรียนเดียวกันที่สนใจสมัครเข้าร่วมกิจกรรมอีก 11 คน ดังนั้นมีครูผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการทั้งหมด 15 คน โดยกิจกรรมการประชุมเชิงปฏิบัติการประกอบไปด้วย 3 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมที่ 3 ตัว E ใน STEM กิจกรรมที่ 5 กิจกรรมตามแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม และกิจกรรมที่ 7 การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยก่อนการประชุมเชิงปฏิบัติการผู้วิจัย ผู้เชี่ยวชาญ และผู้เข้าร่วมวิจัย 4 คน มีการประชุมในรูปแบบออนไลน์เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการในวันจริง

1.2 เมื่อสิ้นสุดการประชุมเชิงปฏิบัติการผู้วิจัยได้ประเมินความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูผู้เข้าร่วมวิจัยโดยใช้แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ

1.3 ผู้วิจัยประเมินความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ครู 4 คน ได้ออกแบบโดยใช้แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

2. การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

เป็นวงจรที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 4 คน นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ได้ร่วมพัฒนาในระหว่างการประชุมเชิงปฏิบัติและมีการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญในด้านวิศวกรรม นำไปใช้จัดการเรียนรู้จริงในรายวิชา สะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ใช้เวลา 2 ชั่วโมง/สัปดาห์ จำนวน 3 สัปดาห์ รวม 6 ชั่วโมง โดยแผนการจัดการเรียนรู้ประกอบไปด้วย 4 เรื่อง ได้แก่ เซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างง่าย กลไกขับเคลื่อนนวัตกรรมความเร็ว ร่มและเกราะป้องกันไข่ และรถไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ โดยรายละเอียดกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกันมีขั้นตอน ดังนี้

2.1 ครูผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 4 คน กำหนดเป้าหมายในการพัฒนานักเรียน จากนั้นเลือกปัญหาหรือสถานการณ์จริงที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันโดยเชื่อมโยงกับตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560) กับสถานการณ์ปัญหาในชีวิตประจำวัน แล้วออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่สอดคล้องกับบริบทผู้เรียน แล้วนำไปพัฒนาเป็นแผนการจัดการเรียนรู้ต้นแบบรวมถึงใบกิจกรรมใบความรู้ เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในเรื่องอื่น ๆ

2.2 ครูผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 4 คน พัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ของตนเองคนละ 1 แผน เพื่อนำไปใช้เป็นตัวอย่างในกิจกรรมการประชุมเชิงปฏิบัติการการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา และรับข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขก่อนไปใช้จริง

2.3 ครูผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 4 คน จะจับคู่กันโดย ครูคนที่ 1 จับคู่กับครูคนที่ 2 โดยเป็นครูต่างสาขาวิชา เนื่องจากมีความต้องการให้ครูแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในเนื้อหาที่มีความถนัดต่างกันและเกิดการบูรณาการระหว่างเนื้อหา จากนั้นครูคนที่ 1 จะนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้สอนจริงกับนักเรียนในห้องที่ได้รับมอบหมาย โดยมีครูคนที่ 2 และผู้วิจัยเป็นผู้สังเกตการปฏิบัติการสอน ทั้งนี้ได้ใช้แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาและมีการบันทึกวิดีโอขณะจัดการเรียนรู้

2.4 หลังจากปฏิบัติการสอนเสร็จสิ้น ครูคนที่ 1 ครูคนที่ 2 และผู้วิจัยจะร่วมประเมินและสะท้อนบทเรียน โดยใช้แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ร่วมกับแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา จากนั้นก็จะร่วมกันปรับปรุงบทเรียนเพื่อนำไปใช้สอนในครั้งถัดไป โดยรูปแบบของกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกันมีลักษณะตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 26 แสดงรูปแบบของกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ครูผู้จัดการเรียนรู้	ครูผู้สังเกตการปฏิบัติการสอน	ครูผู้สะท้อนการปฏิบัติการสอน
ครูคนที่ 1	ครูคนที่ 2, ผู้วิจัย	ครูคนที่ 1, 2, ผู้วิจัย
ครูคนที่ 2	ครูคนที่ 1, ผู้วิจัย	ครูคนที่ 1, 2, ผู้วิจัย
ครูคนที่ 3	ครูคนที่ 4, ผู้วิจัย	ครูคนที่ 3, 4, ผู้วิจัย
ครูคนที่ 4	ครูคนที่ 3, ผู้วิจัย	ครูคนที่ 3, 4, ผู้วิจัย

2.5 ดำเนินการเช่นเดียวกันกับคู่ของครูคนที่ 3 และครูคนที่ 4 จนครบ 3 วงรอบ โดยใช้ประเด็นการพิจารณาคุณลักษณะของการศึกษาบทเรียนร่วมกัน ได้แก่ 1) การกำหนดเป้าหมายการเรียนรู้ของผู้เรียน 2) การอภิปรายกลุ่มและจัดทำแผนจัดการเรียนรู้ 3) นำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้และสังเกตการปฏิบัติการสอน 4) การสะท้อนผลและดำเนินการแก้ไข 5) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงไปใช้ 6) เผยแพร่เพื่อแบ่งปันความรู้ เป็นรูปแบบการพัฒนาบทเรียนร่วมกันที่ครูต่างเรียนรู้และพัฒนาบทเรียนไปด้วยกัน

2.6 เมื่อครูผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 4 คน ปฏิบัติการสอนเสร็จสิ้นผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาโดยใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง ดำเนินการสัมภาษณ์เป็นรายบุคคล ใช้เวลาคนละประมาณ 30-40 นาที ทั้งนี้ได้ใช้เครื่องบันทึกเสียงขณะทำการสัมภาษณ์

ดังนั้นในการเก็บรวบรวมข้อมูล ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาจะใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้ แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา และแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างที่มีลักษณะเดียวกับแบบสัมภาษณ์ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยปรับใช้แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล (Yeh, & Hsu, 2019) มีลักษณะการวิเคราะห์เช่นเดียวกับระยะที่ 1 โดยจำแนกคำตอบตามพฤติกรรมบ่งชี้สะท้อนถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาใน 5 ด้าน แบ่งเป็น 4 กรณี โดยผู้วิจัยขอนำเสนอเป็นแผนภูมิเรดาร์ในรูปแบบการเปรียบเทียบก่อนและระหว่างเข้าร่วมก่อนและระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา เพื่อแสดงระดับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับ

หลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

2. การวิเคราะห์ข้อมูลแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ทั้งนี้ผู้วิจัยใช้เกณฑ์การประเมินแผนการจัดการเรียนรู้แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ในการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้ที่ครอบคลุมลักษณะสำคัญของสะเต็มศึกษา ซึ่งประกอบด้วย 1) มาตรฐานการเรียนรู้/ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้อง 2) ลักษณะการบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี 3) ความท้าทายในการแก้ปัญหาในชีวิตจริง 4) การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 5) กิจกรรมกระตุ้นให้ลงมือปฏิบัติและเน้นการมีส่วนร่วมในการทำงานเป็นทีม 6) การเลือกวิธีการและเครื่องมือในการวัดและประเมินผล

3. การวิเคราะห์แบบกรณีศึกษา

การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้มีเป็นแบบกรณีศึกษาในรูปเป็นแบบพหุกรณีศึกษา (multiple-case study) โดยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 วิเคราะห์ภายในกรณี (Within-case Analysis) เป็นการนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ในระหว่างการประชุมเชิงปฏิบัติการ ได้แก่ แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ และระหว่างการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ได้แก่ แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา และแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา มาทำการเปรียบเทียบการปฏิบัติของครูที่บ่งชี้ถึงองค์ประกอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา 5 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ เพื่อสร้างข้อสรุปเชิงอุปนัยเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา

3.2 วิเคราะห์ระหว่างกรณี (Cross-case Analysis) เป็นการนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา และแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Merriam, & Tisdell, 2016) ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 เตรียมข้อมูล (Preparing) การเตรียมข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างโดยจัดระเบียบข้อมูลจากการถอดเทปที่บันทึกเสียงการสัมภาษณ์ โดยการถอดเทปแบบคำต่อคำ (transcribe verbatim) โดยแสดงเป็นบทสนทนาระหว่างผู้วิจัยและผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 4 คน ซึ่งได้ถอดข้อมูลเสียงเป็นเนื้อความเอกสาร แล้วจึงตรวจสอบความน่าเชื่อถือกับผู้ให้ข้อมูล (member

checking) โดยส่งเนื้อความเอกสารไปยังผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อให้ยืนยันว่าบทสัมภาษณ์นั้นถอดความได้ตรงกับที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยให้สัมภาษณ์

3.2.2 ให้รหัสข้อมูล (Coding) ซึ่งกำหนดจากคำสำคัญมีการจัดระเบียบเนื้อหาข้อมูลโดยลดทอนข้อมูลให้เหลือเฉพาะประเด็นที่ต้องการวิเคราะห์ จากนั้นจัดหมวดหมู่ข้อมูล (Categorizing) จากนั้นนำข้อความมาใส่ในรูปวลีสั้น ๆ

3.2.3 หมวดหมู่ข้อมูล (Categorizing) ทำการรวบรวมรายชื่อรหัสข้อมูลทั้งหมดไว้เป็นหมวดหมู่ จากนั้นทำการพิจารณา ลดทอนรหัสข้อมูลให้มีจำนวนลดลง โดยพิจารณาความซ้ำซ้อนของรหัสข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้รหัสเรียบร้อยแล้ว กลับมารวมกันใหม่ (reassembling data) เพื่อให้ได้ข้อมูลเป็นกลุ่ม ๆ (clustering) ตามลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยมีการพิจารณาร่วมกับเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลอื่น ๆ เพื่อหาข้อสรุป เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Triangulation)

3.2.4 หาประเด็นหลักของข้อมูล (Thematizing) จากกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะร่วมกันหรือมีความสัมพันธ์กัน โดยอธิบายจากหลักฐาน และมีการอภิปรายเชิงลึก (Thick Description)

3.2.5 นำเสนอเป็นประเด็นหลักของข้อมูลในรูปแบบระหว่างกรณีโดยเปรียบเทียบความสอดคล้องและความแตกต่างของข้อมูลจากการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู ทั้ง 4 กรณี ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

ความน่าเชื่อถืองานวิจัย

งานวิจัยการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อแสดงให้เห็นว่าผลวิจัยสะท้อนความเป็นจริงเกี่ยวกับการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ผู้วิจัยใช้วิธีการต่าง ๆ ในการสร้างความน่าเชื่อถือในงานวิจัยเชิงคุณภาพ ดังนี้

1. การตรวจสอบสามเส้าด้านวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล (Method Triangulation) ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจากครูโดยใช้วิธีการที่หลากหลาย ได้แก่ การสัมภาษณ์ การสังเกตการปฏิบัติการสอน เป็นต้น

2. การตรวจสอบกับผู้ให้ข้อมูล (Member Checking) ผู้วิจัยนำผลการวิจัยเบื้องต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น บันทึกการสัมภาษณ์ บันทึกการสังเกตการปฏิบัติการสอน และบันทึกการสะท้อนการปฏิบัติการสอน กลับไปให้ผู้เข้าร่วมวิจัยตรวจสอบ ว่าข้อมูลดังกล่าวตรงกับข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้น

3. การอธิบายอย่างเข้มข้น (thick description) ผู้วิจัยบันทึกข้อมูลโดยใช้แบบบันทึกภาคสนาม เพื่ออธิบายสภาพบริบท และการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูอย่างละเอียด ตั้งแต่ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม และระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม

4. การฝังตัวในบริบทอย่างยาวนาน (Prolonged engagement) ผู้วิจัยทำการฝังตัวในบริบทของการวิจัย เป็นระยะยาวนาน เริ่มจากการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา และระหว่างการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ตลอดจนผู้วิจัยเป็นวิทยากรในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ และเป็นผู้อำนวยความสะดวกในการพัฒนาบทเรียนร่วมกันของครูผู้เข้าร่วมวิจัย ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้ครูผู้ร่วมวิจัยเกิดความไว้วางในการให้ข้อมูล

นอกจากนี้ ผู้วิจัยแสดงความสามารถในการยืนยันข้อมูล (Conformability) ข้อมูลจากการวิจัย เพื่อแสดงให้เห็นว่าข้อมูลจากการวิจัยเป็นผลมาจากกระบวนการวิจัยที่ออกแบบและดำเนินการตามระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ ไม่มีความอคติหรือความลำเอียงของผู้วิจัย โดยมีการแสดงหลักฐานร่องรอยของการวิเคราะห์ การจัดกระทำข้อมูล

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม มีวัตถุประสงค์วิจัย คือ 1) เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม 2) เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม โดยผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิจัยเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ผลการสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ระยะที่ 2 ผลการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม

ระยะที่ 1 ผลการสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

ผลการวิจัยเป็นไปเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 1 ที่กล่าวว่า **“ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นอย่างไร”** โดยผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา โดยผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูทั้งหมดในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ จำนวน 36 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โดยใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยเป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ในประเด็นความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ มีผลการวิจัยเป็นดังนี้

ตาราง 27 แสดงระดับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาก่อนเข้าร่วมโปรแกรม

ด้าน	องค์ประกอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ร้อยละ
1	ด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร	4.06	81.30
2	ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา	4.13	82.60
	2.1 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ในสะเต็มศึกษา	4.06	81.22
	2.2 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาเทคโนโลยีในสะเต็มศึกษา	4.28	85.56
	2.3 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาวิศวกรรมศาสตร์ในสะเต็มศึกษา	4.07	81.48
	2.4 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาคณิตศาสตร์ในสะเต็มศึกษา	4.12	82.33
3	ด้านความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน	4.33	86.67
4	ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน	4.26	85.19
5	ด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้	4.43	88.61
	รวมเฉลี่ย	**4.20**	**84**

หมายเหตุ: ด้าน 2 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาคิดจากค่าเฉลี่ยข้อ 2.1-2.4

จากตาราง พบว่า ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาในภาพรวมคิดเป็นร้อยละ 84 เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ทุกด้านมีระดับร้อยละ 80 ขึ้นไป โดยด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้มีค่ามากที่สุด (ร้อยละ 88.61) ส่วนด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับด้านอื่น ๆ (ร้อยละ 81.30)

2. ผลการวิเคราะห์แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระดับมัธยมศึกษาในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยเลือกครู จำนวน 8 คน โดยเป็นครูที่เคยอบรมหรือเคยสอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา ทั้งนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอข้อมูลพื้นฐานของครูดังกล่าว ดังนี้

ตาราง 28 แสดงคุณสมบัติของครูที่ใช้ในการสัมภาษณ์ก่อนเข้าร่วมโปรแกรม

ครู	เพศ	อายุ (ปี)	ประสบการณ์ (ปี)	วิทยฐานะ	วุฒิการศึกษา	รายวิชาหลักที่สอน
T01	ชาย	28 ปี	2 ปี	ไม่มีวิทยฐานะ	ค.บ. ฟิสิกส์	ฟิสิกส์
T02	หญิง	40 ปี	18 ปี	ไม่มีวิทยฐานะ	วท.บ. ฟิสิกส์ กศ.ม. การบริหารการศึกษา	ฟิสิกส์
T03	หญิง	45 ปี	18 ปี	ชำนาญการพิเศษ	กศบ. เคมี กศ.ม. หลักสูตรและการสอน	เคมี
T04	หญิง	45 ปี	19 ปี	ชำนาญการพิเศษ	วท.บ. เคมี กศ.ม. วิทยาศาสตร์ศึกษา	เคมี
T05	หญิง	40 ปี	14 ปี	ชำนาญการพิเศษ	กศ.บ. คณิตศาสตร์ กศ.ม.เทคโนโลยีและสื่อสารฯ	คณิตศาสตร์
T06	หญิง	39 ปี	16 ปี	ชำนาญการพิเศษ	วทบ. คณิตศาสตร์ ค.ม. หลักสูตรและการสอน	คณิตศาสตร์
T07	หญิง	52 ปี	30 ปี	ชำนาญการพิเศษ	กศ.บ. คณิตศาสตร์	คณิตศาสตร์
T08	ชาย	40 ปี	9 ปี	ครูชำนาญการ	วท.บ. วิทยาการคอมพิวเตอร์ วท.ม. เทคโนโลยีสารสนเทศ	คอมพิวเตอร์

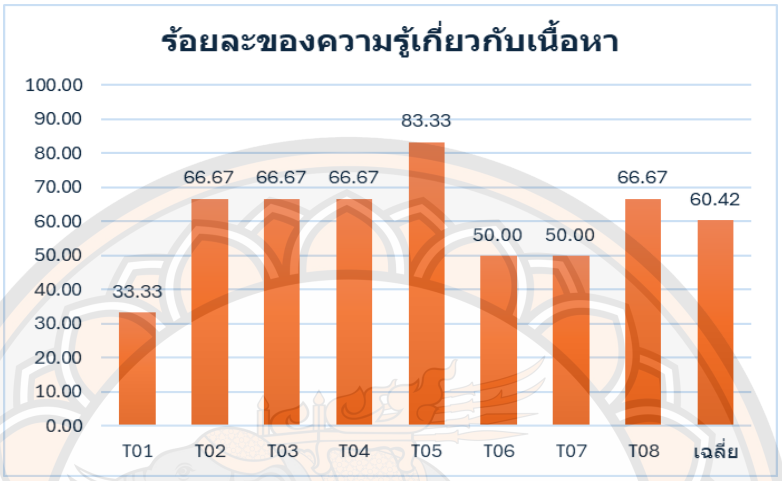
หมายเหตุ: ครูT01-ครูT08 เป็นครูใช้ในการสัมภาษณ์ก่อนเข้าร่วมโปรแกรม, ครูT01-ครูT04 เป็นครูที่เข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา

2.1 ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

ภาพ 22 แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรของครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยครูส่วนใหญ่มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50 ยกเว้น ครู T04 มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 50

2.2 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา



ภาพ 23 แสดงความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

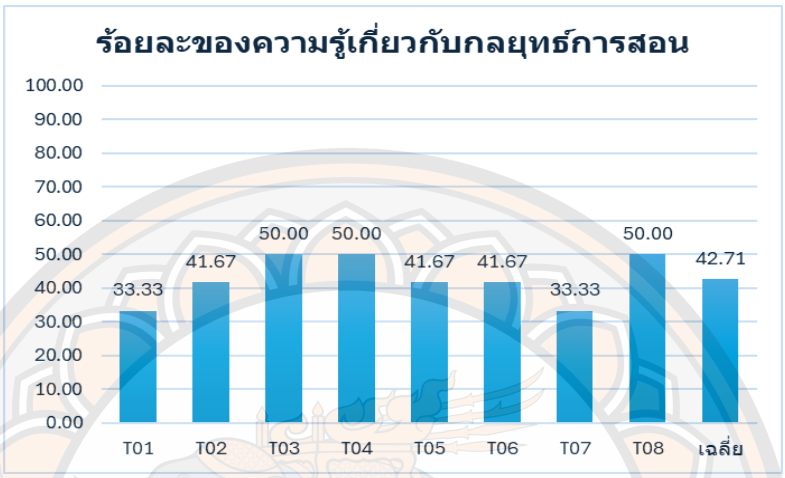
จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาของครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 50 โดยครูส่วนใหญ่มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 50 ยกเว้น ครู T01 มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50

2.3 ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

ภาพ 24 แสดงความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนของครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 50 โดยครูส่วนใหญ่มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 50 ยกเว้น ครู T03 มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50

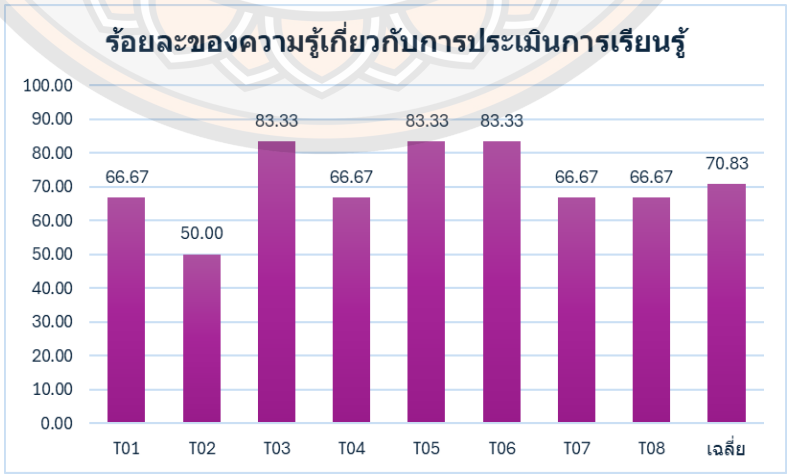
2.4 ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน



ภาพ 25 แสดงความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยครูส่วนใหญ่มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50 ยกเว้น ครู T03 ครู T04 และ ครู T08 มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50

2.5 ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้



ภาพ 26 แสดงความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ของครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 50 โดยครูส่วนใหญ่มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 50

เมื่อสรุปในภาพรวม พบว่า ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด (ร้อยละ 70.83) รองลงมาได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา (ร้อยละ 60.42) ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน (ร้อยละ 54.17) ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน (42.71) และความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร (ร้อยละ 34.38) ตามลำดับ โดยความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรมีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50

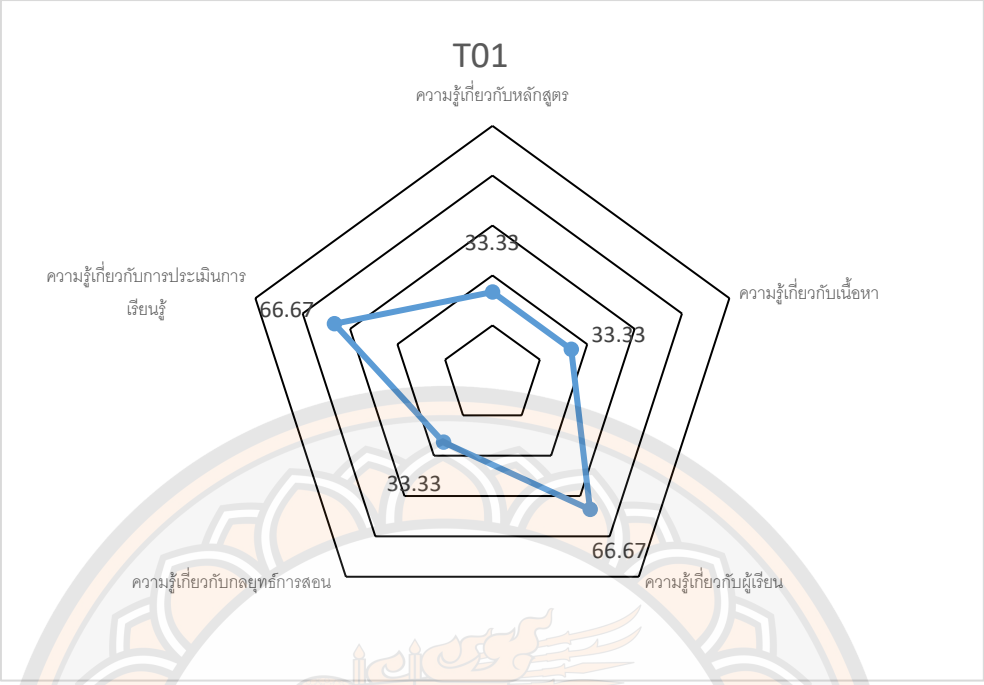
3. ผลการวิจัยเป็นรายกรณีศึกษา

3.1 การวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาภายในกรณี

ผลการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจากแบบสัมภาษณ์และแบบสังเกตการปฏิบัติการสอนของครู จำนวน 4 คน ซึ่งได้รับมอบหมายให้สอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โดยผู้วิจัยขอรายงานผลการวิจัย โดยนำเสนอข้อมูลทั่วไป และความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาตามองค์ประกอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 ครู T01

ครู T01 อายุ 28 ปี สำเร็จการศึกษาสาขาฟิสิกส์ มีประสบการณ์การสอน 2 ปี ยังไม่มีวิทยฐานะ สอนในรายวิชา ฟิสิกส์ ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีประสบการณ์ในการอบรมสะเต็มศึกษา แต่ยังไม่เคยสอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา โดยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ครู T01 ได้รับมอบหมายให้สอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 1 ห้อง ใช้เวลา 2 คาบ/สัปดาห์ ในช่วงก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ ครู T01 ได้จัดการเรียนรู้โดยใช้แนวทางสะเต็มศึกษาตามกิจกรรมสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) 2 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมบันจีจัมป์ จำนวน 6 ชั่วโมง และกิจกรรมสเลอปี้ จำนวน 6 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง โดยใช้เวลาจัดการเรียนรู้ 2 ชั่วโมง/สัปดาห์ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้พิจารณาแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างตามเกณฑ์การให้คะแนนตามพฤติกรรมบ่งชี้และการสังเกตปฏิบัติการสอน เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ซึ่งได้ข้อค้นพบจากกราฟ ดังต่อไปนี้



ภาพ 27 แสดงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู T01

จากกราฟ พบว่า ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูในภาพรวม ครู T01 มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาน้อยกว่าร้อยละ 50 ในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และร้อยละ 50 ขึ้นไปในด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ และความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน เมื่อพิจารณารายด้าน มีดังรายละเอียดต่อไปนี้

ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

ครู T01 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา โดยสามารถอธิบายว่า นักเรียนต้องนำความรู้ที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันมากำหนดวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้ และอธิบายว่า สะเต็มศึกษาเป็นการนำความรู้ต่าง ๆ มาบูรณาการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย การออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษาจะดูสิ่งที่เป็นประเด็นในชีวิตประจำวัน หรือความรู้พื้นฐานที่นักเรียนมีว่ามีความสัมพันธ์กับประเด็นที่ตั้งไว้หรือไม่ แล้วนำมาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอน
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

นอกจากนี้ครู T01 ยังไม่สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้อย่างชัดเจน โดยอธิบายว่า เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา นักเรียนต้องสามารถแก้ปัญหาที่กำหนดให้โดยใช้หลักฐาน และบอกแค่ว่าใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

แต่ครู T01 ยังไม่สามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา สอดคล้องกับมาตรฐานหลักสูตรได้ชัดเจนและเหมาะสม และไม่สามารถเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตร อีกทั้งครู T01 ยังไม่สามารถอธิบายการปรับหลักสูตรจากสาขาวิชาของตนเองมาเป็นหลักสูตรสะเต็มศึกษาได้อย่างชัดเจน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษานักเรียนจะต้องมีกระบวนการแก้ปัญหา การทำงานเป็นทีม มีการนำเสนอ ซึ่งตนเองก็รู้สึกว่ายากและมีความซับซ้อนที่จะต้องนำความรู้ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อให้นักเรียนแก้ไขปัญหาได้
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ครู T01 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการและเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษาแต่ยังไม่ส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ยังไม่สามารถเลือกเนื้อหาและเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

ครู T01 แสดงถึงความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ในสะเต็มศึกษาโดยอธิบายว่านักเรียนต้องมีความรู้ ความเข้าใจในเนื้อหาสะเต็มศึกษาก่อนการจัดการเรียนรู้ เนื่องจาก ความรู้พื้นฐานมีความจำเป็นก่อนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนต้องมีความเข้าใจในเรื่องนั้น ๆ ก่อน แต่ก็ต้องใช้เวลาในการพัฒนา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ความรู้พื้นฐานในเรื่องที่จะต้องศึกษาในสะเต็มนั้น นักเรียนจำเป็นจะต้องมีความรู้อยู่แล้ว หรือจะต้องใช้เวลาในการพัฒนาความรู้พื้นฐาน
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

ครู T01 สามารถนำความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยเมื่อสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาในเรื่อง บันจีจัมป์ พบว่า ครู T01 สามารถอธิบายเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ในเรื่อง บันจีจัมป์

ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะเนื้อหาในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ของตนเอง โดยอธิบายความรู้ในเรื่องการเปลี่ยนพลังงานได้สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน แสดงถึงมีความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี ดังการสังเกตการปฏิบัติการสอน ดังนี้

> ...การสอนเรื่อง บันจีจัมป์ ในขั้นนำ ครู T01 มีการนำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้เรื่องใกล้ตัว โดยนำสถานการณ์ข่าวเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน มากระตุ้นความสนใจของนักเรียน และสามารถอธิบายความรู้ ที่ใช้ในการทำกิจกรรมสะเต็มในเรื่อง การเปลี่ยนรูปพลังงานได้อย่างชัดเจน รวมถึงการคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง เช่น พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ ความสูงของจุดปล่อยบันจีจัมป์ การหากค่าคงที่ของสปริง เป็นต้น
>
> (ครู T01, สังเกตการปฏิบัติการสอน, 14 พฤศจิกายน 2567)

อีกทั้งคุณครู T01 คิดว่าเนื้อหาที่ใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจหลังเสร็จสิ้นการสอน เพราะคิดว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นกระบวนการที่ใช้ในการขับเคลื่อนกิจกรรมสะเต็มศึกษา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมคิดว่า เป็นเนื้อหาที่มีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจหลังจากเสร็จสิ้นกิจกรรม
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

และจากการสังเกตยังพบว่าครู T01 ยังถึงแสดงถึงการบูรณาการระหว่างเนื้อยังไม่เด่นชัด ซึ่งยังมองเป็นวิชาเดี่ยวแยกจากกัน และยังไม่สามารถระบุเนื้อหาสะเต็มศึกษาที่ชัดเจนก่อนการจัดการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นความรู้พื้นฐานสำหรับนักเรียน

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ครู T01 สามารถอธิบายหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้อง แต่ยังไม่สามารถเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาโดยมองเป็นวิชาเดี่ยวแยกจากกัน

ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

ครู T01 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนทำกิจกรรมได้ โดยอธิบายว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เป็นความรู้พื้นฐานสำคัญที่นักเรียนจะต้องเข้าใจเพื่อใช้เป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ในการทำกิจกรรม นักเรียนจะต้องสามารถกำหนดปัญหาและนำเสนอผลจากการศึกษาได้ นอกจากนี้นักเรียนควรมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มีกระบวนการแก้ปัญหา เพื่อใช้ในการตั้งสมมติฐาน และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

...นักเรียนควรจะต้องมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการแก้ไขปัญหา การกำหนดปัญหาการตั้งสมมติฐาน สามารถวิเคราะห์ข้อมูลก่อนที่จะทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา

(ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

...ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่องสเลอปี้ ครู T01 แสดงถึงการตรวจสอบความรู้พื้นฐานของนักเรียนก่อนทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยมีการเขียนภาพโมเลกุลของน้ำ อธิบายสถานะของน้ำ ประกอบด้วย ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งเป็นความรู้พื้นฐานในการทำกิจกรรม ซึ่งนักเรียนจำเป็นต้องมีความรู้มาก่อน มีการอธิบายทบทวนสำหรับนักเรียนที่ยังไม่เข้าใจ เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ในการทำกิจกรรมมากยิ่งขึ้น

(ครู T01, สังเกตการปฏิบัติการสอน, 12 ธันวาคม 2567)

ครู T01 สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้ โดยอธิบายว่าในการทำการทดลอง ผลการทดลองอาจไม่ตรงกับทฤษฎี ซึ่งทำให้นักเรียนมีแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ครูจำเป็นจะต้องอธิบายถึงสาเหตุของความคลาดเคลื่อน รวมถึงตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

...ความเป็นจริงทางทฤษฎีอาจไม่ตรงกับผลการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา ซึ่งพบว่ามีความคลาดเคลื่อนซึ่งไม่ตรงตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ โดยในสถานการณ์จริงอาจมีตัวแปรอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยจำเป็นที่จะต้องอธิบายให้นักเรียนทราบ

(ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ครู T01 มีการตรวจสอบความรู้พื้นฐานของนักเรียนก่อนการทำกิจกรรม สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากการทดลองที่ไม่ตรงกับทฤษฎีและมีการอธิบายเหตุผลเพิ่มเติม

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

ครู T01 สามารถเลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาอย่างหลากหลาย เช่น เข้าใจว่าการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาต้องเน้นไปที่การทำกิจกรรม มีการเขียนแผนผังเชื่อมโยงความคิดของศาสตร์ต่าง ๆ หรือทำกิจกรรมแบบกำหนดขั้นตอนให้นักเรียนทำแบบมีลำดับชัดเจน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษาจะเน้นไปที่ให้นักเรียนกิจกรรม หรือให้นักเรียนวาดแผนผังรวบรวมความคิดให้เป็นระบบ และมองว่าเป็นกิจกรรมแบบที่กำหนดขั้นตอนตายตัว
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

นอกจากนี้ถ้าพบว่า นักเรียนมีสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา ครูจะต้องเข้าไปให้ข้อชี้แนะอย่างใกล้ชิด หรือใช้วิธีการให้เพื่อนช่วยเหลือกันระหว่างกลุ่ม

ครู T01 ยังไม่สามารถใช้แนวทางการสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม โดยยังไม่สามารถอธิบายกลยุทธ์การสอนที่ใช้ในสะเต็มศึกษา เช่น กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างชัดเจนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในช่วงแรกจึงเป็นการสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์เป็นส่วน ๆ โดยไม่เน้นการบูรณาการระหว่างวิชา

> ...ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่องบันจีจัมป์ ครู T01 จะใช้การเขียนภาพอธิบายหลักการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การเปลี่ยนรูปพลังงาน ซึ่งเป็นเนื้อหาที่มีความเข้าใจเป็นอย่างดี มีการยกตัวอย่างสถานการณ์ให้นักเรียนเพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น แต่ยังไม่เน้นการบูรณาการความรู้ระหว่างศาสตร์ในสะเต็มศึกษามากนัก
>
> (ครู T01, สังเกตการปฏิบัติการสอน, 14 พฤศจิกายน 2567)

อีกทั้งครู T01 ไม่สามารถอธิบายวิธีการออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหาสาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษาอย่างเหมาะสม โดยอธิบายว่าถ้าจะออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาก็จะเน้นไปในเรื่องที่ตนเชี่ยวชาญและเป็นสาขาที่ตนเองจบมา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา จะเน้นไปทางด้านที่ตนเองถนัดคือฟิสิกส์ เช่น ให้สร้างสะพานจากสิ่งของที่มีจำกัด หรือให้ตัวเลือกที่หลากหลาย หรือให้เลือกวัสดุที่เหมาะสม มีความคุ้มค่า หรือการลอยของเรือที่ใช้ในการบรรทุกสิ่งของ โดยต้องออกแบบตามความรู้เดิมของนักเรียน ระยะเวลา และอุปกรณ์ที่มี เป็นต้น
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ครู T01 ต้องเน้นไปที่การทำกิจกรรมโดยแนวทางการสอนยังไม่เน้นที่กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม รวมถึงยังไม่สามารถระบุขั้นตอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่แสดงถึงการบูรณาการความรู้ของศาสตร์ต่าง ๆ ในสะเต็มศึกษา

ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

ครู T01 สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมิน และเลือกวิธีการในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้ บางส่วน โดยอธิบายว่าสะเต็มศึกษาจะเน้นการประเมินทักษะกระบวนการเป็นหลัก เช่น กระบวนการแก้ปัญหา ความรู้ที่ใช้ในการแก้ปัญหา แต่ยังไม่สามารถระบุสิ่งที่จะประเมินในด้านความรู้ ทักษะ เจตคติ ได้อยากครบถ้วนดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...การประเมินสะเต็มศึกษาจะดูกระบวนการเป็นหลัก เช่น กระบวนการแก้ปัญหา สามารถบอกได้ว่าความรู้ที่ใช้ในสถานการณ์มีความรู้ใดบ้าง โดยใช้แบบบันทึกที่มีตารางเช็คว่านักเรียนออกแบบมาตรงตามที่ออกแบบหรือไม่
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

