

การส่งเสริมทักษะการออกแบบเชิงวิศวกรรมและความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม ด้วยเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน

Enhancing Engineering Design Skills and Environmental Awareness through a STEM-Based Educational Game

ชินพรรณ์ เอกวราไพศาลกุล* ณัฐภัทร คล้ายสุวรรณ

โรงเรียนบางกะปิ ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

Chinnaphat Ekwaraphaisankul* Nattapat Klaisuwan

Bangkapi School, Serithai Road, Klongchan, Bangkok, Bangkok 10240

*Corresponding author Email: uou7yu7@gmail.com

(Received: August 30, 2025; Revised: November 13, 2025; Accepted: March 31, 2026)

บทคัดย่อ

การรับมือต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจำเป็นต้องอาศัยนวัตกรรมทางการศึกษาเพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมแก่เยาวชน การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเกมการเรียนรู้ฐานสะเต็ม ในการยกระดับทักษะการออกแบบเชิงวิศวกรรมและความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 36 คน ซึ่งคัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยบอร์ดเกม Zero Carbon แบบวัดทักษะการออกแบบเชิงวิศวกรรม และแบบวัดความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและสถิติทดสอบทีแบบ One-Sample t-test โดยเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 80 ผลการวิจัยพบว่า นวัตกรรมเกมมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ ($E1/E2 = 80.93/83.05$) นอกจากนี้ ผู้เรียนมีทักษะการออกแบบเชิงวิศวกรรมและความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ผลการวิจัยนี้จึงยืนยันได้ว่า เกมการเรียนรู้ฐานสะเต็มเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะเชิงวิศวกรรมและปลูกฝังจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: เกมการเรียนรู้ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม สะเต็มศึกษา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ABSTRACT

Addressing climate change necessitates educational innovations to foster engineering problem-solving skills among youth. This research aims to evaluate the efficiency and effectiveness of a STEM-based educational game in enhancing engineering design skills and environmental awareness. The participants were 36 eleventh-grade students selected via stratified random sampling. Research instruments included the 'Zero Carbon' board game, a situational test for engineering design skills, and an environmental awareness questionnaire. Data were analyzed using descriptive statistics and a one-sample t-test against an 80% criterion. The findings revealed that the game innovation met the efficiency criteria ($E1/E2 = 80.93/83.05$). Moreover, students' post-intervention engineering design skills

and environmental awareness were significantly higher than the 80% criterion ($p < .05$). This study thus confirms that a STEM-based educational game is an effective instrument for developing engineering competencies and fostering sustainable environmental consciousness.

Keyword: Educational Game, engineering design process, environmental awareness, STEM education, environmental engineering.

1. บทนำ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นหนึ่งในความท้าทายที่ส่งผลกระทบต่อมนุษยชาติในระดับโครงสร้าง ไม่ว่าจะเป็นระบบนิเวศ เศรษฐกิจ พลังงาน และคุณภาพชีวิตของประชากรโลก โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยโลก การละลายของธารน้ำแข็ง และความถี่ของภัยธรรมชาติที่ทวีความรุนแรงขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ อาทิ การพึ่งพาพลังงานฟอสซิล การขยายตัวทางอุตสาหกรรม และรูปแบบการบริโภคที่ขาดความยั่งยืน [1] ปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนานวัตกรรมและองค์ความรู้ใหม่ ๆ เพื่อรับมือกับผลกระทบที่มีความซับซ้อนและพลวัตสูง

ในบริบททางวิศวกรรมศาสตร์ การแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศมิได้จำกัดอยู่เพียงการพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนหรือโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว แต่ยังครอบคลุมถึงการฝึกพื้นฐานที่สำคัญควบคู่กัน คือ การสร้างกระบวนการเพื่อเสริมสร้างสมรรถนะด้านการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking) และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process: EDP) ให้แก่เยาวชนและผู้เรียนในระบบการศึกษา ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับวิศวกรในศตวรรษที่ 21 เพื่อวางรากฐานทรัพยากรมนุษย์ที่สามารถคิด วิเคราะห์ ออกแบบ และประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิศวกรรมเพื่อจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมในอนาคตได้อย่างยั่งยืน [2][3]

แนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) ถือเป็นกรอบการเรียนรู้เชิงบูรณาการและการทำงานสำคัญที่บูรณาการองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในโลก

จริง โดยมีกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นหัวใจสำคัญที่ผู้เรียนได้ฝึกตั้งคำถาม นิยามปัญหา ออกแบบแนวทางแก้ปัญหา และประเมินผลลัพธ์ [4] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเชิงวิพากษ์จำนวนมากได้ชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดในเชิงปฏิบัติ กล่าวคือ แนวทางแบบดั้งเดิมยังไม่สามารถจำลองสภาวะแวดล้อมของปัญหาทางวิศวกรรมจริง ซึ่งมีลักษณะไม่แน่นอน (Uncertainty) มีข้อจำกัดหลายมิติ (Multi-dimensional Constraints) และต้องการการตัดสินใจที่ซับซ้อนได้ [5]

