



Article

Integrated learning through STEM education with an emphasis on the engineering design of eleventh-grade students

Natsupon Chutithanapanon^{1,*}, Supasin Pasee², Soisuda Ngaongam², Nutsara Kasem²,
Supattra Sapliyan², Jaruwat Karapakdee² and Chaiya Samalerk³

¹Department of Applied Science and Social, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

²Ongkharak Demonstration School, Educational Research Development Demonstration Institute, Srinakharinwirot University

³Department of Construction and Civil Engineering, Khemarat Technical College, Ubon Ratchathani

*Email: Natsupon.c@cit.kmutnb.ac.th

Received <24 November 2023>; Revised <18 April 2024>; Accepted <25 April 2024>

Abstract

The objective of this study was to enhance the engineering design and scientific knowledge of eleventh-grade students by implementing an integrated STEM learning approach that focused on the engineering design process. The process consists of five main steps: 1) Identifying the problem, 2) Conducting a search for relevant information and theories, 3) Planning and planning the building of a bridge stick model, 4) Creating a prototype of the bridge stick model, and 5) Conducting testing. The participants consisted of a single classroom of students enrolled in an engineering program at Ongkharak Demonstration School, Srinakharinwirot University, during the second semester of the academic year 2022. The research tools consist of three components: (1) a STEM lesson plan on truss structure, (2) an assessment of the engineering design process, and (3) evaluating structural tests based on engineering principles. The students' engineering design process for constructing bridge models using ice cream sticks had a success rate of 88.2%. Conducting a structural analysis based on engineering principles, three key factors were considered: efficiency, strength, and cost. The results reveal that the ice cream stick bridge has a weight-bearing capacity of 78.05 kg and has a structural efficiency of 208.13%. The observed outcomes may be attributed to the fact that the task involved problem-solving within the framework of the engineering design process. Specifically, students were required to methodically plan and build a bridge structure using ice cream sticks. This enables students to answer the problem using their own discernment, so reinforcing their understanding of the subject matter.

Keywords: STEM Education, Ice cream stick, Engineering design process, Bridge model

บทความ

การเรียนรู้แบบบูรณาการผ่านสะเต็มศึกษาโดยเน้นการออกแบบทางวิศวกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ณัฐสุพล ชุตินภานนท์^{1,*} ศุภศิลป์ ภาชี² สร้อยสุตา เงามาม² นุชศรา กาเข็ม²

สุพัตรา เสถียรัตน์² จารุวรรณ กาฬภักดี² และไชยา สมาฤกษ์³

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

²โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ สถาบันวิจัย พัฒนา และสาธิตการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

³ภาควิชาก่อสร้างและวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคนิคเขมราฐ อุบลราชธานี

*Email: Natsupon.c@cit.kmutnb.ac.th

รับบทความ: 23 พฤศจิกายน 2566 แก้ไขบทความ: 18 เมษายน 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 25 เมษายน 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบเชิงวิศวกรรมและความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผ่านการเรียนรู้แบบบูรณาการด้วยสะเต็มศึกษา (STEM education) โดยเน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1) การระบุปัญหา 2) การสืบค้นข้อมูลและการศึกษาทฤษฎี 3) การออกแบบโครงสร้าง 4) การสร้างชิ้นงาน และ 5) การทดสอบ กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 1 ห้องเรียน จากหลักสูตรแผนวิศวกรรมศาสตร์ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 เครื่องมือวิจัยประกอบด้วย (1) แผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบสะเต็มศึกษาเรื่องโครงสร้างแบบถัก (2) การประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและ (3) แบบประเมินการทดสอบโครงสร้างตามหลักวิศวกรรม ผลการวิจัยทางด้านการออกแบบทางวิศวกรรมของนักเรียนเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองสะพานจากไม้ไอศกรีมคือ 88.2% การทดสอบโครงสร้างตามหลักวิศวกรรมแบ่งเป็น 3 ด้าน คือ ประสิทธิภาพ ความแข็งแรง และต้นทุน ผลการศึกษาพบว่าสะพานไม้ไอศกรีมสามารถรับมวลถ่วงได้ 78.05 kg และมีประสิทธิภาพของโครงสร้างอยู่ที่ 208.13% ผลลัพธ์ดังกล่าวอาจเนื่องมาจากการจัดกิจกรรมที่เป็นรูปแบบการแก้ปัญหาในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม นักเรียนต้องวางแผนและออกแบบการสร้างแบบจำลองสะพานไม้จากไม้ไอศกรีมอย่างเป็นระบบ สิ่งนี้ทำให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาด้วยความเข้าใจอันลึกซึ้งซึ่งนำไปสู่การเรียนรู้อย่างสมบูรณ์

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ไม้ไอศกรีม กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สะพานไม้จำลอง

บทนำ

ทักษะการบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะในศตวรรษที่ 21 มีความสำคัญกับการสืบเสาะหาความรู้ ความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบและความสามารถในการเป็นผู้นำ (การตัดสินใจ) โดยใช้ข้อมูลที่มีความหลากหลาย ประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้ประกอบการตัดสินใจ อีกทั้งยังมุ่งเน้นส่งเสริมให้ผู้เรียนมีการพัฒนาด้านความคิดเป็นเหตุเป็นผล ความคิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์อย่างมีวิจารณญาณ ทักษะทางการสื่อสารและการทำงานเป็นทีม (Office of the Basic Education Commission, 2017) ซึ่งจะแตกต่างจากการศึกษาในช่วงศตวรรษที่ 18-19 ที่เน้นทางด้านองค์ความรู้ (Hard skill) สำหรับผู้เรียนเฉพาะด้าน ทำให้ผู้เรียนที่จบการศึกษาออกมามีความสามารถทางด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจะสอดคล้องกับแนวคิดลัทธิอุตสาหกรรม (Industrialism) ที่อธิบายว่าความสามารถเฉพาะด้านของมนุษย์จะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ดียิ่งขึ้น และจะส่งผลต่ออัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจพัฒนาแบบก้าวกระโดดอีกด้วย อย่างไรก็ตามแนวคิดนี้ทำให้เกิดปัญหาหลายอย่างตามมาเมื่อผ่านไปหลายปี เช่น ไม่เกิดการแข่งขันในด้านทางการค้าหรือการสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ เนื่องจาก ปริมาณสินค้าที่ผลิตมีจำนวนมากและลักษณะเหมือน ๆ กัน ทำให้ราคาสินค้าและบริการมีราคาที่ถูกลง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เศรษฐกิจของประเทศถดถอย ดังนั้นสำหรับศตวรรษที่ 21 จึงได้มีการเปลี่ยนระบบการศึกษา ให้ความรู้แก่ผู้เรียนโดยการนำเอาความรู้ด้านต่าง ๆ บูรณาการเข้าด้วยกัน เพื่อให้ผู้เรียนนั้นเกิดความเข้าใจ เชื่อมโยง และสามารถผสมผสานความรู้ทั้งหมดเข้าด้วยกันได้ (Intalapaporn *et al.*, 2015) รูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่ผสมผสานความรู้และทักษะที่สำคัญ 4 ด้าน ดังนี้ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematic) เพื่อแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงและการประกอบอาชีพในอนาคต ซึ่งดำเนินโครงการโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) (Siriphattharachai, 2013)