ครู T01 มีการอธิบายถึงหลักฐานที่ใช้ในการประเมินได้หลากหลาย โดยระบุว่าใช้แบบประเมินการนำเสนอ ประเมินใบกิจกรรม สังเกตการทำงานกลุ่ม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ใช้การวัดและประเมินผลช่วงท้ายกิจกรรมว่านักเรียนนำเสนอเป็นอย่างไร และหลักฐานที่นักเรียนทำในใบกิจกรรม ระหว่างนั้นก็มีการสังเกตพฤติกรรมไปด้วย เช่น การทดลองหรือกระบวนการทำกิจกรรม
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

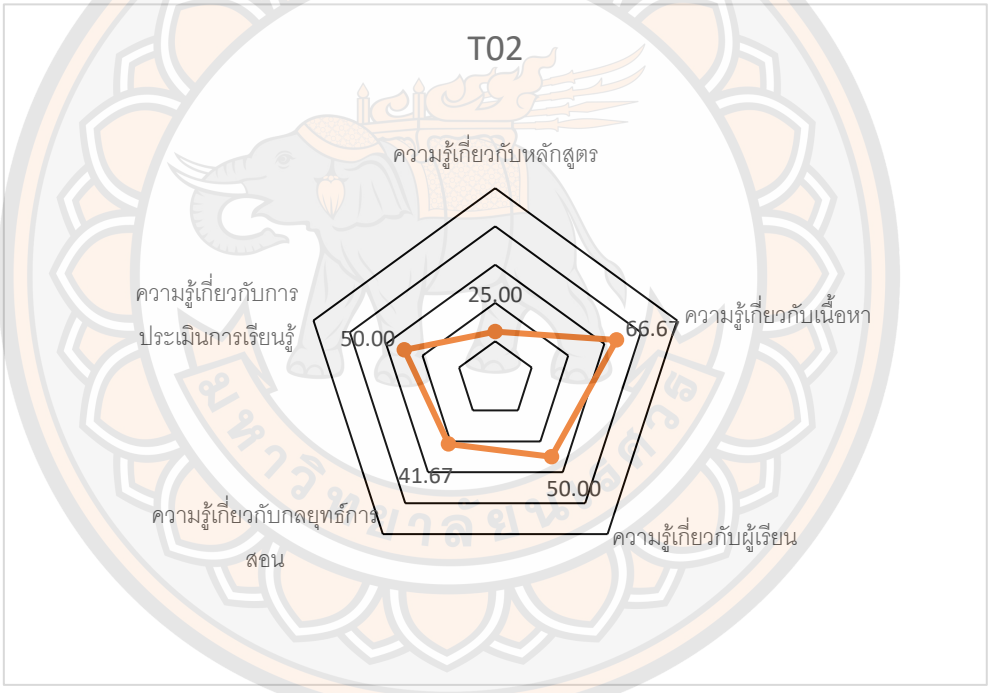
สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ ครู T01 ยังไม่สามารถระบุสิ่งที่ประเมินได้อย่างครบถ้วน โดยระบุแค่ประเมินด้านกระบวนการเท่านั้น แต่สามารถอธิบายหลักฐานที่ใช้ในการประเมินได้อย่างอย่างหลากหลาย

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นสรุปได้ว่า ครู T01 ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์การบูรณาการในสะเต็มศึกษาได้แต่ยังไม่ส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21ขาดความชัดเจนในการเลือกเนื้อหาและสื่อการสอนที่เชื่อมโยงระหว่างศาสตร์ให้สอดคล้องกับมาตรฐานหลักสูตร สามารถตรวจสอบความรู้พื้นฐาน และวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อน กลยุทธ์การสอนยังไม่เน้นที่กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ขั้นตอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่แสดงถึงการบูรณาการความรู้ของศาสตร์ต่าง ๆ ในสะเต็มศึกษา ยังไม่สามารถระบุสิ่งที่ประเมินได้อย่างครบถ้วน

กรณีศึกษาที่ 2 ครู T02

ครู T02 อายุ 40 ปี สำเร็จการศึกษาสาขาฟิสิกส์ มีประสบการณ์สอน 18 ปี ยังไม่มีวิทยฐานะ สอนในรายวิชา วิทยาศาสตร์กายภาพ(ฟิสิกส์) ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีประสบการณ์

ในการอบรมสะเต็มศึกษา แต่ยังไม่เคยสอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา โดยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ครู T02 ได้รับมอบหมายให้สอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 1 ห้อง ใช้เวลา 2 คาบ/สัปดาห์ โดยในช่วงก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ ครู T02 ได้จัดการเรียนรู้โดยใช้แนวทางสะเต็มศึกษาตามกิจกรรมสะเต็มศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) 2 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมบันจีจัมป์ จำนวน 6 ชั่วโมง และกิจกรรมสเลอปี้ จำนวน 6 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง โดยใช้เวลาจัดการเรียนรู้ 2 ชั่วโมง/สัปดาห์ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้พิจารณาแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างและการสังเกตปฏิบัติการสอน เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ซึ่งในข้อค้นพบจากการศึกษา ดังต่อไปนี้



ภาพ 28 แสดงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู T02

จากกราฟ พบว่า ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู ครู T02 มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มน้อยกว่าร้อยละ 50 ในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร และความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และร้อยละ 50 ขึ้นไปในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ พิจารณารายด้านมีรายละเอียดต่อไปนี้

ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

ครู T02 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษาได้ โดยอธิบายเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ ให้นักเรียน รู้จักการบูรณาการความรู้ที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการทำกิจกรรม และสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน โดยการออกแบบกิจกรรมตามหลักสูตรสะเต็มศึกษา ควรออกแบบกิจกรรมที่สามารถให้นักเรียนใช้ศาสตร์ทั้ง 4 ศาสตร์ของสะเต็มได้ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...การออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษาควรออกแบบกิจกรรมที่สามารถให้นักเรียนใช้ศาสตร์ทั้ง 4 ศาสตร์ของสะเต็ม ในส่วนตัวกิจกรรมคิดว่าใช้กิจกรรมตามที่หนังสือได้ออกแบบมาจะง่ายกว่าคิดเอง ถ้าคิดเองก็ยังมองภาพไม่ออกว่าจะต้องวัดอะไรยังไง
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

อีกทั้งครู T02 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้โดยอธิบายว่า หลักสูตรสะเต็มศึกษาจะเน้นที่การทำกิจกรรมให้นักเรียนมีกระบวนการคิด ได้ลงมือปฏิบัติ ใช้ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ในการอธิบายเหตุผลประกอบในการทำกิจกรรมเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย

แต่ครู T02 ไม่สามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา สอดคล้องกับมาตรฐานหลักสูตร และไม่สามารถเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตร อีกทั้งครู T02 ยังไม่สามารถอธิบายการปรับหลักสูตรจากสาขาวิชาของตนเองมาเป็นหลักสูตรสะเต็มศึกษาได้อย่างชัดเจน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...หลักสูตรสะเต็มศึกษาจะเน้นที่กิจกรรมเป็นส่วนใหญ่เน้นให้นักเรียนได้คิด สามารถคิดเอง ทำเอง มีทฤษฎีประกอบในการทำกิจกรรม เพื่อให้บรรลุเป้าหมายสะเต็มส่วนการสอนวิทยาศาสตร์ก็จะเน้นทฤษฎีค่อนข้างมาก โดยที่สะเต็มจะเน้นไปในทางปฏิบัติมากกว่า
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลักสูตรสะเต็มศึกษาแตกต่างจากหลักสูตรวิทยาศาสตร์ที่การเน้นทฤษฎีและการปฏิบัติเท่านั้นยังไม่แสดงถึงการบูรณาการความรู้ การเชื่อมโยงเนื้อหา

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ครู T01 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการและเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษามีการส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 แต่ยังไม่สามารถเลือกเนื้อหา สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

ครู T02 มีความรู้และสามารถนำความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี โดยอธิบายว่า วิทยาศาสตร์แตกต่างจากสะเต็มศึกษาในด้านที่สะเต็มศึกษาเป็นการนำความรู้ศาสตร์ในด้าน วิศวกรรม คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยี นำไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...เนื้อหาวิทยาศาสตร์ไม่ค่อยจะแตกต่างจากสะเต็มศึกษามากนัก แต่แตกต่างกันตรงที่สะเต็มศึกษาเป็นการเพิ่มศาสตร์อื่นเข้ามา เช่น วิศวกรรม คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยี ซึ่งจะมีบางเนื้อหาที่เราไม่เชี่ยวชาญในด้านนั้นจะต้องไปศึกษาเพิ่มเติม เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

> ...ในการสังเกตการการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ในเรื่อง สเสอปี้ ครู T02 มีการอธิบายเนื้อหาทางด้านเคมี ในเรื่อง สมบัติคอลลิเกทีฟยังไม่ชัดเจน ซึ่งแสดงถึงครูยังมีความเข้าใจเนื้อหาที่ยังไม่ชัดเจน เพราะเป็นเนื้อหาที่ไม่ตรงกับสาขาของครูเอง
>
> (ครู T02, สังเกตการปฏิบัติการสอน, 3 ธันวาคม 2567)

นอกจากนี้ควร ครู T02 ยังอธิบายว่า เนื้อหา วิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจก่อนการจัดการเรียนรู้ รวมถึงเนื้อหากระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม นักเรียนควรมีความเข้าใจเมื่อเสร็จสิ้นการสอน

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ครู T02 เข้าใจว่าเนื้อหาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมมีความสำคัญในสะเต็มศึกษา แต่ยังมีความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์และการเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหายังไม่ชัดเจน

ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

ครู T02 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่ผู้เรียนจำเป็นของผู้เรียนก่อนทำกิจกรรมโดยอธิบายว่า นักเรียนควรมีความรู้ในขั้นตอนของกิจกรรมที่คุณครูให้ลงมือทำ ต้องมีความรู้ในส่วนของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี รวมถึงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนควรมีความรู้ก่อนการทำกิจกรรมโดยต้องมีความรู้ในขั้นตอนของกิจกรรมที่คุณครูให้ลงมือปฏิบัติ มีความรู้ในส่วนของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี รวมถึงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งควรจะมีครบทั้ง 4 ศาสตร์
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

แต่ครู T02 ยังไม่สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนมีสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในด้านทฤษฎี ทางวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์เท่านั้น ซึ่งไม่สามารถยกตัวอย่างแนวคิดที่คลาดเคลื่อนที่พบเจอได้ในห้องเรียนได้และวิธีการแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนนั้น นอกจากนี้ยังไม่สามารถอธิบายได้ว่านักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างชัดเจน โดยอธิบายเพียงแค่ว่าดูจากผลการทำกิจกรรม และการนำเสนอของนักเรียน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ดูได้จากผลการทำกิจกรรมเพื่อจะทราบว่านักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้และการนำเสนอของนักเรียน การสอบถามนักเรียนว่านักเรียนมีความรู้ในขณะทำการทดลองหรือไม่ และสังเกตนักเรียนว่านักเรียนได้ทำตามเป้าหมายที่เราวางแผนไว้หรือไม่
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

นอกจากนี้ครู T02 ยังไม่แสดงถึงวิธีการตรวจสอบว่านักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษาอย่างไร

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ครู T02 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐาน แต่ยังขาดการวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษา รวมถึงการตรวจสอบว่านักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

ครู T02 สามารถเลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่าวิธีการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาจะเน้นการทำกิจกรรมมากกว่าการสอนวิทยาศาสตร์ โดยยกตัวอย่างสถานการณ์ใกล้ตัวนักเรียน หรือเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน เพื่อให้นักเรียนตามความเข้าใจเกี่ยวกับสะเต็มศึกษา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...กิจกรรมการสอนฟิสิกส์ก็จะเน้นทางทฤษฎีมากกว่าสะเต็มศึกษา โดยกิจกรรมทางฟิสิกส์ก็มีกิจกรรมในการทดลองเหมือนกันแต่จะไม่มากเหมือนการสอนวิชาสะเต็ม โดยสะเต็มศึกษาจะเน้นการทำกิจกรรมเป็นหลัก
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

นอกจากนี้ครู T02 สามารถใช้แนวทางการสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม โดยอธิบายว่าเพื่อให้บรรลุเป้าหมายจะออกแบบกิจกรรมตามแนวทางของสถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คือ ให้นักเรียนมีความรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ ก่อนที่จะนำความรู้ไปใช้ในการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...คิดว่าจะใช้กระบวนการตามแนวทางของ สสวท. คือ ให้ความรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ ก่อน และมีกิจกรรมที่นำความรู้ต่าง ๆ ไปใช้ ให้ตรงกับเรื่องที่เราได้ออกแบบไว้
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

แต่ครู T02 ยังไม่สามารถแสดงถึงการจัดกิจกรรมที่สอดคล้องกับเนื้อหาสาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษาอย่างเหมาะสม โดยไม่สามารถระบุขั้นตอนในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ศึกษาได้อย่างชัดเจนรวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการจัดกิจกรรม

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ครู T02 เข้าใจว่าสะเต็มศึกษาจะเน้นให้นักเรียนลงมือปฏิบัติตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรกรรม แต่ยังไม่สามารถอธิบายขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างชัดเจนรวมถึงการเชื่อมโยงเนื้อหาศาสตร์ต่าง ๆ ในสะเต็มศึกษา

ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

ครู T02 สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา แต่ไม่สามารถเลือกวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย โดยอธิบายว่าสิ่งที่ประเมินในสะเต็มศึกษาเป็นการประเมินในภาคปฏิบัติ ผลการทำกิจกรรม การนำเสนอ โดยประเมินในช่วงระหว่างทำกิจกรรมเท่านั้น โดยไม่สามารถระบุหลักฐานที่ใช้ในการประเมิน ดังคำสัมภาษณ์ดังนี้

> ...การประเมินในรายวิชาวิชาวิทยาศาสตร์ก็จะเน้นทางทฤษฎี แต่ถ้าเป็นรายวิชาสะเต็มจะเน้นในกิจกรรมในภาคปฏิบัติ โดยประเมินผลจากการทำกิจกรรมโดยการนำเสนอ ประเมินจากผลงาน และประเมินผลระหว่างเรียนโดยศึกษาระหว่างการทำกิจกรรม
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ ครู T02 ยังไม่สามารถระบุสิ่งที่ประเมินได้อย่างหลากหลาย ขาดเครื่องมือ และหลักฐานที่ใช้การประเมิน

จากการวิเคราะห์กรณีศึกษาครู T02 พบว่า ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์การบูรณาการและส่งเสริมทักษะศตวรรษที่ 21 ได้ แต่ยังขาดความชัดเจนในการเลือกเนื้อหาและ

สื่อการสอนที่สอดคล้องกับมาตรฐานหลักสูตร อีกทั้งยังไม่อธิบายขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างลึกซึ้ง มีความเข้าใจที่ไม่ชัดเจนในการสอนในเนื้อหาที่ไม่ตรงสาขา ขาดการตรวจสอบแนวคิดคลาดเคลื่อนของผู้เรียน และยังไม่สามารถระบุขั้นตอนการเชื่อมโยงข้ามสาขาได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้การประเมินผลยังจำกัดเฉพาะการสังเกตระหว่างกิจกรรม โดยขาดวิธีการเครื่องมือ และหลักฐานการประเมินที่หลากหลาย

กรณีศึกษาที่ 3 ครู T03

ครู T03 อายุ 45 ปี สำเร็จการศึกษาสาขาเคมี มีประสบการณ์การสอน 18 ปี วิทยฐานะชำนาญการพิเศษ สอนในรายวิชา เคมี ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีประสบการณ์ในการอบรมสะเต็มศึกษา และเคยสอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา โดยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ครู T03 ได้รับมอบหมายให้สอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 1 ห้อง ใช้เวลา 2 คาบ/สัปดาห์ โดยในช่วงก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ ครู T01 ได้จัดการเรียนรู้โดยใช้แนวทางสะเต็มศึกษาตามกิจกรรมสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมบันจีจัมป์ จำนวน 6 ชั่วโมง และกิจกรรมสเลอปี้ จำนวน 6 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง โดยใช้เวลาจัดการเรียนรู้ 2 ชั่วโมง/สัปดาห์ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้พิจารณาแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และการสังเกตปฏิบัติการสอน ซึ่งในข้อค้นพบจากการศึกษา ดังต่อไปนี้

ภาพ 29 แสดงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู T03

จากภาพ พบว่า ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู ครู T03 มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาอยู่ในระดับน้อยกว่าร้อยละ 50 ในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน และร้อยละ 50 ขึ้นไปในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ มีรายละเอียดต่อไปนี้

ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

ครู T03 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า ได้กำหนดหลักสูตรสะเต็มศึกษาโดยให้นักเรียนได้มีการลงมือปฏิบัติ มีการทำการทดลอง และบูรณาการความรู้ในศาสตร์อื่น ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...กำหนดหลักสูตรในสาขาวิชาของตนเองกับหลักสูตรสะเต็มศึกษามีความคล้ายกัน คือ ให้นักเรียนได้ทำการทดลอง มีการบูรณาการ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ในส่วนที่ต่างกัน คือ ในหลักสูตรเคมีไม่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรม
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 9 มกราคม 2568)

ครู T03 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 โดยอธิบายว่า เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ เมื่อจัดการเรียนรู้แล้วนักเรียนสามารถที่จะคิดเอง ออกแบบเอง และสร้างผลงานเองได้ โดยมีการออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...เพื่อบรรลุเป้าหมายได้ออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษา และนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอนตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของ สสวท. นักเรียนสามารถที่จะคิดเอง ออกแบบเอง และสร้างผลงานเองได้
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 9 มกราคม 2568)

แต่ครู T03 ยังไม่สามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตร และไม่สามารถเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ครู T03 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการและเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 แต่ไม่สามารถเลือกเนื้อหาสื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา

ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

ครู T03 แสดงถึงความรู้และสามารถนำความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีในสะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า เนื้อหาที่มีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจก่อนการจัดการเรียนรู้ คือ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นักเรียนจะต้องเข้าใจก่อน แล้วจึงนำความรู้ทั้ง 4 ศาสตร์ในสะเต็มศึกษามาบูรณาการ และเมื่อเสร็จสิ้นการสอนสะเต็มศึกษา นักเรียนจะต้องมีความรู้ในเนื้อหาทั้ง 4 ศาสตร์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...เนื้อหาที่มีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจเมื่อเสร็จสิ้นการสอน นักเรียนจะต้องรู้ว่าอะไรคือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ อะไรเป็นความรู้ทางคณิตศาสตร์ อะไรเป็นความรู้ทางเทคโนโลยีและอะไรเป็นความรู้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 9 มกราคม 2568)

แต่ครู T03 ยังไม่สามารถยกตัวอย่างเนื้อหาที่ใช้ในสะเต็มศึกษาได้อย่างชัดเจน และบอกได้ว่าเนื้อหาในสะเต็มต้องเป็นอย่างไร โดยอธิบายเพียงว่า สะเต็มศึกษาจะให้นักเรียนได้คิดออกแบบอย่างหลากหลาย หรือคิดหาวิธีที่จะบรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...เคมีจะมีกรอบความคิดให้นักเรียนเลยนักเรียนต้องทำการทดลองปฏิบัติการทำตามนี้เพื่อให้ผลออกมาแบบนี้ แตกต่างจากสะเต็มศึกษาที่จะให้นักเรียนมีความคิดที่จะออกแบบเองได้อย่างหลากหลาย อาจจะหาวิธีการออกแบบให้บรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 9 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ครู T03 ตระหนักถึงเนื้อหาที่มีความสำคัญในสะเต็มศึกษา ยังไม่สามารถยกตัวอย่างเนื้อหาที่ใช้ในสะเต็มศึกษาและการเชื่อมโยงเนื้อหาได้อย่างเหมาะสม

ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

ครู T03 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนทำกิจกรรมได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนควรมีความรู้ในพื้นฐานในเรื่องคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมก่อนที่จะทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา หรือถ้านักเรียนยังไม่มีความรู้ก็ต้องมีการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนก่อน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนจะต้องมีความรู้พื้นฐานในเรื่องคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม ถ้านักเรียนยังไม่มีความรู้ในเรื่องดังกล่าวก็จะต้องมีการจัดการเรียนรู้ ต้องมีการสอนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและมีการลงมือปฏิบัติจริง
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 9 มกราคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T03 อธิบายว่า นักเรียนจะบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษาสังเกตได้จากเมื่อเสร็จสิ้นการสอนแล้ว นักเรียนต้องสามารถนำเสนอ อธิบายขั้นตอนการแก้ปัญหาตามเกณฑ์ที่กำหนดได้อย่างครบถ้วน

แต่ครู T03 ไม่สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนไม่มีสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสะเต็มศึกษา แสดงให้เห็นว่าครูยังไม่พบเจอในห้องเรียนหรือยังไม่มีการตรวจสอบแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนรวมทั้งวิธีการเปลี่ยนแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

> ...สังเกตได้จากการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ในเรื่อง สเลอปี้ ครูจะกำหนดขั้นตอนการทำกิจกรรมอย่างชัดเจน และให้นักเรียนทุกกลุ่มลงมือทำกิจกรรม และสรุปผลจากการทำกิจกรรมหลังจากเสร็จสิ้นกิจกรรมโดยทันที โดยขาดการตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนหลังการทำกิจกรรม
>
> (ครู T03, สังเกตการปฏิบัติการสอน, 19 ธันวาคม 2567)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ครู T03 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียน แต่ไม่สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

ครู T03 สามารถเลือกวิธีการสอนแนวทางการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า ใช้กลยุทธ์ในการสอนแบบ Active Learning ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ ทำการทดลองด้วยตนเอง ให้เกิดความร่วมมือกันภายในกลุ่ม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...กลยุทธ์ที่ใช้จัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเป็นกลยุทธ์ในการสอนแบบ Active Learning ให้นักเรียนได้ทำการฝึกปฏิบัติทดลองด้วยตนเอง นักเรียนได้ร่วมมือกันเป็นกลุ่ม
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 9 มกราคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T03 อธิบายว่า เมื่อนักเรียนพบในเรื่องที่ยากหรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนก็จะให้นักเรียนศึกษาหรือสืบค้นเพิ่มเติม เพื่อทำความเข้าใจด้วยตนเอง โดยครู T03 สามารถใช้แนวทางการสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม โดยอธิบายว่า ได้วางแผนออกแบบบทเรียน โดยพิจารณากิจกรรมว่าต้องใช้ความรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างไร ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ครูวางแผนออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษาโดยพิจารณาว่ากิจกรรมต้องการให้นักเรียนมีความรู้ในส่วนของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ให้มีความสอดคล้องกันอย่างไร เพื่อให้นักเรียนสามารถใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมได้อย่างไร
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 9 มกราคม 2568)

แต่ครู T03 ไม่สามารถแสดงถึงการออกแบบกิจกรรมที่สอดคล้องกับเนื้อหาสาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษาอย่างเหมาะสม โดยอธิบายวิธีการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้โดยนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม มาบูรณาการกัน

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ครู T03 สามารถเลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา แต่ยังไม่สามารถระบุขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และการเชื่อมสาขาวิชาในสะเต็มศึกษาได้อย่างชัดเจน

ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

ครู T03 สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมินและวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย โดยอธิบายว่า การประเมินในสะเต็มศึกษาจะประเมินการทำงานเป็นกลุ่ม การบูรณาการความรู้ การทำงานร่วมกัน ชิ้นงาน และการนำเสนอชิ้นงาน โดยใช้แบบประเมิน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษาจะประเมินการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม การนำความรู้ทั้ง 4 ด้านมาบูรณาการการทำงานร่วมกันในการสร้างชิ้นงานผลงานที่ได้ออกมา ตลอดจนการนำเสนอชิ้นงาน
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 9 มกราคม 2568)

โดยใช้เครื่องมือประเมินในช่วงก่อนการจัดการเรียนรู้ ขณะจัดการเรียนรู้ และหลังจากการจัดการเรียนรู้

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ ครู T03 ครูมีการประเมินอย่างหลากหลาย แต่ยังไม่ระบุหลักฐานหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินได้อย่างชัดเจน

จากการวิเคราะห์กรณีศึกษาครู T03 พบว่า ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์และใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการจัดการเรียนรู้ได้ แต่ยังไม่สามารถเลือกเนื้อหาและสื่อการสอนที่เชื่อมโยงระหว่างศาสตร์ในสะเต็มศึกษาที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังไม่สามารถยกตัวอย่างการเชื่อมเนื้อหาข้ามศาสตร์ได้ ครูยังขาดการตรวจสอบและวิเคราะห์แนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนอย่างเป็นระบบ กลยุทธ์การสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในการประเมินมีการใช้วิธีการที่หลากหลาย แต่ยังขาดการระบุหลักฐานและเกณฑ์ประเมินที่ชัดเจน

กรณีศึกษาที่ 4 ครู T04

ครู T04 อายุ 45 ปี สำเร็จการศึกษาสาขาเคมี มีประสบการณ์การสอน 19 ปี วิทยฐานะชำนาญการพิเศษ สอนในรายวิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีประสบการณ์ในการอบรมสะเต็มศึกษา และเคยสอนในรายวิชาสะเต็มศึกษาในปีการศึกษาที่ผ่านมา โดยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ครู T04 ได้รับมอบหมายให้สอนในรายวิชาสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 1 ห้อง ใช้เวลา 2 คาบ/สัปดาห์ จากการสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา สัมภาษณ์ และสังเกตการปฏิบัติการสอน ผลวิจัยปรากฏดังนี้

ภาพ 30 แสดงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู T04

จากภาพ พบว่า ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู ครู T04 มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาอยู่ในระดับร้อยละ 50 ขึ้นไปในทุกด้าน เมื่อพิจารณารายด้านมีรายละเอียดต่อไปนี้

ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

ครู T04 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ นักเรียนมีการบูรณาการความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี และมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ นักเรียนต้องบูรณาการความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี และมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

โดยครู T04 สามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ได้ชัดเจนและเหมาะสม โดยได้ยกตัวอย่างในเรื่องการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้เนื้อหาไฟฟ้าเคมี อาศัยวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวัน สร้างสถานการณ์ให้นักเรียนผลิตกระแสไฟฟ้า จากเซลล์ไฟฟ้าเคมี ทำให้หลอดไฟติด ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...คิดว่าจะออกแบบกิจกรรมโดยใช้เนื้อหาไฟฟ้าเคมี อาศัยวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวัน สร้างสถานการณ์ให้นักเรียนผลิตกระแสไฟฟ้า จากเซลล์ไฟฟ้าเคมี ทำให้หลอดไฟติด มีการใช้ความรู้ทางด้านเคมี ใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ ใช้ความรู้ทางเทคโนโลยี เช่น มัลติมิเตอร์ มีการให้นักเรียนเขียนกราฟซึ่งจะต้องดูจำนวนเวลาที่ให้ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T04 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 โดยอธิบายว่า เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา เป็นการพัฒนากระบวนการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม พัฒนานักเรียนให้เกิดทักษะด้านการคิดขั้นสูง เช่น คิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ และอธิบายว่าสะเต็มศึกษาไม่ได้เน้นเฉพาะเนื้อหาวิทยาศาสตร์ จะเป็นการบูรณาการ โดยกำหนดสถานการณ์ขึ้นมา แต่จะใช้ความรู้ที่นักเรียนเรียนอะไรมาบ้างแล้ว ในวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี มาพัฒนาทักษะในการแก้ปัญหาหรือกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษาไม่ได้เน้นเฉพาะเนื้อหาเคมี จะเป็นการบูรณาการโดยกำหนดสถานการณ์ขึ้นมา แต่จะใช้ความรู้ในเรื่องที่นักเรียนได้เรียนมาแล้ว เช่น ม. 5 นักเรียนเรียนอะไรมาบ้างแล้ว ในวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่สามารถนำมาใช้ได้เลย มาพัฒนาทักษะในการแก้ปัญหาหรือกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ครู T04 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการและเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา วัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สามารถเลือกเนื้อหา และสื่อการสอนที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา

ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

ครู T04 มีความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี โดยอธิบายว่าเนื้อหาในสะเต็มศึกษาขึ้นอยู่กับว่าจะออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้อย่างไร โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี โดยในการจัดการเรียนรู้นักเรียนต้องมีความรู้ในการทำกิจกรรมนั้น ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษาขึ้นอยู่กับครูว่าจะออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้อย่างไรบ้าง ก็จะใช้ความรู้ที่หลากหลายไม่ใช่เฉพาะเคมี อาจจะเป็นเนื้อหาฟิสิกส์ ชีวะ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี หรืออาจจะไม่ใช่เนื้อหาที่นักเรียนเรียนอยู่ในระดับชั้นนั้น อาจจะเป็นเนื้อหาที่เรียนมาแล้วหรือเป็นเนื้อหาที่กำลังเรียนก็ได้
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

โดยเนื้อหาหรือองค์ความรู้ที่จะต้องนำมาใช้ แก้ปัญหาในสถานการณ์หรือสิ่งที่กำหนดให้ ซึ่งถ้าเป็นกิจกรรมที่เหมาะสมควรเป็นความรู้ที่นักเรียนได้เรียนมาแล้ว

นอกจากนี้ครู T04 สามารถนำความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยอธิบายว่าเนื้อหาเกี่ยวกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นเนื้อหาที่มีความสำคัญในสะเต็มศึกษา เพราะใช้ในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่ครูกำหนด ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนต้องเข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และเนื้อหาที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่ครูกำหนด สามารถนำเสนอได้ ดูประสิทธิภาพของชิ้นงาน หรือวิธีการแก้ปัญหา
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ครู T04 มีความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม แต่ยังไม่แสดงถึงการบูรณาการเนื้อหาในสะเต็มศึกษาได้อย่างชัดเจน

ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

ครู T04 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนทำกิจกรรมได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนควรมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมก่อนทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา ควรมีทักษะการคิดแก้ปัญหา ทักษะการคิดวิเคราะห์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนควรมีองค์ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ทักษะที่นักเรียนควรมี เช่น ทักษะการคิด มีทักษะการคิดแก้ปัญหา ทักษะการคิดวิเคราะห์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ถ้าไม่ได้ฝึกให้เด็กคิดวิเคราะห์แก้ปัญหาพอมาเจอสถานการณ์ ที่กำหนดให้ในสะเต็มศึกษาจะค่อนข้างช้า แต่ถ้ามีทักษะอยู่บ้างการทำกิจกรรมก็จะเป็นไปด้วยความรวดเร็ว
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

นอกจากนี้ครูยังอธิบายว่านักเรียนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยดำเนินการตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งประกอบไปด้วยการระบุปัญหา รวบรวมข้อมูลและแนวคิด ออกแบบ ดำเนินการ ประเมินผล และสามารถนำเสนอได้และจะประเมินทักษะด้วยทักษะในการแก้ปัญหา

ครู T04 สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า นักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในขั้นตอนรวบรวมข้อมูลของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูล นักเรียนคิดว่าเป็นองค์ความรู้ที่มีอยู่แล้ว หรือเป็นใบความรู้ บางครั้งการรวบรวมข้อมูลอาจจะได้จากการทดลองที่ครูกำหนดกิจกรรมให้ แต่นักเรียนเข้าใจว่าเป็นการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาในขั้นที่ 3 ของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ครู T04 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียน สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษา

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

ครู T04 สามารถใช้วิธีการสอนและแนวทางการสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม โดยอธิบายว่า กลยุทธ์ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา จะใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...การสอนสะเต็มศึกษาจะใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างโดยใช้บูรณาการเนื้อหาต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์ ส่วนวิทยาศาสตร์จะใช้กระบวนการสืบเสาะกลยุทธ์จะค่อนข้างหลากหลายกว่า ตามความเหมาะสมของเนื้อหาที่ใช้ในการสอนในแต่ละเรื่อง
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

นอกจากนี้กลยุทธ์ที่ให้นักเรียนทำความเข้าใจสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในสะเต็มศึกษา โดยครูจะเข้าไปแนะนำ ให้คำแนะนำให้ข้อเสนอแนะ อาจจะชี้นำบ้างเป็นบางครั้ง นักเรียนบางคนก็จะอธิบายเพิ่มเติม

ครู T04 สามารถออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหาสาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษาอย่างเหมาะสม ยังไม่ชัดเจนมากนักโดยอธิบาย วิธีการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยตั้งเป็นสถานการณ์ ให้แก้ปัญหาโดยมีข้อจำกัดต่าง ๆ และให้แก้ปัญหา ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ในการออกแบบกิจกรรมจัดตั้งเป็นสถานการณ์ ให้แก้ปัญหาโดยมีข้อจำกัดต่าง ๆ และให้แก้ปัญหาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน จากนั้นให้นำเสนอและประเมินผลว่า เรียนบรรลุในวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้หรือไม่
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ครู T04 สามารถใช้วิธีการสอนสอดคล้องกับสะเต็มศึกษา สามารถระบุขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างชัดเจน แต่ยังไม่สามารถยกตัวอย่างกิจกรรมการเรียนการสอนได้อย่างชัดเจน รวมถึงปัญหาและอุปสรรคที่อาจพบในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้

ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

ครู T04 สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมินและเลือกวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลายและเหมาะสม โดยอธิบายว่า สะเต็มศึกษาจะประเมินจากทักษะกระบวนการที่ใช้ในการแก้ปัญหา อาจจะดูจากใบกิจกรรม การตอบคำถาม มากกว่าที่จะประเมินโดยใช้ข้อสอบ โดยใช้รูบริคในการประเมิน มีเกณฑ์ให้คะแนนที่เป็นระดับคุณภาพ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษาจะไม่ได้วัดที่เป็นเนื้อหาโดยตรง สะเต็มจะประเมินจากทักษะการทดลอง สะเต็ม จะประเมินจากทักษะกระบวนการที่ใช้ในการแก้ปัญหา อาจจะดูจากใบกิจกรรมที่ทำ การตอบคำถาม มากกว่าที่จะประเมินโดยใช้ข้อสอบ ใช้รูบริคในการประเมินที่ปรับปรุงมาจากของ สสวท. มีเกณฑ์ให้คะแนนที่เป็นระดับคุณภาพ โดยมีการประเมินระหว่างเรียน การนำเสนอหลังเรียน
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 7 มกราคม 2568)

สรุปได้ว่าในด้านความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ครู T04 ครูมีวิธีการประเมินอย่างหลากหลาย และสามารถระบุหลักฐานหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินได้อย่างชัดเจน

จากการวิเคราะห์กรณีศึกษาครู T04 พบว่า ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์และออกแบบกิจกรรมที่เชื่อมโยงระหว่างศาสตร์ในสะเต็มศึกษาได้อย่างสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ รวมทั้งตระหนักถึงการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 แต่ยังมีข้อจำกัดในการออกแบบกิจกรรมจริงที่ต้องอาศัยประสบการณ์และความชัดเจนในการกำหนดขั้นตอนการเรียนรู้ นอกจากนี้ครูสามารถตรวจสอบความรู้พื้นฐานและวิเคราะห์แนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนได้ ใช้กลยุทธ์การสอนที่เหมาะสมกับสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ขณะที่ด้านการประเมินมีการเลือกวิธีการที่หลากหลายและใช้หลักฐานและเกณฑ์การประเมินที่ครอบคลุม

3.2 ผลการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาระหว่างกรณีก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

การวิเคราะห์ระหว่างกรณี มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการพัฒนาความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู 4 กรณี โดยเปรียบเทียบในประเด็นความสอดคล้องและความแตกต่างของการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิจัยแบบระหว่างกรณี ดังนี้