ข้อจำกัดดังกล่าวจึงเป็นแรงจูงใจสำคัญของงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งมุ่งแสวงหานวัตกรรมที่สามารถสร้างสภาวะแวดล้อมจำลองเพื่อให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติและฝึกแก้ปัญหาจริง การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน (Game-Based Learning: GBL) จึงถูกนำเสนอในฐานะเครื่องมือจำลองสถานการณ์ (Simulation Tool) ที่มีศักยภาพสูง เพราะเกมช่วยสร้างสถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงกับโลกจริง กระตุ้นการตัดสินใจ การแก้ปัญหา และการรับผลจากการกระทำในลักษณะที่มีส่วนร่วมและมีความหมายต่อผู้เรียน [6] [7] การเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานจึงไม่เพียงเพิ่มความรู้ด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แต่ยังทำหน้าที่เป็นกลไกสำคัญในการเสริมสร้างทักษะการคิดเชิงระบบ (Systems Thinking) และการมีส่วนร่วมอย่างรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม [8]

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมเพื่อการเรียนรู้ “Zero Carbon” ที่บูรณาการแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษาขึ้น โดยงานวิจัยนี้มุ่งประเมินนวัตกรรมในสองมิติหลัก คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ (Process Efficiency) และประสิทธิผลต่อผู้เรียน (Learning Effectiveness)

กล่าวคือ เป็นการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ความสามารถของผู้เรียนในการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม และการสร้างความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมภายหลังการใช้นวัตกรรม โดยคุณูปการของงานวิจัยนี้คือการนำเสนอกลไกการเรียนรู้เชิงนวัตกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้ในบริบทการเรียนการสอนวิศวกรรมศาสตร์ โดยไม่เพียงช่วยพัฒนาศักยภาพผู้เรียนให้พร้อมต่อการเป็นวิศวกรในอนาคต หากยังเป็นต้นแบบของสื่อการเรียนรู้ที่บูรณาการความรู้เพิ่มเติมศึกษาเข้ากับสถานการณ์ปัญหาสิ่งแวดล้อมจริง ซึ่งสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาเครื่องมือการเรียนรู้เชิงวิศวกรรมในหัวข้ออื่น ๆ อันจะนำไปสู่การสร้างทรัพยากรมนุษย์ที่มีทั้งความรู้ทางวิชาการและความตระหนักรู้ต่อความยั่งยืนของโลก

2. สมมติฐานของการวิจัย

3.1 นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน E1/E2 ในระดับ 80/80 โดย E1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ (Process Efficiency) ซึ่งประเมินจากพัฒนาการระหว่างการใช้นวัตกรรม และ E2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (Outcome Efficiency) ซึ่งประเมินจากผลสัมฤทธิ์หลังกระบวนการใช้นวัตกรรมสิ้นสุดลง

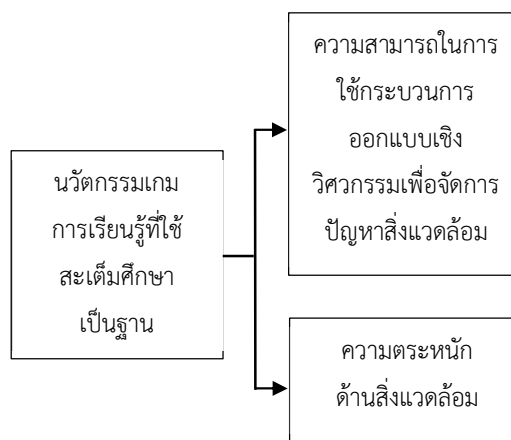
3.2 ความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนหลังใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน สูงกว่าเกณฑ์ ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3.3 ความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนหลังใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน สูงกว่าเกณฑ์ ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. กรอบแนวคิดของการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ มีตัวแปรต้น คือ นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการจัดกิจกรรม และมีตัวแปร

ตาม ประกอบด้วย ความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม และความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าการให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านนวัตกรรมเกมการเรียนรู้ดังกล่าว จะช่วยส่งเสริมความสามารถและความตระหนักรู้ของผู้เรียน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ประชากร

นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียน บางกะปิ จำนวน 9 แผนการเรียน รวมทั้งสิ้น 480 คน