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process) เป็นรูปแบบหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะในการคิดสร้างสรรค์และทักษะการแก้ปัญหา โดยขั้นตอนของการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ดังนี้ 1.ระบุปัญหาที่พบ (problem identification) และเป็นปัญหาที่ต้องการแก้ไข 2.รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related information search) 3.การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution design) 4.วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and development) 5.ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) 6.นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) (STEM education in Thailand, 2014) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมส่วนใหญ่จะมุ่งไปที่การศึกษาระดับมัธยมศึกษา มากกว่าระดับประถมศึกษา เนื่องจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีความซับซ้อนที่มากเกินไป ไม่สามารถระบุปัญหาหรือขอบเขตของปัญหาได้ชัดเจน และยังไม่สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ได้เหมาะสม (Rodwong *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2019) ดังนั้นจึงเหมาะกับระดับมัธยมศึกษามากกว่า ซึ่งจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาทักษะขั้นสูง เช่น ทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ (Critical thinking) การออกแบบที่มีความซับซ้อน และการนำเทคโนโลยีมาช่วยสำหรับการออกแบบ ดังนั้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจึงเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาและเสริมสร้างความคิดสร้างสรรค์ สร้างผลงานหรือนวัตกรรมโดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างคุ้มค่า การวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาต่างๆอย่างเป็นขั้นตอนและหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหา (Daly, Adams and Bodner, 2012; English and King, 2015; English, King and Smeed, 2016)

นอกจากนี้จากการศึกษาของวรรณะ ประภาภรณ์ พบว่าการใช้การสอนแบบบูรณาการความรู้แบบใช้โครงงานเป็นฐานการเรียนรู้ (Project-Based Learning) และนำมาบูรณาการร่วมกับโครงงานการจำลองสะพานไม้เป็นเครื่องมือการเรียนรู้ อีกทั้งยังมีการใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะ (Inquiry-based learning) สามารถทำให้เด็กมีพัฒนาการเรียนรู้ที่ดีขึ้น คิดเป็นร้อยละ 29.56 (Prapaporn *et al.*, 2014)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะส่งเสริมกระบวนการคิดและการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางของสะเต็มศึกษาในรายวิชาโครงงานทางวิศวกรรมระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามหลักสูตรของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรฯ พ.ศ. 2564 (ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) เพื่อให้นักเรียนมีกระบวนการคิดและออกแบบเชิงวิศวกรรม การคิดวิเคราะห์ปัญหาต่างๆที่ได้รับ โดยการบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ผ่านการสร้างชิ้นงานตามแนวสะเต็มศึกษาและสอดคล้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้เรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวสะเต็มศึกษาในรายวิชาโครงงานทางวิศวกรรม
2. เพื่อศึกษาโครงสร้าง ความแข็งแรง และประสิทธิภาพของสะพานไม้จากไม้ไผ่

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM education)

ประชากรและตัวอย่างวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทำงานวิจัยนี้คัดเลือกโดยใช้วิธีแบบเจาะจง (purposive sampling) เป็นนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/5 ห้องเรียนแผนวิศวกรรมศาสตร์ ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรศึกษาศึกษา 2565 จำนวน 1 ห้องเรียน (จำนวน 30 คน) ซึ่งเป็นห้องเรียนที่เน้นการเรียนรู้ทางด้านวิศวกรรม

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิจัย

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของสะเต็มศึกษาเรื่องการออกแบบเชิงวิศวกรรมโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วยเนื้อหา

- 1) การแตกแวกเตอร์ของแรง จำนวน 1 คาบ
- 2) การศึกษาโครงสร้างของสิ่งของรอบตัวบนพื้นฐานทางวิศวกรรม จำนวน 1 คาบ
- 3) การศึกษาโครงสร้างแบบถัก (Truss structure) จำนวน 2 คาบ
- 4) ออกแบบโครงสร้างสะพาน จำนวน 2 คาบ
- 5) ทดสอบโครงสร้างของสะพาน จำนวน 2 คาบ

แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับการออกแบบสร้างแบบจำลองสะพานด้วยโครงสร้างไม้ไผ่

1. ขั้นระบุปัญหา: นักเรียนต้องระบุปัญหาของสะพานไม้แบบดั้งเดิมและสามารถบอกความแตกต่างของสะพานแบบดั้งเดิมกับสะพานแบบปัจจุบัน ทำให้สะพานแบบปัจจุบันหรือโครงสร้างสะพานแบบปัจจุบันถึงรับน้ำหนักได้มาก อะไรคือปัญหาของสะพานไม้แบบดั้งเดิมที่ทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักได้มาก โดยนักเรียนจะต้องเขียนลงในใบกิจกรรมเพื่อระบุถึงความแตกต่างทางด้านรูปแบบการก่อสร้าง วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ลักษณะการรับแรงของสะพานแต่ละรูปแบบ ขั้นนี้จะทำให้นักเรียนมีการฝึกการคิดวิเคราะห์และสามารถหาสาเหตุของปัญหา อีกทั้งยังมีการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เพื่อเสริมกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเริ่มต้นของชั่วโมงเรียนจะทำการสร้างความสนใจเกี่ยวกับโครงสร้างสะพาน โครงสร้างตึกและสิ่งปลูกสร้างของอารยธรรมโบราณ จากนั้นใส่คำถามเพื่อชี้แนะ เช่น ทำไมโครงสร้างของอารยธรรมโบราณบางอย่างถึงส่งต่อมายังปัจจุบันได้ บางอย่างทำไมสูญหายไป จากนั้นจึงทำการขยายความรู้เพื่อให้นักเรียนได้รับข้อมูลที่ถูกต้อง และให้นักเรียนระบุปัญหาของโครงสร้างสะพานไม้แบบดั้งเดิมและสะพานแบบปัจจุบันตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมต่อไป

2. ขั้นการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง: นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาและสืบค้นเกี่ยวกับรูปแบบหรือลักษณะของสะพาน การรับแรงอัดและขยายของสะพาน

3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา: โดยกำหนดเงื่อนไขของการสร้างสะพานคือจะต้องมีความยาวอย่างน้อยประมาณ 30 cm และจำกัดจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้าง ซึ่งแต่ละกลุ่มจะได้จำนวนเท่ากัน (เพียงพอสำหรับการก่อสร้างโมเดล) นักเรียนแต่ละกลุ่มจะออกแบบโครงสร้างของสะพาน และพร้อมอธิบายเหตุผลต่างๆประกอบ

4. การวางแผนและการดำเนินการแก้ปัญหา: นักเรียนจะเริ่มลงมือก่อสร้างโมเดลสะพานไม้ไผ่ตามที่ได้แต่ละกลุ่มได้ออกแบบไว้ และการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการลงมือทำโมเดลสะพานไม้ไผ่