3.2.1 ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์และเชื่อมโยงสาระวิชาในสะเต็มศึกษา

ครูทุกคนกำหนดวัตถุประสงค์ที่สะท้อนการบูรณาการในสะเต็มศึกษาและเชื่อมโยงสาระวิชาในสะเต็มศึกษา โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนใช้ความรู้แก้ปัญหา ฝึกกระบวนการคิด แต่มีความแตกต่างอยู่ที่ความชัดเจนของการบูรณาการ โดยครู T01 และครู T02 ยังไม่สามารถเชื่อมโยงวัตถุประสงค์กับมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดในหลักสูตรได้อย่างชัดเจน และยังขาดความมั่นใจในการออกแบบกิจกรรมที่สอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนด ครู T03 และครู T04 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนและสอดคล้องกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเฉพาะครู T04 ที่แสดงความเข้าใจเชิงลึกถึงการใช้วัตถุประสงค์เป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะสำคัญของผู้เรียน ซึ่งข้อมูลจากการสัมภาษณ์และการสังเกตการปฏิบัติการสอนแสดงให้เห็นว่า ครู T03 และ T04 มีความสอดคล้องของข้อมูลแนวทางการกำหนดเป้าหมายและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน

3.2.2 ครูตระหนักถึงความสำคัญของบูรณาการความรู้และเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหา

ครูทั้งหมดตระหนักถึงความสำคัญของการเลือกเนื้อหาที่สามารถเชื่อมโยงข้ามศาสตร์ในสะเต็มศึกษา เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบูรณาการความรู้และนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาได้จริง อย่างไรก็ตาม ระดับความสามารถในการเชื่อมโยงเนื้อหายังแตกต่างกัน ครู T01 และครู T02 ใช้เนื้อหาหรือกิจกรรมตามหนังสือเรียน ซึ่งยังไม่แสดงความสัมพันธ์อย่างชัดเจนระหว่างศาสตร์ ขณะที่ครู T03 เริ่มมีการบูรณาการเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ แต่ยังขาดทางด้านวิศวกรรม ส่วนครู T04 แสดงให้เห็นความสามารถบูรณาการเชื่อมโยงองค์ความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีเข้าด้วยกันอย่างชัดเจน ซึ่งข้อมูลจากการสัมภาษณ์และการสังเกตการปฏิบัติการสอนแสดงให้เห็นว่า ครู T04 แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนสามารถใช้ความรู้จากหลายศาสตร์ในการสร้างชิ้นงาน

3.2.3 ครูขาดความเข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างลึกซึ้ง

ครูทุกคนตระหนักถึงความสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีบทบาทสำคัญต่อการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการคิดแก้ปัญหาและการลงมือปฏิบัติ แต่มีการประยุกต์ใช้แตกต่างกัน ครู T01 และ T02 เข้าใจลำดับขั้นตอนของกระบวนการออกแบบแต่ยังไม่สามารถนำไปใช้ในกิจกรรมได้ครบถ้วน ส่วนครู T03 มีความเข้าใจชัดเจนและนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอนของ สสวท. มาใช้เป็นหลักในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ ขณะที่ครู T04 มีการประยุกต์ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นระบบในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การระบุปัญหา ออกแบบ ทดลอง ปรับปรุง ไปจนถึงการนำเสนอผลงาน

3.2.4 ครูยังขาดความรู้ในเนื้อหาที่ใช้ในการบูรณาการสะเต็มศึกษาอย่างชัดเจน

ครูทั้งหมดตระหนักถึงความสำคัญของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมแต่ยังมีความแตกต่างที่ชัดเจนในการบูรณาการ

เนื้อหาโดย ครู T01 แสดงความเข้าใจเชิงลึกในเนื้อหาวิทยาศาสตร์และสามารถอธิบายหลักการที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมสะเต็มศึกษาได้อย่างถูกต้อง โดยสามารถการแสดงการคำนวณพลังงานศักย์ พลังงานจลน์ ค่าคงที่ของสปริง แต่ยังไม่สามารถบูรณาการเนื้อหาข้ามศาสตร์ได้ชัดเจน T02 แม้เข้าใจว่าสะเต็มศึกษาควรผสานความรู้จากหลายศาสตร์ แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านความเชี่ยวชาญเฉพาะสาขาวิชาของตนเอง เช่น กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่จะต้องใช้ความรู้ทางสาขาอื่นในวิทยาศาสตร์ ขณะที่ครู T03 มองว่าเนื้อหาในสะเต็มศึกษาต้องศึกษาแยกออกจากกันก่อนการ บูรณาการ ครู T04 แสดงความเข้าใจมีการเชื่อมโยงองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์เข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาอย่างมีระบบ สังเกตได้จากการสังเกตการปฏิบัติการสอนซึ่งสอดคล้องกับการสัมภาษณ์

3.2.5 ครูมีระดับการตรวจสอบแนวคิดคลาดเคลื่อนของผู้เรียนแตกต่างกัน

ครูทุกคนเห็นว่าผู้เรียนควรมีความรู้พื้นฐานทั้งสี่ศาสตร์ก่อนทำกิจกรรม ครู T01 ใช้สถานการณ์ในชีวิตจริงเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียน แต่ยังไม่แสดงให้เห็นการตรวจสอบแนวคิดคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบ ส่วนครู T02 สามารถระบุได้ว่าผู้เรียนมักมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในด้านทฤษฎีวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ แต่ยังไม่สามารถยกตัวอย่างแนวคิดเหล่านั้นหรือวิธีการแก้ไขได้อย่างชัดเจน ครู T03 ให้ความสำคัญกับการทำให้นักเรียนเข้าใจความแตกต่างของความรู้ในแต่ละศาสตร์หลังการเรียน แต่ยังไม่แสดงวิธีการตรวจสอบแนวคิดคลาดเคลื่อนระหว่างกระบวนการเรียนรู้ ส่วนครู T04 มีการตรวจสอบแนวคิดคลาดเคลื่อนที่ชัดเจน โดยใช้การประเมินชิ้นงาน วิธีการแก้ปัญหา และการนำเสนอผลการแก้ปัญหา ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ของครู T02 และ T04 แสดงให้เห็นความแตกต่างในระดับการวิเคราะห์แนวคิดคลาดเคลื่อน

3.2.6 ครูสามารถในการตรวจสอบความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียน

ครูทุกคนต่างตระหนักว่าความรู้พื้นฐานของผู้เรียนเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา แต่มีความสามารถในการตรวจสอบความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่แตกต่างกัน โดยครู T01 สามารถตรวจสอบการตั้งสมมติฐานและการวิเคราะห์ข้อมูลก่อนเริ่มกิจกรรมสะเต็มศึกษา ในเรื่อง สเลอปี้ ครูมีการทบทวนในเรื่องสถานะของน้ำเพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ในเนื้อหาก่อนที่จะนำไปใช้ในการออกแบบแก้ปัญหา สามารถบอกความแตกต่างระหว่างผลทางทฤษฎีและผลจากการทดลองจริง ครู T04 สามารถตรวจสอบความเข้าใจที่ในขั้นตอนรวบรวมข้อมูลและขั้นออกแบบแก้ปัญหาในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ขณะที่ครู T02 ระบุได้ว่านักเรียนควรมีความรู้ทั้ง 4 ศาสตร์ก่อนกิจกรรม แต่ยังไม่สามารถอธิบายวิธีการตรวจสอบความเข้าใจได้ชัดเจน ครู T03 ให้ผู้เรียนที่ยังไม่มีพื้นฐานได้เรียนทฤษฎีและฝึกปฏิบัติเพิ่มเติมก่อนทำกิจกรรม

3.2.7 ครูขาดประสบการณ์ในการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา

ครูทุกคนไม่เคยออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาทำให้มีความสามารถในการออกแบบกิจกรรมที่สะท้อนการบูรณาการความรู้ข้ามศาสตร์แตกต่างกันอย่างชัดเจน ครู T04 สามารถออกแบบสถานการณ์ที่มีข้อจำกัดและเชื่อมโยงความรู้หลายสาขา เช่น ให้นักเรียนออกแบบชิ้นงานผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เคมี โดยใช้ความรู้วิทยาศาสตร์ร่วมกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์และการใช้เทคโนโลยี ขณะที่ครู T03 พยายามบูรณาการผ่านการออกแบบบทเรียนที่ใช้ความรู้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในกิจกรรม แต่ยังไม่สามารถขยายไปสู่การออกแบบที่หลากหลาย ครู T02 ใช้สถานการณ์ในชีวิตประจำวันแต่การออกแบบยังไม่ชัดเจน และไม่สามารถระบุปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณา ส่วนครู T01 มักเลือกกิจกรรมที่ตนถนัดในสาขาฟิสิกส์ เช่น การสร้างสะพานหรือการลอยตัวของเรือ ทำให้ขาดการบูรณาการที่ครอบคลุมทุกศาสตร์ โดยครูทุกคนยังขาดประสบการณ์จริงในการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาอย่างเป็นระบบ ซึ่งไม่สามารถยกตัวอย่างกิจกรรมได้อย่างชัดเจน

3.2.8 ครูเลือกกลยุทธ์การสอนโดยการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ครูทุกคนมีความเข้าใจร่วมกันว่าสะเต็มศึกษาต้องเน้นการทำกิจกรรมให้นักเรียนลงมือปฏิบัติโดยเลือกกลยุทธ์การสอนโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่มีระดับความเข้าใจเชิงลึกในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแตกต่างกันออกไป ครู T01 และ T02 ใช้วิธีสอนที่มุ่งให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมผ่านกิจกรรมและการวาดแผนผังความคิด แต่ยังไม่สามารถอธิบายหรือใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างครบถ้วน ขณะที่ครู T03 ใช้กลยุทธ์การสอนแบบ Active Learning ให้นักเรียนเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติและการทำงานร่วมกัน ส่วนครู T04 สามารถใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมได้อย่างเป็นระบบมากที่สุด สะท้อนให้เห็นถึงความเข้าใจด้านกลยุทธ์การสอนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่แตกต่างกัน

3.2.9 ครูมีการประเมินสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการเรียนรู้มากกว่าผลลัพธ์

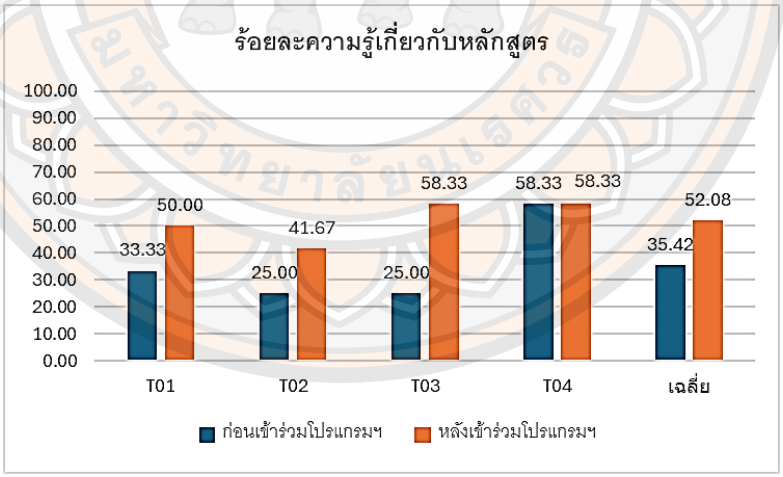
ครูมีการประเมินสะเต็มศึกษามีเป้าหมายเพื่อสะท้อนกระบวนการเรียนรู้กระบวนการแก้ปัญหามากกว่าผลลัพธ์ แต่ครูแต่ละคนยังมีวิธีการประเมินที่แตกต่างกัน เช่น ครู T04 เน้นทักษะกระบวนการและการแก้ปัญหา ใช้รูบริคให้คะแนนเป็นระดับคุณภาพและมีการประเมินที่หลากหลาย โดยอาศัยรูบริค ใบกิจกรรม และการนำเสนอ เพื่อพิจารณาทักษะการแก้ปัญหาอย่างรอบด้าน ครู T03 มีการประเมินทั้งก่อน ระหว่าง และหลังการเรียนรู้ เช่น การสังเกตการทำงานกลุ่มและการนำเสนอชิ้นงาน แต่ยังไม่ระบุเกณฑ์ที่ชัดเจน ครู T01 ใช้การบันทึกและการสังเกตพฤติกรรมเป็นหลักจากการสังเกตการสอนมีการตรวจสอบพฤติกรรมและการนำเสนอท้ายกิจกรรม แต่ยังไม่ครอบคลุมการประเมินชิ้นงาน ส่วนครู T02 ประเมินเฉพาะการทำกิจกรรมและการนำเสนอ โดยไม่ระบุหลักฐานหรือเครื่องมือที่ชัดเจน

ระยะที่ 2 ผลการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม

ผลการวิจัยเป็นไปเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2 ที่กล่าวว่า **“ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นอย่างไร”** โดยผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง แบบสะท้อนผลการเรียนรู้ จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา แบบสังเกตการปฏิบัติงานสอนสะเต็มศึกษา และแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา โดยเสนอในรูปแบบกรณีศึกษา แบ่งเป็นผลการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาภายในกรณี และผลการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาระหว่างกรณี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างโดยใช้กรอบแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจำแนกตามพฤติกรรมบ่งชี้สะท้อนถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา จากการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม ครู T01-T04 มีการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ดังนี้

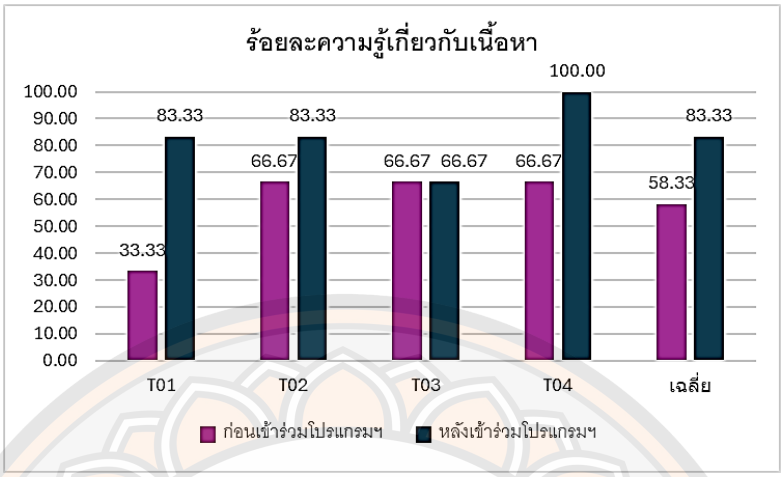
1.1 ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร



ภาพ 31 แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรของครู T01-T04 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยครู T01-T03 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ยกเว้น ครู T04 มีคะแนนเฉลี่ยเท่าเดิม

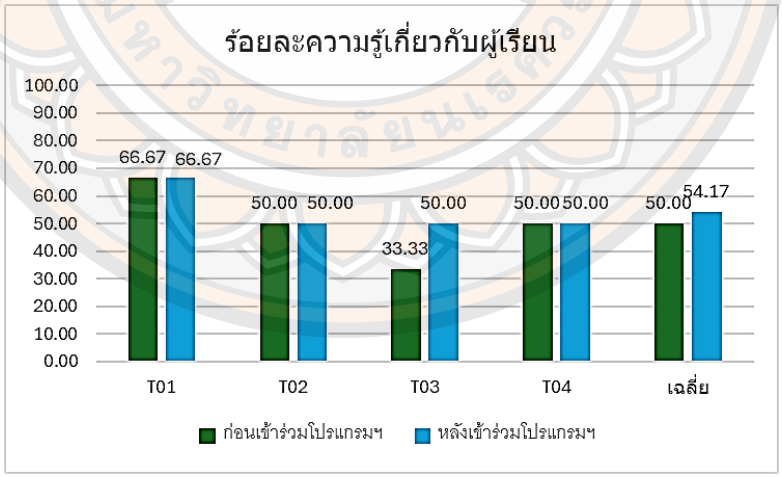
1.2 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา



ภาพ 32 แสดงความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาของครู T01-T04 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยครู T01 ครู T02 และครู T04 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ยกเว้น ครู T03 มีคะแนนเฉลี่ยเท่าเดิม

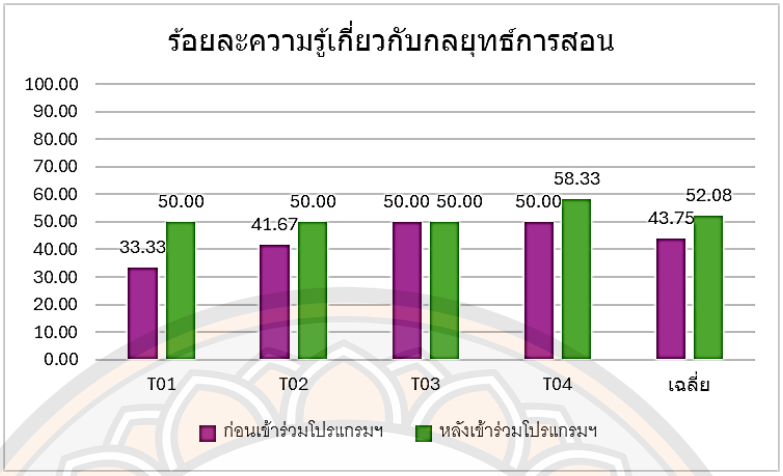
1.3 ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน



ภาพ 33 แสดงความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนของครู T01-T04 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยครู T03 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ครู T01 ครู T02 และ ครู T04 มีคะแนนเฉลี่ยเท่าเดิม

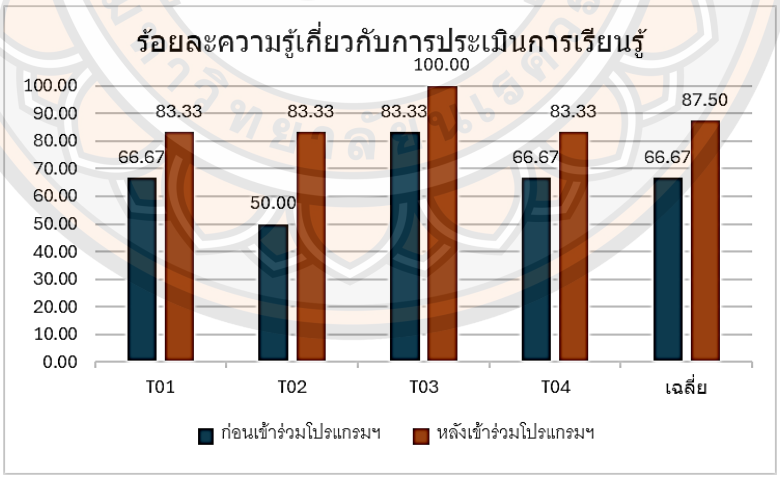
1.4 ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน



ภาพ 34 แสดงความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนของครู T01-T04 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยครู ครู T01 ครู T02 และ ครู T04 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ครู T03 มีคะแนนเฉลี่ยเท่าเดิม

1.5 ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้



ภาพ 35 แสดงความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

จากกราฟ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ของครู T01-T04 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยครูทั้งหมดมีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

เมื่อสรุปในภาพรวม พบว่า หลังเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม ครูมีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเพิ่มทุกด้าน เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ครูมีการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหามากที่สุด (เพิ่มขึ้นร้อยละ 25) รองลงมา ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ (เพิ่มขึ้นร้อยละ 20.83) ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 16.67) ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน (เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.33) และความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน (เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.17) ตามลำดับ

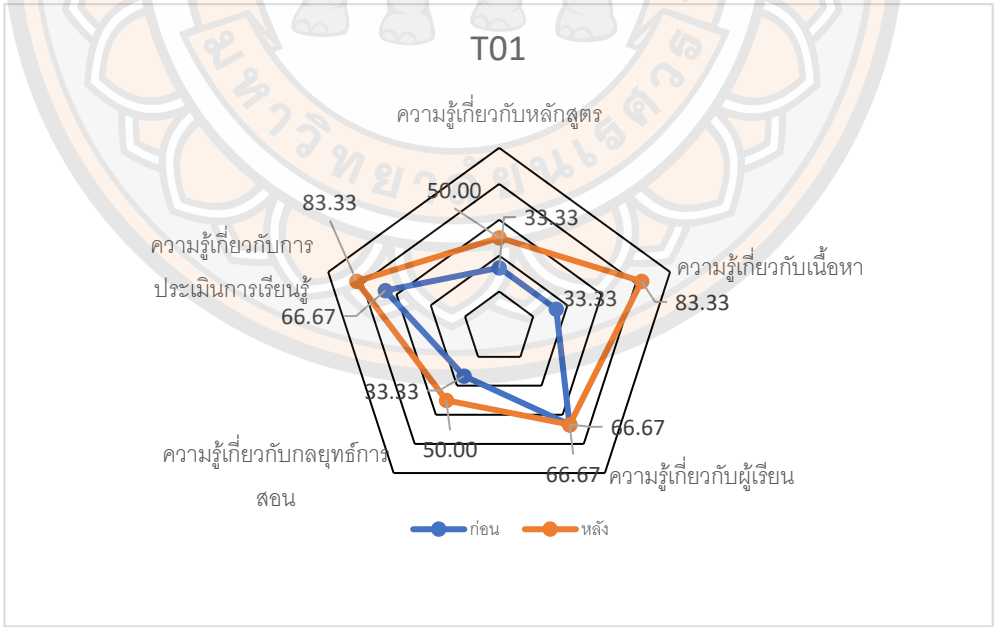
2. ผลการวิจัยเป็นรายกรณีศึกษา

2.1 การวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาภายในกรณี

ผลการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจากการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษา**ที่**เน้นการฝึกปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมของครู จำนวน 4 คน ผู้วิจัยขอรายงานผลการวิจัย โดยนำเสนอความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ตามองค์ประกอบจำแนกเป็นการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 ครู T01

หลังจากครู T01 เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา มีลักษณะดังนี้



ภาพ 36 แสดงการเปรียบเทียบ PCK for STEM ของครู T01 ก่อน-หลังเข้าร่วมโปรแกรม

จากภาพ พบว่า หลังเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู ในภาพรวม ครู T01 มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเพิ่มขึ้นในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ความรู้เกี่ยวกับประเมินผล ส่วนความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนมีค่าเท่าเดิม

เมื่อพิจารณารายด้านรายละเอียดในแต่ละด้านระหว่างเข้าร่วมเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ดังต่อไปนี้

ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T01 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติตามว่า กิจกรรมการประชุมเชิงปฏิบัติสามารถฝึกทักษะและความรู้เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์ในบทเรียนสะเต็มศึกษา (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) และเมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T01 ออกแบบ โดยเป็นแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ร่มและเกราะป้องกันไข่จำนวน 6 ชั่วโมง ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมง/สัปดาห์ เมื่อวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แสดงมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ ที่บูรณาการได้สอดคล้องกับหลักสูตร สามารถกำหนดจุดประสงค์จัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะ กระบวนการและเจตคติ แต่ยังไม่แสดงเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ไม่ชัดเจน (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T01 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T01 จัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ได้ครบถ้วน ตามเวลาที่กำหนด มีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ในสะเต็มศึกษา มีการใช้สื่อการสอน เช่น ใบความรู้ ใบกิจกรรม สื่อการสอนอินเทอร์เน็ต โดยได้เปิดคลิป VDO เพื่ออธิบายเนื้อหาให้นักเรียนเข้าใจมากยิ่งขึ้น (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T01 จัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ได้ครบถ้วน เหมาะสม และเสร็จตามเวลาที่กำหนด มีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ในสะเต็มศึกษา ใช้ใบกิจกรรมให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T01 จัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้เสร็จตามเวลาที่กำหนด มีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

ในสะเต็มศึกษา ให้นักเรียนนำเสนอโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T01 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่าเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ มีความรู้ในการบูรณาการเนื้อหาที่ใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ความรู้ในการบูรณาการเนื้อหาที่ใช้สอนในแต่ละแผนการสอน การกำหนดการคิดวิเคราะห์ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

โดยครู T01 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 โดยอธิบายว่าเพื่อบรรลุเป้าหมาย ครูออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษาจะออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยนักเรียนต้องสามารถวิเคราะห์กิจกรรม มีทักษะในการออกแบบสามารถใช้กระบวนการแก้ปัญหา นักเรียนต้องสามารถทำงานร่วมกัน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษาจะเน้นการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ หรือปัญหาในชีวิตประจำวัน เมื่อลงมือทดสอบแล้วจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขด้วย ซึ่งเกี่ยวข้องกับหลาย ๆ ศาสตร์
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

โดยครู T01 ครูสามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า สะเต็มศึกษามีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับหลายศาสตร์ จะต้องเน้นการแก้ปัญหาที่นำความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ มาเชื่อมโยงกัน

แต่ครู T01 ยังไม่สามารถแสดงถึงการเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตรมากนัก สามารถเลือกใช้สื่อการสอน

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T01 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรอย่างชัดเจน โดยสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ สามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา เลือกสื่อที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ แต่ยังไม่แสดงถึงการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจน

ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T01 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า ได้ฝึกทักษะคิด ตั้งคำถาม ตรวจสอบ ทดลอง และวิเคราะห์ผล ที่ได้จากการทดลองเซลล์ไฟฟ้าเคมี (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) และเมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T01 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ในสาระการเรียนรู้อย่างชัดเจนและเหมาะสม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T01 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T01 นำสถานการณ์ปัญหาชีวิตจริงมาใช้ในการเริ่มบทเรียนสะเต็มศึกษา โดยอธิบายสถานการณ์โดยกำหนดเกณฑ์ ข้อจำกัด ในการออกแบบชิ้นงานได้ตรงตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1) ครูมีการอธิบายและทบทวนเนื้อหาที่ใช้ในกิจกรรมให้กับนักเรียนเพิ่มเติม และมีการปรับแผนการจัดการเรียนรู้ โดยเฉพาะเนื้อหาทางคณิตศาสตร์ที่ต้องใช้ในกิจกรรม (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T01 ให้นักเรียนทำกิจกรรมออกแบบชิ้นงานตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมนักเรียนได้ทำงานเป็นกลุ่ม และส่งเสริมการแลกเปลี่ยนการสื่อสารภายในกลุ่ม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2) โดยครู T01 สะท้อนหลังการปฏิบัติการสอนว่า ควรเพิ่มเนื้อหาเรื่อง ลม เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสมดุลของการออกแบบร่มและควรปรับแผนการจัดการเรียนรู้ให้มีการรวบรวมข้อมูลเรื่อง การออกแบบร่มให้สมดุลและเรื่องลม ที่ส่งผลต่อความแม่นยำ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T01 ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีการใช้คำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน ความคิดสร้างสรรค์ มีการเชื่อมโยงกับอาชีพที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาในประเด็นในสถานการณ์ปัญหา (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T01 มีความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยอธิบายว่า สะเต็มศึกษาจะมีเนื้อหาที่หลากหลายต้องใช้ความรู้หลาย ๆ ศาสตร์ โดยจะเน้นไปที่กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มจะมีเนื้อหาที่หลากหลายต้องใช้ความรู้หลาย ๆ ศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีวะ หรือโลกดาราศาสตร์ รวมทั้งคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีด้วย โดยเน้นไปที่กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

ครู T01 สามารถนำความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยอธิบายว่า นักเรียนจำเป็นจะต้องมีความรู้พื้นฐานก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยเป็นความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์ปัญหาที่กำหนด เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสถานการณ์ปัญหาที่กำหนด ต้องมีทักษะในการสืบค้นข้อมูลอย่างหลากหลายถูกต้อง มีการแก้ปัญหาการออกแบบชิ้นงาน โดยเฉพาะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่จะต้องมีเป็นพื้นฐาน ทั้ง 6 ขั้นตอน
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T01 ยังอธิบายว่าเนื้อหาในสะเต็มศึกษาที่จะต้องเข้าใจเมื่อเสร็จสิ้นการสอน เป็นความรู้ที่ใช้ในการแก้ปัญหา แต่ถ้าไม่สามารถแก้ปัญหาสำเร็จนักเรียนจะต้องอธิบายเหตุผลได้โดยใช้การอธิบายทางวิทยาศาสตร์

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T01 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาโดยครู T01 มีความรู้และสามารถนำความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ไปใช้จัดกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T01 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า หลักการ PCK for STEM ทำให้มีความรู้กรอบแนวคิดในเรื่อง ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T01 ได้ออกแบบ พบว่าแสดงให้เห็นถึงการประเมินความรู้พื้นฐานและความรู้ที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนที่จะทำกิจกรรม รวมทั้งแนวความคิดที่คลาดเคลื่อน แต่มีการระบุถึงเพียงบางส่วน โดยกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สะท้อนการเรียนรู้โดยใช้วิธีการหรือคำถาม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T01 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T01 ได้ตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน โดยเขียนยกตัวอย่างและเชื่อมโยงกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน ระบุจุดที่นักเรียนมีปัญหาหรือยากต่อการเรียนรู้สะเต็มศึกษาก่อนการจัดการเรียนรู้ ระบุความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน แก้ปัญหาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1) มีนักเรียนหลายกลุ่มที่สอบถามครูเพิ่มเติม เกี่ยวกับความรู้พื้นฐานที่ต้องใช้ในกิจกรรม ซึ่งครูจะต้องอธิบายและทบทวนเพิ่มเติม นอกจากนี้นักเรียนมีการตั้งคำถาม และมีการตอบคำถามในเนื้อหาที่ครูไม่ได้เตรียมไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้หรือเป็นเรื่องอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T01ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่ยังพบว่า ความรู้พื้นฐานที่นักเรียนมียังไม่ครอบคลุม เช่น การหาพื้นที่ของรูป หลักการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การดล เป็นต้น นักเรียนมีส่วนร่วมในการตอบคำถามน้อย (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T01 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม นักเรียนไม่สามารถตอบคำถามจากครูผู้สอน ครูจัดการปัญหาโดยอธิบายคำตอบให้ผู้เรียน (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T01 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียนได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียน โดยดูจากผลงานที่นักเรียนนำเสนอตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การใช้หลักทางวิทยาศาสตร์มาให้เหตุผลเพื่อสนับสนุน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียนได้ โดยดูผลงานที่นักเรียนเรียนออกแบบมา ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ นักเรียนได้นำเสนอตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมหรือไม่ มีการใช้หลักทางวิทยาศาสตร์มาให้เหตุผลเพื่อสนับสนุนในการออกแบบ
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T01 อธิบายว่านักเรียนควรมีความรู้และทักษะกระบวนการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนควรมีทักษะกระบวนการแก้ไขปัญหา ที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน หรือปัญหาทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะพื้นฐานที่สนับสนุนให้แก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

ครู T01 สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนยังมีความเข้าใจในเรื่องกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างไม่ชัดเจน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนยังมีความเข้าใจในเรื่องกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างไม่ชัดเจน ต้องมีการทบทวนอยู่เสมอ ซึ่งครูผู้สอนจะต้องคอยเน้นย้ำถึงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอยู่เสมอ
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T01 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนบางส่วน โดยครู T01 ยังไม่แสดงถึงประเมินความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียนอย่างชัดเจน โดยครูสามารถระบุและแก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T01 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า กิจกรรมการประชุมเชิงปฏิบัติทำให้มีความรู้เกี่ยวกับแนวคิดการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เป้าหมายการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ได้ทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ฝึกทักษะการคิดและแก้ไขปัญหา หลักการ PCK for STEM ทำให้มีความรู้กรอบแนวคิดในเรื่องความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ทราบถึงหลักการและกระบวนการจัดการเรียนรู้สะเต็ม ได้แลกเปลี่ยนแนวคิดในการจัดการเรียนรู้สะเต็ม มองเห็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเมื่อจัดการเรียนรู้สะเต็ม (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T01 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ระบุตามลำดับขั้นตอนของกิจกรรมการเรียนรู้

สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ แสดงการใช้เทคโนโลยี เครื่องมือ สื่อการสอน เช่น สื่อออนไลน์ YouTube เป็นต้น แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ได้แก่ ระบุปัญหา วิเคราะห์สถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ออกแบบและพัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหา ทดสอบประเมินผล และปรับปรุงแนวทางในการแก้ไขปัญหา สื่อสารนำเสนอความคิดในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ และแสดงตัวอย่างคำถาม ขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ถูกต้อง และเหมาะสม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T01 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T01 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่วางแผนไว้ และมีการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนของบทเรียน เมื่อพบว่านักเรียนประสบปัญหาในระหว่างบทเรียน โดยมีการอธิบายเนื้อหาเพิ่มเติมเมื่อนักเรียนยังไม่สามารถออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ครูใช้คำถามก่อนเข้าสู่บทเรียน วาดรูปประกอบอธิบายสถานการณ์ บอกเงื่อนไขในการออกแบบ แล้วถามแนวคิดในการออกแบบ สรุปประเด็นเพื่อที่จะเอาแบบภาพร่าง โดยวาดรูปประกอบ และบอกเงื่อนไขในการออกแบบ ยกตัวอย่างชิ้นงานที่มีลักษณะคล้ายกัน ให้นักเรียนออกแบบ อธิบายวัสดุ ที่ใช้ในการออกแบบเกี่ยวกับการรับแรงกระแทก เช่น หมวกกันน็อค ถุงลมนิรภัย รวมถึงหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้ในการออกแบบ (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาครั้งที่ 1) เมื่อสะท้อนการปฏิบัติการสอน พบว่า เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมจริงมากกว่าแผนที่วางไว้ เนื่องจากมีปัญหาในการควบคุมเวลาในการทำกิจกรรม (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T01 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีการใช้กิจกรรมเพิ่มเติมในขณะที่จัดการเรียนรู้ เช่น การจำลอง แอนิเมชัน วิดีโอและ เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดในรายวิชาสะเต็มศึกษาได้ดียิ่งขึ้น ครูใช้กราฟิก ภาพวาด การเปรียบเทียบ อย่างเหมาะสม จากการสะท้อนการปฏิบัติการสอน พบว่า การออกแบบอุปกรณ์ใช้เวลามาก ควรเพิ่มการจับเวลาในการทำกิจกรรมแต่ละขั้นตอน และควรเพิ่มตัวแปรในด้านความสูงในการปล่อยไข่เพิ่มเติม ซึ่งมีความจำเป็นในการออกแบบ นอกจากนี้ ควรกำหนดข้อจำกัดวัสดุ หรือเกณฑ์ในการเลือกวัสดุ/อุปกรณ์ เนื่องจากนักเรียนใช้อุปกรณ์เกินความจำเป็น และเพิ่มความท้าทายในการออกแบบ และควรเพิ่มในส่วนรวบรวมข้อมูลในเรื่อง สมดุล เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ก่อนขั้นตอนการออกแบบ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T01 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม นักเรียนสามารถอภิปรายแนวคิดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ในบริบททางวิศวกรรม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T01 สามารถเลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า สะเต็มศึกษาจะเน้นการจัดการเรียนรู้ไปที่การตั้งคำถามที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันและใช้กระบวนการแก้ปัญหา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษาจะเน้นไปที่การถามคำถามที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันเป็นส่วนมาก การนำความรู้ในชีวิตประจำวันมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแก้ปัญหา
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ครู T01 อธิบายว่าการใช้กลยุทธ์เพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจสิ่งที่ยากหรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยยกตัวอย่าง ใช้สื่อการสอนประกอบ หรือใช้ภาพถ่ายหรือโปรแกรมจำลองทางวิทยาศาสตร์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...เมื่อเจอสิ่งที่ยากหรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในนักเรียน พยายามเปรียบเทียบหรือหาตัวอย่างที่นักเรียนสามารถเข้าใจได้ง่าย ใช้สื่อการสอนที่เป็นรูปภาพหรือวิดีโอที่สามารถสื่อสารให้นักเรียนเข้าใจได้มากยิ่งขึ้น หรือจะใช้ภาพถ่ายหรือโปรแกรมจำลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อสื่อสารให้นักเรียนเข้าใจได้มากยิ่งขึ้น
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