4.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม G*Power Version 3.1.9.4 โดยมีขนาดอิทธิพลเท่ากับ 0.6 ระดับนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และอำนาจการทดสอบที่ 0.95 ทำให้ต้องมีกลุ่มตัวอย่างไม่น้อยกว่า 32 คน ผู้วิจัยจึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) ด้วยการสุ่มเลือกตัวแทนนักเรียนทุกแผนการเรียน แผนการเรียนละ 4 คน รวมทั้งสิ้น 36 คน ทำให้กลุ่มตัวอย่างมีความหลากหลาย ครอบคลุมทุกแผนการเรียน ทั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างทุกคนสมัครใจเข้าร่วม และได้รับความยินยอมจากผู้ปกครอง

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4.3.1 บอร์ดเกม Zero Carbon

เป็นเครื่องมือหลักที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็น สภาวะแวดล้อมจำลอง (Simulated Environment) สำหรับการเรียนรู้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในบริบทของปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยกลไกหลักของเกม ผู้เล่นจะได้รับบทบาทเป็นผู้บริหารจัดการเมืองที่ต้องสร้างสมดุลระหว่างความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจ กับการควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผู้เล่นต้องเผชิญกับการตัดสินใจ (Challenge Cards) ที่สร้างทั้งโอกาสและความท้าทาย และต้องตัดสินใจพัฒนานวัตกรรม ซึ่งเป็นเทคโนโลยีพลังงานสะอาดเพื่อลดปริมาณคาร์บอนและมุ่งสู่เป้าหมาย “คาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero)” เกมนี้จึงเป็นเสมือนการจำลองการตัดสินใจเชิงวิศวกรรมที่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดหลายมิติ

ทั้งนี้ การบูรณาการความรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย วิทยาศาสตร์ (S) ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในชีวิตประจำวันของมนุษย์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เทคโนโลยี (T) ได้แก่ การพัฒนาและใช้งานเทคโนโลยีพลังงานสะอาดที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ วิศวกรรมศาสตร์ (E) ได้แก่ การแก้ไขปัญหาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อพัฒนานวัตกรรมที่สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ และคณิตศาสตร์ (M) ได้แก่ การคำนวณเพื่อบริหารจัดการให้สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศสู่ภาวะ Net Zero [9]

4.3.2 แบบวัดความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม

เป็นแบบวัดเชิงสถานการณ์ 5 ตัวเลือก โดยมี 1 ตัวเลือก มีค่าน้ำหนัก 2 คะแนน 2 ตัวเลือก มีค่าน้ำหนัก 1 คะแนน และอีก 2 ตัวเลือก มีค่าน้ำหนัก 0 คะแนน ทั้งนี้จะแบ่งเป็น 4 ชุด ประกอบด้วย

1) แบบวัดความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม

ระหว่างใช้นวัตกรรม ได้แก่ แบบวัดชุดที่ 1- 3 ซึ่งจะวัดภายหลังการเรียนรู้ผ่านบอร์ดเกม Zero Carbon ในแต่ละครั้ง โดยเน้นสถานการณ์ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

- ชุดที่ 1 เน้นวัดความสามารถในขั้นการระบุปัญหา และการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา โดยใช้สถานการณ์ที่ปรากฏในเกมช่วงเริ่มต้น

- ชุดที่ 2 เน้นวัดความสามารถในขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา และการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา โดยใช้สถานการณ์ที่ซับซ้อนขึ้นในเกม

- ชุดที่ 3 เน้นวัดความสามารถในขั้นการทดสอบประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข และการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา โดยใช้สถานการณ์ท้ายเกมที่ต้องใช้การตัดสินใจที่เหมาะสมที่สุด

2) แบบวัดความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม หลังจากการเรียนรู้ผ่านบอร์ดเกม Zero Carbon ครั้งที่ 3 ผ่านไปแล้ว 1 สัปดาห์ โดยสถานการณ์จะเป็นสถานการณ์สิ่งแวดล้อมอื่นที่แตกต่างจากท้องเรื่องในเกม อีก 1 ชุด

4.3.3 แบบวัดความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม

เป็นแบบวัดเชิงสถานการณ์ 5 ตัวเลือก มีค่าคะแนนตั้งแต่ 0 – 4 คะแนน โดยจะวัดหลังการเรียนรู้ผ่านบอร์ดเกม Zero Carbon ครั้งที่ 3 ผ่านไป 1 สัปดาห์ ซึ่งสถานการณ์ในแบบวัดจะเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมทั่วไปในชีวิตประจำวันที่แตกต่างกันในเกม เพื่อประเมินว่าความตระหนักที่เกิดขึ้นนั้นเป็นความเข้าใจเชิงลึก ไม่ใช่เพียงการจดจำข้อมูลจากเกม

4.3.4 การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

เครื่องมือวิจัยทุกชิ้นได้ผ่านการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยใช้เทคนิค IOC (Index of Item-Objective Congruence) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ด้านสะเต็มศึกษา และด้านการวัดและประเมินผลทางการศึกษา โดยเครื่องมือทุกฉบับมีค่า