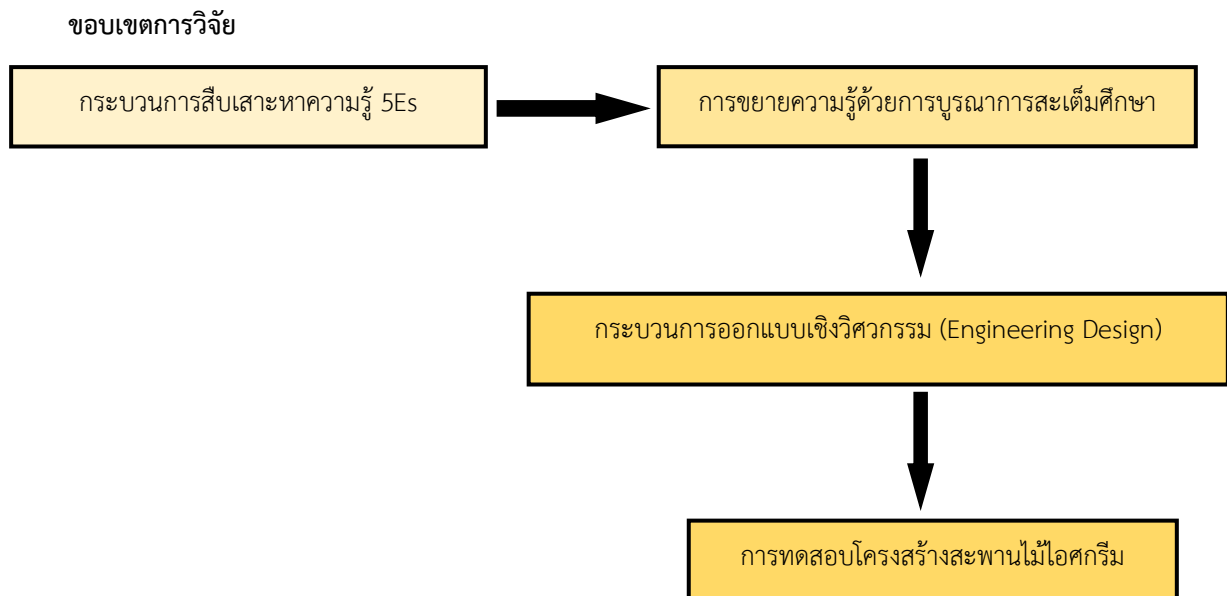
5. การทดสอบ ประเมินผล: นักเรียนแต่ละกลุ่มนำแบบจำลองสะพานไม้ไผ่มาทดสอบการรับน้ำหนัก โดยให้น้ำหนักถ่วงกดลงที่กึ่งกลางสะพานพอดี

6. การเสนอวิธีแก้การปัญหา: นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นและอุปกรณ์สำหรับการก่อสร้างเหตุผลในการเลือกโครงสร้างรูปแบบต่าง ๆ สำหรับเป็นต้นแบบการก่อสร้างสะพานไม้ไผ่

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สะเต็มศึกษาและการออกแบบเชิงวิศวกรรม หมายถึง การนำแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาผนวกเข้ากับการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีของผู้เรียน โดยกิจกรรมจะต้องพัฒนาความรู้ความเข้าใจของผู้เรียน และมีโอกาสนำความรู้มาออกแบบหรือสร้างกระบวนการเพื่อตอบสนองความต้องการในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับ

ชีวิตประจำวัน กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมประกอบด้วยองค์ประกอบ 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1. ระบุปัญหา 2. การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4. การวางแผนและการดำเนินการแก้ปัญหา 5. การทดสอบ ประเมินผล และ 6. การเสนอวิธีแก้การปัญหา (National Research Council, 2012)



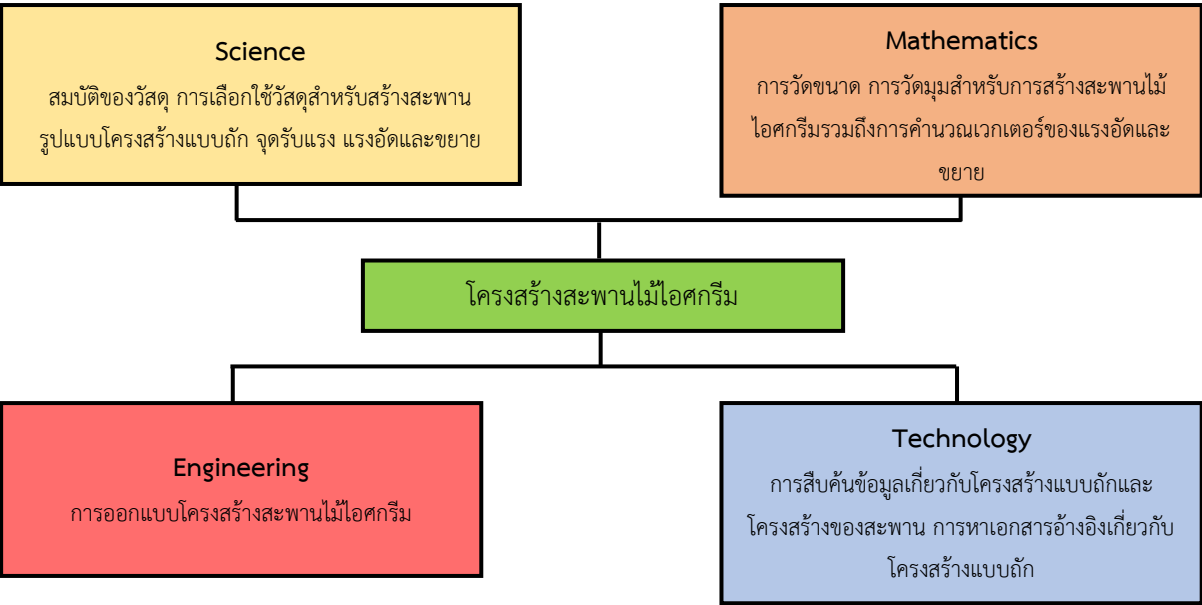
ภาพที่ 1 กระบวนการและขั้นตอนการวิจัย

การจัดกิจกรรมและการเก็บรวบรวมข้อมูล

คณะผู้วิจัยมีการจัดกิจกรรมและเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องตลอดทั้งเทอม เนื่องจากต้องมีการสอนเกี่ยวกับทฤษฎีของโครงสร้างแบบถัก (Truss structure) และทักษะกระบวนการทำงานวิจัยตามเนื้อหารายวิชาโครงงานทางวิศวกรรม (ว 32274) ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ รายละเอียดและขั้นตอนมีดังนี้

1. ช่วงโม่งที่ 1 – 2 เริ่มจากการกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ในเนื้อหาที่เกี่ยวกับโครงสร้างสะพาน โครงสร้างตึก อาคาร และสิ่งปลูกสร้างของอารยธรรมโบราณ เช่น โครงสร้างของเขื่อน โครงสร้างของหอเอนเมืองปิซา (Tower of Pisa) หอไอเฟล (Eiffel Tower) เป็นต้น จากนั้นให้นักเรียนลองยกตัวอย่างโครงสร้างที่ตัวเองสนใจและอธิบายลักษณะสำคัญของโครงสร้าง (Exploration, Explanation) และขยายความรู้ (Elaboration) ให้กับนักเรียนเพื่อเติมเต็มสิ่งที่ยังคลาดเคลื่อนหรือยังเข้าใจผิดเกี่ยวกับโครงสร้าง จากนั้นจะเข้าขั้นการระบุปัญหาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยนักเรียนจะต้องระบุปัญหาของสะพานไม้แบบดั้งเดิมและสามารถบอกความแตกต่างของสะพานแบบดั้งเดิมกับสะพานแบบปัจจุบัน ทำไมความแข็งแรงและการรับน้ำหนักถึงไม่เท่ากันเพราะอะไร

2. ช่วงโม่งที่ 3 – 4 เริ่มกระบวนการให้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างแบบถัก (Truss structure) และให้นักเรียนรวบรวมข้อมูลและปัญหาเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างสะพานไม้ไผ่ศกักริมในแต่ละโครงสร้างและลงมือออกแบบตามรูปแบบที่นักเรียนสนใจหรือนักเรียนคิดว่าแข็งแรงและมีความเหมาะสม โดยมีเงื่อนไขคือสะพานจะต้องมีความยาวอย่างน้อยที่สุด 30 cm และต้องรับน้ำหนักได้อย่างน้อยที่สุด 5 kg ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นขั้นตอนการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาและรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหาของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และการบูรณาการความรู้ด้วยเพิ่มเติมศึกษา โดยการบูรณาการจะเป็นไปตามกรอบแนวคิดการวิจัยดังภาพที่ 2 ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการระบุประเด็นที่ต้องหารให้นักเรียนทำชิ้นงานในหัวข้อ “สะพานจอมพลัง” โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังตารางที่ 1 ดังนั้นนักเรียนจะต้องมีการระบุปัญหา การสืบค้นข้อมูล การออกแบบ การสร้างชิ้นงาน และการทดสอบโครงสร้างสะพานไม้ไผ่ศกักริม ตามลำดับ