ครู T01 ครูสามารถใช้แนวทางการสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม โดยอธิบายว่าได้ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยจะหาวิธีการออกแบบหรือใช้การสร้างสิ่งประดิษฐ์มาเป็นสถานการณ์ ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...หาวิธีการสำหรับการออกแบบหรือใช้การสร้างสิ่งประดิษฐ์มาเป็นสถานการณ์ให้นักเรียน คือ ใช้ทั้งความรู้พื้นฐานกระบวนการและสิ่งที่น่าสนใจมาใช้ในการออกแบบการเรียนรู้ให้กับนักเรียน โดยนำไปใช้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T01 ครูสามารถออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหา สาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษาโดยอธิบายว่า

ออกแบบกิจกรรมโดยนำปัญหาที่น่าสนใจในชีวิตประจำวันมาเป็นสถานการณ์เพื่อใช้ในการกระตุ้นความสนใจของนักเรียน สำหรับการออกแบบหรือใช้การสร้างสิ่งประดิษฐ์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยนำปัญหาที่น่าสนใจในชีวิตประจำวันเพื่อใช้ในการกระตุ้นความสนใจของนักเรียน หาวิธีการสำหรับการออกแบบหรือใช้การสร้างสิ่งประดิษฐ์มาเป็นสถานการณ์ให้นักเรียน คือใช้ทั้งความรู้พื้นฐานกระบวนการและสิ่งที่น่าสนใจมาใช้ในการออกแบบการเรียนรู้ให้กับนักเรียน โดยนำไปใช้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เช่น การออกแบบร่มชูชีพสำหรับบรรทุกสิ่งของ เป็นต้น
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T01 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน โดยครู T01 มีความเข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างลึกซึ้ง สามารถเลือกวิธีการสอน ออกแบบกิจกรรมที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและปรับกิจกรรมเพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจสิ่งที่ยากหรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนได้อย่างชัดเจน

ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T01 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า หลักการ PCK for STEM ทำให้มีความรู้กรอบแนวคิดในเรื่อง ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T01 ได้ออกแบบ พบว่า มีวิธีการวัดและประเมินผล ตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ และมีการวัดและประเมินผลทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจนบางส่วน (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา) ดังตัวอย่างการประเมินการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ ต่อไปนี้

11. การวัดและประเมินผล

จุดประสงค์	วิธีการวัดและประเมินผล	เครื่องมือวัดและประเมินผล	เกณฑ์การตัดสิน
1. เพื่อให้ครูมีความรู้ ความเข้าใจการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 2. เพื่อให้ครูใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้อย่างสร้างสรรค์	ใบกิจกรรม เรื่อง ร่มและเกราะป้องกันไข่	ใบกิจกรรม เรื่อง ร่มและเกราะป้องกันไข่	ผู้เข้ารับการอบรมได้ระดับคุณภาพดี ถือว่าผ่าน

ชิ้นงาน 24 คะแนน

ประเด็น/หัวข้อประเมิน	วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การวัดและประเมินผล
1. ประสิทธิภาพการกันกระแทก 12 คะแนน	นักเรียนปล่อยไข่จากความสูง 5 เมตร	**ผ่าน** ไข่ไม่แตก ไม่มีรอยร้าว 12 คะแนน มีรอยร้าว 6 คะแนน **ไม่ผ่าน** ไข่แตก 0 คะแนน
2. ความแม่นยำในการปล่อยไข่ 12 คะแนน	นักเรียนปล่อยไข่จากความสูง 3 เมตร แล้วอยู่ในอาณาเขตที่กำหนดไว้	**ผ่าน** - อยู่ในอาณาเขตที่กำหนดไว้ในสี่เหลี่ยมขนาด 40x40 ตารางเซนติเมตร(12 คะแนน) อยู่ในอาณาเขตที่กำหนดไว้ในขนาด 55x55 ตารางเมตร(8 คะแนน) - อยู่ในอาณาเขตที่กำหนดไว้ในสี่เหลี่ยมขนาด 70x70ตารางเมตร(4 คะแนน) **ไม่ผ่าน** ไม่อยู่ในอาณาเขตที่กำหนดไว้ (0 คะแนน)

(ครู T01, แผนการจัดการเรียนรู้)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T01 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T01 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่วางแผนไว้ และได้ประเมินความสำเร็จทั้งหมด (ความรู้ ทักษะ เจตคติ)ของการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T01 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ใช้วิธีการประเมินทางเลือกอื่น เช่น ใบกิจกรรม รูบริคที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของแผนการจัดการเรียนรู้ มีการประเมิน ผลิตภัณฑ์/ชิ้นงาน ของนักเรียน (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T01 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยประเมินกระบวนการทางด้านวิศวกรรมของนักเรียน และใช้วิธีการประเมินที่เหมาะสมกับระดับของนักเรียน (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T01 สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม โดยอธิบายว่าการประเมินในสะเต็มศึกษาจะประเมินความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...การประเมินในสะเต็มศึกษานักเรียนสามารถอธิบายความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ควบคู่กับสิ่งประดิษฐ์ได้ครบถ้วนหรือไม่ ซึ่งจะเน้นทางกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T01 สามารถเลือกวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม โดยอธิบายว่า สะเต็มศึกษาจะใช้วิธีการสังเกต ชิ้นงาน และการนำเสนอ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษาพอจะมีการสังเกตว่านักเรียนสามารถประดิษฐ์ชิ้นงานได้สำเร็จหรือไม่ และการนำเสนอ มีการสังเกตพฤติกรรม มีการใช้รูบริค เกณฑ์การให้คะแนนชิ้นงานตามวัตถุประสงค์
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

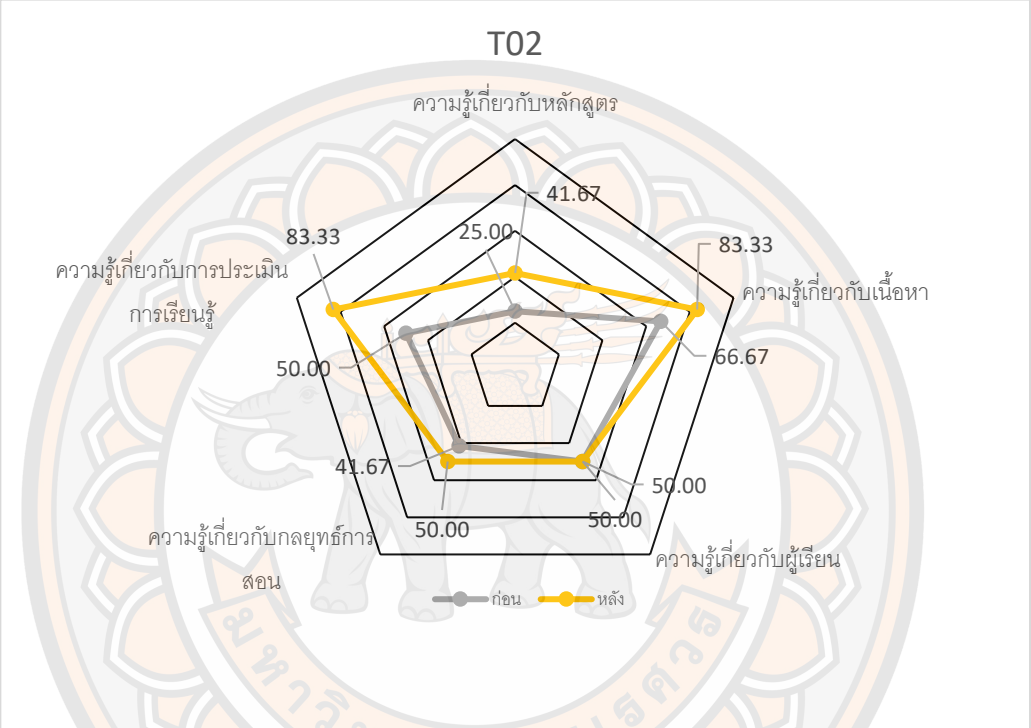
สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T01 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ โดยครู T01 สามารถใช้การประเมินในด้านความรู้ ทักษะ เจตคติ และเลือกวิธีการประเมินได้อย่างสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

จากการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาระหว่างเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันของครู T01 พบว่า มีการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยสามารถกำหนดวัตถุประสงค์เชิงบูรณาการ ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงระหว่างสาขาวิชาในสะเต็มศึกษา ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้ชัดเจนมากขึ้น ในด้านการแก้ปัญหา การกำหนดเกณฑ์หรือข้อจำกัด มีการใช้คำถามกระตุ้นการคิดในระหว่างการจัดการเรียนรู้ มีพัฒนาความรู้เนื้อหาในเชิงบูรณาการมีการปรับบทเรียนระหว่างสอนได้อย่างยืดหยุ่น มีการใช้สื่อดิจิทัล แบบการจำลอง เพื่อให้นักเรียนเข้าใจง่ายขึ้น ครูมีการตรวจสอบ

ความรู้เดิม แนวคิดคลาดเคลื่อน และเชื่อมโยงสู่การออกแบบกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นขั้นตอน ด้านการประเมินครูใช้การประเมินตามสภาพจริงที่สอดคล้องวัตถุประสงค์

กรณีศึกษาที่ 2 ครู T02

ครู T02 เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา มีลักษณะดังนี้



ภาพ 37 แสดงการเปรียบเทียบ PCK for STEM ของครู T02 ก่อน-หลังเข้าร่วมโปรแกรม

จากภาพ พบว่า หลังเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู T02 มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเพิ่มขึ้นในด้าน ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ความรู้เกี่ยวกับประเมินผล ส่วนความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนมีค่าเท่าเดิม

เมื่อพิจารณารายด้านรายละเอียดในแต่ละด้านระหว่างเข้าร่วมเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ดังต่อไปนี้

ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T02 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า ได้แนวทางการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาควรเริ่มต้นคิดจากการศึกษาหลักสูตร โดยศึกษามาตรฐาน ตัวชี้วัด/

ผลการเรียนรู้ของแต่ละสาขาวิชาที่นำมาบูรณาการ (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T02 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง กลไกขับเคลื่อนนวัตกรรมความเร็ว จำนวน 6 ชั่วโมง ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมง/สัปดาห์ เมื่อวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้แสดงมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ ที่บูรณาการได้สอดคล้องกับหลักสูตรอย่างครบถ้วน มีจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติ แต่ยังแสดงเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ไม่ชัดเจน (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกันครู T02 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T02 จัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ได้ครบถ้วน และเสร็จตามเวลาที่กำหนด มีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ในสะเต็มศึกษา ใช้สื่อการสอน อุปกรณ์ เทคโนโลยีในการเรียนรู้อย่างเหมาะสม โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนในการสอนในแผนการจัดการเรียนรู้ (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T02 จัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนในการสอนในแผนการจัดการเรียนรู้ มีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ในสะเต็มศึกษา ใช้สื่อการสอน อุปกรณ์เทคโนโลยีในการเรียนรู้อย่างเหมาะสม เช่น ใบความรู้ ใบกิจกรรม สื่อการสอน คลิป VDO เป็นต้น (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T02 จัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนในการสอนในแผนการจัดการเรียนรู้ มีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิต และเทคโนโลยี ในสะเต็มศึกษา (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T02 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา ได้โดยอธิบายว่าเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ การบูรณาการความรู้ 4 ศาสตร์ในแต่ละสาขาวิชา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ การบูรณาการความรู้ 4 ศาสตร์ในแต่ละสาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T01, ผู้ให้สัมภาษณ์, 27 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T02 ยังสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้เหมาะสม โดยอธิบายว่าออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษา และนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้โดย ต้องมีการศึกษาหลักสูตรของสถานศึกษาเพื่อมากำหนดวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อที่จะพัฒนาทักษะนักเรียน รวมถึงทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ต้องมีการศึกษาหลักสูตรของสถานศึกษา เพื่อมากำหนดวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนรู้ ในรายวิชาสะเต็มศึกษา ทั้งหลักสูตรแกนกลาง หลักสูตรสถานศึกษา ให้มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เพื่อที่จะพัฒนาทักษะนักเรียนในด้านนั้น ๆ โดยเน้นตามความรู้ ทักษะ และเจตคติ และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การลงมือปฏิบัติ
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

โดยครู T02 ครูสามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษาโดยอธิบายว่า สะเต็มศึกษาเป็นการบูรณาการเนื้อหาความรู้ 4 ศาสตร์ แต่ยังไม่สามารถแสดงถึงการเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตรมากนัก

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T02 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร โดยครู T02 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการแต่ยังเชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ไม่ชัดเจน สามารถเลือกเนื้อหาเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา แต่ยังไม่สามารถแสดงถึงการเลือกใช้สื่อการสอนที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T02 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า กิจกรรมทำให้มีความรู้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการเรียนรู้บูรณาการเนื้อหาในรูปแบบสะเต็ม (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T02 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แสดงการเชื่อมโยง

เนื้อหาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ในสาระการเรียนรู้อย่างชัดเจนและเหมาะสม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T02 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครูนำสถานการณ์ปัญหาชีวิตประจำวันมาใช้ในการเริ่มบทเรียนสะเต็มศึกษา กำหนดเกณฑ์ ข้อจำกัด ในการออกแบบชิ้นงาน ใช้ขั้นตอนของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน ความคิดสร้างสรรค์ นักเรียนได้ทำงานเป็นกลุ่ม และส่งเสริมการแลกเปลี่ยน การสื่อสารภายในกลุ่ม (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) แต่ยังพบว่านักเรียนยังไม่เข้าใจในความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ในเรื่องสูตรที่คิดคำนวณ เรื่องอัตราทดของรอก จำเป็นต้องหาวิธีการสอน หรือสื่อการสอนให้นักเรียนเข้าใจมากยิ่งขึ้น (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T02 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ ครูใช้แผนภาพภาพอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับ การทำงานของล้อและเพลา เพื่อให้นักเรียนเข้าใจมากยิ่งขึ้น (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2) นอกจากนี้ครู T02 ได้สะท้อนหลังการจัดการเรียนรู้ว่าควรเพิ่มเนื้อหาการเลือกใช้รอกคู่ที่เหมาะสมเข้าไปในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งไม่ได้เขียนไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T02 ให้นักเรียนนำเสนอผลการทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นกลุ่ม โดยเมื่อตั้งคำถามนักเรียน พบว่า นักเรียนบางกลุ่มยังไม่เข้าใจเนื้อหาของรอกและเฟือง โดยไม่สามารถตอบคำถามตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3) และครูได้สะท้อนว่าควรเพิ่มการอธิบายหลักการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ใช้ในกิจกรรม ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของรถ เช่น น้ำหนักรถ การเลือกรอกมีผลต่อแรงในการเคลื่อนที่ โดยเพิ่มเติมในเรื่องปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของรถในใบความรู้หรือใบงาน เป็นต้น (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน พบว่า ครู T02 มีความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ที่ใช้จัดกิจกรรมกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยอธิบายว่า เนื้อหาที่นำมาบูรณาการทุกศาสตร์มีความสำคัญ โดยเนื้อหาสะเต็มศึกษาจะเน้นที่การปฏิบัติ และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ดังนี้

...สะเต็มจะเน้นทักษะการออกแบบทักษะเชิงวิศวกรรมมากกว่า เน้นการปฏิบัติมากกว่า โดยเนื้อหาจะเน้นการบูรณาการทั้ง 4 ศาสตร์ เด็กสามารถไปใช้ความรู้ทั้ง 4 ศาสตร์

(ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

ครูสามารถนำความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ที่ใช้จัดกิจกรรมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยอธิบายว่า เนื้อหากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีความสำคัญ และสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหา คำสัมภาษณ์ ดังนี้

...เนื้อหาในด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีความสำคัญ ซึ่งมีความเด่นชัดในเรื่องกระบวนการแก้ปัญหา และต้องใช้ความรู้ทั้ง 4 ศาสตร์ควบคู่ไปด้วย

(ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T02 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา โดยครู T02 มีการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี คณิตศาสตร์ และกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ในสาระการเรียนรู้อย่างชัดเจน มีการปรับกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้สื่อต่าง ๆ เพื่อให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหามากยิ่งขึ้น

ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T02 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า กิจกรรม PCK for STEM สามารถทำให้มีความรู้ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาที่ต้องการ (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T02 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แสดงให้เห็นถึงการประเมินความรู้พื้นฐาน ความรู้ที่จำเป็นของผู้เรียน ก่อนที่จะทำกิจกรรมรวมทั้งแนวความคิดที่คลาดเคลื่อน แต่มีการระบุถึงเพียงบางส่วน และกิจกรรมถึงการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สะท้อนการเรียนรู้โดยใช้วิธีการหรือคำถาม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T02 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T02 ได้ตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน แต่ยังไม่ระบุจุดที่นักเรียนมีปัญหาหรือยากต่อการเรียนรู้สะเต็มศึกษาก่อนการจัดการเรียนรู้ รวมถึง

ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา) นักเรียนให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมน้อย และยังขาดความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การนำรอกไปใช้ตอนใดของกิจกรรม และควรเพิ่มเติมความรู้ในเรื่องของการนำรอกไปประยุกต์ใช้งาน (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T02 ได้ตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน ระบุความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน และดำเนินแก้ปัญหาสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยใช้แผนภาพอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำงานของล้อและเพลา (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2) นอกจากนี้ครู T02 ได้สะท้อนว่า นักเรียนยังมีปัญหาการเลือกใช้รอกในการประดิษฐ์รถและปัญหาในการประกอบรถให้เคลื่อนที่อย่างสมดุล สามารถให้เคลื่อนที่ได้ตามระยะทาง 5 เมตร (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T02 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยนักเรียนสามารถสรุปแนวคิดในการออกแบบให้รถเคลื่อนที่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3) ครู T02 สะท้อนว่า นักเรียนบางกลุ่มขาดความพร้อมในการนำเสนอชิ้นงาน เช่น สไลด์เปิดไม่ได้ สมาชิกในกลุ่มบางคนไม่อยู่ทำให้นักเรียนที่เหลืออยู่ขาดความมั่นใจในการนำเสนอ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน พบว่า ครู T02 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียน โดยอธิบายว่า สามารถตรวจสอบนักเรียนว่าบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยใช้การสังเกตขณะทำกิจกรรมการนำเสนอผลงานของนักเรียน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สามารถตรวจสอบนักเรียนว่าบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยสังเกตได้หลายด้าน เช่น การทำกิจกรรม ขณะที่นำเสนอ ผลงานของนักเรียน โดยใช้การวัดหลาย ๆ ด้าน
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T02 อธิบายว่า การตรวจสอบความรู้และทักษะที่จะทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยขึ้นอยู่กับกิจกรรมว่าใช้ความรู้และทักษะเรื่องใด ระดับความรู้ของนักเรียน และถ้านักเรียนขาดความรู้ ครูควรให้ความรู้เพิ่มเติมก่อนการทำกิจกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...การตรวจสอบความรู้และทักษะนักเรียนก่อนที่จะทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาขึ้นอยู่กับระดับการเรียนรู้ของนักเรียนว่ากิจกรรมนั้นเน้นอะไร และความรู้ที่เหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน นักเรียนอาจจะมีความรู้มาก่อนก็ได้หรือครูมาให้ความรู้พื้นฐานก่อนก็ได้ เพื่อทำให้ครูและเด็กได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

ครูสามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนมีสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในการเรียนรู้เกี่ยวกับสะเต็มศึกษา คือ นักเรียนมีความคิดที่คลาดเคลื่อนในทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ และจำเป็นต้องทบทวนความรู้ก่อนการทำกิจกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนอาจจะเข้าใจผิดหรือหลงลืมในเรื่องทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ครูมีความจำเป็นจะต้องทบทวนให้กับนักเรียน และในการนำเสนอของนักเรียน พบว่า เนื้อหาวิทยาศาสตร์นักเรียนอาจจะเข้าใจผิดหรือหลงลืม เช่น เรื่อง หน่วย การวัดต่าง ๆ ทักษะวิทยาศาสตร์ที่ต้องใช้ อาจจะต้องเน้นให้นักเรียนเพิ่มเติม
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T02 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนได้บางส่วน โดยครู T02 ประเมินความรู้พื้นฐาน ความคิดที่คลาดเคลื่อนบางส่วน นักเรียนยังมีปัญหาโดยครูจะพยายามหาวิธีการแก้ปัญหาเพื่อแก้ความคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T02 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติตามว่า กิจกรรมประชุมเชิงปฏิบัติการทำให้รู้จักสะเต็มศึกษามากขึ้น จากเดิมที่ใช้เพียงการบูรณาการในเนื้อหาในรายวิชาที่สอนเปลี่ยนเป็นการสอนสะเต็มศึกษาโดยตรง ทำให้เข้าใจกระบวนการการจัดการเรียนรู้ดีขึ้น เข้าใจตัว E (Engineering) ของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เข้าใจการปฏิบัติทางวิศวกรรมที่ครูจะต้องมีหน้าที่ในการออกแบบและจัดการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ ผู้เรียนสามารถออกแบบ ประดิษฐ์ สร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่ครูออกแบบการเรียนรู้ และได้ฝึกฝนประสบการณ์โดยตรง นอกจากนี้หลักการ PCK for STEM ช่วยทำให้พัฒนาวิธีสอนในอีกรูปแบบหนึ่งที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ รวมถึงพัฒนาบทเรียนร่วมกันกับกลุ่มครูผู้สอนคนอื่น

แลกเปลี่ยนความคิดเห็นผ่านประสบการณ์สอนของครูต่างวิชาหรือวิชาเดียวกัน (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T02 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ระบุขั้นตอนในกิจกรรมการเรียนรู้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ระบุปัญหา วิเคราะห์สถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ออกแบบและพัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหา สื่อสารนำเสนอความคิดในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ รวมถึงใช้คำถามขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ถูกต้อง และเหมาะสม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T02 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T02 มีเปลี่ยนแปลงขั้นตอนของบทเรียนเมื่อพบว่านักเรียนประสบปัญหาในระหว่างบทเรียน เช่น เมื่อพบปัญหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไม่เพียงพอต่อจำนวนกลุ่ม จึงปรับขั้นตอนในการทำกิจกรรมให้สอดคล้องกับปัญหาที่พบ (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1) และครู T02 สะท้อนว่าควรมีการปรับปรุงกิจกรรมในขั้นตอนรวบรวมข้อมูลและแนวคิดในการแก้ปัญหาให้ครบถ้วนมากขึ้น (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T02 ได้เปลี่ยนแปลงขั้นตอนของบทเรียน เมื่อพบว่านักเรียนประสบปัญหาในระหว่างบทเรียน จึงมีกิจกรรมเพิ่มเติมให้นักเรียนเข้าใจมากยิ่งขึ้นในระหว่างจัดกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2) ครู T02 สะท้อนว่าการคำนวณทางทฤษฎีและการปฏิบัติจริงไม่สัมพันธ์กัน ควรปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในกิจกรรมที่ให้รวบรวมข้อมูลและแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องรอก ซึ่งไม่สัมพันธ์กับการใช้งานจริง เนื่องจากมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของรอก เช่น น้ำหนักของรถ เป็นต้น เวลาที่ใช้ในการทำชิ้นงานไม่เหมาะสม ควรเพิ่มปัจจัยในเรื่องสมดุล ที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของรถในกิจกรรม และเกณฑ์ในการให้คะแนน (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T03 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และอภิปรายแนวคิดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ในบริบททางวิศวกรรม ครูดำเนินการสอนตามขั้นตอนของบทเรียนที่กำหนดไว้ ครูให้ข้อเสนอแนะในการออกแบบชิ้นงานขณะนักเรียนนำเสนอ รวมถึงแนวทางการนำเสนอให้สอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3) ครู T02 สะท้อนว่า ควรปรับกิจกรรมการสอน เช่น เพิ่มใบงานในการรวบรวมข้อมูล ให้นักเรียนสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของรถ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T02 สามารถเลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า กลยุทธ์ที่ใช้จัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา จะเน้นให้สร้างสถานการณ์ให้นักเรียนแก้ปัญหา โดยมีกระบวนการสอน เช่น ขั้นนำ ขั้นสอน ขั้นสรุป ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...กิจกรรมสะเต็มศึกษาจะเน้นให้สร้างสถานการณ์ ถ้าเป็นรายวิชาอื่นจะต้องให้นักเรียนรู้ในเรื่องทฤษฎีก่อน ก่อนที่จะทำการทดลอง โดยมีกระบวนการสอนคล้ายกัน เช่น ขั้นนำ ขั้นสอน ขั้นสรุป
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T02 พยายามหาสื่อวิดีโอประกอบการสอนเพื่อให้นักเรียนเข้าใจมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเรื่องที่ใกล้ตัวเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ถ้าพบว่านักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ก็จะให้ข้อมูลเพิ่มเติม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...พยายามที่จะหาสื่อวิดีโอให้เด็กเข้าใจได้ง่ายขึ้น ยกตัวอย่างเรื่องที่ใกล้ตัวและใกล้ชีวิตประจำวันของเด็กให้มากขึ้น จะได้เห็นภาพและสามารถทำความเข้าใจได้มากขึ้น เมื่อพบเรื่องที่นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อน จะให้ข้อมูลเพิ่มเติม พยายามหาวิธีการที่ทำให้เด็กเข้าใจได้ง่าย
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

ครูสามารถออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหาสาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษา อย่างเหมาะสมโดยอธิบายว่า ออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษา โดยพิจารณาว่านักเรียนเคยเรียนเนื้อหาใดมาก่อน ระดับความยากง่าย และวัสดุอุปกรณ์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษาโดยพิจารณาจากนักเรียนเคยเรียนเนื้อหาใดมาบ้าง แล้วดูความยากง่าย ดูอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ ทรัพยากรที่มีเพียงพอหรือไม่ และปรับให้เหมาะสมกับกิจกรรม
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T02 ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยดูที่ระดับความรู้พื้นฐานนักเรียน เป็นเรื่องที่ไม่ยากเกินไป และเสริมความรู้ของนักเรียนในส่วนที่ยังขาดอยู่ เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรม และพิจารณาความเกี่ยวข้องกับมาตรฐานของหลักสูตร ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษาโดยพิจารณาความรู้พื้นฐานของนักเรียนก่อนว่านักเรียนเคยเรียนเรื่องไหนบ้าง อาจจะเป็นเรื่องที่ไม่ยากเกินไปสำหรับนักเรียน มีการเพิ่มเติมความรู้หรือใบงานต่าง ๆ ให้นักเรียนเข้าใจมากยิ่งขึ้น จัดกิจกรรมให้เหมาะสมกับเวลาที่ได้รับ มีการศึกษาก่อนว่าหลักสูตรคืออะไร เรื่องที่จะสร้างสถานการณ์ออกมาจะเข้ากับมาตรฐานตัวชี้วัดใดบ้าง และเกี่ยวข้องกับความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมอย่างไร
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T02 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน โดยครู T02 สามารถเลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีการใช้สื่อประกอบการสอนเพื่อให้นักเรียนเข้าใจมาก สามารถออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหา

ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T02 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า หลักการ PCK for STEM ทำให้มีความรู้กรอบแนวคิดในเรื่อง ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ สามารถพัฒนาความรู้ในการวัดประเมินผลในการจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T02 ได้ออกแบบ พบว่า มีวิธีการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ได้ถูกต้อง และมีการวัดและประเมินผลทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจนและถูกต้องบางส่วน (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา) ดังตัวอย่างการประเมินการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ต่อไปนี้

6. การวัดและประเมินผล

รายการประเมิน	วิธีการวัด	เครื่องมือที่ใช้วัด	เกณฑ์การประเมินการผ่าน
1. อธิบายการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ตรวจใบกิจกรรม	ใบกิจกรรมตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้	คะแนน 31-40 หมายถึง ดีมาก คะแนน 21-30 หมายถึง ดี คะแนน 11-20 หมายถึง พอใช้ คะแนน 1-10 หมายถึง ปรับปรุง ผู้เรียนได้ระดับคุณภาพดี ขึ้นไปถือว่าผ่าน
2. สร้างชิ้นงานโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนดได้อย่างสร้างสรรค์	ตรวจใบกิจกรรม		
3. การให้ความร่วมมือกันในการทำงานเป็นกลุ่ม	สังเกตพฤติกรรม	แบบสังเกตพฤติกรรม	นักเรียนได้ระดับคุณภาพดีขึ้นไปถือว่าผ่าน

7.2 ชิ้นงาน

ประเด็น/หัวข้อประเมิน	วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การวัดและประเมินผล
1. ความสมบูรณ์และความแข็งแรงของรถ	ความแข็งแรงของรถ เมื่อเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 5 เมตร	**ผ่าน** รถมีความแข็งแรง สามารถเคลื่อนที่ได้ดีตลอดระยะทาง 5 เมตร **ไม่ผ่าน** รถเคลื่อนที่ไม่ได้
2. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ	ความเร็วของรถ เมื่อเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 5 เมตร	ประเมินจากเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ระยะทาง 5 เมตร 0.01 – 5.00 วินาที ได้ 20 คะแนน 5.01 – 10.00 วินาที ได้ 10 คะแนน มากกว่า 10 วินาที ได้ 0 คะแนน

(ครู T02, แผนการจัดการเรียนรู้)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T02 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T02 ได้ประเมินความรู้ ทักษะ เจตคติของการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาตามแผนการจัดการเรียนรู้ (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษาครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T02 ประเมินนักเรียนขณะทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ใช้วิธีการประเมิน เช่น โปสเตอร์การนำเสนอ รูบริคที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของแผนการจัดการเรียนรู้และระดับของนักเรียน (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอน

สะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2) โดยครู T02 สะท้อนว่า ในการจัดการเรียนรู้ควรเน้นย้ำการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบให้มีคุณสมบัติตามเกณฑ์การให้คะแนนที่กำหนด (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

การปฏิบัติการสอนครั้งที่ 3 ครู T02 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยครูประเมินกระบวนการทางด้านวิศวกรรม ชิ้นงานของนักเรียน (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T02 สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม โดยอธิบายการประเมินในสะเต็มศึกษาว่า เป็นการประเมินที่ใช้ระดับการให้คะแนนแบบรูบริค มีการประเมินพฤติกรรม คะแนนการทำกิจกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...รูปแบบในการประเมินการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษามีการประเมินที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริค มีการประเมินพฤติกรรมของนักเรียน ประเมินการทำกิจกรรม ซึ่งจะเน้นตรงนี้มาก มากกว่าวิชาทั่ว ๆ ไป
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

ครู T02 สามารถเลือกวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม โดยอธิบายว่า สามารถประเมินการเรียนรู้ผู้เรียนโดยดูจากชิ้นงานการนำเสนอ มีการสังเกตพฤติกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

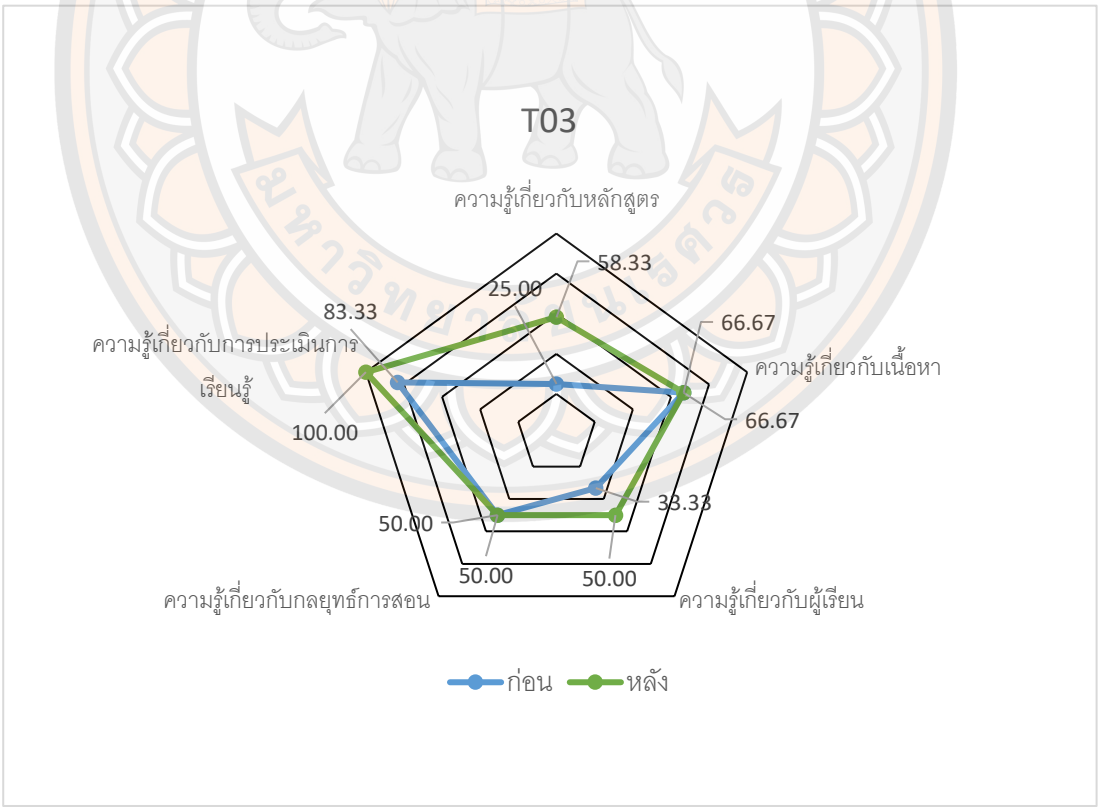
> ...มีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยดูจากชิ้นงาน ประเมินการนำเสนอ มีการสังเกตพฤติกรรมระหว่างการทำกิจกรรม มีหลักฐานเป็นใบบันทึกคะแนน โดยจะมีการประเมินระหว่างการทำกิจกรรมและช่วงท้ายของกิจกรรม ดูพฤติกรรมของนักเรียนแต่ละคนและในภาพรวมของกลุ่ม
>
> (ครู T02, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 พฤษภาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T02 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ โดยครู T02 สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมิน และเลือกวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม

จากการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาระหว่างเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันของครู T02 พบว่า แสดงพัฒนาการด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาอย่างเด่นชัด สามารถออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับมาตรฐานตัวชี้วัด กำหนดวัตถุประสงค์เชิงบูรณาการสาขาต่าง ๆ ในสะเต็มศึกษาที่สอดคล้องหลักสูตร ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กำหนดสถานการณ์ เกณฑ์ และข้อจำกัดจริงในชั้นเรียน นอกจากนี้ครูสามารถปรับเนื้อหาที่จำเป็นต่อการแก้ปัญหา ใช้แผนภาพ สื่อดิจิทัล และการจำลองเพื่อให้นักเรียนเข้าใจง่ายขึ้น ครูพัฒนาจากการตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน แก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนที่พบในการจัดการเรียนรู้ ให้ความสำคัญกับความรู้พื้นฐานก่อนทำกิจกรรม อีกทั้งครูสามารถปรับบทเรียนเมื่อพบข้อจำกัดอุปกรณ์/เวลา และสามารถประเมินตามสภาพจริงจากหลักฐานที่หลากหลาย