IOC มากกว่า 0.5 ในทุกข้อ ซึ่งถือว่ามีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลได้

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.4.1 ความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมระหว่างใช้นวัตกรรม

ข้อมูลจะถูกรวบรวมในระหว่างการเรียนรู้ผ่านบอร์ดเกม Zero Carbon ทั้ง 3 ครั้ง ด้วยแบบวัดความสามารถเชิงสถานการณ์ 5 ตัวเลือก โดยในครั้งที่ 1 จะวัดความสามารถระบุปัญหา และการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ครั้งที่ 2 จะวัดความสามารถในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา และการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ขณะที่ ครั้งที่ 3 จะวัดความสามารถในการทดสอบ ประเมินผล ปรับปรุงแก้ไข และการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา

4.4.2 ความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมหลังใช้นวัตกรรม

ข้อมูลจะถูกรวบรวมหลังการเรียนรู้ผ่านเกม Zero Carbon ครั้งที่ 3 ผ่านไป 1 สัปดาห์ โดยใช้ชุดสถานการณ์ใหม่ที่แตกต่างจากเนื้อหาเกม เพื่อตรวจสอบการถ่ายโอนความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมไปยังปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ การเก็บข้อมูลในขั้นนี้ช่วยสะท้อนถึงประสิทธิภาพของเกมในการพัฒนาความสามารถเชิงวิศวกรรมอย่างยั่งยืน

4.4.3 ความตระหนัkd้านสิ่งแวดล้อมหลังใช้นวัตกรรม

ใช้แบบวัดความตระหนักเชิงสถานการณ์ 5 ตัวเลือกวัดหลังการเล่นเกมนครั้งที่ 3 ผ่านไป 1 สัปดาห์ โดยสถานการณ์จะเป็นเรื่องสิ่งแวดล้อมใหม่ที่แตกต่างจากเนื้อหาเกม เพื่อประเมินการรับรู้ ความสนใจ และเจตคติด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียน ตลอดจนความสามารถในการเชื่อมโยงความรู้เชิงวิศวกรรมกับพฤติกรรมและทัศนคติที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.5.1 แนวทางการประยุกต์ใช้นวัตกรรม

ใช้การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) จากการสังเกตพฤติกรรมการเล่นเกม และการสะท้อนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการเล่นเกมนี้ จากนั้นจำแนกประเด็นเพื่ออธิบายแนวทางการประยุกต์ใช้นวัตกรรมกับความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม และการสร้างความตระหนัkd้านสิ่งแวดล้อม

4.5.2 ประสิทธิภาพของนวัตกรรม

คำนวณประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน E1/E2 โดย E1 วิเคราะห์จากคะแนนเฉลี่ยระหว่างการเล่นเกมนจากแบบวัดความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมชุดที่ 1 – 3 ขณะที่ E2 วิเคราะห์จากคะแนนเฉลี่ยหลังการเรียนรู้จากแบบวัดความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ชุดที่ 4

4.5.3 ความสามารถในการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม

วิเคราะห์โดยนำคะแนนจากแบบวัดความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม ชุดที่ 4 ซึ่งเก็บภายหลังใช้เกมการเรียนรู้ เปรียบเทียบกับเกณฑ์ ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็ม ด้วยสถิติ One-Sample t-test

4.5. ความตระหนัkd้านสิ่งแวดล้อม

วิเคราะห์โดยนำคะแนนจากแบบวัดความตระหนัkd้านสิ่งแวดล้อม ที่เก็บหลังใช้เกมการเรียนรู้ เปรียบเทียบกับเกณฑ์ ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็ม ด้วยสถิติ One-Sample t-test

5. ผลการวิจัย

5.1 ประสิทธิภาพของนวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน ที่มีต่อการพัฒนาความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของนวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน ที่มีต่อการพัฒนาความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการ

ปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยคำนวณค่า E1 จากการทดสอบระหว่างเรียน จำนวน 3 ครั้ง และคำนวณค่า E2 จากการทดสอบหลังเรียน ปรากฏผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าประสิทธิภาพตามเกณฑ์ E1/E2

ประสิทธิภาพ	N	เต็ม	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ
E1	36	30	24.08	2.54	80.93
E2	36	20	16.61	1.78	83.05

จากตารางที่ 1 พบว่า นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ E1/E2 เท่ากับ 80.93/83.05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน

5.2 ความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของผู้เรียน ภายหลังจากใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของผู้เรียน ภายหลังจากใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน โดยใช้เครื่องมือ คือ แบบวัดเชิงสถานการณ์ จากนั้นเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็ม ด้วยสถิติ One-Sample t-test ผลปรากฏดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของผู้เรียน