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย (Conceptual Framework)

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

รายการประเมิน	ดีมาก (4 คะแนน)	ดี (3 คะแนน)	พอใช้ (2 คะแนน)	ปรับปรุง (1 คะแนน)
การระบุปัญหา	ระบุปัญหาได้อย่างถูกต้องและชัดเจน	ระบุปัญหาได้อย่างถูกต้อง แต่ยังไม่ชัดเจน	ระบุปัญหายังไม่ถูกต้อง	ยังไม่เข้าใจเกี่ยวกับปัญหา
การสืบค้นข้อมูลและการศึกษาทฤษฎี	มีความเข้าใจและสามารถสืบค้นข้อมูล สรุปข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างได้อย่างถูกต้อง	สามารถสืบค้นข้อมูลสรุปข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างได้อย่างถูกต้อง	สามารถสรุปข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างได้ แต่อาจยังไม่ครบถ้วน	สืบค้นข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำงาน
การออกแบบโครงสร้าง(ร่าง)	สามารถออกแบบและเขียนอธิบายได้อย่างละเอียดระบุอุปกรณ์ที่ใช้ได้อย่างชัดเจน	สามารถออกแบบและเขียนอธิบายได้อย่างละเอียด แต่ยังไม่สามารถระบุอุปกรณ์ที่ใช้ได้อย่างชัดเจน	สามารถออกแบบได้อย่างละเอียด แต่ไม่เขียนอธิบาย	ออกแบบไม่ละเอียดและไม่เขียนอธิบาย
การสร้างชิ้นงาน (Prototype)	สร้างได้ตามที่ออกแบบไว้ อย่างครบถ้วน	สร้างได้ตามที่ออกแบบไว้ และมีการแก้ไข	สร้างได้ตามที่ออกแบบ และมีการแก้ไขหลายส่วน	ไม่สามารถสร้างได้ตามที่ออกแบบไว้ ต้องแก้ไขหลายส่วน
การทดสอบ	มีความแข็งแรง สามารถรับมวลถ่วงได้ 10 kg ขึ้นไป	มีความแข็งแรง สามารถรับมวลถ่วงได้ 5 kg แต่ไม่ถึง 10 kg	มีความแข็งแรง สามารถรับมวลถ่วงได้น้อยกว่า 5 kg แต่โครงสร้างมีการเสียหาย	โครงสร้างเสียหาย ไม่สามารถรับมวลถ่วงได้
การวัดและประเมินผล				
คะแนนรวม (20 คะแนน)		ความหมาย		
16 – 20		มีการกระบวนการคิดเชิงวิศวกรรมในระดับสูง		
11 - 15		มีการกระบวนการคิดเชิงวิศวกรรมในระดับปานกลาง		
6 - 10		มีการกระบวนการคิดเชิงวิศวกรรมในระดับต่ำ		
1 - 5		ไม่มีการกระบวนการคิดเชิงวิศวกรรม		

3. ช่วงโมเมนต์ 5 - 6 เริ่มต้นด้วยการสร้างโมเดลสะพานไม้ไอศกรีมตามที่แต่ละกลุ่มออกแบบไว้ โดยจำกัดจำนวนไม้ไอศกรีมขนาดใหญ่ (150 mm × 18 mm × 1.8 mm) กลุ่มละ 150 ชิ้น (มีจำนวนมากเกินไปสำหรับการสร้างสะพาน) ขั้นตอนนี้นักเรียนจะนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้และมีการนำความรู้ทางด้านต่าง ๆ มาบูรณาการเพื่อแก้ปัญหาให้ตรงกับความต้องการ และตรงกับการออกแบบโครงสร้างสะพานไม้ไอศกรีมของแต่ละกลุ่ม

4. ช่วงโมเมนต์ 7 - 8 ทำการทดสอบโครงสร้างของสะพานไม้ไอศกรีมของแต่ละกลุ่ม ทางคณะผู้วิจัยได้มีเกณฑ์การให้คะแนนดังตารางที่ 2 โดยจะแบบออกเป็น 3 หัวข้อคือ ประสิทธิภาพของโครงสร้าง ความแข็งแรงและความประหยัดของการใช้วัสดุ นักเรียนจะนำชิ้นงานที่ได้มาแข่งขันโดยการถ่วงน้ำหนักที่จุดกึ่งกลางเพื่อทำการทดสอบ โดยจะทำการเพิ่มมวลถ่วงครั้งละ 2 kg ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งโครงสร้างของสะพานรับมวลถ่วงไม่ไหว จะถือว่าสิ้นสุดการถ่วงน้ำหนักและบันทึกจำนวนมวลถ่วงที่สะพานไม้ไอศกรีมสามารถรับไหว

เกณฑ์การให้คะแนน

เกณฑ์การให้คะแนนจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือการให้คะแนนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (20 คะแนน) และการทดสอบโครงสร้างทางวิศวกรรม (100 คะแนน) คะแนนรวมทั้งหมดคิดเป็น 120 คะแนน นักเรียนกลุ่มใดที่ได้คะแนนรวมมากที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ชนะการแข่งขัน ทั้งนี้การให้คะแนนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (20 คะแนน) จะเป็นการประเมินในส่วนของการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design) นักเรียนจะต้องมีการเข้าใจของปัญหา มีความสามารถในการสืบค้นข้อมูลได้อย่างถูกต้องเพื่อนำมาออกแบบทางแนวคิดและสร้างชิ้นงานออกมา จึงจะได้ในส่วนของการออกแบบทางวิศวกรรมที่สูง แต่ถ้าระหว่างกระบวนการมีการผิดพลาดแก้ไข หรือไม่ถูกต้องคะแนนจะลดลงตามลำดับ

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนการทดสอบโครงสร้างตามหลักวิศวกรรม

รายการประเมิน	คะแนน (100 คะแนน)
ประสิทธิภาพของโครงสร้าง	30
ความแข็งแรงโครงสร้าง	40
ความประหยัดการใช้วัสดุ	30

เกณฑ์การให้คะแนนโครงสร้างตามหลักการทดสอบทางวิศวกรรม

เกณฑ์การตัดสินจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ด้านประสิทธิภาพของโครงสร้างสะพานดังสมการที่ 1 ด้านความแข็งแรงของโครงสร้างสะพานดังสมการที่ 2 และด้านความประหยัดของการใช้วัสดุดังสมการที่ 3 เกณฑ์การตัดสินนี้อ้างอิงจากเกณฑ์ที่ใช้สำหรับการแข่งขันทั่วไป (Model bridge structure design competition: Thai Bridge, moving forward to Thailand 4.0 under the concept of Engineering Technology Day, 2019; Competition to create academic knowledge about structures with ice cream sticks in the field of civil engineering 16th Thailand Championship, 2023; Competition activities 4th Ice Cream Wooden Bridge at the 4th Thai Technology Day, Lampang Rajabhat University, 2015; Ice cream wooden bridge engineer competition project, 2018)

การคิดคะแนนประสิทธิภาพของโครงสร้าง (30 คะแนน)

$$\text{คะแนนประสิทธิภาพของโครงสร้าง} = \left[E_i \times \frac{30}{E_{\max}} \right] \quad (1)$$

เมื่อ E_i = อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกทุกต่อน้ำหนักโครงสร้างสุทธิของทีมนั้นๆ

$E_{\max}$ = อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกทุกต่อน้ำหนักโครงสร้างสุทธิของทีมที่ได้มากที่สุด