กรณีศึกษาที่ 3 ครู T03

ครู T03 เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา มีลักษณะดังนี้



ภาพ 38 แสดงการเปรียบเทียบ PCK for STEM ของครู T03 ก่อน-หลังเข้าร่วมโปรแกรม

จากภาพ พบว่า หลังเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู T03 มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเพิ่มขึ้นในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน และความรู้เกี่ยวกับประเมินผล โดยความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนมีค่าเท่าเดิม เมื่อพิจารณารายด้าน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T03 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการว่า กิจกรรม PCK for STEM ทำให้มีความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร กิจกรรมยังทำให้มีความรู้ และฝึกการวิเคราะห์หลักสูตรสะเต็มศึกษา เชื่อมโยงมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ สู่การออกแบบแผนจัดการเรียนรู้ร่วมกันได้ (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T03 ได้ออกแบบ พบว่า ครู T03 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในการอบรมเชิงปฏิบัติการมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน โดยพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ในเรื่อง รถไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ จำนวน 6 ชั่วโมง ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมง/สัปดาห์ เมื่อวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แสดงมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ ที่บูรณาการได้สอดคล้องกับหลักสูตรอย่างครบถ้วน มีจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะ กระบวนการ และเจตคติ และมีเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ชัดเจน (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T03 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T03 จัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ได้ครบถ้วน และเสร็จตามเวลาที่กำหนด ครูเน้นการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ (เคมี) เนื่องจากครูมีความเข้าใจเป็นอย่างดี โดยครูไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนในการสอนแนวคิดในแผนการจัดการเรียนรู้ และใช้สื่อการสอน เช่น ใบความรู้ ใบกิจกรรม เป็นต้น (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T03 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ครูจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ได้ครบถ้วน และเสร็จตามเวลาที่กำหนด มีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีในสะเต็มศึกษา (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T03 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยมีการซักถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน โดยครูให้ข้อเสนอแนะเมื่อชิ้นงานไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T03 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่าเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษานักเรียนมีความรู้และความเข้าใจในการบูรณาการความรู้ 4 ศาสตร์ สร้างชิ้นงานได้ และเข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนต้องรู้และเข้าใจการนำสะเต็มศึกษาเข้ามาใช้ ไม่ว่าจะเป็นการบูรณาการทั้ง 4 ศาสตร์ คณิต วิทย์การออกแบบ และเทคโนโลยี นักเรียนเรียนต้องสามารถที่จะสร้างชิ้นงานออกมาได้ และเข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

ครูสามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา ได้ชัดเจนและเหมาะสม โดยอธิบายว่า หลักสูตรสะเต็มศึกษาจะเป็นการสร้างหลักสูตรขึ้นมาใหม่ และจัดกิจกรรมที่สอดคล้องกับหลักสูตร ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สะเต็มศึกษาจะต้องสร้างหลักสูตรขึ้นมาใหม่ และมีการจัดกิจกรรมโดยเลือกเนื้อหาที่สอดคล้องกับหลักสูตรที่สร้างขึ้น
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

ครู T03 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้เหมาะสม โดยอธิบายว่า ออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษาและนำไปใช้โดยนำความรู้ 4 ศาสตร์มาบูรณาการเพื่อใช้ในกระบวนการออกแบบ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยนำความรู้ทั้ง 4 ศาสตร์ มาบูรณาการโดยนักเรียนสามารถใช้กระบวนการการออกแบบตามหลักการทางวิศวกรรม
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

ครู T03 สามารถเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตร ออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยใช้หลักการทางวิศวกรรม และได้ชิ้นงานออกมา และสามารถปรับปรุงชิ้นงานใหม่ได้เมื่อไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ใช้หลักการทางวิศวกรรม และได้ชิ้นงานออกมา หากชิ้นใหญ่ที่ได้ออกมาไม่บรรลุตามวัตถุประสงค์ นักเรียนสามารถไปศึกษาเพิ่มเติมและสามารถสร้างชิ้นงานใหม่ ขึ้นมาได้
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T03 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร โดยครู T03 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สามารถเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T03 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับกรอบแนวคิด PCK for STEM สามารถวิเคราะห์เนื้อหาที่ใช้จัดการเรียนรู้โดยใช้กรอบแนวคิด PCK for STEM (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T03 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ในสาระการเรียนรู้อย่างชัดเจนและเหมาะสม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T03 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T03 นำสถานการณ์ปัญหาชีวิตจริงประจำวันมาใช้ในการเริ่มบทเรียนสะเต็มศึกษา กำหนดเกณฑ์ ข้อจำกัด ในการออกแบบชิ้นงาน โดยใช้ขั้นตอนกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมอย่างเหมาะสม ให้นักเรียนได้ทำงานเป็นกลุ่ม และส่งเสริมการแลกเปลี่ยน การสื่อสารภายในกลุ่ม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1) ครูมีความกังวลเกี่ยวกับกิจกรรมการเรียนรู้ ในส่วนที่ให้นักเรียนออกแบบ เพื่อแก้ไขสถานการณ์การปัญหาที่กำหนด เนื่องจากใช้ความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์) ในเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและแบบขนาน ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ครูไม่เชี่ยวชาญ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T03 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามขั้นตอนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ให้นักเรียนได้ทำงานเป็นกลุ่ม และส่งเสริมการแลกเปลี่ยนการสื่อสารภายในกลุ่ม ครูสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ เช่น การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน ความคิดสร้างสรรค์ (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T03 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีการพูดคุย ซักถามประเด็นที่นักเรียนยังไม่เข้าใจ และแนวทางการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T03 มีความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยอธิบายว่า เนื้อหาที่มีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจก่อนการจัดการเรียนรู้ คือ นักเรียนจะต้องมีความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สิ่งนักเรียนจะต้องเข้าใจก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนจะต้องมีความรู้ในส่วนของคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และเชื่อมต่อไปยังความรู้เชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

ครู T03 สามารถนำความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยอธิบายว่า เนื้อหาในสะเต็มศึกษานักเรียนจะต้องมีความคิด มีการใช้ความรู้พื้นฐาน และสามารถนำความรู้ไปออกแบบเพื่อสร้างชิ้นงาน ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ในส่วนของสะเต็มศึกษาเด็กจะต้องมีความคิด มีการสร้างมีการออกแบบ ซึ่งมีการใช้ความรู้เป็นพื้นฐาน และสามารถจะนำความรู้ไปออกแบบ เพื่อให้ได้ชิ้นงานออกมา
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T03 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาบางส่วน โดยครู T03 ยังมีความเข้าใจในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการจัดกิจกรรมไม่ชัดเจน โดยครูมีการพูดคุย ซักถามประเด็นที่นักเรียนยังไม่เข้าใจ และแนวทางการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง

ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T03 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับกรอบแนวคิด PCK for STEM สามารถวิเคราะห์ผู้เรียนเพื่อนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ)

เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T03 ออกแบบ พบว่า กิจกรรมแสดงให้เห็นถึงการประเมินความรู้พื้นฐาน ความรู้ที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนที่จะทำกิจกรรม รวมทั้งแนวความคิดที่คลาดเคลื่อน แต่มีการระบุถึงเพียงบางส่วน กิจกรรมเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สะท้อนการเรียนรู้โดยใช้วิธีการหรือคำถาม ได้ถูกต้อง และเหมาะสม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T03 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T03 ได้ตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน ระบุความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยทบทวนวิธีการการใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์ แต่ครูไม่สามารถระบุจุดที่นักเรียนมีปัญหาหรือยากต่อการเรียนรู้สะเต็มศึกษาก่อนการจัดการเรียนรู้ ส่งผลให้นักเรียนยังขาดความเข้าใจในเรื่องของการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและแบบขนาน (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T03 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่ยังพบว่า นักเรียนบางกลุ่มไม่ได้ต่อวงจรไฟฟ้าตามที่ได้ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังขาดความเข้าใจในการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและแบบขนานที่จะแก้ไขสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดโดยส่งผลต่อความสว่างของหลอดไฟ นักเรียนมีความพยายามที่จะแก้ปัญหาโดยสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม หรือถามครูผู้สอนเกี่ยวกับการต่อวงจรไฟฟ้า (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T03 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในแต่ละกลุ่มโดย ครูได้แก้ปัญหาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยให้ข้อเสนอแนะและอธิบายเพิ่มเติมเพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนด (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T03 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียน

ก่อนทำกิจกรรมได้ โดยอธิบายว่า ครูสามารถตรวจสอบว่านักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดย นักเรียนสามารถสร้างชิ้นงานโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และได้ผลตามที่ตั้งเอาไว้ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนสามารถสร้างชิ้นงานได้ด้วยตนเอง สามารถใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมให้ได้ผลออกมาเป็นไปตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ ยังอธิบายว่า ครู T03 สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนต้องมีความรู้ 4 ศาสตร์ก่อนลงมือปฏิบัติเพื่อนำความรู้ไปใช้ในการออกแบบ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนจะต้องมีความรู้ในศาสตร์ทั้ง 4 ศาสตร์ ถ้าจะให้ลงมือปฏิบัติในด้านใดจำเป็นจะต้องมีความรู้พื้นฐานทั้งคณิต วิทย์ ในด้านนั้นก่อน แล้วจึงนำความรู้พื้นฐานมาใช้ในการออกแบบ
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

ครู T03 สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในด้านความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ที่จะส่งผลต่อกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในความรู้และความเข้าใจของวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์บ้างซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สามารถพบเจอในชั้นเรียน ซึ่งเด็กสามารถไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมได้เอง
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T03 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน โดยครู T03 สามารถวิเคราะห์ผู้เรียนมีการประเมินความรู้พื้นฐาน และตรวจสอบแนวคิดที่คลาดเคลื่อน แต่ครูไม่สามารถระบุจุดที่นักเรียนมีปัญหาหรือยากต่อการเรียนรู้ในช่วงแรก ดังนั้นครูจึงมีการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม หรือถามครูผู้สอน โดยครูมีความตระหนักถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนทำกิจกรรม

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T03 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า ได้รับความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับวิศวกรรม แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การปฏิบัติด้านวิศวกรรม กำหนดสถานการณ์ในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ อีกทั้งสามารถจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T03 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ระบุลำดับขั้นตอนกิจกรรมการเรียนรู้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ การใช้เทคโนโลยีเครื่องมือ สื่อการสอน เช่น โปรแกรม PhET แผนการจัดการเรียนรู้ แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ระบุปัญหา วิเคราะห์สถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ออกแบบและพัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหา ทดสอบประเมินผลและปรับปรุงแนวทางในการแก้ไขปัญหา สื่อสารนำเสนอความคิดในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ และใช้คำถามขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ถูกต้อง และเหมาะสม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T03 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครูใช้กลยุทธ์การสอนวิทยาศาสตร์ที่เขียนไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้ขั้นตอนในการทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ทำให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดในรายวิชาสะเต็มศึกษาได้ดียิ่งขึ้นมีการใช้แผนภาพอธิบายเพิ่มเติม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1) ในขั้นตอนการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ครูมีความไม่มั่นใจเนื่องจากต้องใช้ความรู้ในด้านการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและแบบขนานซึ่งเป็นเนื้อหาที่ครูไม่ถนัด (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T03 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามใบกิจกรรมที่กำหนด โดยควรปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองให้เพียงพอต่อจำนวนกลุ่ม เพิ่มกิจกรรมที่ทำให้นักเรียนมีความรู้ในเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาได้ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ครูเน้นย้ำขั้นตอนในการทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และอภิปรายแนวคิดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ในบริบททางวิศวกรรม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T03 สามารถเลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า กลยุทธ์ที่ใช้จัดการเรียนรู้ในสะเต็มศึกษา ใช้กลยุทธ์แบบ Active Learning ในการสร้างชิ้นงานดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ใช้กลยุทธ์แบบ Active Learning เด็กมีการลงมือปฏิบัติตลอดเวลา นักเรียนมีการใช้ความคิดของตนเอง ในการสร้างสรรค์ชิ้นงาน
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

ครู T03 สามารถใช้แนวทางการสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม โดยอธิบายว่า ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยสร้างความสนใจให้นักเรียนแล้วให้นักเรียนลงมือปฏิบัติ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยมีขั้นตอนที่สร้างความสนใจให้กับนักเรียน มีขั้นการสอนทฤษฎี และขั้นตอนการลงมือปฏิบัติ จากนั้นมาสรุปและอภิปรายร่วมกัน
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

ครู T03 สามารถออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหาสาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษา อย่างเหมาะสม โดยอธิบายว่า ออกแบบกิจกรรมโดยดูระดับความรู้ของนักเรียน กิจกรรมมีความสนุกท้าทายใช้กระบวนการคิด และไม่ยากจนเกินไป ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...กิจกรรมที่ออกแบบมีความสัมพันธ์กับระดับชั้นของนักเรียน ระดับความรู้ของนักเรียนหรือไม่ กิจกรรมที่นำมาต้องสร้างความท้าทายให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิด เป็นกิจกรรมที่ไม่ยากเกินความสามารถของนักเรียน
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T03 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน โดยครู T03 เลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เน้นนักเรียนแล้วให้นักเรียนลงมือปฏิบัติ ออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหา สาขาวิชาอื่น ๆ แต่ยังขาดความเข้าใจในเนื้อหาจึงมีการปรับกลยุทธ์โดยใช้สื่อการสอนเพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T03 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกรอบแนวคิด PCK for STEM ในด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ สามารถวิเคราะห์การจัดการเรียนรู้โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T03 ออกแบบ พบว่า มีวิธีการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ได้ถูกต้อง และมีการวัดและประเมินผลทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจนและถูกต้องเหมาะสมบางส่วน (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา) ดังตัวอย่างการประเมินการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ ต่อไปนี้

6. การวัดและประเมิน

รายการประเมิน	วิธีการวัด	เครื่องมือที่ใช้วัด	เกณฑ์การประเมินการผ่าน
1. อธิบายความหมายและเขียนปฏิกิริยารีดอกซ์จากครึ่งปฏิกิริยาที่กำหนดให้ 2. ทดลองและอธิบายผลของการเลือกคู่โลหะ ต่อค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า 3. ยกตัวอย่างประโยชน์และสร้างแบตเตอรี่อย่างง่าย 4. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างแหล่งพลังงานทดแทน	ตรวจใบกิจกรรมที่ 5.1 เรื่อง แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม	ใบกิจกรรมที่ 5.1 เรื่อง แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม	ผู้เข้ารับการอบรมได้ระดับคุณภาพดี ถือว่าผ่าน

7.เกณฑ์การให้คะแนน

.

ประเด็น/หัวข้อประเมิน	วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การวัดและประเมินผล
1. ประสิทธิภาพแบตเตอรี่	ต่อขั้วแบตเตอรี่เซลล์ไฟฟ้าเคมีกับมอเตอร์พัดลมขนาดเล็ก	**ผ่าน** สามารถทำให้พัดลมมอเตอร์หมุนได้อย่างน้อย 1 นาที หรือหลอด LED ติดสว่าง **ไม่ผ่าน** สามารถทำให้พัดลมมอเตอร์หมุน

(ครู T03, แผนการจัดการเรียนรู้)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T01 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T03 ได้ประเมินวัตถุประสงค์ในด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติของการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีการปรับปรุงแผนในส่วนของการวัดและประเมินผล โดยปรับผลจากการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนดให้สอดคล้องกับเกณฑ์การให้คะแนนมากขึ้น (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T03 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยครูมีการใช้วิธีการประเมินแบบรูบริคที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของแผนการจัดการเรียนรู้ มีการประเมิน กระบวนการทางด้านวิศวกรรมของนักเรียน (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T03 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ครูประเมิน ผลิตภัณฑ์/ชิ้นงาน ของนักเรียน ประเมินกระบวนการทางด้านวิศวกรรมของนักเรียนที่เหมาะสมกับระดับของนักเรียน (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T03 สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลายและเหมาะสม โดยอธิบายว่า การประเมินในสะเต็มศึกษาสามารถประเมินได้หลากหลาย เช่น ทักษะกระบวนการ ความร่วมมือ การนำเสนอ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...การประเมินในสะเต็มศึกษาจะสามารถวัดและประเมินผลได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นขณะทำกิจกรรม ผลการทำกิจกรรม การออกแบบ หรือการนำเสนอ
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568

ครู T03 สามารถเลือกวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม โดยอธิบายว่า การประเมินการเรียนรู้ผู้เรียนในสะเต็มศึกษาใช้การประเมินชิ้นงาน ประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...การประเมินในสะเต็มศึกษาจะใช้แบบประเมินชิ้นงาน แบบประเมินกระบวนการ แบบประเมินการนำเสนอ แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา
>
> (ครู T03, ผู้ให้สัมภาษณ์, 14 มีนาคม 2568)

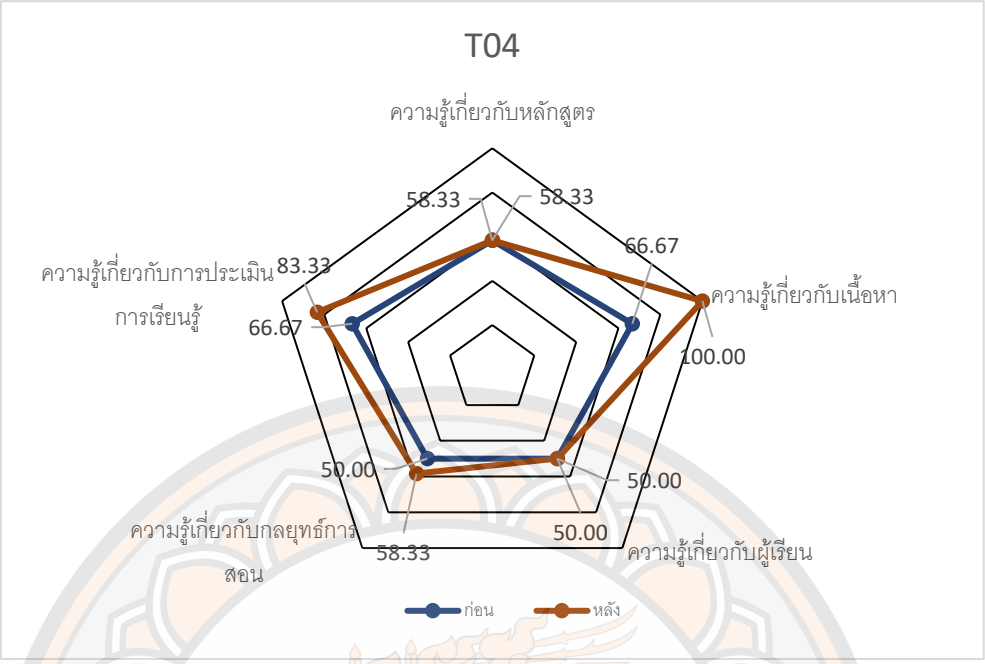
นอกจากนี้ ยังอธิบายว่าสามารถใช้เครื่องมือใช้แบบประเมินต่าง ๆ ตลอดช่วงการจัดการเรียนรู้ ตั้งแต่การปฏิบัติกิจกรรม การออกแบบ วางแผน ทดลอง หรือนำเสนอชิ้นงาน วิธีการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ได้ถูกต้อง สามารถปรับวิธีการให้คะแนนการแก้ปัญหาให้สอดคล้องกับเกณฑ์

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T03 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้อย่างชัดเจน โดยครู T03 ประเมินวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาอย่างครบถ้วน ใช้แบบประเมินต่าง ๆ ตลอดช่วงการจัดการเรียนรู้ มีการปรับปรุงในส่วนของการวัดและประเมินผลให้สอดคล้องกับการปฏิบัติมากยิ่งขึ้น

จากการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาระหว่างเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันของครู T03 พบว่า มีพัฒนาการด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยสามารถวิเคราะห์หลักสูตร ตัวชี้วัดและออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงสาขาวิชาในสะเต็มศึกษา พร้อมกำหนดเป้าหมายทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ชัดเจนยิ่งขึ้น ครูยกระดับการบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีเข้ากับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และเลือกสื่อสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ปรับแก้ไขชิ้นงาน เมื่อไม่ตรงเกณฑ์ที่กำหนด การจัดการเรียนรู้ใช้สถานการณ์จริง ตามข้อข้อจำกัด เน้นทำงานกลุ่ม และใช้คำถามกระตุ้นคิดอย่างต่อเนื่อง มีการตรวจสอบความรู้เดิมและสะท้อนการเรียนรู้ของผู้เรียนมากขึ้น แต่ยังพบปัญหาความเข้าใจของนักเรียน ซึ่งครูมีการแก้ไขความเข้าใจของนักเรียนเพิ่มเติม มีการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นขั้นตอน ใช้สื่อดิจิทัล แผนภาพ และปรับแผนตามบริบทจริง มีการประเมินตามสภาพจริง โดยใช้หลักฐานที่หลายหลายเชื่อมโยงวัตถุประสงค์ได้มากขึ้น

กรณีศึกษาที่ 4 ครู T04

ครู T04 เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา มีลักษณะดังนี้



ภาพ 39 แสดงการเปรียบเทียบ PCK for STEM ของครู T04 ก่อน-หลังเข้าร่วมโปรแกรม

จากภาพ พบว่า หลังเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู T04 มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเพิ่มขึ้นในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนและความรู้เกี่ยวกับประเมินผล ส่วนความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรและความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนมีค่าคงเดิม เมื่อพิจารณารายด้าน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T04 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า กิจกรรมสามารถทำให้มีความเข้าใจแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา PCK for STEM ในด้านของหลักสูตร เข้าใจวิธีการออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาให้ตรงตามหลักสูตร สามารถพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เพื่อนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน มีการแลกเปลี่ยนแนวคิดกับครูต่างสาขาต่างกลุ่มสาระการเรียนรู้ ได้รับข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ และปรับปรุงแผนก่อนนำไปใช้จริง (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T04 ได้ออกแบบ พบว่า ครู T04 ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างง่าย จำนวน 6 ชั่วโมง ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมง/สัปดาห์ เมื่อวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แสดงมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ ที่บูรณาการได้สอดคล้องกับหลักสูตร

อย่างครบถ้วน แสดงจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการ และเจตคติ แต่ยังแสดงเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ไม่ชัดเจน (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T04 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T04 จัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ได้ครบถ้วน เหมาะสม และเสร็จตามเวลาที่กำหนด มีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ในสะเต็มศึกษา ใช้สื่อการสอน อุปกรณ์ เทคโนโลยี เช่น ใบความรู้ ใบกิจกรรม อินเทอร์เน็ต โปรแกรม PhET เป็นต้น (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1) นอกจากนี้ครู T04 สะท้อนผลหลังจากการจัดการเรียนรู้ว่ามีการปรับเปลี่ยนขั้นตอนในแผนการจัดการเรียนรู้ในเรื่อง การวัดกระแสไฟฟ้าในผลไม้ โดยเพิ่มคำแนะนำการใช้การใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดกระแสไฟฟ้า (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T04 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ โดยครู T04 สะท้อนว่ามีการเปลี่ยนแปลงแผนการจัดการเรียนรู้โดยให้นักเรียนเตรียมผลไม้มากกว่า 1 ชนิด ซึ่งแตกต่างจากแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้ตรวจสอบปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจากผลไม้ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T04 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยครูเน้นตั้งคำถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3) โดยครู T04 สะท้อนหลังการจัดการเรียนรู้ในเรื่องของหลักสูตรว่า จะปรับเปลี่ยนวัตถุประสงค์ เนื้อหาและขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ โดยออกแบบวิธีการทดลองในขั้นรวบรวมข้อมูลใหม่ให้เลือกสารที่ใช้ในการทดลอง เช่น สารละลายในครัวเรือน เปลี่ยนขั้วไฟฟ้า เปิดโอกาสให้นักเรียนเลือกวัสดุและเพิ่มวิธีการวัดความเข้มแสงของหลอดไฟ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T04 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการบูรณาการ และเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า กำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษาในด้านบูรณาการความรู้ ทักษะ และเจตคติ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...กำหนดวัตถุประสงค์ในด้านความรู้ ทักษะ เจตคติ โดยจะเน้นทักษะ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

ครู T04 สามารถเลือกเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง ระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา ได้ชัดเจนและเหมาะสม โดยอธิบายว่าออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษา และนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้โดย สำรวจก่อนว่านักเรียนมีความรู้พื้นฐานอะไรบ้าง และใช้ความรู้เพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่กำหนดโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ในการออกแบบกิจกรรมก็จะสำรวจก่อนว่านักเรียนมีความรู้พื้นฐานอะไรบ้าง กิจกรรมที่ออกแบบนักเรียนต้องทำให้เสร็จภายในเวลาที่กำหนด ไม่ง่ายหรือยากเกินไป เป็นกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนลงมือปฏิบัติ เวลาออกแบบก็จะให้นักเรียนทำตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีสถานการณ์มาให้แล้วให้นักเรียนระบุปัญหา รวบรวมแนวคิด แล้วทำตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

ครู T04 สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้เหมาะสม โดยอธิบายว่า กำหนดหลักสูตรในสาขาวิชาของตนเองกับหลักสูตรสะเต็มศึกษาให้นักเรียนออกแบบวิธีการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนด ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...หลักสูตรสะเต็มจะเน้นให้นักเรียนลงมือปฏิบัติ และทำตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน โดยเน้นให้นักเรียนออกแบบ เช่น ไฟฟ้าเคมี กรดเบส เป็นต้น โดยนักเรียนมีความรู้พื้นฐานมาก่อนแล้ว แล้วมาออกแบบกิจกรรมที่ให้นักเรียนสร้างนวัตกรรม
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

โดยพบว่า ครู T04 สามารถแสดงถึงการเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T04 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร โดยครู T04 แสดงจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนครอบคลุมทุกด้านและเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา แต่เชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ไม่ชัดเจน มีการปรับเปลี่ยนขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ และการเลือกใช้สื่อการสอนที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T04 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า กิจกรรมทำให้เข้าใจเนื้อหากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน และการปฏิบัติเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วย 8 ขั้นตอน เข้าใจแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา PCK for STEM โดยต้องมีความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T04 ได้ออกแบบพบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์ กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ในสาระการเรียนรู้อย่างชัดเจนและเหมาะสม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T04 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครูจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ได้ครบถ้วน เหมาะสม และเสร็จตามเวลา มีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ในสะเต็มศึกษา ใช้สื่อการสอน อุปกรณ์ เทคโนโลยีในการเรียนรู้อย่างเหมาะสม เช่น ใบความรู้ ใบกิจกรรม สื่ออินเทอร์เน็ต เป็นต้น (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T04 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยครู T04 ยังมีความเข้าใจที่ไม่ชัดเจนในเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม และแบบขนานเพื่อที่จะเพิ่มกระแสไฟฟ้าตามสถานการณ์ที่กำหนด โดยครูมีการสาธิตการต่อวงจรไฟฟ้าเพิ่มเติมโดยใช้โปรแกรม PhET (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T04 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยเน้นในขั้นการรวบรวมข้อมูลให้มีการเชื่อมโยงความรู้ของสะเต็มในศาสตร์ต่าง ๆ อย่างครบถ้วน เชื่อมโยงในประเด็นในสถานการณ์ปัญหา ส่งเสริมการแลกเปลี่ยน การสื่อสารภายในกลุ่ม เพื่อพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T04 มีความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยอธิบายว่า สะเต็มศึกษาเป็นการนำเนื้อหาในสาขาวิชา ต่าง ๆ นำมาใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

...เนื้อหาที่สำคัญในสะเต็มศึกษา คือ องค์ความรู้เกี่ยวกับสะเต็ม ความหมายของสะเต็มศึกษา กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และเนื้อหาที่จะต้องนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

(ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ยังอธิบายว่า เนื้อหาที่มีความสำคัญในสะเต็มศึกษาเป็นเนื้อหาความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา ตามสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

...เนื้อหากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และเนื้อหาความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา ตามสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ นักเรียนจะต้องเข้าใจถึงจะสามารถแก้ปัญหาได้ ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

(ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

ครู T04 สามารถนำความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ที่ใช้จัดกิจกรรมในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม โดยอธิบายว่า สะเต็มศึกษาเน้นที่กระบวนการออกแบบกิจกรรมเพื่อฝึกกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

...สะเต็มศึกษาจะไม่เน้นที่เนื้อหาแต่จะเน้นที่กระบวนการ ขึ้นอยู่กับว่าเราจะนำเนื้อหาตรงไหนมาออกแบบกิจกรรม เพื่อฝึกกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

(ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T04 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา โดยครู T04 สามารถเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์ กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ แต่ยังมีความเข้าใจที่ไม่ชัดเจนในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ โดยมีการใช้สื่อเพิ่มเติมเพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T04 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า กิจกรรมทำให้เข้าใจแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา PCK for STEM โดยต้องมีความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน เข้าใจวิธีการออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา และสามารถพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ต้องคำนึงถึงผู้เรียน (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T04 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้

แสดงให้เห็นถึงการประเมินความรู้พื้นฐาน ความรู้ที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนที่จะทำกิจกรรม รวมทั้งแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนบางส่วน กิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สะท้อนการเรียนรู้โดยใช้วิธีการหรือคำถาม ได้ถูกต้อง และเหมาะสม (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T04 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T04 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่วางแผนไว้ โดยมีการตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน ระบุจุดที่นักเรียนมีปัญหาหรือยากต่อการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ระบุความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน พบว่า นักเรียนยังขาดความรู้พื้นฐานในเรื่องการใช้อุปกรณ์การวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้มัลติมิเตอร์ การต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม และแบบขนาน รวมถึงทักษะในการใช้อุปกรณ์และการเชื่อมต่อวงจร (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T04 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และได้แก้ปัญหาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ให้คำแนะนำเพิ่มเติม ใช้กิจกรรมเพิ่มเติมในขณะที่จัดการเรียนรู้ เช่น โปรแกรม PhET (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2) นอกจากนี้ ครู T04 สะท้อนว่า นักเรียนมีปัญหาในการวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม แบบขนาน การเชื่อมต่ออุปกรณ์ และการเขียนกราฟ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอน สะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T04 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยครูสอบถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน ในเนื้อหาสาระของศาสตร์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา และความใจในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T04 สามารถตรวจสอบถึงความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนทำกิจกรรมได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนควรมีความรู้ในเนื้อหาที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์นั้น ๆ ใช้ทักษะในหลาย ๆ ด้าน รวมถึงทักษะในศตวรรษที่ 21 ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนควรมีความรู้ในเนื้อหาที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์นั้น ๆ ทักษะก็จะมีหลาย ๆ ด้าน เช่น ทักษะการสื่อสาร ทักษะการนำเสนอ ทักษะการทำงานเป็นกลุ่ม ซึ่งรวม ๆ เป็นทักษะในศตวรรษที่ 21 พอมีกิจกรรมให้นักเรียนทำก็จะสามารถพัฒนาทักษะพวกนี้มากขึ้นเรื่อย ๆ
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ ยังอธิบายว่า นักเรียนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยสังเกตจากการนำเสนอ ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สังเกตจากการนำเสนอ ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแต่ละขั้นตอน เช่น มีการระบุปัญหา รวบรวมข้อมูลออกแบบ ดำเนินการแก้ไขทดสอบ ปรับปรุงและนำเสนอ รวมถึงการทดสอบ มีการฝึกซ้ำ ๆ
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

ครู T04 สามารถวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้ โดยอธิบายว่า นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และความคลาดเคลื่อนในความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...นักเรียนมีความคลาดเคลื่อนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ช่วงรวบรวมและแนวคิดเกี่ยวกับการแก้ปัญหา นอกจากนี้ก็ยังพบความคลาดเคลื่อนของนักเรียนเกี่ยวกับการใช้หน่วยทางวิทยาศาสตร์ หรือเข้าใจในหลักการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การเกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งครูจะต้องอธิบายเพิ่มเติมให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T04 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน โดยครู T04 มีการประเมินความรู้พื้นฐาน และตรวจสอบแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยครูให้คำแนะนำและใช้กิจกรรมเพิ่มเติม โดยครูเน้นให้นักเรียนเข้าใจในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T04 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า กิจกรรมทำให้ทราบถึงองค์ประกอบ เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้สะเต็ม และการพัฒนาไปสู่ทักษะในศตวรรษที่ 21 ทราบถึงการนำสะเต็มศึกษาไปใช้ในการเรียนการสอนรูปแบบต่าง ๆ เข้าใจการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม และนำไปใช้ในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนด รวมถึงเข้าใจแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา PCK for STEM โดยต้องมีความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ)

เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T04 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ระบุการลำดับขั้นตอนกิจกรรมการเรียนรู้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ แสดงการใช้เทคโนโลยีเครื่องมือ สื่อการสอน และแหล่งข้อมูล เช่น โปรแกรม PhET แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ระบุปัญหา วิเคราะห์สถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ออกแบบและพัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหา ทดสอบประเมินผลและปรับปรุงแนวทางในการแก้ไขปัญหา สื่อสารนำเสนอความคิดในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ และแสดงตัวอย่างคำถาม ขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ถูกต้อง (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T01 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T04 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่วางแผนไว้ มีเปลี่ยนแปลงขั้นตอนของบทเรียนเมื่อพบว่านักเรียนประสบปัญหาในระหว่างบทเรียน ในกิจกรรมการวัดกระแสไฟฟ้าในผลไม้ เนื่องจากต้องใช้กิจกรรมให้ความรู้เพิ่มเติมขณะที่จัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม PhET ระหว่างทำกิจกรรมครูอภิปรายแนวคิดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ในบริบททางวิศวกรรม (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T04 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ระหว่างทำกิจกรรมทดลองเซลล์ไฟฟ้าเคมีจากผลไม้ ครู T04 คอยแนะนำนักเรียนแต่ละกลุ่มเกี่ยวกับการแก้ปัญหาสถานการณ์ที่กำหนดที่จะทำให้หลอดไฟติด รวมถึงวิธีการต่อวงจรแบบอนุกรมและขนาน (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2) นอกจากนี้ ครู T04 สะท้อนว่า ควรปรับเปลี่ยนสถานการณ์ปัญหาโดยการเพิ่มจำนวนผลไม้ให้มากขึ้น เพื่อให้หลอดไฟ LED สว่าง และบางกลุ่มยังไม่สามารถทำให้หลอด LED สว่างได้ รวมถึงการพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ในการผลิตไฟฟ้าจากผลไม้ เช่น ความสุกของผลไม้ ชนิดของผลไม้ เป็นต้น (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T04 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยให้นักเรียนนำเสนอด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ครูซักถามโดยเน้นในขั้นรวบรวมข้อมูลจากศาสตร์ต่าง ๆ มีการแนะนำการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพ เช่น การเปลี่ยนชนิดผลไม้ ชนิดขั้วไฟฟ้า ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน และให้ข้อเสนอแนะ รวมถึงให้กำลังใจนักเรียนเมื่อนักเรียนนำเสนอเสร็จเรียบร้อย (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3) นอกจากนี้ ครู T04 สะท้อนหลังการจัดการเรียนรู้ว่า ควรมีการปรับแผนการจัดการเรียนรู้

โดยกำหนดสถานการณ์ให้สร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างง่าย และสามารถผลิตไฟฟ้าดูจากความสว่างหลอด LED โดยเปลี่ยนจากผลไม้ไปใช้เป็นสารละลาย เพื่อให้เห็นการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ชัดเจน แต่ต้องพิจารณาในเรื่องความอันตราย หรือโดยใช้สารละลายในครัวเรือน ที่ไม่เป็นอันตราย มีการเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าให้ใหญ่ขึ้น นักเรียนสามารถเลือกขั้วไฟฟ้า หรือสารละลายได้เอง และสามารถวัดความเข้มของหลอดไฟจากอุปกรณ์วัดความเข้มแสง เป็นต้น (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T04 สามารถเลือกวิธีการสอนที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยอธิบายว่า กลยุทธ์ที่ใช้จัดการเรียนรู้จะเน้น Active Learning การทดลองมีการลงมือปฏิบัติ ใช้สื่อวิดีโอหรือโปรแกรมจำลอง ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...กลยุทธ์ที่ใช้จัดการเรียนรู้ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาจะเน้น Active Learning การทดลอง มีการลงมือปฏิบัติหรือเลือกใช้สื่อที่นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้มากยิ่งขึ้น ใช้วิดีโอหรือโปรแกรมจำลองเพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