N	คะแนนเต็ม	Test Value	$\bar{X}$	S.D.	T	Sig
36	20	16	16.61	1.78	2.06*	.02

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการประเมินความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของผู้เรียน ภายหลังจากใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ มีคะแนนเฉลี่ย 16.61 คะแนน เมื่อเทียบกับเกณฑ์ ร้อยละ 80 มีค่า t-test ที่ได้ เท่ากับ 2.06 ซึ่งหมายความว่า ผู้เรียนมีความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมสูงกว่าเกณฑ์ ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน

5.3 ความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนหลังการใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน

ผลการวิเคราะห์ความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนหลังการใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน โดยใช้เครื่องมือ คือ แบบวัดความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม จากนั้นเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็ม ด้วยสถิติ One-Sample t-test ผลปรากฏดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนหลัง

N	คะแนนเต็ม	Test Value	$\bar{X}$	S.D.	T	Sig
36	20	16	18.39	0.93	15.34*	.00

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการประเมินความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนหลังการใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ย 18.39 คะแนน เมื่อเทียบกับเกณฑ์ ร้อยละ 80 มีค่า t-test ที่ได้ เท่ากับ 15.34 ซึ่งหมายความว่า ผู้เรียนมีความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม สูงกว่าเกณฑ์ ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน

6. อภิปรายผล

ผลการวิจัยที่ปรากฏสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของ เกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐานในการพัฒนาทักษะการออกแบบเชิงวิศวกรรมและความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถอภิปรายในประเด็นสำคัญได้ดังนี้

6.1 ประสิทธิภาพของเกมการเรียนรู้ที่มีต่อการส่งเสริมกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ผลการวิจัย พบว่า นวัตกรรมเกมมีประสิทธิภาพสูงตามเกณฑ์ (E1/E2 = 80.93/83.05) และผู้เรียนมีทักษะการออกแบบเชิงวิศวกรรมสูงกว่าเกณฑ์อย่างมีนัยสำคัญความสำเร็จดังกล่าวเป็นผลโดยตรงจาก กลไกของบอร์ด

เกม “Zero Carbon” ที่ได้ทำหน้าที่เป็นสภาวะแวดล้อมจำลอง ซึ่งขับเคลื่อนกระบวนการเรียนรู้ตามขั้นตอนของ EDP ทั้ง 6 ขั้นตอนอย่างเป็นรูปธรรม ดังนี้

1) การส่งเสริมความสามารถการระบุปัญหา (Identify Problem) กลไกของเกมมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้ผู้เล่นสามารถวิเคราะห์แยกแยะถึงต้นเหตุที่แท้จริงของปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการออกแบบให้ผู้เล่นต้องเผชิญกับสถานการณ์ที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สะสม โดยจะเริ่มต้นที่ 100 หน่วย และต้องบริหารจัดการกิจกรรมผ่านการเลือกการ์ด Challenge ที่แม้จะสร้างประโยชน์ทางเศรษฐกิจ (Gold) แต่ก็มาพร้อมกับการปล่อย CO_2 ที่เพิ่มขึ้น กลไกนี้ได้กระตุ้นให้ผู้เล่นเกิดการสังเกตและตั้งคำถาม เช่น “อะไรคือสาเหตุหลักที่ทำให้ CO_2 ไม่สามารถลดลงสู่เป้าหมายคาร์บอนเป็นศูนย์ (Net Zero) ได้” ซึ่งนำไปสู่การเรียนรู้ว่าหากดำเนินกิจกรรมโดยมุ่งเน้นแต่ประโยชน์ทางเศรษฐกิจโดยไม่นำมาใช้สร้างนวัตกรรมเพื่อลด CO_2 ก็จะไม่มีความก้าวหน้าสู่เป้าหมายได้ การออกแบบดังกล่าวช่วยส่งเสริมการคิดวิเคราะห์เชิงระบบ (system thinking) ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอที่ว่า การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจโครงสร้างของปัญหาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลได้อย่างลึกซึ้ง [10]

2) การส่งเสริมความสามารถในการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) ในขั้นตอนนี้ กลไกเกมได้กระตุ้นให้ผู้เล่นสามารถรวบรวม คัดกรอง และใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการตัดสินใจแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นระบบ โดยเกมเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเลือกลงทุนในกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อพัฒนาแนวทางการลด CO_2 เช่น การปลูกต้นไม้ การสร้างกังหันลม การสร้างเขื่อน การสร้างโซลาร์ฟาร์ม ซึ่งแต่ละทางเลือกมีเงื่อนไขและผลตอบแทนที่แตกต่างกัน ทำให้ผู้เล่นต้องเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าของแต่ละทางเลือก ตลอดจนเชื่อมโยงความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลได้ชัดเจนขึ้น การดำเนินการดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่ากระบวนการออกแบบที่

มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยการค้นหาและใช้ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ [11] รวมถึงการใช้เหตุผลเชิงเปรียบเทียบเพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน [12] อีกทั้งยังตรงกับผลการศึกษาที่ชี้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นปัญหาและการตัดสินใจจะช่วยพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการใช้ข้อมูลอย่างเป็นระบบ [13]

3) การส่งเสริมความสามารถในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากลไกของเกมสามารถกระตุ้นให้ผู้เล่นออกแบบแนวทางแก้ปัญหาที่มีความเป็นไปได้ โดยอาศัยข้อมูล ข้อจำกัด และผลลัพธ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการตัดสินใจ ผ่านการออกแบบให้ผู้เล่นเผชิญกับสถานการณ์ที่ซับซ้อนขึ้นในรอบที่สอง โดยการเพิ่มองค์ประกอบใหม่ เช่น การมีดินแดนเฉพาะของผู้เล่น (Land) และการมีสถานการณ์เฉพาะหน้าที่ไม่คาดคิดผ่านการ์ด Special Challenge ทำให้ผู้เล่นต้องตัดสินใจเชิงวิเคราะห์ในการเลือกพัฒนาตัวกรรมลด CO_2 ที่เหมาะสมกับดินแดนของตน เช่น การพัฒนาโซลาร์เซลล์ในดินแดนที่มีรับแสงแดดมากจะมีประสิทธิภาพในการลด CO_2 มากกว่าการพัฒนากังหันลม นอกจากนี้ กลไกของการ์ด Special Challenge ยังทำให้ผู้เล่นต้องใช้ทรัพยากรที่มีอย่างระมัดระวังเพื่อสามารถรับมือกับเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นเฉพาะหน้าได้ กลไกเกมเหล่านี้จึงช่วยให้ผู้เล่นได้ฝึกประเมินความคุ้มค่า จัดลำดับความสำคัญ และออกแบบวิธีแก้ปัญหาที่ไม่เพียงตอบโจทยสถานการณ์ปัจจุบัน แต่ยังสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสะท้อนถึงการคิดเชิงเปรียบเทียบและการออกแบบทางเลือกที่สอดคล้องกับเงื่อนไขจริง [12] และตรงกับแนวคิดที่ว่า การออกแบบเชิงวิศวกรรมต้องอาศัยการประเมินทางเลือกและการพิจารณาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ก่อนตัดสินใจเลือกวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสม [14]

4) การส่งเสริมความสามารถในการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) ในขั้นตอนนี้ กลไกของบอร์ดเกมได้สนับสนุนทักษะดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเพิ่มความซับซ้อนผ่านการ

กำหนดดินแดนเฉพาะที่มีเงื่อนไขทางด้านทรัพยากร (Land) และการ์ด Special Challenge ที่สร้างเหตุการณ์ไม่คาดคิด ซึ่งกระตุ้นให้ผู้เล่นสามารถกำหนดแนวทางการดำเนินการที่มีระบบและเป็นขั้นตอน และวางแผนทั้งในระยะสั้นและระยะยาวเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างการสร้างผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการตัดสินใจดำเนินกิจกรรมใด ๆ ที่แม้จะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ แต่ก็ผูกพันกับการเพิ่มขึ้นของค่า CO₂ ในระยะยาว ผู้เล่นจึงต้องใช้กลยุทธ์ในการจัดสรรผลตอบแทนทางเศรษฐกิจไปสู่การลงทุนพัฒนาเทคโนโลยีลด CO₂ ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ขณะเดียวกันกลไกของการ์ด Special Challenge ได้บังคับให้ผู้เล่นต้องเตรียมแผนสำรองเพื่อรองรับเหตุการณ์เฉพาะหน้า ทำให้ผู้เล่นต้องเชื่อมโยงระหว่างการวางแผนเชิงระบบ การจัดสรรทรัพยากรอย่างเหมาะสม และการพัฒนานวัตกรรมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้น กลไกเกมเหล่านี้จึงช่วยฝึกฝนให้ผู้เล่นเกิดความสามารถในการคิดวางแผนเชิงกลยุทธ์และเชิงระบบ การกำหนดเป้าหมายที่ชัดเจน และการบริหารจัดการแผนงานที่สามารถปรับเพื่อให้รับมือกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมต้องรวมถึงการวางแผนและพัฒนาในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน [11] และตรงกับงานวิจัยที่พบว่าการเรียนรู้ผ่านสถานการณ์จำลองช่วยพัฒนาทักษะการวางแผนที่รอบคอบและยืดหยุ่น [15]