การคิดคะแนนความแข็งแรงของโครงสร้าง (40 คะแนน)

$$\text{คะแนนความแข็งแรงของโครงสร้าง} = \left[40 - 35 \left(\frac{L_{\max} - L_i}{L_{\max} - L_{\min}} \right) \right] \quad (2)$$

เมื่อ L_i = น้ำหนักบรรทุกทุกของทีมนั้นๆ (กิโลกรัม)

$L_{\max}$ = น้ำหนักบรรทุกของทิมที่ได้น้ำหนักมากที่สุด (กิโลกรัม)

$L_{\min}$ = น้ำหนักบรรทุกน้อยที่สุด (กิโลกรัม)

การคิดคะแนนความประหยัด (30 คะแนน)

$$\text{คะแนนความประหยัด} = \left[30 - 25 \left(\frac{M_i - M_{\min}}{M_{\max} - M_{\min}} \right) \right] \quad (3)$$

เมื่อ M_i = ปริมาณวัสดุของทิมนั้นๆ (กิโลกรัม)

$M_{\max}$ = ปริมาณวัสดุของทิมที่ใช้วัสดุมากที่สุด (กิโลกรัม)

$M_{\min}$ = ปริมาณวัสดุของทิมที่ใช้วัสดุน้อยที่สุด (กิโลกรัม)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการแบ่งการให้คะแนนออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การให้คะแนนด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมดังตารางที่ 1 และ 2. การให้คะแนนด้านการทดสอบโครงสร้างตามหลักวิศวกรรมของโมเดลสะพานไม้ไผ่โครงถักดังตารางที่ 2 การจัดการเรียนรู้และศึกษาความสามารถกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของสะเต็มศึกษา เรื่อง โครงสร้างแบบถัก (Truss structures) ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยวิเคราะห์ตามเกณฑ์การประเมิน จากตารางที่ 1 คะแนนรวมทั้งหมด 20 คะแนน จากการประเมินคะแนนกระบวนการคิดและการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่มพบว่า กลุ่มที่ 1 ได้คะแนน 17 คะแนน กลุ่มที่ 2 ได้คะแนน 17 คะแนน และกลุ่มที่ 3 ได้ 19 คะแนน ซึ่งแสดงว่านักเรียนมีกระบวนการคิดและการออกแบบเชิงวิศวกรรมในระดับสูง จากตารางที่ 4 แสดงผลการประเมินซึ่งมีทั้งหมด 5 รายการ คะแนนเฉลี่ยของผลการประเมินผลงานนักเรียนทั้ง 3 กลุ่ม คือร้อยละ 88.2 ซึ่งรายการที่ได้คะแนนเฉลี่ยมากที่สุดคือ การระบุปัญหา การออกแบบโครงสร้างและการทดสอบชิ้นงาน ได้คะแนนร้อยละ 91.6 บ่งบอกว่าผู้เรียนมีความเข้าใจในปัญหา และสามารถออกแบบโครงสร้างเพื่อแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสม และผลที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับกระบวนการออกแบบได้เป็นอย่างดี ซึ่งการสร้างแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยการตรวจสอบรายการที่ต้องการวัด จึงมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Chuadda, Chanvaivit and Phonchaiya, 2017). และหากพิจารณาแต่ละประเด็นพบว่า

1) การประเมินขั้นการระบุปัญหา นักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถระบุปัญหาได้อย่างชัดเจนว่าสะพานไม้แบบดั้งเดิมมีความแตกต่างอย่างไรกับสะพานรูปแบบปัจจุบัน และทำไมสะพานทั้ง 2 แบบถึงรับน้ำหนักได้แตกต่างกัน ซึ่งนักเรียนสามารถวิเคราะห์และพบปัญหาที่เกิดขึ้นและสอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียน ยกเว้นนักเรียนกลุ่มที่ 1 สามารถระบุปัญหาได้อย่างถูกต้อง แต่ยังไม่ชัดเจน ซึ่งอาจจะเกิดจากนักเรียนมีเวลาจำกัดสำหรับการเขียนอธิบาย ส่งผลให้ไม่สามารถอธิบายได้อย่างครบถ้วน

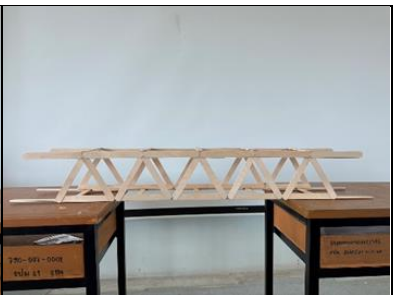
2) การประเมินขั้นการสืบค้นข้อมูลและการศึกษาทฤษฎี นักเรียนกลุ่มที่ 1 และ 2 สามารถสืบค้นข้อมูล สรุปข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างได้อย่างถูกต้อง แต่ยังไม่มีความคลาดเคลื่อนทางทฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างแบบถัก (Truss structure) ส่วนกลุ่มที่ 3 มีความเข้าใจและสามารถสืบค้นข้อมูล สรุปข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างได้อย่างถูกต้อง ทำให้ได้คะแนนที่มากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2

3) การประเมินขั้นการออกแบบโครงสร้าง (ร่าง) นักเรียนแต่ละกลุ่มมีการออกแบบและเสนอแนวคิดของโครงสร้างที่ได้ศึกษาและสืบค้นและสามารถอธิบายอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีได้อย่างเหมาะสม กลุ่มที่ 1 และ 3 สามารถออกแบบและเขียนอธิบายได้อย่างละเอียด ระบุอุปกรณ์ที่ใช้ได้อย่างชัดเจน ในขณะที่กลุ่มที่ 2 สามารถออกแบบและเขียนอธิบายได้อย่างละเอียด แต่ยังไม่สามารถระบุอุปกรณ์ที่ใช้ได้อย่างชัดเจน อาจมีความกังวลเกี่ยวกับคะแนนทางด้านการทดสอบโครงสร้างตามหลักวิศวกรรม เนื่องจากมีการคิดคะแนนทางด้านการประหยัด จึงทำให้นักเรียนไม่สามารถระบุวัสดุได้อย่างชัดเจน

4) การประเมินขั้นการสร้างชิ้นงาน (Prototype) นักเรียนทั้ง 3 กลุ่มออกแบบและสามารถสร้างชิ้นงานได้ตามที่ออกแบบดังภาพที่ 3 โดยกลุ่มที่ 1 สร้างแบบจำลองโมเดลสะพานไม้ไผ่โครงถักได้ตามที่ออกแบบไว้อย่างครบถ้วน โดยที่ไม่มีการแก้ไข ซึ่งแสดงว่ากลุ่มนี้มีกระบวนการออกแบบได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้การสร้างชิ้นงานออกมาตามที่ได้ออกแบบไว้ กลุ่มที่ 2 และ 3 สามารถสร้างได้ตามที่ออกแบบไว้ แต่มีการแก้ไขบางส่วน เนื่องจากเกิดปัญหาจากการสร้างชิ้นงานทำให้ใช้อุปกรณ์มากกว่าที่เสนอไว้ตอนแรกที่ระบุไว้ในขั้นตอนออกแบบโครงสร้าง ดังแสดงในภาพที่ 3

5) การประเมินขั้นการทดสอบ การทดสอบแบบจำลองโมเดลสะพานไม้ไผ่โครงถักโดยใช้มวลถ่วงที่จุดกึ่งกลางของโครงสร้าง มีความยาวระหว่างจุดรองรับ (Support) 30 cm จากนั้นใส่มวลถ่วงครั้งละ 2-3 kg จนกระทั่งโครงสร้างสะพานเริ่ม

เสียสมดุลหรือเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างจนไม่สามารถใส่มวลถ่วงลงไปได้อีก ผลการทดสอบการรับมวลถ่วงของโครงสร้างสะพานแสดงในตารางที่ 5 จากผลจากการทดสอบพบว่ากลุ่มที่ 1 สามารถรับมวลถ่วงได้ 6 kg ทำให้ผลการประเมินด้านการทดสอบได้ 3 คะแนน เนื่องจากมีความแข็งแรงและสามารถรับมวลถ่วงได้ 5 kg แต่ไม่ถึง 10 kg ตามเกณฑ์การให้คะแนนการออกแบบเชิงวิศวกรรมดังตารางที่ 1 ส่วนกลุ่มที่ 2 สามารถรับมวลถ่วงได้ 14.98 kg ทำให้ผลการประเมินด้านการทดสอบได้ 4 คะแนน เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรง และสามารถรับมวลถ่วงได้เกิน 10 kg ขึ้นไป กลุ่มที่ 3 สามารถรับมวลถ่วงได้ 78.05 kg ทำให้ผลการประเมินด้านการทดสอบได้ 4 คะแนน เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรง และสามารถรับมวลถ่วงได้เกิน 10 kg ขึ้นไป

		
ผลงาน กลุ่ม 1 แนวคิดของนักเรียน การใช้รูปทรงสามเหลี่ยมจะมีการกระจายแรง ทำให้สามารถรับน้ำหนักได้เยอะ จึงใช้รูปทรงที่มีสามเหลี่ยมขนาดใหญ่เป็นโครงสร้างหลักและมีคานประกอบเพื่อกระจายแรงเป็นรูปตัว M	ผลงาน กลุ่ม 2 แนวคิดของนักเรียน ใช้โครงสร้างที่มีรูปทรงคล้ายหลังคาบ้าน นำมาประยุกต์ใช้เป็นโครงสร้างของสะพาน แล้วมีการใช้เสา 4 เสาเพื่อรับแรงและกระจายแรงไปทั้ง 4 เสาของสะพาน	ผลงาน กลุ่ม 3 แนวคิดของนักเรียน ใช้แนวคิดแบบเรียบง่าย ดัดแปลงจากโครงสร้างสะพานแบบทั่วไป โครงสร้างไม่ซับซ้อน แล้วเสริมมุมแบบสามเหลี่ยมจำนวนมากเพื่อกระจายแรงได้มากขึ้น

ภาพที่ 3 ผลงานของนักเรียนที่สร้างขึ้นจากการคิดวิเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างสะพานไม้ไผ่

ตารางที่ 4 ผลการออกแบบเชิงวิศวกรรมของการสร้างแบบจำลองโมเดลสะพานไม้ไผ่ด้วยกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ย	S.D.
1. การระบุปัญหา (4 คะแนน)	3.66	91.6	0.5
2. การสืบค้นข้อมูลและการศึกษาทฤษฎี (4 คะแนน)	3.33	83.3	0.5
3. การออกแบบโครงสร้าง (ร่าง) (4 คะแนน)	3.66	91.6	0.5
4. การสร้างชิ้นงาน (Prototype) (4 คะแนน)	3.33	83.3	0.5
5. การทดสอบ (4 คะแนน)	3.66	91.6	0.5
เฉลี่ยรายการประเมินทั้งหมด	3.52	88.2	0.5

จากผลการประเมินการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้วยกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่านักเรียนมีความเข้าใจในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในระดับที่สูง โดยมีค่าเฉลี่ยของคะแนนในแต่ละหัวข้ออยู่ที่ 3.52 และมีเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของคะแนนแต่ละกลุ่มอยู่ที่ 88.2 อีกทั้งยังมีการบูรณาการความรู้ในหลาย ๆ ด้านสำหรับการแก้ปัญหา ตามกรอบแนวคิดดังภาพที่ 2 เช่น ทางด้านคณิตศาสตร์ นักเรียนได้คิดคำนวณเกี่ยวกับการรับแรงอัด แรงขยาย ในจุดต่าง ๆ ของสะพาน ซึ่งทำให้นักเรียนได้ทราบถึงหลักการกระจายแรงตามหลักการของวิศวกรรม และสามารถนำความรู้ทางด้านนี้ไปใช้ในขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างของสะพานไม้ไผ่ และมีการนำความรู้ทางด้านเทคโนโลยีมาช่วยในการ

หาค้นหาข้อมูลเพื่อมาเสริมแนวคิดจากการคำนวณว่ามีความถูกต้องตามหลักของทฤษฎีโครงสร้างแบบถัก จนถึงการสร้างแบบจำลองสะพานไม้ไผ่ก็มีการใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมมาช่วยในการสร้างจนกระทั่งสำเร็จตามที่ได้วางแผนไว้ ซึ่งผลของการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Marattana and Keeratichamroen, 2018; Phitaksa *et al.*, 2019) ที่กล่าวว่าจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาจะมีการบูรณาการความรู้ทางด้านต่างๆมาแก้ปัญหาหรือสร้างชิ้นงานได้ และนักเรียนยังสามารถเลือกใช้วัสดุได้ตามที่มีการออกแบบไว้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Chulawatanathon, 2013; Roehrig *et al.*, 2021) ที่ได้กล่าวไว้ว่า การจัดการเรียนการสอนรูปแบบสะเต็มไม่ว่าจะเป็นระดับชั้นประถมศึกษาหรือมัธยมศึกษาเป็นการฝึกให้นักเรียนรู้จักกระบวนการแก้ปัญหา แก้ปัญหาและทักษะในด้านต่าง ๆ ทำให้นักเรียนนำองค์ความรู้ในด้านต่างๆไม่ว่าจะเป็นทางด้านวิทยาศาสตร์หรือคณิตศาสตร์มาบูรณาการเพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ผลการวิจัยของ (Putwattana, 2018) ได้กล่าวว่า การบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการบูรณาการความรู้ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ต่าง ๆ และปรับปรุงชิ้นงานที่ออกแบบได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถช่วยให้ผู้เรียนมีการพัฒนาทักษะต่าง ๆ ทั้งในด้านการแก้ปัญหา การสืบค้นข้อมูล การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า การวางแผนงานและสามารถสร้างชิ้นงานออกมาได้ภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนดไว้ด้วยการบูรณาการความรู้ในหลากหลายวิชา

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักถ่วงและประสิทธิภาพของโครงสร้างสะพานไม้ไผ่

กลุ่ม	น้ำหนักสะพาน (kg)	น้ำหนักที่รับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	0.205	6.00	29.26
2	0.355	14.98	42.19
3	0.375	78.05	208.13