ครู T04 สามารถใช้แนวทางการสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม โดยอธิบายว่า ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา และนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ ปฏิบัติตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 6 ขั้น ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...สร้างสถานการณ์ เพื่อให้นักเรียนปฏิบัติตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 6 ขั้น จากนั้นก็มีการประเมินผลระหว่างกระบวนการและหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ รวมถึงการนำเสนอ ใบกิจกรรม การถามตอบระหว่างจัดกิจกรรม
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

ครู T04 สามารถออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหาสาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษาอย่างเหมาะสม โดยอธิบายว่า ครูออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยสำรวจความรู้พื้นฐานนักเรียนก่อน จากนั้น ก็สร้างสถานการณ์ เพื่อให้นักเรียนปฏิบัติตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ทั้ง 6 ขั้น จากจากนั้นก็มีการประเมินผลระหว่างกระบวนการ และหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ รวมถึงการนำเสนอ ใบกิจกรรม การถามตอบระหว่างจัดกิจกรรม
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ยังอธิบายว่าออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษาโดยพิจารณา ความรู้เดิมของนักเรียน อุปกรณ์ เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรม และวิธีการประเมินผล ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษาโดยพิจารณา ความรู้เดิมของนักเรียน อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรม และวิธีการประเมินผล เช่น ควรมีการวางแผนในการประเมินผลซึ่งอาจมาจากการได้ทดลองทำก่อนนำไปใช้จริงกับนักเรียน ซึ่งจะสอดคล้องกับความจริงมากขึ้น
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T04 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน โดยครู T04 มีความเข้าใจการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สามารถออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมครบทุกขั้นตอน มีปรับบทเรียนเมื่อพบว่านักเรียนประสบปัญหาโดยใช้สื่อเทคโนโลยี

ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

การประชุมเชิงปฏิบัติการ

ครู T04 ได้สะท้อนผลจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติว่า เข้าใจแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา PCK for STEM โดยต้องมีความรู้เกี่ยวกับการประเมินผล (แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ) เมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ครู T04 ได้ออกแบบ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้มีวิธีการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ได้ถูกต้อง เหมาะสม มีการวัดและประเมินผลทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจนและถูกต้อง เหมาะสมบางส่วน (แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา) ดังตัวอย่างการประเมินการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ต่อไปนี้

6. การวัดและประเมินผล

รายการประเมิน	วิธีการวัด	เครื่องมือที่ใช้วัด	เกณฑ์การประเมินการผ่าน
1. อธิบายการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ตรวจใบกิจกรรม	แบบประเมินกิจกรรม	คะแนน 19-24 หมายถึง ดีมาก คะแนน 13-18 หมายถึง ดี คะแนน 7-12 หมายถึง พอใช้ คะแนน 1-6 หมายถึง ปรับปรุง ผู้เรียนได้ระดับคุณภาพดี ขึ้นไป ถือว่าผ่าน
2. สร้างชิ้นงานโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนดได้อย่างสร้างสรรค์	ตรวจใบกิจกรรม		
3. การให้ความร่วมมือกันในการทำงานเป็นกลุ่ม	สังเกตพฤติกรรม	แบบสังเกตพฤติกรรม	นักเรียนได้ระดับคุณภาพ ดี ขึ้นไปถือว่าผ่าน

7.2 ชิ้นงาน

ดีมาก(4)	ดี(3)	พอใช้(2)	ปรับปรุง(1)
เซลล์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไขคือทำให้หลอด LED จำนวน 3 หลอด	เซลล์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไขคือทำให้หลอด LED จำนวน 2 หลอดติด	เซลล์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไขคือทำให้หลอด LED จำนวน 1 หลอดติด	เซลล์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเป็นไม่ไปตามเงื่อนไขคือทำให้หลอด LED จำนวน 1 หลอดไม่ติด

(ครู T04, แผนการจัดการเรียนรู้)

การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

ระหว่างเข้าร่วมการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครู T01 ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้จริงกับนักเรียน พบว่า

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 ครู T04 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่วางแผนไว้ ครูได้ประเมิน ความรู้ ทักษะ และเจตคติของการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีการใช้วิธีการประเมินที่หลากหลาย เช่น ใบงาน ใบกิจกรรมรูบริค ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของแผนการจัดการเรียนรู้ (แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 1)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 ครู T04 ให้นักเรียนทำกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ครูมีการประเมินกระบวนการทางด้านวิศวกรรมของนักเรียน และสะท้อนว่าควรปรับเกณฑ์การให้คะแนนจากกระแสไฟฟ้า หรือความสว่างจากหลอด LED ใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงทางปฏิบัติ (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 2)

ในการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 3 ครู T04 ให้นักเรียนนำเสนอกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประเมิน ผลิตภัณฑ์/ชิ้นงานของนักเรียน ใช้วิธีการประเมินที่เหมาะสมกับระดับของนักเรียน ควรมีการปรับเกณฑ์ในการประเมินชิ้นงานใหม่ให้สอดคล้องกับความเป็นจริง การประเมินการติดสว่างของหลอด LED ควรให้นักเรียนแสดงหลักฐาน เช่น คลิป VDO เพื่อให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้น (แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา ครั้งที่ 3)

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์หลังเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันพบว่า ครู T04 สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม โดยอธิบายว่า การประเมินทั้งความรู้ ทักษะ และเจตคติ โดยเฉพาะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ครูมีการประเมินทั้งความรู้ ทักษะ และเจตคติ โดยสะเต็มศึกษาก็จะเน้นทั้ง 3 ด้าน โดยเฉพาะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

ครู T04 สามารถเลือกวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสม โดยอธิบายว่า ใช้การประเมินแต่ละขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประเมินชิ้นงาน การนำเสนอ ดังคำสัมภาษณ์ ดังนี้

> ...ใช้แบบประเมิน แต่ละขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีเกณฑ์เป็นรูบริค มีประเมินชิ้นงาน ประเมินจากการนำเสนอตามกระบวนการการออกแบบเชิงวิศวกรรมซึ่งจะมีการถามตอบเพื่อตรวจสอบความเข้าใจ มีการสังเกตระหว่างการทำกิจกรรม และใบกิจกรรม
>
> (ครู T04, ผู้ให้สัมภาษณ์, 21 มีนาคม 2568)

นอกจากนี้ ครู T04 อธิบายว่า ใช้แบบประเมินทักษะกระบวนการ โดยประเมินระหว่างทำกิจกรรมและหลังการทำกิจกรรม ประเมินใบงานในการทำกิจกรรมแต่ละขั้น มีการถามตอบระหว่างการนำเสนอหรือหลังจากเสร็จสิ้นการนำเสนอ

สรุปได้ว่า ระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ครู T04 มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ โดยครู T04 วิธีการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยประเมิน ความรู้ ทักษะ และเจตคติของการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา โดยใช้เครื่องมือที่หลากหลาย มีการปรับเกณฑ์ให้สอดคล้องกับผลทางปฏิบัติ โดยมีประเมินระหว่างทำกิจกรรมและหลังการทำกิจกรรม

จากการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาระหว่างเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันของครู T04 พบว่า มีพัฒนาการความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา สามารถออกแบบบทเรียนได้อย่างเป็นระบบ แผนการจัดการเรียนรู้แสดงถึงการบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีควบคู่กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมชัดเจนขึ้น ระหว่างสอนครูมีการปรับแผน เพิ่มคำแนะนำการใช้อุปกรณ์ รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ เพื่อเก็บข้อมูลและแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผล เสริมความรู้เนื้อหาของนักเรียนที่ยังขาดด้วยสื่อดิจิทัล เช่น โปรแกรม PhET ใบงาน กิจกรรมกลุ่ม และใช้คำถามเชิงวิศวกรรมตลอดขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ สามารถวิเคราะห์แนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียนในหลักการทางวิทยาศาสตร์ เชื่อมโยงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ มีการประเมินตามสภาพจริงจากหลักฐานที่หลากหลายและปรับเกณฑ์ให้สอดคล้องบริบทจริง

2.2 ผลการวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาระหว่างกรณีระหว่างการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา

การวิเคราะห์ข้ามกรณี มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการพัฒนาความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู 4 กรณี โดยเปรียบเทียบในประเด็นความสอดคล้องและความแตกต่างของการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ผู้วิจัยขอนำเสนอ ดังนี้

2.2.1 ครูสามารถกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้แบบบูรณาการสอดคล้องกับหลักสูตร

ครูทั้งหมดสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ได้สอดคล้องกับหลักสูตร และครอบคลุมทั้งความรู้ ทักษะ กระบวนการ และเจตคติอย่างเป็นระบบ ซึ่งพบได้จากแผนการจัดการเรียนรู้และการสังเกตชั้นเรียน สอดคล้องกับคำอธิบายของครูในการสัมภาษณ์ที่มุ่งบูรณาการ 4 ศาสตร์ และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่ยังมีความแตกต่างสำคัญอยู่ที่การเชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจน โดยครู T03 สามารถกำหนดเป้าหมายโดยเน้นการสร้างชิ้นงาน การคิดวิเคราะห์ และการทำงานร่วมกัน ขณะที่ครู T01 ครู T02 และ ครู T04 มี จุดประสงค์ครอบคลุมทั้งความรู้ ทักษะ กระบวนการ และเจตคติ ในเชิงบูรณาการแต่การเชื่อมโยงกับทักษะศตวรรษที่ 21 ยังระบุยังไม่ชัดเจน

2.2.2 ครูมีการบูรณาการเนื้อหาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างครบถ้วน

ครูทั้งหมดสามารถเลือกเนื้อหาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อนำไปบูรณาการในการจัดการเรียนรู้ได้ครบถ้วนโดยเป็นข้อมูล

จากการสังเกตการสอน แต่มีความเข้าใจเชิงลึกของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่แตกต่างกันออกไป โดยครู T03 ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแบบเน้นผู้เรียน ตั้งคำถามทดสอบ สะท้อนให้ข้อเสนอแนะต่อยอดจนเกิดการปรับปรุงชิ้นงาน ซึ่งเป็นข้อมูลจากการสังเกตและสัมภาษณ์ที่สอดคล้องกัน ครู T04 ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีการปรับแผนการจัดการเรียนรู้ระหว่างจัดการเรียนรู้ เช่น การฝึกทักษะการใช้เครื่องมือวัด การปรับเปลี่ยนวัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดกิจกรรมและปรับวัตถุประสงค์ ขั้นตอนในการทำกิจกรรมซึ่งเป็นข้อมูลจากการสะท้อนการปฏิบัติการสอน นอกจากนี้ ครู T01 และครู T02 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้อย่างครบถ้วน มีเชื่อมโยงวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีอย่างครบถ้วนในชั้นเรียน แต่การให้เหตุผลยังไม่ยังเป็นไปตามความถนัดในสาขาวิชาของตนเอง

2.2.3 ครูสามารถใช้สื่อ วัสดุ และแหล่งการเรียนรู้ได้สอดคล้องวัตถุประสงค์

ครูทุกคนใช้สื่อและเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ เช่น ใบความรู้ ใบกิจกรรม วิดีโอ และแหล่งเรียนรู้ได้สอดคล้องวัตถุประสงค์ ทำให้ผู้เรียนเข้าถึงแนวคิดได้ง่ายขึ้น แต่มีการเลือกใช้สื่อที่มีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน โดยครู T03 กำหนดการใช้สื่อ วัสดุ และแหล่งการเรียนรู้ในการสนับสนุนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ส่วนครู T01 ครู T02 และ ครู T04 ใช้สื่อหลากหลายและเหมาะสมกับสถานการณ์การจัดการเรียนรู้ เมื่อสังเกตการจัดการเรียนรู้ พบว่า ครู T01 ใช้วิดีโอและสื่ออินเทอร์เน็ตเพื่อเสริมความเข้าใจก่อนทำกิจกรรม ครู T02 ใช้ใบกิจกรรม วิดีโอ และเอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้ และครู T04 ใช้โปรแกรมจำลองทางวิทยาศาสตร์ PhET ใบกิจกรรม และอินเทอร์เน็ต สนับสนุนในการทดลอง เป็นต้น ซึ่งเป็นข้อมูลยืนยันในการเลือกสื่อที่เชื่อมโยงกับตัวชี้วัด/วัตถุประสงค์

2.2.4 ครูมีความเข้าใจเนื้อหา และการบูรณาการข้ามศาสตร์

ครูทั้งหมดมีการเชื่อมโยงศาสตร์ต่าง ๆ ในสะเต็มศึกษา ในแผนการจัดการเรียนรู้อย่างชัดเจนสอดคล้องกับคำให้สัมภาษณ์ที่เน้นว่าเนื้อหาสะเต็มศึกษาต้องพึ่งพาหลายศาสตร์ร่วมกัน แต่มีระดับความเข้าใจในเนื้อหาที่แตกต่างกัน โดยครู T01 ให้ความสำคัญต่อประเด็นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ (เช่น เรื่องลม สมดุลของร่ม เป็นต้น) และมีการปรับแผนการจัดการเรียนรู้ให้ครอบคลุมเนื้อหาคณิตศาสตร์มากขึ้นในระหว่างสอน ครู T02 มีความเข้าใจในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่จำกัดจำเป็นจะต้องศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องรอก เฟือง และอัตราทด เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจการคำนวณ ครู T03 ตระหนักถึงความสำคัญของเนื้อหาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการออกแบบ แต่มีความกังวลในเนื้อหาในเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้า ครู T04 มีความเข้าใจเนื้อหาที่ใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างชัดเจน แต่ยังขาดความมั่นใจเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและแบบขนานจึงมีการใช้สื่อเสริม เช่น โปรแกรมจำลองทางวิทยาศาสตร์ PhET เพื่ออธิบายเพิ่มเติม

2.2.5 ครูสามารถประเมินความรู้พื้นฐานและการระบุความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

ครูทั้งหมดมีการตรวจสอบความรู้พื้นฐานก่อนการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา แต่มีระดับที่ใช้ในการตรวจสอบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนที่แตกต่างกัน ครู T04 สามารถประเมินความรู้พื้นฐานและระบุความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบ และปรับแผนการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้เรียน เช่น การสาธิตการต่อวงจรไฟฟ้าและการใช้โปรแกรมจำลอง PhET ขณะที่ครู T01 และ T03 ตรวจพบแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในประเด็นสำคัญบางส่วน เช่น การต่อวงจรไฟฟ้าและการใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ ซึ่งครูได้ใช้การซักถามและการอธิบายเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง ส่วนครู T02 เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบความรู้พื้นฐานในระดับทั่วไป ก่อนปรับวิธีการสอนให้สามารถแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยพยายามใช้แผนภาพและคำอธิบายเพิ่มเติมให้นักเรียนได้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

2.2.6 ครูออกแบบบทเรียนโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ครูทุกคนออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยยึดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและใช้สถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงชีวิตจริงโดยแต่ละแผนมีการระบุขั้นตอน คือ ระบุปัญหา รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา และนำเสนอวิธีการแก้ปัญหายกตัวอย่างเช่น ครู T01 และ ครู T02 มุ่งเน้นการเชื่อมโยงสถานการณ์ปัญหาในชีวิตประจำวันเข้ากับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อสร้างแรงจูงใจ ขณะที่ครู T03 และ T04 ใช้การเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) เพิ่มการใช้สื่อเทคโนโลยีเข้ากับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เช่น ใช้โปรแกรมจำลอง PhET เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดได้ชัดเจนขึ้น อย่างไรก็ตาม ครู T01 ยังประสบปัญหาในเรื่องการควบคุมเวลาในการทำกิจกรรม และการกำหนดเงื่อนไขการเลือกวัสดุในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ขณะที่ครู T04 มีการวางเกณฑ์และวิธีประเมินผลในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ

2.2.7 ครูมีการปรับกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหาความเข้าใจของนักเรียน

จากหลักฐานการสังเกตการปฏิบัติการสอนและบันทึกสะท้อนการปฏิบัติการสอนชี้ให้เห็นว่าครูทุกคนปรับกิจกรรมระหว่างสอนตามปัญหาที่พบในชั้นเรียน โดยครู T04 ปรับตัวแปรของกิจกรรมและใช้สื่อโปรแกรมจำลอง PhET เพื่อให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น ครู T02 ปรับกระบวนการจัดกิจกรรมเมื่อพบว่าวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองไม่เพียงพอ และมีการใช้สื่อคลิป VDO และให้ข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อเชื่อมโยงทฤษฎีกับการปฏิบัติ ครู T01 ใช้การเขียนภาพ และการเปรียบเทียบกับสิ่งต่าง ๆ รอบตัว เพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ง่ายขึ้น

ส่วนครู T03 ใช้การตั้งคำถามให้นักเรียนตอบและการอภิปรายเพื่อช่วยให้นักเรียนเรียนอธิบายเหตุผลได้ชัดเจนขึ้น มีการให้ข้อเสนอแนะช่วงนำเสนอเพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อน

2.2.8 ครูมีการใช้คำถามในการตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน

ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ ครูมีการใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนอธิบายผลการทดลองหรือผลงานด้วยเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ ยกตัวอย่าง เช่น ครู T01 ใช้คำถามชี้นำให้นักเรียนอธิบายว่าทำไมร่มจึงไม่สมดุลเมื่อมีแรงลม ครู T02 พบว่า นักเรียนบางกลุ่มไม่สามารถอธิบายหลักการของรอกและเฟืองได้ จึงเสนอเพิ่มใบความรู้ที่เน้นการอธิบายเหตุผล ครู T03 ใช้การซักถามระหว่างการนำเสนอ เพื่อให้ผู้เรียนยกตัวอย่างข้อมูลจากการทดลองและกฎทางวิทยาศาสตร์มาอธิบายอย่างเป็นระบบ ส่วนครู T04 ให้นักเรียนเก็บข้อมูลจากหลายตัวแปร เช่น ความเข้มแสงหรือชนิดสารละลาย แล้วให้นักเรียนสรุปและอธิบายความสัมพันธ์ด้วยเหตุผล

2.2.9 ครูใช้วิธีการและหลักฐานในการประเมินผู้เรียนอย่างหลากหลาย

ครูทุกคนมีการใช้วิธีการและหลักฐานในการประเมินอย่างหลากหลาย เช่น การสังเกตระหว่างทำกิจกรรม ชิ้นงาน/ผลิตภัณฑ์ การนำเสนอ และรูบริค โดยครู T01 เน้นสังเกตพฤติกรรม ใบงาน ชิ้นงาน และการนำเสนอ ครู T02 ใช้รูบริคประเมินรายบุคคลและรายกลุ่ม มีการโปสเตอร์ การนำเสนอ และบันทึกคะแนนพฤติกรรม ครู T03 ใช้การซักถาม อภิปรายและแผนภาพช่วยตรวจความเข้าใจในการออกแบบชิ้น ซึ่งแสดงถึงครูมีการประเมินอย่างหลากหลาย

2.2.10 ครูมีการปรับเกณฑ์การประเมินให้เหมาะกับสภาพจริง

ครูมีการสะท้อนร่วมกัน คือ ต้องปรับเกณฑ์หรือวิธีการประเมินการให้คะแนนให้เข้ากับผลการปฏิบัติจริงในชั้นเรียน ครู T01 พบปัญหาเรื่องเวลาและวัสดุ จึงสะท้อนว่าควรกำหนดข้อจำกัดในการใช้วัสดุให้ชัดเจนในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ครู T02 เห็นความไม่สอดคล้องระหว่างผลทดลองตามทฤษฎีกับผลการทดลองจริง จึงเพิ่มใบงานเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจปัจจัยที่เกี่ยวข้องให้ครบถ้วนก่อนการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ครู T03 มีการเพิ่มเติมกิจกรรมเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและแบบขนานเพื่อให้การประเมินสะท้อนความเข้าใจจริงของนักเรียน และครู T04 มีการปรับเกณฑ์การให้คะแนนจากการทดลองให้เหมาะกับความเป็นจริง พร้อมทั้งแนะนำให้ใช้หลักฐานยืนยัน เช่น คลิป VDO การทดลอง เพื่อทำให้ผลประเมินมีความสมบูรณ์

บทที่ 5

บทสรุป

การวิจัย เรื่อง การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูมัธยมศึกษาด้วยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม มีวัตถุประสงค์วิจัย คือ 1) เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม 2) เพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สรุปผลการวิจัย

1. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม เป็นดังนี้

จากการสำรวจความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ พบว่า ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาทุกด้านมีระดับร้อยละ 80 ขึ้นไป โดยด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้มีค่ามากที่สุด ส่วนด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับด้านอื่น ๆ เมื่อพิจารณารายละเอียดรายด้านโดยใช้กรอบแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจำแนกตามพฤติกรรมบ่งชี้สะท้อนถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา พบว่า ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน มีค่าคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่า 50 ส่วนความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่า 50 เมื่อพิจารณาในเชิงลึกในความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษารายด้าน มีข้อค้นพบดังนี้

1.1 ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

ครูทั้งหมดมีความเข้าใจในหลักการและวัตถุประสงค์ของสะเต็มศึกษาที่เน้นการบูรณาการข้ามศาสตร์ เน้นพัฒนาทักษะการคิด การแก้ปัญหา แต่สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ส่งเสริมทักษะสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้บางส่วน ครูทั้งหมดเข้าใจในเป้าหมายของสะเต็มศึกษาที่เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการความรู้จากหลายศาสตร์ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ แต่ยังไม่สามารถเลือกเนื้อหาแสดงให้เห็นถึง

การเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษาและเลือกใช้สื่อการสอน วัสดุและแหล่งการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

1.2 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

ครูทั้งหมดมีความสอดคล้องในความเข้าใจพื้นฐานว่า เนื้อหาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีบทบาทสำคัญในสะเต็มศึกษา และผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานเพื่อนำไปใช้ในการบูรณาการความรู้เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา แต่มีความแตกต่างในความสามารถในการเลือก อธิบาย และบูรณาการเนื้อหาในสาขาวิชาต่าง ๆ และยังมีข้อจำกัดในด้านความเชี่ยวชาญในเนื้อหานอกสาขาของตน ขาดความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ในเชิงลึก ซึ่งต้องได้รับการพัฒนาในด้านการบูรณาการเนื้อหาและการเชื่อมโยงข้ามศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.3 ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

ครูทั้งหมดมีความสอดคล้องในความเข้าใจพื้นฐานว่า ผู้เรียนควรมีความรู้พื้นฐานที่จำเป็นก่อนการเข้าร่วมกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยเฉพาะองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม รวมถึงการตระหนักถึงความสำคัญของทักษะคิดวิเคราะห์และทักษะแก้ปัญหาสำหรับผู้เรียน แต่ครูแต่ละคนมีระดับความสามารถในการวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาต่างกันควรมีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสอนสะเต็มศึกษาให้สอดคล้องกับสภาพจริงของผู้เรียนมากยิ่งขึ้น

1.4 ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

ครูทั้งหมดมีความเข้าใจร่วมกันในหลักการสำคัญ คือ การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาควรเน้นกิจกรรมที่ให้นักเรียนลงมือปฏิบัติจริง การคิดวิเคราะห์แก้ปัญหา และการบูรณาการความรู้ข้ามศาสตร์ แต่มีความแตกต่างเชิงลึกในความสามารถในการบูรณาการสาขาวิชาและการออกแบบกิจกรรมอย่างเป็นระบบ รวมถึงความเข้าใจในเชิงลึกของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ไม่สามารถระบุขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างชัดเจน ครูทุกคนยังขาดประสบการณ์จริงในการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาอย่างเป็นระบบ

1.5 ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

ครูทั้งหมดมีความสอดคล้องในความเข้าใจร่วมกันว่า การประเมินสะเต็มศึกษาควรเน้นที่กระบวนการมากกว่าผลลัพธ์ เลือกวิธีการประเมินในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้อย่างหลากหลาย เช่น การแก้ปัญหา การบูรณาการความรู้ และการทำงานร่วมกัน สามารถระบุสิ่งที่ต้องประเมิน แต่มีความแตกต่างกันในการออกแบบวิธีประเมิน หลักฐานที่ใช้ในการประเมิน

ในภาพรวมยังต้องพัฒนาการกำหนดเกณฑ์และการใช้หลักฐานที่ใช้ประเมิน เพื่อให้การประเมินสอดคล้องกับเป้าหมายของสะเต็มศึกษา

2. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม เป็นดังนี้

จากการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ครูวิทยาศาสตร์ 4 คน ได้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและพัฒนาบทเรียนร่วมกัน โดยระหว่างการเข้าร่วมได้พัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา และนำไปใช้จริงกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยครูมีการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาในด้านต่าง ๆ ที่หลากหลาย จากการที่ครูได้เข้าประชุมเชิงปฏิบัติการ ร่วมกันพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ สังเกตการปฏิบัติการสอน สะท้อนการปฏิบัติการสอนจำนวน 3 ครั้ง และสัมภาษณ์ พบว่า ครูมีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาเพิ่มทุกด้าน เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ครูมีการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหามากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ความรู้เกี่ยวการประเมินการเรียนรู้ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ตามลำดับ เมื่อพิจารณารายละเอียดรายด้าน มีข้อค้นพบ ดังนี้

2.1 ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

ครูส่วนใหญ่มีการพัฒนาในความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรโดยสามารถออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด และผลการเรียนรู้ในหลักสูตร โดยครูทุกคนสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ที่ครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะ กระบวนการ และเจตคติ ทั้งหมดตระหนักถึงการบูรณาการเนื้อหาหลายศาสตร์ (วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม) ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา นอกจากนี้ครูทุกคนยังจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนที่กำหนดได้ครบถ้วน ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม โดยมีการเชื่อมโยงเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ แต่การกำหนดวัตถุประสงค์ยังไม่เชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ได้อย่างชัดเจนมากนัก ระหว่างการจัดการเรียนครูมีการปรับกิจกรรมให้เหมาะสมกับนักเรียนและสถานการณ์ มีการใช้สื่อและวัสดุการเรียนรู้หลากหลาย โดยครูมีมุมมองในการบูรณาการหลักสูตรเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ออกแบบกิจกรรมบูรณาการ 4 ศาสตร์อย่างชัดเจนและนำไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์จริง

2.2 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

ครูส่วนใหญ่มีการพัฒนาในความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา โดยมีความเข้าใจว่าความรู้ด้านเนื้อหาและวิธีการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการเป็นสิ่งสำคัญในสะเต็มศึกษา โดยเฉพาะการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยครูมีมุมมองที่เน้นการใช้ความรู้

หลายศาสตร์เพื่อแก้ปัญหา แต่ยังพบข้อจำกัดความเข้าใจในเนื้อหาบางส่วน เช่น ความเข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่ใช้ในกิจกรรม มีการนำกรอบแนวคิด PCK for STEM มาช่วยวิเคราะห์และจัดการความรู้ในเนื้อหา โดยเนื้อหาเป็นบริบทที่สำคัญที่จะต้องใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาสู่การประยุกต์ใช้ในบริบทสถานการณ์จริง

2.3 ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

ครูบางส่วนมีการพัฒนาในความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน โดยครูมีการตรวจสอบความรู้พื้นฐานและทักษะที่จำเป็นของผู้เรียน มีการวิเคราะห์ผู้เรียนโดยใช้การสังเกต การตั้งคำถาม และการให้โอกาสผู้เรียนสะท้อนการเรียนรู้ และพยายามที่จะระบุแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเพื่อหาแนวทางแก้ไข โดยครูเน้นให้นักเรียนมีความรู้พื้นฐานครบทุกศาสตร์ก่อนให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติ และมีแนวทางในการแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อนด้วยการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมด้วยตนเอง ใช้สื่อหรือแผนภาพเพื่อเปลี่ยนแนวคิดที่คลาดเคลื่อน นอกจากนี้ครูมีการปรับกิจกรรมเพื่อแก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในชั้นเรียนโดยใช้สื่อต่าง ๆ เพิ่มเติม

2.4 ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

ครูส่วนใหญ่มีการพัฒนาในความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน โดยครูทุกคนมีความเข้าใจแนวคิดการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา สามารถใช้แนวทางการสอนที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม และสามารถออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสมกับเนื้อหาและสอดคล้องกับเนื้อหาสาขาวิชาอื่น ๆ ในสะเต็มศึกษาอย่างเหมาะสม สามารถออกแบบกิจกรรมที่บูรณาการศาสตร์ต่าง ๆ เข้ากับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้เป็นอย่างดี มีการเน้นกิจกรรมการเรียนรู้ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมลงมือปฏิบัติจริงในการแก้ปัญหา โดยมีการสร้างสถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง โดยเมื่อพบปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในระหว่างการสอนก็มีการปรับแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ

2.5 ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

ครูทุกคนมีการพัฒนาในความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ โดยมีความรู้ในการประเมินผลที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา ใช้การประเมินที่หลากหลายในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาทั้งด้านความรู้ ทักษะ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ชิ้นงาน การนำเสนอ และพฤติกรรมในชั้นเรียน ใช้วิธีการประเมินที่หลากหลาย เช่น การสังเกต รูบริค ใบงาน และโปสเตอร์การนำเสนอ เน้นประเมินตามสภาพจริง ใช้การประเมินผลที่สะท้อนการปฏิบัติจริง เน้นการลงมือปฏิบัติของนักเรียนในชั้นเรียน โดยเฉพาะการใช้การประเมินผลตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

จากผลการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจากการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม ผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์คุณลักษณะสำคัญ (Key Features) ที่ส่งเสริมความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาโดยมีข้อค้นพบ ดังนี้

1. การออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพโดยเลือกใช้กลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกันที่เหมาะสมกับสภาพบริบทตามกรอบแนวคิด Loucks-Horsley et al. (2010)

2. ใช้แนวปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นกลไกหลักในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา โดยทำหน้าที่ช่วยให้ครูบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีผ่านการแก้ปัญหาเชิงออกแบบอย่างเป็นระบบ

3. เน้นการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติด้านวิศวกรรม ตั้งแต่การระบุปัญหา การออกแบบทดสอบ และปรับปรุง ทำให้ครูมีประสบการณ์ตรงเข้าใจธรรมชาติของการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและสามารถถ่ายทอดไปสู่การจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนได้อย่างมีความหมาย

4. ออกแบบบนฐานการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ โดยยึดหลักการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ว่าครูเป็นผู้ที่มีประสบการณ์เดิมสูง จึงควรเชื่อมโยงกับปัญหาการสอนจริง เปิดโอกาสให้สะท้อนคิดจากประสบการณ์ เน้นการเรียนรู้ร่วมกันที่นำไปใช้ได้ในบริบทการสอนจริง

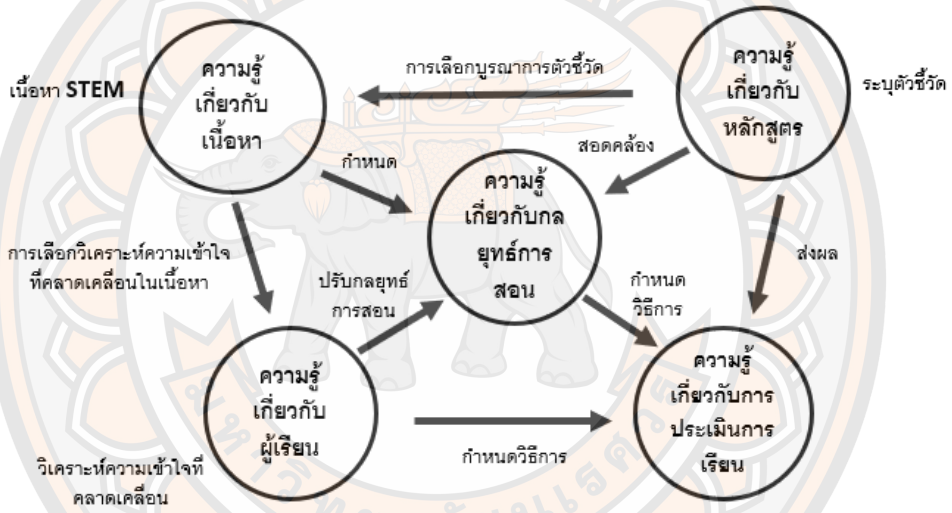
5. ใช้การพัฒนาบทเรียนร่วมกันช่วยให้ครูแลกเปลี่ยนมุมมอง ทดลองแนวคิดใหม่ และพัฒนาบทเรียนสะเต็มศึกษาที่มีคุณภาพ มีการสะท้อนแก้ปัญหาร่วมกัน วิเคราะห์ผลการเรียนรู้ของผู้เรียน ปรับปรุงกิจกรรม รวมถึงนำสื่อมาช่วยให้มีความเข้าใจในแนวคิดวิทยาศาสตร์มากขึ้น

6. มุ่งสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนและต่อเนื่อง โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพต้องไม่ใช่กิจกรรมระยะสั้น แต่เป็นกระบวนการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ที่สร้างความสามารถให้ครูสามารถออกแบบ ปรับใช้ และพัฒนาการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้ด้วยตนเองในระยะยาว

เมื่อสังเคราะห์รูปแบบของความสัมพันธ์ของการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาที่ได้จากการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการฝึกปฏิบัติด้านวิศวกรรม มีลักษณะดังนี้

เมื่อครูมีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจะสามารถจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่มีประสิทธิภาพ โดยองค์ประกอบต่าง ๆ ของความรู้ของครูเชื่อมโยงและส่งผลต่อกัน เริ่มจากความรู้หลักสูตรเกี่ยวกับหลักสูตร เป็นฐานสำคัญที่ช่วยให้ ระบุตัวชี้วัด ได้อย่างถูกต้อง ความรู้ด้านนี้ทำหน้าที่เป็นกรอบกำหนดทิศทางของการสอนในการใช้ความรู้เนื้อหาเพื่อเลือกเนื้อหาที่นำมาใช้บูรณาการตามตัวชี้วัด และยังส่งผลโดยตรงต่อความรู้เกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ ซึ่งครูจะต้องประเมินให้สอดคล้องกับตัวชี้วัดและผลการเรียนรู้ตามหลักสูตร ขณะเดียวกันความรู้เกี่ยวกับ

หลักสูตรยังมีความสัมพันธ์เชิงสอดคล้องกับความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน โดยครูต้องเลือกและออกแบบกลยุทธ์การสอนที่เหมาะสมกับเป้าหมายของหลักสูตร ในด้านความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาเป็นองค์ประกอบที่สะท้อนความเข้าใจเชิงลึกของครูในเนื้อหาของสะเต็ม ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการวิเคราะห์ความเข้าใจที่คาดเคลื่อนของผู้เรียน มีความเชื่อมโยงโดยตรงกับความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน เพราะครูต้องเข้าใจพื้นฐานเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบการสอนที่ตอบสนองผู้เรียนอย่างแท้จริง นอกจากนี้ ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนและความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เนื่องจากข้อมูลจากการประเมิน ช่วยให้ครูวิเคราะห์ระดับความเข้าใจและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนได้อย่างชัดเจน ผลการประเมินนี้จะถูกนำกลับมาใช้ในการปรับกลยุทธ์การสอน ตามแผนภาพต่อไปนี้



ภาพ 40 แสดงรูปแบบของความสัมพันธ์ของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