5) การส่งเสริมความสามารถในการ ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา (Testing, Evaluation and Design Improvement) ในขั้นตอนนี้ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่ากลไกของเกมได้สร้างสถานะที่เอื้อให้ผู้เรียนสามารถทดสอบแนวทางที่ตนออกแบบไว้ ประเมินผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง และปรับปรุงแก้ไขวิธีการให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยการที่บอร์ดเกมเพิ่มกลไกให้ผู้เรียนต้องบริหารจัดการและจัดลำดับการดำเนินการด้วยตนเองนั้น ได้เปิดโอกาสให้ผู้เรียนวางแผนเชิงกลยุทธ์และได้ จำลองสถานการณ์เพื่อ

สังเกตผลลัพธ์เชิงปฏิบัติ หากผลลัพธ์จากการลงการ์ดไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ผู้เล่นจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนกลยุทธ์หรือจัดลำดับการใช้การ์ดที่เหลือนั้นทันที ซึ่งกระบวนการนี้สะท้อนแนวคิดการเรียนรู้ผ่าน การลองผิดลองถูก (Trial and Error) และการปรับปรุงอย่างเป็นวัฏจักร (Iterative Improvement) อันเป็นหัวใจสำคัญของการสะท้อนคิดระหว่างการดำเนินการ [14] [16] นอกจากนี้ การที่เกมดำเนินไปในหลายรอบยังเอื้อให้ผู้เรียนได้ทบทวนกลยุทธ์ของตนเองและทดลองใช้วิธีการใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในรอบถัดไป ดังนั้น กลไกเหล่านี้จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาทักษะการทดสอบสมมติฐาน การประเมินผลลัพธ์ และการปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหาให้สอดคล้องกับข้อจำกัดและเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งเป็นการเสริมสร้างทักษะการทดสอบและปรับปรุงเชิงวิศวกรรมให้มีความแม่นยำและยั่งยืน

6) การส่งเสริมความสามารถในการ นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา (Presentation) สำหรับขั้นตอนสุดท้ายผลการวิจัยพบว่ากลไกของบอร์ดเกมได้กระตุ้นให้ผู้เรียนนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาของตนเองผ่าน การปฏิบัติจริง (Praxis) และการสื่อสารเชิงกลยุทธ์ โดยการที่ผู้เล่นต้องนำแผนการที่วางไว้มาใช้จริงผ่านการลงการ์ดเดินตามลำดับเพื่อบรรลุเป้าหมาย Net-Zero นั้น ถือเป็นการ สะท้อนคุณภาพของแผนงานที่ได้ออกแบบและนำเสนอออกมาอย่างเป็นรูปธรรม นอกจากนี้ การเผชิญหน้ากับการ์ด Special Challenge ที่ไม่คาดคิด ยังบังคับให้ผู้เรียนต้องปรับกลยุทธ์และแสดงวิธีการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าอย่างยืดหยุ่น กระบวนการนี้จึงเป็นการฝึกฝนการนำเสนอที่ผสมผสานทั้งการวางแผน การปฏิบัติ และการปรับตัว ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบที่ว่า การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยการนำเสนอและปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์จริง อันจะนำไปสู่ความเข้าใจเชิงลึกและการคิดวิเคราะห์ที่ยั่งยืน [15] ดังนั้น กลไกในขั้นตอนนี้จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้ผู้เล่นได้แสดงออกถึงความเข้าใจในความซับซ้อนของการจัดการปัญหา และสามารถนำเสนอแนวทางแก้ปัญหาที่ตนออกแบบไว้อย่างมีประสิทธิภาพ

และยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการเสริมสร้างความสามารถการนำเสนอแนวคิดเชิงวิศวกรรมและการสื่อสารเชิงกลยุทธ์อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 ประสิทธิภาพของเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐานต่อการทักษะการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของผู้เรียน ภายหลังการใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน โดยอิงจากคะแนนแบบวัดเชิงสถานการณ์ พบว่าผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 16.61 คะแนน เมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็ม ผ่านการทดสอบ One-Sample t-test พบค่า t เท่ากับ 2.06 ซึ่งถือว่ามีความสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนมีความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิจัยนี้สะท้อนว่ากลไกของบอร์ดเกม Zero Carbon สามารถพัฒนาทักษะการออกแบบเชิงวิศวกรรมของผู้เรียนได้อย่างเกิดประสิทธิผล ทั้งนี้ กลไกของเกมที่กำหนดให้ผู้เล่นได้มีกระบวนการ ค้นหาข้อมูล ออกแบบแนวทางแก้ไข วางแผน และทดสอบกลยุทธ์หลายรอบช่วยให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดเชิงระบบ (system thinking) และการแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผล (reasoned problem solving) ในบริบทสิ่งแวดล้อมจริง [12][14]