จากผลการทดสอบโครงสร้างของสะพานไม้ไผ่ คณะผู้วิจัยได้นำผลการทดลองมาคิดการให้คะแนนตามหลักการทดสอบโครงสร้างทางวิศวกรรม การให้คะแนนมีเกณฑ์ดังที่แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งการทดสอบทางโครงสร้างจะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อคือ 1) ด้านประสิทธิภาพของโครงสร้าง 2) ด้านความแข็งแรงของโครงสร้าง และ 3) ด้านความประหยัดของการเลือกใช้อุปกรณ์ รวมคะแนนทั้งหมดคือ 100 คะแนน การคำนวณทั้ง 3 ด้านใช้สมการที่ (1) – (3) ตามลำดับ จากตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักถ่วงและประสิทธิภาพของโครงสร้างสะพานไม้ไผ่พบว่า กลุ่มที่ 1 สามารถรับมวลถ่วงได้เพียง 6 kg และมวลของโมเดลสะพานไม้ไผ่ที่สร้างคือ 0.205 kg เมื่อนำมาคำนวณประสิทธิภาพของโครงสร้างพบว่ามีสะพานไม้ของกลุ่มที่ 1 มีประสิทธิภาพเพียง 29.26% เนื่องจากกลุ่มที่ 1 มีการใช้อุปกรณ์ เช่น จำนวนของไม้ไผ่ที่น้อยกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งการใช้วัสดุที่น้อยเกินไปส่งผลต่อโครงสร้างของสะพานและยังส่งผลต่อความแข็งแรงอีกด้วย กลุ่มที่ 2 สามารถรับมวลถ่วงได้ 14.98 kg และมวลของโมเดลสะพานไม้ไผ่ที่สร้างคือ 0.355 kg ผลการคำนวณประสิทธิภาพของโครงสร้างสะพานไม้ของกลุ่มที่ 2 พบว่ามีประสิทธิภาพ 42.19% โดยกลุ่มที่ 2 มีการใช้ไม้ไผ่เป็นจำนวนมาก และโครงสร้างมีลักษณะคล้ายกับทรงของหลังคาบ้าน ซึ่งสามารถรับแรงได้ดี นอกจากนี้ยังมีการใช้ไม้ไผ่ประกบกัน 2 แผ่น เพื่อเพิ่มความหนาและความแข็งแรงของโครงสร้าง ส่งผลให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นและมีความแข็งแรงที่สูงกว่าของกลุ่มที่ 1 สำหรับกลุ่มที่ 3 สามารถรับมวลถ่วงได้ 78.05 kg และมวลของโมเดลสะพานไม้ไผ่ที่สร้างคือ 0.375 kg ผลการคำนวณประสิทธิภาพของโครงสร้างสะพานไม้ของกลุ่มที่ 3 พบว่ามีประสิทธิภาพสูงถึง 208.13% เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของสะพานมีความคล้ายกับสะพานของรางรถไฟข้ามแม่น้ำและมีส่วนที่เป็นคานกระจายแรงที่มากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 อีกทั้งยังมีการใช้ปริมาณของไม้ไผ่เป็นจำนวนมาก มีการประกบซ้อนกัน 2 แผ่น ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงที่สูงมาก อย่างไรก็ตามในส่วนองคะแนนด้านความประหยัด กลุ่มที่ 1 จะได้คะแนนสูงที่สุด ตามด้วยกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ตามลำดับ เนื่องจากกลุ่มที่ 1 มีการใช้ปริมาณของไม้ไผ่ที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่ม 2 และกลุ่ม 3 จึงทำให้ได้คะแนนในส่วนนี้สูงที่สุด จากตารางที่ 6 แสดงผลการประเมินคะแนนด้านการทดสอบโครงสร้างตามหลักวิศวกรรมของโมเดลสะพานไม้ไผ่ทั้ง 3 ด้าน พบว่ากลุ่มที่ 1 ได้คะแนน 39.6 คะแนน กลุ่มที่ 2 ได้คะแนน 23.2 คะแนน และกลุ่มที่ 3 ได้คะแนน 75 คะแนน จากการวิเคราะห์ข้อมูล กลุ่มที่ 1 จะได้คะแนนในส่วนของความประหยัดมากที่สุด แต่จะเสียคะแนนตรงที่โครงสร้างมีความแข็งแรงน้อยและประสิทธิภาพที่น้อย ซึ่งการประหยัดการใช้วัสดุอุปกรณ์ในการก่อสร้างนำมาซึ่งความบกพร่องทางโครงสร้างของสะพาน ในส่วนนี้ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับการคำนวณหรือกระประเมินราคาการก่อสร้างและการเลือกวัสดุให้มีความเหมาะสมมากที่สุด กลุ่มที่ 2 มีการใช้ปริมาณ

ของไม้ไผ่กริมที่มากกว่ากลุ่มที่ 1 แต่ความแข็งแรงของโครงสร้างยังไม่มากเพียงพอที่จะทำให้สามารถรับน้ำหนักถ่วงได้มาก อาจเป็นเพราะโครงสร้างของสะพานยังไม่ได้สัดส่วนที่ถูกต้องทำให้การรับแรงของโครงสร้างสะพานมีปัญหา จึงทำให้คะแนนในส่วนนี้ไม่สูงมากนัก สำหรับกลุ่มที่ 3 เนื่องจากสามารถรับน้ำหนักถ่วงได้ 78.05 kg ทำให้คะแนนด้านประสิทธิภาพและด้านความแข็งแรงมีคะแนนที่อยู่ในระดับสูง แต่คะแนนในด้านของความประหยัดได้ 5 คะแนน เพราะมีการใช้ปริมาณของไม้ไผ่กริมที่มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ ซึ่งตรงนี้นักเรียนจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุ เมื่อใช้วัสดุที่มีคุณภาพและมากจนเกินความจำเป็น ถึงแม้ว่าจะได้ความแข็งแรงและประสิทธิภาพที่มากขึ้นแต่กลับต้องเสียค่าวัสดุอุปกรณ์เพิ่มมากขึ้นด้วย เมื่อรวมคะแนนการประเมินด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและด้านการทดสอบโครงสร้างของโมเดลสะพานไม้ไผ่กริมพบว่า กลุ่มที่ 3 มีคะแนนรวม 94 คะแนน จากคะแนนทั้งหมดคือ 120 คะแนน รองลงมาคือ กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7

ดังนั้นกลุ่มที่ 1 และ 2 ถึงแม้จะได้คะแนนในด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอยู่ในระดับที่สูง แต่เมื่อนำมาคำนวณทางด้านวิศวกรรม เช่น ประสิทธิภาพ ความแข็งแรง และความประหยัด กลับพบว่าโครงสร้างสะพานไม้ไผ่กริมกลับรับมวลถ่วงได้ไม่มาก เนื่องจากขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างของสะพานนักเรียนอาจใช้เกณฑ์ขั้นต่ำ (รับมวลถ่วงได้ 5 kg) ในการคำนวณค่าก่อนการสร้างสะพานไม้จริง จึงทำให้สะพานรับมวลถ่วงได้พอติดกับที่ได้ออกแบบไว้ตอนต้น สำหรับกลุ่มที่ 3 ได้มีการออกแบบมาเป็นอย่างดี และมีการสร้างสะพานได้ตามรูปแบบที่ได้วางแผนไว้ จึงทำให้รับมวลถ่วงได้มาก จึงได้คะแนนทั้งในส่วน ofกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและการทดสอบโครงสร้างตามหลักวิศวกรรมที่สูง นั่นคือ 94 คะแนน

ตารางที่ 6 ผลการประเมินด้านการทดสอบโครงสร้างของโมเดลสะพานไม้ไผ่กริม

กลุ่ม	คะแนนประสิทธิภาพ (30 คะแนน)	คะแนนความแข็งแรง (40 คะแนน)	คะแนนความ ประหยัด (30 คะแนน)	คะแนนรวม (100 คะแนน)
1.	4.2	5.4	30	39.6
2.	6.0	9.1	7.9	23.2
3.	30	40	5	75

ตารางที่ 7 ผลรวมของคะแนนด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและด้านการทดสอบโครงสร้างของโมเดลสะพานไม้ไผ่กริม

กลุ่ม	คะแนนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (20 คะแนน)	คะแนนการทดสอบโครงสร้าง (100 คะแนน)	คะแนนรวม (120 คะแนน)
1.	17	39.6	57.6
2.	17	23.2	40.2
3.	19	75	94