อภิปรายผล

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ส่งผลในเชิงบวกต่อความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูอย่างชัดเจน ทั้งในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ อย่างหลากหลาย โดยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพได้ออกแบบตามกรอบแนวคิดการออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพ (Loucks-Horsley et al., 2010) โดยปรับให้สอดคล้องกับตามบริบทและเน้นการฝึกทักษะด้านวิศวกรรมที่มีความสำคัญต่อการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้กลยุทธ์การประชุมเชิงปฏิบัติการที่มีกิจกรรมบูรณาการ

สะเต็มศึกษาโดยนำแนวทางการปฏิบัติทางวิศวกรรมที่นักวิศวกรใช้ในการออกแบบ สร้างแบบจำลอง และระบบ (NGSS, 2013) มาใช้เป็นกิจกรรมให้ครูได้มีความรู้และฝึกปฏิบัติจริง และกลยุทธ์การพัฒนาบทเรียนร่วมกันซึ่งสนับสนุนการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยให้ครูพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาร่วมกันมีการสนับสนุน ให้ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษานำไปใช้จริงในห้องเรียน มีการปรับปรุงบทเรียน ซึ่งสามารถส่งเสริมความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา สอดคล้องกับ Lau, & Multani (2018) พบว่าการมีส่วนร่วมในกิจกรรมที่มีความท้าทายด้านการออกแบบและการสะท้อนความคิดเห็นเกี่ยวกับประสบการณ์สอนมีส่วนช่วยในการพัฒนา PCK for STEM ของครูวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพใช้เวลาดำเนินการเป็นระยะเวลา 1 ภาคเรียน สอดคล้องกับ Faikhamta et al. (2020; Sarkim, 2020) ชี้ให้เห็นว่าโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพระยะยาวที่ครูเข้าร่วมมีอิทธิพลเชิงบวกต่อ PCK for STEM โดยการพัฒนา PCK for STEM ของครูมีความแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพการสอน แนวทางการสอนวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างกัน ลักษณะเฉพาะส่วนบุคคล และระดับความรู้ในเนื้อหาวิชา (Gess-Newsome, 2015; Park, & Oliver, 2008)

จากการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม พบว่า ครูส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับด้านหลักสูตรมีคะแนนต่ำกว่าร้อยละ 50 เนื่องจากครูขาดประสบการณ์ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่สะท้อนความบูรณาการอย่างแท้จริง ส่งผลให้ไม่สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ของหลักสูตรได้อย่างชัดเจน ขาดการเชื่อมโยงตัวชี้วัดระหว่างสาระวิชาในสะเต็มศึกษา ไม่สามารถเลือกเนื้อหา สื่อการสอน ที่เชื่อมโยงกับมาตรฐานหลักสูตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ring et al. (2017) ที่พบว่า ความเข้าใจของครูในการบูรณาการสะเต็มศึกษาโดยทั่วไปเป็นเพียงผิวเผินเท่านั้น หลังจากเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ครูส่วนใหญ่มีการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษาในด้านหลักสูตรอย่างหลากหลาย สอดคล้องกับการศึกษางานวิจัยที่พบว่า การพัฒนาความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรเป็นความรู้เฉพาะบุคคล (Aydin et al., 2020) โดยครูสามารถออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้โดยมีการศึกษามาตรฐาน ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ของแต่ละสาขาวิชาที่นำมาบูรณาการ แสดงวัตถุประสงค์การจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจน ครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะ กระบวนการ และเจตคติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Faikhamta et al. (2020) ที่ระบุว่าครูมุ่งเน้นไปที่การเขียนวัตถุประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา แต่สามารถเขียนวัตถุประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบวิศวกรรม คณิตศาสตร์ และทักษะในศตวรรษที่ 21 ได้เมื่อสิ้นสุดโครงการพัฒนาวิชาชีพ แต่เมื่อพิจารณาในแผนการจัดการเรียนรู้มีการเชื่อมโยงกับทักษะศตวรรษที่ 21 ยังไม่ชัดเจนเนื่องจากในส่วนของกิจกรรม

การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ในช่วงการอบรมเชิงปฏิบัติการยังไม่เน้นไปที่การพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 มากนัก นอกจากนี้การพัฒนาบทเรียนร่วมกันสามารถส่งเสริมให้ครูมีความรู้ในด้านหลักสูตร สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า ในกระบวนการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้จริงผ่านการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน มีการร่วมสังเกตการปฏิบัติการสอน ได้รับการสนับสนุนในการสอน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมความรู้ในด้านหลักสูตร (Davis, 2004; Friedrichsen et al., 2009) ในภาพรวม ครูมีการบูรณาการเนื้อหาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เลือกใช้สื่อ และแหล่งเรียนรู้ได้สอดคล้องวัตถุประสงค์ มีระดับความเข้าใจในเนื้อหาในศาสตร์ต่าง ๆ แตกต่างกันเป็นผลจากมีประสบการณ์ในการลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง มีการแลกเปลี่ยนสะท้อนปัญหากับครูต่างสาขาวิชาระหว่างการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

เมื่อพิจารณาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม พบว่า ความรู้เกี่ยวกับด้านเนื้อหาในภาพรวมมีคะแนนมากกว่าร้อยละ 50 เนื่องจากครูประจำการที่มีประสบการณ์ในการสอน และเห็นความสำคัญของเนื้อหาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในสะเต็มศึกษา ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานเพื่อใช้ในการบูรณาการในการแก้ปัญหา แต่เมื่อพิจารณาในเชิงลึก พบว่า ครูขาดความเข้าใจในเนื้อหาที่ไม่ใช่สาขาที่ตนจบมา เมื่อจำเป็นจะต้องสอนในเนื้อหาอื่นก็จะส่งผลถึงวิธีการจัดการเรียนรู้ โดยครูจะสอนที่เน้นการบรรยายหรือหลีกเลี่ยงในการทำกิจกรรมในเนื้อหานั้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า ความรู้เรื่องในเนื้อหามีอิทธิพลต่อ PCK for STEM (Carlsen, & Daehler, 2019) ส่งผลทำให้ครูขาดการวิเคราะห์ถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนหรือสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียน สอดคล้องกับเอกสารงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ในเนื้อหาวิชาและความรู้ของผู้เรียน (Abell, 2008; Magnusson et al., 1999) และสอดคล้องกับงานวิจัย Srikoom et al. (2018) พบว่า การสอนสะเต็มศึกษาที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยความสามารถของครู และความยากในการบูรณาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครูมักจะบูรณาการแนวคิดที่คุ้นเคยโดยไม่ตรวจสอบหลักสูตรขณะวางแผนบทเรียนสะเต็มศึกษา หลังจากเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ครูส่วนใหญ่มีการพัฒนาในความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาที่หลากหลาย เช่น ได้รับความรู้วิทยาศาสตร์จากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ได้รับความรู้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การปฏิบัติด้านวิศวกรรม เข้าใจแนวคิด PCK for STEM ในด้านเนื้อหา ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมในการประชุมเชิงปฏิบัติการมีการส่งเสริมความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาเชิงวิศวกรรม และเมื่อพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้ พบว่า ครูทุกคนมีแผนการจัดการเรียนรู้ที่แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์

เทคโนโลยี กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ในสาระการเรียนรู้อย่างชัดเจน แต่ครูยังมีความกังวลเมื่อนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้จริงผ่านกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ในช่วงเริ่มต้น เกี่ยวกับเนื้อหาที่ตนไม่ถนัด หรือยังมีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่ยังไม่ชัดเจน ส่งผลต่อการแนะนำนักเรียนในด้านการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา อาจเป็นผลมาจากโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพยังไม่ได้มุ่งพัฒนาเนื้อหาเชิงลึกเฉพาะสาขาสอดคล้องกับงานวิจัยพบว่า ครูประสบปัญหาในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เช่น ความยากในการบูรณาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเฉพาะวิชาที่อยู่นอกขอบเขตของตน (Allen et al., 2016; Lau, & Multani, 2018; Roehrig et al., 2012) จึงมีการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการจัดกิจกรรมโดยมีการอธิบายและทบทวนเนื้อหา โดยใช้แผนภาพ สื่อเทคโนโลยี โปรแกรมจำลองอธิบายเพิ่มเติม เพื่อทำให้นักเรียนเข้าใจมากยิ่งขึ้น รวมถึงในกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกันครูร่วมมือกันตรวจสอบความถูกต้องและความเชื่อมโยงของเนื้อหาระหว่างสาขาวิชา มีการปรับแผนการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนมีความรู้เนื้อหาในขั้นการรวบรวมข้อมูลให้มีการเชื่อมโยงความรู้ของสะเต็มในศาสตร์ต่าง ๆ อย่างครบถ้วนก่อนที่จะออกแบบวิธีการแก้ปัญหา นอกจากนี้ยังพบว่า ครูให้ความสำคัญกับเนื้อหาที่จะต้องใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกันครูนำกรอบแนวคิด PCK for STEM ในด้านเนื้อหาไปใช้เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า กระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกันในระยะยาวสามารถส่งเสริม PCK for STEM (Aydin-Gunbatar et al., 2020; Lertdechapat, & Faikhamta, 2021)

เมื่อพิจารณาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม พบว่า ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนในภาพรวมมีคะแนนมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าครูประจำการที่มีประสบการณ์ในด้านการสอนมีความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน โดยมีความเข้าใจพื้นฐานว่าผู้เรียนควรมีความรู้พื้นฐานที่จำเป็นก่อนการเข้าร่วมกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยสามารถตรวจสอบโดยใช้คำถาม สังเกตขณะทำกิจกรรม ดูจากชิ้นงาน หรือผลงานตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่มีระดับการวิเคราะห์แนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนในเชิงลึกที่จำกัดและแตกต่างกัน โดยนักเรียนส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อนในความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สอดคล้องกับการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่พบว่า ก่อนเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครูมีความเข้าใจเกี่ยวกับผู้เรียนในระดับจำกัด มีปัญหาในการระบุความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในวิทยาศาสตร์ก่อนการศึกษา (Juhler, 2016) หลังจากเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม พบว่า ครูมีการพัฒนาในความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับเอกสารงานวิจัยที่พบว่า ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของ PCK for STEM ที่ปรับปรุงได้ง่ายที่สุด (Park, & Oliver, 2008) จากการเข้าร่วม

อบรมเชิงปฏิบัติการทำให้ครูมีความรู้ในด้านผู้เรียนโดยตระหนักถึงลักษณะการเรียนรู้ของผู้เรียนผ่านประสบการณ์การเป็นผู้เรียนในการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา สามารถออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่มีการระบุถึงการประเมินความรู้พื้นฐาน ความรู้ที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนที่จะทำกิจกรรม รวมทั้งแนวความคิดที่คลาดเคลื่อน มีการใช้คำถามระหว่างการทำกิจกรรมที่เหมาะสม สอดคล้องกับผลวิจัยของ Faikhamta et al. (2020) ที่พบว่า ความเข้าใจของครูเกี่ยวกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์กับความรู้ของผู้เรียนเพิ่มขึ้นหลังจากเข้าร่วมโครงการพัฒนาวิชาชีพ PCK for STEM โดยการพัฒนาบทเรียนร่วมกันทำให้ครูมีการระบุความยากในการเรียนรู้ของผู้เรียนในวิทยาศาสตร์และสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาได้ดีขึ้น (Aydin-Gunbatar et al., 2020; Lertdechapat, & Faikhamta, 2021) ครูมีการแก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยให้นักเรียนสืบค้นเพิ่มเติม ใช้สื่อประกอบ โปรแกรมจำลอง หลังจากนั้น ครูมีการตรวจสอบความเข้าใจเนื้อหาของนักเรียนโดยการใช้คำถาม เสนอแนะเพิ่มเติมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่ยังมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ความแตกต่างรายบุคคลเชิงลึก เช่น ความสามารถเฉพาะด้านของนักเรียน จะเห็นได้ว่าการศึกษาบทเรียนมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมครูให้มีความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน (Juhler, 2016)

เมื่อพิจารณาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม พบว่า ความรู้เกี่ยวกับด้านกลยุทธ์การสอนในภาพรวมมีคะแนนต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยครูมีความเข้าใจว่า การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาควรเน้นกิจกรรมที่ให้นักเรียนลงมือปฏิบัติจริง กระตุ้นการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหาและการบูรณาการความรู้ข้ามศาสตร์ แต่ยังมีความแตกต่างในเชิงลึกเกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับด้านกลยุทธ์การสอน และขาดความเข้าใจในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษางานวิจัยที่พบว่า ครูจำนวนมากยังขาดความเข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างลึกซึ้ง ส่งผลต่อลักษณะกิจกรรมที่จัดในชั้นเรียน ไม่สามารถเชื่อมโยงเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์เข้ากับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ (Lau, & Multani, 2018) ครูประสบปัญหาในการบูรณาการสะเต็มศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านวิศวกรรม อีกทั้งยังพบว่าครูมีความรู้ค่อนข้างจำกัดเกี่ยวกับสาขาวิศวกรรม (Cunningham, & Carlsen, 2014) ซึ่งการไม่มีความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์ที่เพียงพอเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ครูประสบปัญหาในการนำความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในบทเรียน (Hynes, 2012; Stohlmann et al., 2012) หลังจากเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ครูส่วนใหญ่มีการพัฒนาในความรู้เกี่ยวกับด้านกลยุทธ์การสอน โดยครูมีความรู้มีความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิด หลักการ เป้าหมายการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งเข้าใจตัว E (Engineering) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การปฏิบัติด้านวิศวกรรมอย่างลึกซึ้งจากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการทำให้เข้าใจว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นกระบวนการ

สามารถวนซ้ำได้ มีความยืดหยุ่น ขึ้นอยู่กับปัญหาหรือจุดประสงค์ในการออกแบบ (ปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง, 2566) นอกจากนี้ ยังเข้าใจการออกแบบกลยุทธ์การสอนโดยใช้กรอบแนวคิด PCK for STEM ไปใช้ในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ มีการระบุลำดับขั้นตอนกิจกรรมการเรียนรู้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ มีการใช้สื่อที่หลากหลาย แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แสดงตัวอย่างคำถามขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ถูกต้อง แต่ครูยังต้องพึ่งพาตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาซึ่งส่งผลให้ครูออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่มีกลยุทธ์การสอนที่ยังไม่หลากหลาย สอดคล้องกับ Srikoom et al. (2018) พบว่า ถ้าครูที่มีความรู้ความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับกลยุทธ์ต่าง ๆ จะช่วยสนับสนุนให้นักเรียนเรียนรู้และออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษาได้ดียิ่งขึ้น เมื่อนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้จริง ครูมีการแลกเปลี่ยนกลยุทธ์การสอนสะเต็มศึกษาอย่างเป็นระบบ มีการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนในแผนการจัดการเรียนรู้ เมื่อพบว่า นักเรียนประสบปัญหาจะปรับกิจกรรมให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มีจำกัดเพื่อให้นักเรียนสามารถดำเนินกิจกรรมตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างครบถ้วน ซึ่งความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนมีความสัมพันธ์กับแนวทางการสอนวิทยาศาสตร์ (Magnusson et al., 1999) แต่ยังพบปัญหาในการจัดการเรียนรู้ เช่น จะต้องปรับสถานการณ์ปัญหาให้สอดคล้องกับแนวคิดวิทยาศาสตร์ให้มากขึ้น ปรับเวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมให้เหมาะสม รวมถึงการรวบรวมความรู้และแนวคิดให้ครอบคลุมความรู้ที่ใช้ในการทำกิจกรรมและสอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ครูใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการออกแบบ ใช้แนวปฏิบัติทางวิศวกรรมเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า Crismond (2013) ที่อธิบายคุณลักษณะของนักออกแบบว่าในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาในสะเต็มศึกษา สามารถเรียนรู้และใช้แนวคิดแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ อีกทั้งมีการตรวจสอบความรู้เดิม เน้นกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ออกแบบ สร้างชิ้นงาน โดยครูมีการสังเกตนักเรียน อำนวยความสะดวกและแนะนำนักเรียนขณะทำกิจกรรมอยู่เสมอ สอดคล้องกับ Faikhamta et al. (2020) ที่พบว่าหลังจากเข้าร่วมโครงการพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษา ความเข้าใจของครูเปลี่ยนไปโดยเข้าใจว่ากระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมไม่ได้เป็นเพียงการออกแบบเครื่องมือหรือสิ่งประดิษฐ์ แต่ยังเกี่ยวข้องกับการกำหนดปัญหา การพิจารณาข้อจำกัดและเกณฑ์ การค้นคว้าความรู้ การออกแบบและทดสอบแบบจำลองและต้นแบบ การประเมินและการสื่อสารวิธีแก้ปัญหา

เมื่อพิจารณาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม พบว่า ความรู้เกี่ยวกับด้านการประเมินการเรียนรู้ในภาพรวมมีคะแนนมากกว่าร้อยละ 50 โดยครูมีความเข้าใจว่าการประเมินสะเต็มศึกษาควรเน้นที่กระบวนการมากกว่าผลลัพธ์ แต่เมื่อพิจารณาในเชิงลึก ครูมีความแตกต่างกันในการระบุ

สิ่งที่ประเมิน และในวิธีการประเมิน หลังจากเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม พบว่า ครูทั้งหมดมีการพัฒนาในความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ เนื่องจากกิจกรรมในการประชุมเชิงปฏิบัติการช่วยให้ครูเข้าใจแนวคิดการประเมินตามกระบวนการและชิ้นงานเชิงวิศวกรรม สอดคล้องกับงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็มศึกษาที่พบว่า ความรู้เกี่ยวกับการประเมิน สะเต็มศึกษาของผู้เข้าร่วมทุกคนมีความก้าวหน้า มีการใช้วิธีการประเมินที่หลากหลายและในหลายมิติการเรียนรู้ของนักเรียน (Lertdechapat, & Faikhamta, 2021; Srikoom et al., 2018) ครูสามารถพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ที่มีวิธีการวัดและประเมินผลตามสภาพจริง สอดคล้องกับจุดประสงค์ แต่มีการวัดและประเมินผลทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 บางส่วน ซึ่งไม่ได้เน้นในแผนการจัดการเรียนรู้ เมื่อผ่านกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครูมีการประเมินความรู้ ทักษะ เจตติ ร่วมกันพัฒนาเกณฑ์ประเมินและสะท้อนผลการประเมินจากการสอนจริง มีการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในส่วนของการวัดและประเมินผลให้สอดคล้องกับความเป็นจริง โดยครูทุกคนเน้นประเมินความเข้าใจของนักเรียนขณะที่นักเรียนนำเสนอ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา พบว่า ความเชื่อมโยงระหว่างความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนและความรู้เกี่ยวกับการประเมิน โดยเมื่อครูมีความตระหนักเกี่ยวกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนและความยากในการเรียนรู้ของนักเรียน ครูก็จะมีแนวโน้มที่จะประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนได้ดีขึ้น (Henze et al., 2008; Park, & Oliver, 2008) นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับในงานวิจัยที่พบว่าการพัฒนาบทเรียนเรียนร่วมกันมีอิทธิพลต่อการทำความเข้าใจวัตถุประสงค์ของการประเมินและวิธีการต่าง ๆ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนได้ (Juhler, 2016)

จะเห็นได้ว่าก่อนเข้าร่วมเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ครูยังมีปัญหาในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา จำเป็นต้องมีการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาในด้านที่ขาดอยู่ เมื่อครูเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ครูมีการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาที่หลากหลายผ่านกลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมเพื่อใช้ในการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด PCK for STEM และนำแผนไปใช้ผ่านการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (Fernandez, 2010; Juhler, 2016) ดังนั้น การส่งเสริมสมรรถนะครูในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา จึงควรเป็นกระบวนการพัฒนาร่วมกันแบบองค์รวมโดยบูรณาการความรู้ในด้านหลักสูตร เนื้อหา ผู้เรียน กลยุทธ์การสอน และการประเมินผลไปพร้อมกัน (Srikoom et al., 2018) โดยการใช้ประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน นำแผนไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อนำไปสู่การให้ครูได้ร่วมออกแบบ แลกเปลี่ยน และพัฒนาการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาร่วมกันอย่างเป็นระบบส่งผลต่อการพัฒนาวิชาชีพอย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยพบว่าก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ครูขาดประสบการณ์และขาดความมั่นใจในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ขาดความเข้าใจในเนื้อหาที่ไม่ใช่สาขาที่ตนจบมา มีระดับความสามารถในการตรวจสอบแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนแตกต่างกัน เข้าใจในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไม่ลึกซึ้ง และมีความแตกต่างกันในการระบุสิ่งที่ประเมิน และในวิธีการประเมินในสะเต็มศึกษา ในระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม ครูมีการเปลี่ยนแปลงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาในทางที่ดีขึ้น โดยในกิจกรรมการประชุมเชิงปฏิบัติการครูมีความรู้มีความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิด หลักการ เป้าหมายการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเข้าใจตัว E (Engineering) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การปฏิบัติด้านวิศวกรรมอย่างลึกซึ้ง สามารถออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้โดยมีการศึกษามาตรฐาน ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ของแต่ละสาขาวิชาที่นำมาบูรณาการ แสดงวัตถุประสงค์จัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะ กระบวนการ และเจตคติ เมื่อเข้าสู่กระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ครูสามารถนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้จริง มีการสะท้อนการปฏิบัติการสอน แลกเปลี่ยนความคิดเห็น สามารถแก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนโดยใช้สื่อ หรือปรับกลยุทธ์การสอน มีการพัฒนาความเข้าใจเนื้อหามากขึ้น มีการใช้วิธีการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์

1. ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลวิจัยไปใช้

1.1 การออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรมอยู่ภายใต้บริบทโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาที่เปิดสอนรายวิชาสะเต็มศึกษาเป็นรายวิชาเพิ่มเติม โดยนำกลวิธีการประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ดังนั้นการนำโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาไปใช้ควรศึกษาสภาพบริบทที่ใกล้เคียงกันและตรวจสอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูก่อนเข้าร่วม

1.2 โปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่เน้นการปฏิบัติทางด้านวิศวกรรม สามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาครู หรืออบรมครูให้มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาในด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

1.3 การอบรมเชิงปฏิบัติที่เน้นการปฏิบัติด้านวิศวกรรมทำให้ครูมีความรู้มีความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิด หลักการ เป้าหมายการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เข้าใจกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การปฏิบัติด้านวิศวกรรมผ่านการลงมือปฏิบัติ

1.4 การที่ครูร่วมกันออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็ม และนำไปใช้ผ่านกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน ให้ครูมีส่วนร่วมในการสังเกตการปฏิบัติการสอน สะท้อนการปฏิบัติการสอน เป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

1.5 กลวิธีสนับสนุนในโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพสะเต็มศึกษาที่สำคัญ ได้แก่ การมีผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมให้ข้อเสนอแนะ การทำงานร่วมกันของครูต่างสาขาวิชาในการสังเกตและสะท้อนการสอน และการใช้ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่มีคุณภาพ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ งานวิจัยต่อไปอาจรวมองค์ประกอบอื่นของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา เช่น ความเกี่ยวกับการบูรณาการเนื้อหา เป็นต้น

2.2 การวิเคราะห์ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาใช้กรอบแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาจำแนกตามพฤติกรรมบ่งชี้ที่สะท้อนถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ในการศึกษาถัดไปอาจปรับพฤติกรรมบ่งชี้ให้มีความสอดคล้องกับบริบทที่นำไปใช้มากยิ่งขึ้น

2.3 การพัฒนาบทเรียนร่วมกันในช่วงเริ่มต้นของการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้จริง ครูยังมีความกังวลเกี่ยวกับเนื้อหาที่ตนไม่ถนัด หรือยังมีความเข้าใจในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่ยังไม่ชัดเจน ดังนั้น การออกแบบโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครั้งต่อไปควรเน้นเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาที่ใช้ในกิจกรรมอย่างครบถ้วน

2.4 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู งานวิจัยต่อไป อาจมีการศึกษาเพิ่มเติมปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา เช่น การสนับสนุนจากผู้บริหาร ทัศนคติของครู ซึ่งอาจมีผลต่อความสำเร็จของการบูรณาการสะเต็มศึกษา

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง 2560) หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551.* กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ชาตรี ฝ่ายคำตรา, มุสตากีม อาแว ณภัทร สุขนฤเศรษฐกุล และปริญญา มัจฉา. (2566). แนวโน้มการวิจัยด้านสะเต็มศึกษาในประเทศไทย. *ศึกษาศาสตร์สาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 7*(1), 29-43.

ชุติมา วิชัยดิษฐ์. (2563). *การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มของนิสิตครูวิทยาศาสตร์ระหว่างฝึกประสบการณ์วิชาชีพโดยการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (Lesson Study)* (ปริญญานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชุติมา วิชัยดิษฐ์ และชาตรี ฝ่ายคำตา. (2564). การรับรู้เกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษาของครู วิทยาศาสตร์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 23*(2), 152-168.

ธนิกา วศินยานุวัฒน์. (2566). แนวโน้มการวิจัยด้านสะเต็มศึกษาในบริบทของไทย. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, 18*(1), 24-32.

ปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง. (2566). *การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สุนทรฟิล์ม.

ลือชา ลดาชาติ. (2555ก*). สะเต็มศึกษา: นโยบาย ทฤษฎี และการปฏิบัติ.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลือชา ลดาชาติ. (2565ข). *ความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอนสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *สะเต็มศึกษา.* กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.).

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2565). *จาก STEM สู่ STEAM “สสวท. เผยผลงานด้าน STEAM ปี 2565 และแนวทางการดำเนินงาน ปี 2566”.* สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2567, จาก https://www.ipst.ac.th/news/28262/20220608-stem.html

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานกระทรวงศึกษาธิการ. (2566ก). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานกระทรวงศึกษาธิการ. (2566ข). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). *แผนการศึกษาชาติ พ.ศ. 2560-2579.* กรุงเทพฯ: พริกหวานกราฟฟิค

สิรินภา กิจเกื้อกูล. (2558). สะเต็มศึกษา (ตอนที่ 2): การบูรณาการสะเต็มศึกษาสู่การจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 17*(3), 154-160.

สุทธิดา จำรัส. (2560). นิยามของสะเต็มและลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา. *วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ., 10*(2), 13-34.

สุทธิดา จำรัส. (2562). มุมมองทฤษฎีระบบของรูปแบบการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็ม. *วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ., 12*(1), 147-167.

อาทิตยา จิตร์เอื้อเฟื้อ. (2563). การพัฒนาการรู้สะเต็มของนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ผ่านการมีส่วนร่วมชุมชนผนวกค่ายบูรณาการสะเต็มศึกษาในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่นจังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 22*(2), 302-316.

Abell, S. K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea?. *International journal of science education, 30*(10), 1405-1416.

Allen, M., Webb, A. W., & Matthews, C. E. (2016). Adaptive teaching in STEM: Characteristics for effectiveness. *Theory into Practice, 55*(3), 217-224.

An, S. A. (2017). Preservice teachers' knowledge of interdisciplinary pedagogy: The case of elementary mathematics–science integrated lessons. *ZDM Mathematics Education, 49*(2), 237-248.

Avery, Z. K. (2009). *Effects of professional development on infusing design into high school science, technology, engineering, and mathematics (STEM) curricula.* Unpublished doctoral dissertation.

Aydin-Gunbatar, S., Ekiz-Kiran, B., & Oztay, E. S. (2020). Pre-service chemistry teachers' pedagogical content knowledge for integrated STEM development with LESMeR model. *Chemistry education research and practice, 21*(4), 1063-1082.

Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education.* New York: Springer.

Battelle for kids. (2019). *Framework for 21st century learning definitions.* N.P.: n.p.

Bertram, A., & Loughran, J. (2012). Science teachers' views on CoRes and PaP-eRs as a framework for articulating and developing pedagogical content knowledge. *Research in Science Education, 42,* 1027-1047.

Biswas, S., Benabentos, R., Brewe, E., Potvin, G., Edward, J., Kravec, M., & Kramer, L. (2022). Institutionalizing evidence-based STEM reform through faculty professional development and support structures. *International Journal of STEM Education, 9*(1), 1-23.

Borda, E., Schumacher, E., Hanley, D., Geary, E., Warren, S., Ipsen, C., & Stredicke, L. (2020). Initial implementation of active learning strategies in large, lecture STEM courses: Lessons learned from a multi-institutional, interdisciplinary STEM faculty development program. *International Journal of STEM Education, 7*(1), 1-18.

Brand, B. R. (2020). Integrating science and engineering practices: outcomes from a collaborative professional development. *International Journal of STEM Education, 7*(1), 1-13.

Bufasi, E., Cakane, I., Greitans, K., Dudareva, I., & Namsone, D. (2024). Lesson Study as a Professional Development Model for Teaching Spatial Ability in Primary STEM. *Education Sciences, 14*(5), 512.

Burroughs, E. A., & Luebeck, J. L. (2010). Pre-service teachers in mathematics lesson study. *The Mathematics Enthusiast, 7*(2), 391-400.

Butler, A. C., Marsh, E. J., Slavinsky, J. P., & Baraniuk, R. G. (2014). Integrating cognitive science and technology improve learning in a STEM classroom. *Educational Psychology Review, 26,* 331-340.

Bybee, R. W. (2014). NGSS and the next generation of science teachers. *Journal of science teacher education, 25*(2), 211-221.

Carlsen, W. S. (1999). *Domains of teacher knowledge. Dlm. Gess-Newsome, J. & Lederman, NG (pnyt.).* Examining Pedagogical Content Knowledge.

Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., ... & Wilson, C. D. (2019). The refined consensus model of pedagogical content knowledge in science education. *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science,* 77-94.

Chan, K. K. H., Yeh, Y. F., & Hsu, Y. S. (2019). A framework for examining teachers' practical knowledge for STEM teaching. In Y.S. Hsu & Y.F. Yeh (Eds.), *Asia-Pacific STEM teaching practices* (pp.39-50). New York: Springer.

Chanunan, S. (2021). Enhancing preservice stem teachers'stem pck and teaching self-efficacy through stem pck-based course with the uses of experiential learning coupled with worked example instructional principles. *Journal of Education Naresuan University, 23*(1), 45-73.

Chatmaneerungcharoen, S. (2022). Thai science pre-service teachers' implementations of stem through a phenomenological multiple case study after experiencing blended professional development program. *Journal of Education Naresuan University, 24*(1), 25-36.

Christian, K. B., Kelly, A. M., & Bugallo, M. F. (2021). NGSS-based teacher professional development to implement engineering practices in STEM instruction. *International Journal of STEM Education, 8,* 1-18.

Cobern, W. W., Schuster, D., Adams, B., Skjold, B. A., Mugaloglu, E. Z., Bentz, A., & Sparks, K. (2014). Pedagogy of science teaching tests: Formative assessments of science teaching orientations. *International Journal of Science Education, 36*(13), 2265-2288.

Correia, M., & Baptista, M. (2022). Supporting the development of preservice primary teachers PCK and CK through a STEM program. *Education Sciences, 12*(4), 1-17.

Crismond, D. (2013). Design Practices and Misconceptions: Helping Beginners in Engineering Design. *The Science Teacher*, *80*(1), 50-54.

Cunningham, C. M., & Carlsen, W. S. (2014). Teaching engineering practices, Journal Science Teach. *Education, 25*(2), 197-210.

Dare, E. A., Ellis, J. A., & Roehrig, G. H. (2018). Understanding science teachers' implementations of integrated STEM curricular units through a phenomenological multiple case study. *International Journal of STEM Education, 5*(1), 1-19.

Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., & Gardner, M. (2017). *Effective teacher professional development.* Palo Alto, CA: Learning Policy Institute.

Dasgupta, C., Magana, A. J., & Vieira, C. (2019). Investigating the affordances of a CAD enabled learning environment for promoting integrated STEM learning. *Computers & Education, 129,* 122-142.

Davis, E. A. (2004). Knowledge Integration in Science Teaching: Analyzing Teachers' Knowledge Development. *Research in Science Education*, *34*(1), 21-53.

Delen, I., Morales, C. J., & Krajcik, J. (2020). Missing coherence in STEM education: Creating design-based pedagogical content knowledge in a teacher education program. In Anderson, J. & Li, Y. (Eds.), *Integrated approaches to STEM education* (pp. 361-383). New York: Springer.

Dewey, J. (1933). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process.* D.C.: Heath.

Doganca Kucuk, Z., Genek, S. E., Bozoglu, H. S., & Corlu, M. S. (2023). Expressed Willingness of STEM Teachers to Teach Engineering. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER), 13*(1), 4.

English, L. D. (2017). Advancing elementary and middle school STEM education. *International Journal of Science and Mathematics Education, 15*(1), 5-24.

Faikhamta, C., Lertdechapat, K., & Prasoblarb, T. (2020). The Impact of a PCK-based Professional Development Program on Science Teachers' Ability to Teaching STEM. *Journal of Science & Mathematics Education in Southeast Asia, 43.*

Fan, S. C., & Yu, K. C. (2019). Teaching engineering-focused STEM curriculum: PCK needed for teachers. In Y. S. Hsu & Y. F. Yeh (Eds.), *Asia-Pacific STEM teaching practices* (pp.103-116). New York: Springer.

Fan, S. C., Yu, K. C., & Lin, K. Y. (2021). A framework for implementing an engineering-focused STEM curriculum. *International Journal of Science and Mathematics Education, 19*(8), 1523-1541.

Fernandez, C., & Yoshida, M. (2004). *Lesson study: A Japanese approach to improving mathematics teaching and learning.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Fernández, M. L. (2010). Investigating how and what prospective teachers learn through microteaching lesson study. *Teaching and Teacher Education*, *26*(2), 351-362.

Friedrichsen, P. J., Abell, S. K., Pareja, E. M., Brown, P. L., Lankford, D. M., & Volkmann, M. J. (2009). Does teaching experience matter? Examining biology teachers' prior knowledge for teaching in an alternative certification program. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(4), 357-383.

Geddis, A. N. (1993). Transforming Content Knowledge: Learning to Teach about Isotopes. *Science education, 77*(6), 575-91.

Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. *In Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 3-17). New York: Springer.

Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. In *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 28-42). Routledge.

Grossman, P. L. (1989). A study in contrast: Sources of pedagogical content knowledge for secondary English. *Journal of teacher education, 40*(5), 24-31.

Grossman, P. L. (1991). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education.* New York: Teachers College.

Guler Nalbantoglu, F. (2023). *Development of Preservice Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge for Science, Technology, Engineering and Mathematics in the context of Lesson Study.* Dissertation, Ph.D., Middle East Technical University, Turkey.

Henze, I., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2008). Development of Experienced Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Models of the Solar System and the Universe. *International Journal of Science Education*, *30*(10), 1321-1342.

Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research.* National Academies.

Huang, X., Erduran, S., Zhang, P., Luo, K., & Li, C. (2022). Enhancing teachers' STEM understanding through observation, discussion and reflection. *Journal of Education for Teaching,* 1-16.

Hynes, M. M. (2012). Middle-school teachers' understanding and teaching of the engineering design process: a look at subject matter and pedagogical content knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, *22*(3), 345-360.

Irmak, M., & Öztürk, N. (2022). Understanding Preservice Science Teachers' Views about Engineers and Engineering in an Engineering-Focused STEM Course. *European Journal of STEM Education, 7*(1), 7.

Jonassen, D. H. (2000). *Computers as mindtools for schools: Engaging critical thinking.* Prentice-Hall.

Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Holubec, E. J. (1998). *Cooperation in the classroom.* Allyn and Bacon.

Juhler, M. V. (2016). The use of lesson study combined with content representation in the planning of physics lessons during field practice to develop pedagogical content knowledge. *Journal of Science Teacher Education, 27*(5), 533-553.

Kelley, T. R. (2010). Staking the claim for the 'T' in STEM. *Journal of Technology Studies, 36*(1), 2-11.

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. International *Journal of STEM education, 3,* 1-11.

Kelley, T. R., Knowles, J. G., Holland, J. D., & Han, J. (2020). Increasing high school teachers self-efficacy for integrated STEM instruction through a collaborative community of practice. *International Journal of STEM Education, 7,* 1-13.

Kennedy, T. J., & Odell, M. R. L. (2014). Engaging students in STEM education. *Science Education International, 25*(3), 246-258.

Kind, V. (2016). Preservice science teachers' science teaching orientations and beliefs about science. *Science Education, 100*(1), 122-152.

Kirschner, S., Borowski, A., Fischer, H. E., Gess-Newsome, J., & von Aufschnaiter, C. (2016). Developing and evaluating a paper-and-pencil test to assess components of physics teachers' pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education, 38*(8), 1343-1372.

Knowles, M. S. (1975). *Self-directed learning: A guide for learners and teachers.* Cambridge Adult Education.

Knowles, M. S. (1984). *The adult learner: A neglected species* (3rd ed.). Gulf.

Knowles, M. S., Holton, E. F., & Swanson, R. A. (2015). *The adult learner: The definitive classic in adult education and human resource development* (8th ed.). Routledge.

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development.* Prentice-Hall.

Lange, A. A., Robertson, L., Tian, Q., Nivens, R., & Price, J. (2022). The effects of an early childhood-elementary teacher preparation program in STEM on preservice teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 18*(12), 1-18.

Lau, M., & Multani, S. (2018). Engineering STEM teacher learning: Using a museum-based field experience to foster STEM teachers' pedagogical content knowledge for engineering. *Pedagogical content knowledge in STEM: research to practice,* 195-213.

Lertdechapat, K., & Faikhamta, C. (2021). Enhancing pedagogical content knowledge for STEM teaching of teacher candidates through lesson study. *International Journal for Lesson & Learning Studies, 10*(4), 331-347.

Lewis, C., & Tsuchida, I. (1999). A lesson is like a swiftly flowing river: How research lessons improve Japanese education. *Improving Schools, 2*(1), 48–56.

Li, Y., Wang, K., Xiao, Y. & Froyd, E. J. (2020). Research and trends in STEM education: a systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education, 7*(11), 1-16.

Lin, K. Y., Wu, Y. T., Hsu, Y. T., & Williams, P. J. (2021). Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teachers' engineering design thinking. *International Journal of STEM Education, 8,* 1-15.

Ling, L. S., Pang, V., & Lajium, D. (2020). A Case study of teachers' pedagogical content knowledge in the implementation of integrated STEM education. *Journal Pendidikan Sains Dan Matematik Malaysia, 10*(1), 49-64.

Loucks-Horsley, S., Stiles, K. E., Mundry, S., Love, N., & Hewson, P. W. (2010). *Designing professional development for teachers of science and mathematics.* Corwin.

Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of research in science teaching, 41*(4), 370-391.

Magnusson, S., J. Krajcik and H. Borko. 1999. Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome and N.G. Lederman (Eds.). *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education.* Dordrecht: Kluwer.

Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: a systematic literature review. *International Journal of STEM education, 6*(1), 1-16.

Massachusetts Department of Education. (2006). *Massachusetts science and technology/engineering curriculum framework.* http://www.doe.mass.edu/frameworks/scitech/2016-04.pdf.

Merriam, S. B., & Bierema, L. L. (2013). *Adult learning: Linking theory and practice.* Jossey-Bass.

Merriam, S.B., & Tisdell, E. J. (2016). *Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation* (4th ed.). San Francisco, CA: Jossey Bass.

Moore, T. J., Stohlmann, M. S., Wang, H.-H., Tank, K. M., Glancy, A. W., & Roehrig, G. H. (2014). Implementation and Integration of Engineering in K–12 STEM Education. In *Engineering in PreCollege Settings: Synthesizing Research, Policy, and Practices* (pp. 35-59). West Lafayette: Purdue University.

Moore, T. J., Johnson, C. C., Peters-Burton, E. E. & Guzey, S. S. (2015). The need for a STEM road map. In C. C. Johnson, E. E. Peters-Burton, & T. J. Moore (Eds.), *STEM road map: A framework for integrated STEM education* (pp. 3–12). Routledge.

Moreira, R. G., Butler-Purry, K., Carter-Sowell, A., Walton, S., Juranek, I. V., Challoo, L., ... & Spaulding, A. (2019). Innovative professional development and community building activity program improves STEM URM graduate student experiences. *International journal of STEM Education, 6,* 1-16.

National Academy of Engineering and National Research Council. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects.* Washington: National Academies.

National Academy of Engineering and National Research Council. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research.* The National Academies.

National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning.* National Academy.

National Research Council (NRC). (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas.* Retrieved December 16, 2023, from http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13165.

Next Generation Science Standards (NGSS). (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States.* Washington DC: National Academies.

Park, & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the Conceptualization of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education, 38*(3), 261-284.

Park, S., & Chen, Y. C. (2012). Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK): Examples from high school biology classrooms. *Journal of research in science teaching, 49*(7), 922-941.

Park, S., Suh, J., & Seo, K. (2018). Development and validation of measures of secondary science teachers' PCK for teaching photosynthesis. *Research in Science Education, 48,* 549-573.

Piaget, J. (1970). *Science of education and the psychology of the child.* Orion.

Pitiporntapin, S., Butkatanyoo, O., Piyapimonsit, C., Thanarachataphoom, T., Chotitham, S., & Lalitpasan, U. (2023). The development of a professional development model focusing on outdoor learning resources to enhance in-service teachers' STEM literacy. *Kasetsart Journal of Social Sciences, 44*(2), 489-496.

Porter, T., West, M. E., Kajfez, R. L., Malone, K. L., & Irving, K. E. (2019). The effect of teacher professional development on implementing engineering in elementary schools. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER), 9*(2), 5.

Ring, E. A., Dare, E. A., Crotty, E. A., & Roehrig, G. H. (2017). The evolution of teacher conceptions of STEM education throughout an intensive professional development experience. *Journal of Science Teacher Education, 28*(5), 444-467.

Roehrig, G. H., Moore, T. J., Wang, H. H., & Park, M. S. (2012). Is adding the E enough? Investigating the impact of K-12 engineering standards on the implementation of STEM integration. *School Science and Mathematics, 112*(1), 31-44.

Ross, P. M., Scanes, E., Poronnik, P., Coates, H., & Locke, W. (2022). Understanding STEM academics' responses and resilience to educational reform of academic roles in higher education. *International journal of STEM education, 9*(1), 11.

Sarkim, T. (2020). *Developing teachers' PCK about STEM teaching approach through the implementation of design research.* The 7th South-East Asia Design Research International Conference, Indonesia.

Saxton, E., Burns, R., Holveck, S., Kelley, S., Prince, D., Rigelman, N., & Skinner, E. A. (2014). A common measurement system for K-12 STEM education: Adopting an educational evaluation methodology that elevates theoretical foundations and systems thinking. *Studies in Educational Evaluation, 40,* 18-35.

SEAMEO. (2020). *Competencies of STEM Teachers in Southeast Asia.* Southeast Asian Ministers of Education Organization.

Shulman, L. S. 1986. Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher, 15*(2), 4-14.

Shulman, L. S. 1987. Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review, 57*(1), 1-21.

Simarro, C., & Couso, D. (2021). Engineering practices as a framework for STEM education: a proposal based on epistemic nuances. *International Journal of STEM Education, 8*(1), 53.

Smit, J., Chisari, L. B., Kouns, M., Bergliot Oyehaug, A., Savelsbergh, E., & Hajer, M. (2023). Inclusive STEM Teaching from a Language Perspective: Teacher Learning in a Professional Development Program. *European Journal of STEM Education, 8*(1).

Srikoom, W. (2018). *Enhancing Secondary Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge for Teaching STEM Through Practice and Research-based Professional Development Program in Thai.* dissertation, Ph.D., Kasetsart University, Bangkok.

Srikoom, W., Faikhamta, C., & Hanuscin, D. L. (2018). Dimensions of effective STEM integrated teaching practice. *K-12 STEM Education, 4*(2), 313-330.

Stohlmann, M., Moore, T. J., & Roehrig, G. H. (2012). Considerations for teaching integrated STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER), 2*(1), 4.

Surahman, E., & Wang, T. H. (2023). In-service STEM teachers professional development programmes: A systematic literature review 2018–2022. *Teaching and Teacher Education, 135,* 104326.

Taylor, B., & Kroth, M. (2009). Andragogy's transition into the future: Meta-analysis of Andragogy and its implications for adult learning and teaching. *Journal of Adult Education, 38*(1), 1-11.

Tough, A. (1979). *The adult's learning projects: A fresh approach to theory and practice in adult learning.* Ontario Institute for Studies in Education.

Vasquez, J. A., Cary, S., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics.*

Vossen, T. E., Henze, I., De Vries, M. J., & Van Driel, J. H. (2019). Finding the connection between research and design: the knowledge development of STEM teachers in a professional learning community. *International Journal of Technology and Design Education, 30*(2), 295-320.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Harvard University.

Weiland, I., Akerson, V. L., Rogers, M. P., & Pongsanon, K. (2010). *Lesson study as a tool for engaging preservice teachers in reflective practice.* Presented at the National Association for Research in Science Teaching, Philadelphia.

Yeh, Y.-F., & Hsu, Y.-S. (2019). Instructional knowledge of STEM: The voices of STEM teachers in Taiwan. *Asia-Pacific STEM teaching practices: From theoretical frameworks to practices,* 51-66.

Yildirim, B., & Sahin-Topalcengiz, E. (2018). *STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK): A Validity and Reliability Study.* Online Submission.

Yilmaz, H. S. (2022). A Study of Determination of Benchmarks during the New Formation of Integrated STEM Leader Preparation Program. *European Journal of STEM Education, 7(*1), 10.

Yin, R. K. (2009). Case study research: Design and methods (4th ed.). Sage.

Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy:STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics, 112*(1), 12-19.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1. รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิดา จำรัส
   สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. รองศาสตราจารย์สมชาย กฤตพลวิวัฒน์
   สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
3. ดร.นุศวดี พจนานุกิจ
   นักวิชาการอาวุโส สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. นางณัฐภัสสร เหล่าเนตร์
   ครูเชี่ยวชาญ โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย พิษณุโลก

ภาคผนวก ข ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (PCK for STEM)

คำชี้แจง

แบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ออกแบบมาเพื่อประเมินความคิดของครูประจำการเกี่ยวกับความรู้เนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (PCK for STEM) ปรับตามแนวคิด (Yildirim & Sahin, 2019) โดยใช้เพื่อสำรวจครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ซึ่งแบบสอบถามนี้จำแนกความเห็นออกเป็น 5 ระดับ คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

โดยแบบสอบถามนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัว เป็นการสอบถามลักษณะสำรวจรายการ (Check List)

ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale)

หวังว่าครูทุกท่านจะยินดีที่จะสละเวลาในการตอบคำถาม คำตอบของทุกท่านมีความสำคัญต่อการศึกษา ความคิดเห็นและข้อมูลส่วนบุคคลทั้งหมดของครูจะถูกเก็บเป็นความลับและใช้สำหรับเป็นผลการวิจัยทางการศึกษาเท่านั้น

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป (โปรดระบุข้อมูลและใส่เครื่อง ✓ลงในช่อง ☐ ที่ตรงกับข้อมูลของท่าน)

1. ชื่อ-นามสกุล (นาย/นาง/นางสาว).....
2. เพศ: ☐ ชาย ☐ หญิง ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....
3. อายุ: ☐ 20 – 30 ปี ☐ 31 – 40 ปี ☐ 41 – 50 ปี ☐ 51 – 60 ปี
4. การศึกษา: ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก
5. กลุ่มสาระการเรียนรู้ : ☐ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ☐ คณิตศาสตร์
6. ระดับชั้นที่สอน ☐ ม.4 ☐ ม.5 ☐ ม.6
7. คุณเคยสอนวิชาอื่นนอกเหนือจากสาขาวิชาที่จบมาหรือไม่

   ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่
8. หาก "ใช่" โปรดระบุ.....

ตอนที่ 2 โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ ตามความคิดเห็นและความเข้าใจของตนเองที่เป็นจริงมากที่สุด ลงในช่องความคิดเห็นทางด้านขวามือเกี่ยวกับตัวเลือกคำตอบทั้ง 5 ข้อ ต่อไปนี้

5 = เห็นด้วยอย่างยิ่ง 4 = เห็นด้วย 3 = ไม่แน่ใจ 2 = ไม่เห็นด้วย 1 = ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ที่	รายการขอความเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
ด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร (Knowledge of curriculum)						
1	ฉันสามารถระบุได้ว่า ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ใด คือ เป้าหมายในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา					
2	ฉันรู้เนื้อหาที่เป็นเป้าหมายการสอนตามหลักสูตรสะเต็มศึกษา					
3	ฉันสามารถออกแบบหน่วยการเรียนรู้เพื่อบูรณาการเนื้อหาสะเต็มศึกษาลงในหลักสูตรของโรงเรียน					
ด้านความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน (Knowledge of learners)						
1	ฉันสามารถแนะนำผู้เรียนได้ในด้านการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยี					
2	ฉันสามารถช่วยผู้เรียนในการศึกษาค้นคว้าได้					
3	ฉันสามารถสื่อสารกับผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ					
4	ฉันตรวจสอบความรู้พื้นฐานของผู้เรียนก่อนสอนทุกครั้งและฉันตรวจสอบความรู้ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนทั้งด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์					
5	ฉันสามารถตรวจสอบสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนได้					
ด้านความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ (Knowledge of assessment)						
1	ฉันสามารถใช้แนวทางการวัดและประเมินผลได้หลากหลาย					
2	ฉันมีความรู้เพียงพอที่จะประเมินผู้เรียนในห้องเรียนได้					
3	ฉันสามารถตั้งคำถามเพื่อประเมินความเข้าใจของผู้เรียนในสิ่งที่เรียนได้					
4	ฉันสามารถออกแบบเครื่องมือในการวัดและประเมินผลได้หลากหลาย					
ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน (Pedagogical Knowledge)						
1	ฉันสามารถใช้กลยุทธ์การสอน วิธีการสอน และเทคนิคการสอนได้มากกว่าหนึ่งวิธี					
2	ฉันสามารถสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในห้องเรียนได้					
3	ฉันสามารถสร้างแรงจูงใจผู้เรียนในขณะที่สอนได้					
4	ฉันสามารปรับกลยุทธ์การสอนสะเต็มศึกษาให้เหมาะสมกับระดับชั้นฉันรับผิดชอบสอนได้					
5	ฉันสามารถพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของผู้เรียนได้					

ที่	รายการขอความเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
6	ฉันช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาที่จำเป็นในชีวิตประจำวัน					
ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา STEM (วิทยาศาสตร์)						
1	ฉันติดตามพัฒนาการและความก้าวหน้าในสาขาวิทยาศาสตร์อยู่เสมอ					
2	ฉันสามารถดึงความสนใจของผู้เรียนมายังเนื้อหาวิชาได้โดยการถามคำถามเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์					
3	ฉันสามารถสอนแนวคิด ทฤษฎี และกฎทางวิทยาศาสตร์ได้					
4	ฉันสนับสนุนให้ผู้เรียนใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์					
5	ฉันคิดว่าฉันมีความสนใจในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์					
ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา STEM (เทคโนโลยี)						
1	ฉันสามารถใช้เครื่องมือเทคโนโลยีในชั้นเรียนได้					
2	ฉันมีความรู้เพียงพอที่จะบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับบทเรียน					
3	ฉันติดตามการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีในปัจจุบันอยู่เสมอ					
4	ฉันสามารถค้นหาวิธีแก้ไขปัญหาทางเทคโนโลยีใหม่ ๆ ได้					
5	ฉันมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่หลากหลาย					
6	ฉันสามารถเชื่อมโยงสาขาวิชาอื่น ๆ เข้ากับเทคโนโลยีได้					
ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา STEM (วิศวกรรมศาสตร์)						
1	ฉันคิดว่าวิศวกรรมศาสตร์มีพื้นฐานมาจากวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์					
2	ฉันคิดว่าสามารถช่วยผู้เรียนด้านวิศวกรรมได้					
3	ฉันคิดว่าเทคโนโลยี คือ การประยุกต์ใช้ด้านวิศวกรรม					
4	การทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านวิศวกรรมทำให้ฉันรู้สึกมีความสุข					
5	ฉันคิดว่าวิศวกรรมเป็นเรื่องสนุก					
6	ฉันสามารถบูรณาการการสอนเข้ากับด้านวิศวกรรมได้					
ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา STEM (คณิตศาสตร์)						
1	ฉันมีความรู้เนื้อหาทางคณิตศาสตร์เพียงพอ					
2	ฉันเชื่อว่าฉันสามารถสอนแนวคิด ทฤษฎีในคณิตศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ					
3	ฉันสนับสนุนให้ผู้เรียนใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์					
4	ฉันมีความรู้ และทักษะที่จำเป็นในการสอนคณิตศาสตร์					
5	ฉันมีความรู้ในการใช้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ร่วมกัน					

แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

คำชี้แจง

แบบสัมภาษณ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู ระดับมัธยมศึกษา โดยใช้สัมภาษณ์ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ความคิดเห็นและข้อมูลส่วนบุคคลทั้งหมดของครูจะถูกเก็บเป็นความลับและสำหรับใช้เป็นผลการวิจัยทางการศึกษาเท่านั้น

โดยแบบสอบถามนี้ประกอบด้วย 2 ด้าน คือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสัมภาษณ์

ตอนที่ 2 ข้อคำถามความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย 5 ด้าน ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ-นามสกุล.....เพศ..... อายุ..... .....

การศึกษา.....กลุ่มสาระการเรียนรู้..... .....

ตำแหน่ง.....ประสบการณ์การสอน..... .....

วิชาที่สอน.....ระดับชั้นที่สอน..... .....

วิชาอื่นที่สอนนอกเหนือจากสาขาวิชาที่จบมา..... ...

ประวัติการอบรมสะเต็มศึกษา..... .....

วัน/เดือน/ปี ที่สัมภาษณ์.....เวลา.....สถานที่.....

ตอนที่ 2 ข้อคำถามเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็มศึกษา

ด้านความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร

1. ครูกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้อะไรสำหรับนักเรียนในสะเต็มศึกษา

2. เพื่อบรรลุเป้าหมาย คุณออกแบบหลักสูตรสะเต็มศึกษา และนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้อย่างไร

3. คุณกำหนดหลักสูตรในสาขาวิชาของตนเองกับหลักสูตรสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร

ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา

1. คุณคิดว่าเนื้อหาในสาขาวิชาของตนเองกับเนื้อหาในสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร

2. คุณคิดว่าเนื้อหาใดมีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจก่อนการจัดการเรียนรู้

3. คุณคิดว่าเนื้อหาใดมีความสำคัญในสะเต็มศึกษาที่นักเรียนจะต้องเข้าใจเมื่อเสร็จสิ้นการสอน

ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน

1. คุณคิดว่านักเรียนมีสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในการเรียนรู้เกี่ยวกับสะเต็มศึกษาอย่างไร

2. คุณจะทราบได้อย่างไรว่านักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

3. คุณคิดว่านักเรียนควรมีความรู้และทักษะอะไรมาก่อนที่จะทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เพราะเหตุใด

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน

1. คุณใช้กลยุทธ์ที่ใช้จัดการเรียนรู้ในสาขาวิชาของตนเองกับสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร

2. คุณใช้กลยุทธ์ใดเพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ หรือแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในสะเต็มศึกษา

3. เพื่อบรรลุเป้าหมาย คุณออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้อย่างไร

4. คุณมักจะพิจารณาอะไรเมื่อคุณวางแผนออกแบบบทเรียนสะเต็มศึกษา

ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

1. คุณใช้การประเมินในสาขาวิชาของตนเองกับสะเต็มศึกษาแตกต่างกันอย่างไร

2. คุณมีการประเมินการเรียนรู้ผู้เรียนในประเด็นใดบ้าง เพราะเหตุใด หรือมีหลักฐานอะไรบ้าง

3. คุณใช้เครื่องมือ/วิธีการใดในการวัดและประเมินผล และใช้ในช่วงใดในการจัดการเรียนรู้

แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้

คำชี้แจง

แบบวิเคราะห์แผนการจัดการจัดการเรียนรู้ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครูระดับมัธยมศึกษา จากการออกแบบแผนจัดการเรียนรู้ ที่ใช้ในการปฏิบัติการสอน โดยใช้ร่วมกับแบบสังเกตการปฏิบัติการสอน โดยผู้วิจัยใช้ระหว่างการเข้าร่วมโปรแกรมประชุมเชิงปฏิบัติการและการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน

โดยแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ 5 ด้าน คือ

ด้านที่ 1 ด้านหลักสูตร

ด้านที่ 2 ด้านการบูรณาการเนื้อหา

ด้านที่ 3 ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้

ด้านที่ 4 ด้านผู้เรียน

ด้านที่ 5 ด้านการประเมินผลการเรียนรู้

ชื่อผู้สอน..... วัน/เดือน/ปีที่สอน.....

หน่วยการเรียนรู้..... ระดับชั้นที่สอน.....

เกณฑ์การประเมิน	**ระดับคะแนน**		
	3 คะแนน สมบูรณ์ครบถ้วน	**2 คะแนน ปานกลาง/พอใช้**	**1 คะแนน ปรับปรุง**
ด้านหลักสูตร			
1. มาตรฐานการเรียนรู้ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้	แสดงมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ ที่บูรณาการได้สอดคล้องกับหลักสูตรอย่างครบถ้วน	แสดงมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้ ที่บูรณาการสอดคล้องกับหลักสูตรได้บางส่วน	ไม่แสดงมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้
2. จุดประสงค์	แสดงจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนครอบคลุมทั้งด้านเความรู้ ทักษะกระบวนการและเจตคติ	แสดงจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ไม่ชัดเจนและไม่ครบทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการและเจตคติ	ไม่แสดงจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้
3. ทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21	แสดงเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจนและเหมาะสม	แสดงเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ไม่ชัดเจน	ไม่ปรากฏการเชื่อมโยง

เกณฑ์การประเมิน	ระดับคะแนน		
	3 คะแนน สมบูรณ์ครบถ้วน	2 คะแนน ปานกลาง/พอใช้	1 คะแนน ปรับปรุง
ด้านการบูรณาการเนื้อหา			
1. วิทยาศาสตร์	แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์ในสาระการเรียนรู้อย่างชัดเจนและเหมาะสม	แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์ในสาระการเรียนรู้ไม่ชัดเจน	ไม่ปรากฏการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์
2. เทคโนโลยี	แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาเทคโนโลยี ในสาระการเรียนรู้อย่างชัดเจนและเหมาะสม	แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาเทคโนโลยี ในสาระการเรียนรู้ไม่ชัดเจน	ไม่ปรากฏการเชื่อมโยงเนื้อหาเทคโนโลยี
3. กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design Process)	แสดงการเชื่อมโยงกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในสาระการเรียนรู้ได้ชัดเจนและเหมาะสม	แสดงการเชื่อมโยงกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมศาสตร์ในสาระการเรียนรู้ได้ไม่ชัดเจน	ไม่ปรากฏการเชื่อมโยง
4. คณิตศาสตร์	แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาคณิตศาสตร์ในสาระการเรียนรู้อย่างชัดเจนและเหมาะสม	แสดงการเชื่อมโยงเนื้อหาคณิตศาสตร์ในสาระการเรียนรู้ไม่ชัดเจน	ไม่ปรากฏการเชื่อมโยงเนื้อหาคณิตศาสตร์
ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้			
1. ลำดับขั้นตอนในการทำกิจกรรมการเรียนรู้	ระบุการลำดับขั้นตอนกิจกรรมการเรียนรู้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้	ระบุการลำดับขั้นตอนกิจกรรมการเรียนรู้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้บางส่วน	ลำดับขั้นตอน กิจกรรมการเรียนรู้ไม่สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้บางส่วน
2. การใช้เทคโนโลยีเครื่องมือ สื่อการสอน และแหล่งข้อมูล	แสดงการใช้เทคโนโลยีเครื่องมือ สื่อการสอนและแหล่งข้อมูลอย่างเหมาะสม	แสดงการใช้เทคโนโลยีเครื่องมือ สื่อการสอนและแหล่งข้อมูลอย่างเหมาะสมบางส่วน	ไม่ระบุการใช้เทคโนโลยีเครื่องมือ สื่อการสอนและแหล่งข้อมูล
3. ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้**ระบุปัญหา**วิเคราะห์สถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้**ระบุปัญหา**วิเคราะห์สถานการณ์แต่ไม่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน	ไม่ปรากฏ

เกณฑ์การประเมิน	ระดับคะแนน		
	3 คะแนน สมบูรณ์ครบถ้วน	**2 คะแนน ปานกลาง/พอใช้**	**1 คะแนน ปรับปรุง**
	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้**รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา**	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้**รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา** แต่ไม่ได้เน้นอย่างชัดเจน	ไม่ปรากฏ
	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้**ออกแบบและพัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหา**	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้**ออกแบบและพัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหา**แต่ไม่ชัดเจน	ไม่ปรากฏ
	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้**ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแนวทางในการแก้ไขปัญหา**	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดสอบ แต่ไม่ได้ประเมินผลและปรับปรุงแนวทางในการแก้ไขปัญหา	ไม่ปรากฏ
	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้**สื่อสารนำเสนอ**ความคิดในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้	แสดงขั้นตอนการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้**สื่อสารนำเสนอ**ความคิดในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้แต่มีรายละเอียดไม่ชัดเจน	ไม่ปรากฏ
4. การใช้คำถามขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้	แสดงตัวอย่างคำถามขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ถูกต้อง และเหมาะสม	แสดงตัวอย่างคำถามขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ถูกต้อง และเหมาะสมบางส่วน	ไม่แสดงตัวอย่างคำถามขณะจัดกิจกรรม
ด้านผู้เรียน			
1. ความรู้พื้นฐาน ความรู้ที่จำเป็นในการเรียนรู้ และแนวความคิดที่คลาดเคลื่อน	แสดงให้เห็นถึงการประเมินความรู้พื้นฐาน ความรู้ที่จำเป็นของผู้เรียนก่อนที่จะทำกิจกรรมรวมทั้งแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน	แสดงให้เห็นถึงการประเมินความรู้พื้นฐาน ความรู้ที่จำเป็นของผู้เรียน ก่อนที่จะทำกิจกรรมรวมทั้งแนวความคิดที่คลาดเคลื่อน แต่มีการระบุถึงเพียงบางส่วน	ไม่แสดงให้เห็นถึงการประเมินความรู้พื้นฐาน ความรู้ที่จำเป็นของผู้เรียนกิจกรรม และแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนก่อนที่จะทำกิจกรรม

เกณฑ์การประเมิน	ระดับคะแนน		
	3 คะแนน สมบูรณ์ครบถ้วน	2 คะแนน ปานกลาง/พอใช้	1 คะแนน ปรับปรุง
2. การสะท้อนการเรียนรู้จากกิจกรรม	แสดงให้เห็น ถึงกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สะท้อนการเรียนรู้โดยใช้วิธีการหรือคำถามได้ถูกต้อง และเหมาะสม	แสดงให้เห็น ถึงกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สะท้อนการเรียนรู้โดยใช้วิธีการหรือคำถามได้ถูกต้อง และเหมาะสมบางส่วน	ไม่แสดงให้เห็น ถึงกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สะท้อนการเรียนรู้โดยใช้วิธีการหรือคำถาม
ด้านการประเมินผลการเรียนรู้			
1. มีการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	มีวิธีการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ได้ถูกต้อง เหมาะสม	มีวิธีการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ได้ถูกต้อง เหมาะสมบางส่วน	ไม่ระบุวิธีการวัดและประเมินผลสภาพจริงและไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้
2. การประเมินทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21	มีการวัดและประเมินผลทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจนและถูกต้อง เหมาะสม	มีการวัดและประเมินผลทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจนและถูกต้อง เหมาะสมบางส่วน	ไม่ปรากฏการวัดและประเมินผลทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21

แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ

คำชี้แจง

แบบสะท้อนผลการเรียนรู้จากเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา หลังเข้าร่วมโปรแกรมประชุมเชิงปฏิบัติการ โดยให้ผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการเขียนตอบคำถามตามหัวข้อกิจกรรม โดยอธิบายรายละเอียดให้ชัดเจน

หัวข้อกิจกรรม	สิ่งที่ได้จากการอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop)
1. แลกเปลี่ยนประสบการณ์	…… …… …… ……
2. รู้จัก STEM	…… …… …… ……
3. ตัว E ใน STEM	…… …… …… ……
4. กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	…… …… …… ……
5. แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรม	…… …… …… ……
6. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา (PCK for STEM)	…… …… …… ……

หัวข้อกิจกรรม	สิ่งที่ได้จากการอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop)
7. ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา	....
8. การพัฒนาบทเรียนร่วมกัน (lesson study)	....
9. อื่น ๆ	....

แบบสังเกตการปฏิบัติการสอน

คำชี้แจง

แบบสังเกตการปฏิบัติการสอนมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษาของครู โดยแบบสอบถามนี้ประกอบด้วย 2 ด้าน คือ

ด้านที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของการสังเกต

ด้านที่ 2 แบบบันทึกข้อมูลการสังเกตการปฏิบัติการสอน ประกอบด้วย ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย 5 ด้าน ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน และความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของการสังเกต

1. ชื่อครูผู้สอน.....ระดับชั้นที่สอน.....
2. เรื่องที่สอน.....
3. จำนวนนักเรียน.....คน ชาย.....คน หญิง.....คน
4. วันที่สังเกต..... เวลา.....ถึง.....
5. ชื่อผู้สังเกต.....

ตอนที่ 2 แบบบันทึกข้อมูลการสังเกตการปฏิบัติการสอน

ที่	ครูผู้จัดการเรียนรู้	ความคิดเห็น			เขียนอธิบาย
		ใช่	บางส่วน	ไม่ใช่	
ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร					
1	ครูจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้ได้ครบถ้วน เหมาะสม และเสร็จตามเวลาที่กำหนด				
2	ครูมีการเชื่อมโยงวิชาวิทยาศาสตร์ คณิต และเทคโนโลยีในสะเต็มศึกษา				
3	ครูใช้สื่อการสอน อุปกรณ์ เทคโนโลยีในการเรียนรู้อย่างเหมาะสม เช่น ใบความรู้ อินเทอร์เน็ต เอกสาร กิจกรรม สื่อการสอน แบบจำลอง เป็นต้น				
4	ครูมีการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนในการสอนแนวคิดในแผนการจัดการเรียนรู้				

ที่	ครูผู้จัดการเรียนรู้	ความคิดเห็น			เขียนอธิบาย
		ใช่	บางส่วน	ไม่ใช่	
ความรู้เกี่ยวกับการบูรณาการเนื้อหา					
1	ครูกำหนดเกณฑ์ ข้อจำกัด ในการออกแบบชิ้นงาน ได้ตรงตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม				
2	ครูใช้ขั้นตอนของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม อย่างเหมาะสม				
3	ครูสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ตามทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ เช่น การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน ความคิดสร้างสรรค์ ฯลฯ				
4	ครูมีการเชื่อมโยงกับอาชีพที่เกี่ยวข้องกับ STEM ในประเด็นในสถานการณ์ปัญหา				
5	ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำงานเป็นกลุ่ม และส่งเสริมการแลกเปลี่ยน การสื่อสารภายในกลุ่ม				
6	ครูนำสถานการณ์ปัญหาชีวิตจริงมาใช้ในการเริ่มบทเรียนสะเต็มศึกษา				
ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียน					
1	ครูได้ตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน				
2	ครูได้ระบุจุดที่นักเรียนมีปัญหาหรือยากต่อการเรียนรู้สะเต็มศึกษาก่อนการจัดการเรียนรู้				
3	ครูได้ระบุความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน				
4	ครูได้แก้ปัญหาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน				
ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน					
1	ครูได้เปลี่ยนแปลงขั้นตอนของบทเรียนเมื่อพบว่านักเรียนประสบปัญหาในระหว่างบทเรียน				
2	ครูใช้กลยุทธ์การสอนวิทยาศาสตร์ที่เขียนไว้ในแผนจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา อย่างเหมาะสม				
3	ครูใช้กิจกรรมเพิ่มเติมในขณะที่จัดการเรียนรู้ เช่น การจำลอง แอนิเมชั่น วิดีโอ การทดลอง เป็นต้น				
4	เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดในรายวิชา สะเต็มศึกษาได้ดียิ่งขึ้น ครูใช้กราฟิก ภาพวาด การเปรียบเทียบ โมเดล เฉพาะหัวข้อหรือไม่ในการสอน				
5	ครูได้แสดงขั้นตอนในการทำกิจกรรม ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม				

ที่	ครูผู้จัดการเรียนรู้	ความคิดเห็น			เขียนอธิบาย
		ใช่	บางส่วน	ไม่ใช่	
6	ครูช่วยให้นักเรียนสามารถอภิปรายแนวคิดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ในบริบททางวิศวกรรม				
ความรู้เกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้					
1	ครูได้ประเมินความสำเร็จทั้งหมด (ความรู้ ทักษะ เจตติ) ของการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา				
2	ครูใช้วิธีการประเมินแบบ ถูก-ผิด เลือกตอบ เติมในช่องว่าง ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของแผนการจัดการเรียนรู้				
3	ครูใช้วิธีการประเมินทางเลือกอื่น เช่น แผนที่แนวคิด โปสเตอร์ รูบริก สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของแผนการจัดการเรียนรู้				
4	ครูประเมิน ผลิตภัณฑ์/ชิ้นงาน ของนักเรียน				
5	ครูประเมิน กระบวนการทางด้านวิศวกรรมของนักเรียน				
6	ครูใช้วิธีการประเมินที่เหมาะสมกับระดับของนักเรียน				

ประเด็นหลักที่จะอภิปรายในการประชุม PLC

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอน

คำชี้แจง

มีวัตถุประสงค์เพื่อสะท้อนตนเอง ในฐานะผู้สอนหรือสะท้อนครูผู้สอนในฐานะผู้สังเกตการณ์ปฏิบัติการสอน ในองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา ซึ่งใช้แบบสะท้อนการปฏิบัติการสอนในขั้นอภิปรายและแก้ไขของกระบวนการพัฒนาบทเรียนร่วมกัน โดยลักษณะของแบบสะท้อนการปฏิบัติการสอน โดยเป็นข้อคำถาม ที่สะท้อนถึงองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสะเต็มศึกษา

1. มีความแตกต่างระหว่างแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบ และการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้จริงหรือไม่

1.1 ความแตกต่างเหล่านี้คืออะไร

.....

1.2 เหตุใดจึงมีความแตกต่างระหว่างแผนการจัดการเรียนรู้และการนำไปใช้จริง

.....

2. ปัญหาหรือความท้าทายที่พบเมื่อนำแผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาไปใช้คืออะไร

.....

.....

3. มีสถานการณ์ปัญหาที่พบโดยไม่คาดคิด หรือไม่ อย่าไร

.....

.....

4. นักเรียนประสบปัญหาในส่วนใดของแผนการจัดการเรียนรู้ สังเกตได้อย่างไรว่านักเรียนประสบปัญหาและจัดการกับปัญหาเหล่านั้นอย่างไร

.....

.....

5. มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในชั้นเรียนที่สังเกตเห็นว่าแตกต่างจากแผนการจัดการเรียนรู้หรืออื่น ๆ หรือไม่

.....

.....

6. ควรจะปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ที่นำไปใช้ อย่างไร ในส่วนใด

.....

.....