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าการจัดการเรียนรู้รูปแบบสะเต็มศึกษาที่เน้นทางด้านการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถช่วยให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ มีความสามารถในการระบุปัญหาและทักษะการแก้ต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาตามสถานการณ์หรือการสร้างชิ้นงานให้ตรงตามแบบแผนที่ได้มีการออกแบบหรือวางแผนไว้ และอาจนำไปสู่การสร้างนวัตกรรมที่สามารถแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและตอบโจทย์ได้ จะเห็นได้จากคะแนนการประเมินมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 88.2% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สูง อย่างไรก็ตามผลจากการประเมินยังบอกได้ถึงความเข้าใจในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังจะเห็นได้จากบางหัวข้อของการประเมิน เช่น การออกแบบโครงสร้าง บางกลุ่มยังมีการออกแบบที่ยังไม่ครอบคลุมปัญหาที่ตั้งไว้ ซึ่งจะส่งผลต่อการสร้างชิ้นงาน และยังส่งผลต่อการทดสอบในด้านโครงสร้างตามหลักวิศวกรรมอีกด้วย ดังนั้นผู้สอนอาจจะต้องมีการสรุปกระบวนการคิดให้นักเรียน เพื่อเสริมความเข้าใจและครอบคลุม

ปัญหาที่กำหนดไว้ สำหรับการสร้างสะพานไม้ไอศกรีมจะเป็นกระบวนการที่เสริมสร้างทักษะในหลาย ๆ เรื่องและมีการบูรณาการทักษะด้านต่าง ๆ ในการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามโครงสร้างที่ไม่แข็งแรงหรือมีความแข็งแรงน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีข้อจำกัดต่างๆ เช่น เวลาสำหรับกระบวนการจัดการเรียนรู้และกิจกรรมอาจน้อยไป อีกทั้งนักเรียนไม่มีโอกาสสำหรับการกลับไปแก้ไขปรับปรุงโครงสร้างเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยได้ลงความเห็นว่าการทดสอบโครงสร้างของสะพานไม้ไอศกรีมควรอยู่ที่ 3 คาบเรียน (3 ชั่วโมง) เพื่อที่นักเรียนจะได้มีขั้นตอนกระบวนการในการแก้ไขโครงสร้างให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์สาขาวิจัยและพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและอาจารย์สาขาวิจัยและพัฒนาการสอนคณิตศาสตร์ สถาบันวิจัย พัฒนา และสาธิตการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับการสอนในรายวิชาที่ส่งเสริมทักษะกระบวนการคิดเชิงวิศวกรรมและการคำนวณ ขอขอบคุณอาจารย์ไชยา สมาฤกษ์ สำหรับคำแนะนำและตรวจสอบงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และสุดท้ายขอขอบคุณนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/5 ห้องเรียนแผนวิศวกรรมศาสตร์ ที่ตั้งใจทำกิจกรรมและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

References

- Competition to create academic knowledge about structures with ice cream sticks in the field of civil engineering 16th Thailand Championship. (2023). Retrieved 8 August 2023, from **EN.RMUTR**: https://en.rmutr.ac.th/?page_id=10842.
- Competition activities 4th Ice Cream Wooden Bridge at the 4th Thai Technology Day, Lampang Rajabhat University. (2015). Retrieved 8 August 2023, From **LPRU**: <http://www.itech.lpru.ac.th/web/wp-content/uploads/2015/06/สะพานไม้ไอติมครั้งที่-4.pdf>.
- Chuadda, M., Chanvaivit, S. and Phonchaiya, S. (2017). The Study of Engineering Design Process of Grade 9th Students on Dissolved Oxygen after Conducting a STEM Education Activity (in Thai). **Bachelor's degree thesis**. Chonburi: Burapha University.
- Chulawatanathon, M. (2013). STEM education in Thailand and STEM ambassadors. **IPST Magazine**, 185(46), 4-18.
- Daly, S. R., Adams, R.S. and Bodner, G.M. (2012). What Does it Mean to Design? A Qualitative Investigation of Design Professionals' Experiences. **Journal of Engineering Education**, 101, 187-219.
- English, L. and King, D. (2015). STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace. **International Journal of STEM Education**, 2(1), 1-18.
- English, L., King, D. and Smeed, J. (2016). Advancing integrated STEM learning through engineering design: Sixth-grade students' design and construction of earthquake resistant buildings. **The Journal of Educational Research**, 110, 1-17.
- Gaskins, W., Kukreti, R. A., Maltbie, C. and Steimle, J. (2015). Student understanding of the engineering design process using challenge-based learning. **122nd ASEE Annual Conference & Exposition**. Seattle: Washington.
- Ice cream wooden bridge engineer competition project. (2018). Retrieved 8 August 2023, from **ENG.KPS**: <https://eng.kps.ku.ac.th/owe61/ce.pdf>.
- Intalaporn, C., Patphol, M., Wongyai, W. and Pumsa-ard, S. (2015). The study guidelines for learning management of the STEM Education for elementary students (in Thai). **Veridian E-Journal**, 8(1), 61-73.
- Kelley, T. R. and Sung, E. (2017). Examining elementary school students' transfer of learning through engineering design using think-aloud protocol analysis. **Journal of Technology Education**, 28(2), 83–108.
- King, D. and English, L. (2016). Engineering design in the primary school: applying stem concepts to build an optical instrument. **International Journal of Science Education**, 38(18), 2762-2794.

- Li, Y., Schoenfeld, A. H., Disessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., and Duschl, R. A. (2019). Design and design thinking in STEM education. **Journal for STEM Education Research**, 2, 93-104.
- Middleton, H. (2005). Creative Thinking, Values and Design and Technology Education. **International Journal of Technology and Design Education**. 15, 61-71.
- Model bridge structure design competition: Thai Bridge, moving forward to Thailand 4.0 under the concept of Engineering Technology Day. (2019). Retrieved 8 August 2023, from **ENG.UBU**: <http://www.eng.ubu.ac.th/~research/entech2020/activity/act2020/2.2563.update.pdf>.
- Marattana, C. and Keeratichamroen, W. (2018). A study of learning outcomes on materials and properties of grade 5 students' learning unit using stem education (in Thai). **RRU Community Research Journal**, 12(3), 149-162.
- National Research Council (NRC). (2012). **A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas**. Washington DC: The National Academies Press.
- Office of the Basic Education Commission. (2017). **Creative thinking**. Bangkok: Electronic books.
- Phonrunroj, C. (2003). **Creativity**. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Phitaksa, T., Phitaksa, P., Rungrot, N., Phonchaiya, S. and Wuttisela, K. (2019). Effects of STEM education approach on food racing car for grade-6 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 2(1), 57-70.
- Putwattana, N. (2018). Engineering Design and Biomimicry in STEM Education (in Thai). **STOU Education Journal**, 11(2), 31-42.
- Roehrig, G. H., Dare, E. A., Ellis, J. A. and Ring-Whalen, E. (2021). Beyond the basics: a detailed conceptual framework of integrated STEM. **Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research**, 3(1), 1-18.
- Rodwong, B., Tanak, A., Chotikaprakhan, S. and Sapakdee, B. (2022). The integrated STEM learning emphasis on electric circuit engineering design to enhance primary students' design thinking. **CMU journal of education**, 6(3), 44-58.
- Prapaporn W., Kaewhanam N., Chotetanorm C., Paupitthayatorn M., Samangnate J., Budphakdee A. and Boonmathaworn J. (2014). The comparison of learning development of Statics subject between traditional learning style and Project-based learning by using the bridge stick model (in Thai). **The 8th Srinakharinwirot University Research Conference**, 16-26.
- STEM Education Thailand. (2014). Why is STEM education? (in Thai). Retrieved 8 August 2023, from <http://www.stemedthailand.org>
- Siriphattharachai, P. (2013). STEM Education and 21st Century Skills Development (in Thai). **Executive Journal**, 33(2), 49-56.