นอกจากนี้ การที่บอร์ดเกม Zero Carbon ถูกออกแบบให้มีกลไกที่ต้องรับมือกับเงื่อนไขเฉพาะหน้า เช่น การ์ด Special Challenge และความจำกัดด้านทรัพยากรในเกม ทำให้ผู้เรียนต้องปรับกลยุทธ์ทันทีและตัดสินใจเชิงกลยุทธ์อย่างต่อเนื่อง (strategic and adaptive decision-making) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของหลายงานวิจัยที่ระบุว่าการเรียนรู้ผ่านสถานการณ์จำลองและการสะท้อนคิดระหว่างปฏิบัติช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายโอนความรู้และการออกแบบเชิงวิศวกรรมในบริบทใหม่ [11] [16]

โดยสรุป ผลการประเมินชี้ชัดว่า การใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐานสามารถยกระดับ

ความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนให้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้เกมดังกล่าวเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือส่งเสริมการเรียนรู้เชิงนวัตกรรมและการพัฒนาทักษะวิศวกรรมอย่างยั่งยืน

6.3 ประสิทธิภาพของเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐานต่อความตระหนัkd้านสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์ความตระหนัkd้านสิ่งแวดล้อมของผู้เรียน ภายหลังการใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน พบว่าผู้เรียนมีค่าเฉลี่ย 18.39 คะแนน เมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็ม ผ่านการทดสอบ One-Sample t-test พบค่า t เท่ากับ 15.34 ซึ่งถือว่ามีความสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนมีความตระหนัkd้านสิ่งแวดล้อมสูงกว่ามาตรฐานอย่างชัดเจน

ผลดังกล่าวสะท้อนว่ากลไกของบอร์ดเกม Zero Carbon สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมได้จริง โดยเฉพาะการที่ผู้เรียนต้องวางแผน ปรับกลยุทธ์ และตัดสินใจภายใต้ข้อจำกัดทรัพยากรและผลกระทบต่อ CO₂ ทำให้เกิดความเข้าใจเชิงระบบเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมทางเศรษฐกิจกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ระบุว่าการเรียนรู้ผ่านปัญหาและการลงมือปฏิบัติช่วยพัฒนาความเข้าใจและความตระหนักต่อปัญหาในบริบทจริง [10]

นอกจากนี้ การมีองค์ประกอบเชิงสถานการณ์ในเกมที่สร้างความไม่แน่นอนและความท้าทายอย่างสมจริง ทำให้ผู้เรียนต้องตัดสินใจอย่างรอบคอบและคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับหลายงานวิจัยที่ชี้ว่าการเรียนรู้ที่ผู้เรียนต้องรับมือกับสถานการณ์จำลองและสะท้อนคิดระหว่างปฏิบัติช่วยเสริมสร้างความตระหนักและการถ่ายโอนความรู้ไปสู่สถานการณ์จริง [11][16] ผลลัพธ์นี้ยังสัมพันธ์กับอีกหลายผลการศึกษาที่พบว่าการเรียนรู้ผ่านเกมหรือสถานการณ์

จำลองเชิงสิ่งแวดล้อมสามารถยกระดับความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ [17][18]

กล่าวโดยสรุป การใช้นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐานสามารถยกระดับความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนให้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน พร้อมทั้งช่วยพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ การตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ และการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน ซึ่งเป็นทักษะสำคัญสำหรับการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมในโลกปัจจุบัน

6.4 นัยสำคัญต่อการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของนวัตกรรมการเรียนรู้ที่พบว่า E1/E2 เท่ากับ 80.93/83.05 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้นั้น ถือเป็นข้อค้นพบเชิงประจักษ์ที่สำคัญ (Significant Empirical Finding) ซึ่งยืนยันว่านวัตกรรมที่ออกแบบขึ้นมีความเหมาะสมในการนำไปใช้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมของผู้เรียน ทั้งในมิติของประสิทธิภาพระหว่างกระบวนการ (Process Efficiency) และประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (Outcome Efficiency) โดยค่า E1 ในระดับ 80.93 สะท้อนว่ากลไกของเกมสามารถสร้างแรงจูงใจและดึงดูดให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมกับกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) [13] ขณะที่ค่า E2 ที่ระดับ 83.05 ชี้ให้เห็นว่านวัตกรรมการศึกษาสามารถพัฒนาความรู้และทักษะได้อย่างยั่งยืน และช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเชิงลึกที่สามารถ ถ่ายโอนไปสู่บริบทใหม่ได้จริง (Knowledge Transferability) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ระบุว่ากระบวนการเรียนรู้เชิงออกแบบซ้ำหลายรอบจะช่วยพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมให้เกิดความถูกต้องและยั่งยืน [11] [14]

ข้อค้นพบนี้ไม่เพียงแต่ยืนยันประสิทธิภาพของนวัตกรรม แต่ยังมีความสำคัญต่อวงการวิศวกรรมศึกษา โดยนำเสนอต้นแบบของเครื่องมือที่สามารถใช้ฝึกฝนทักษะการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในสภาวะแวดล้อมจำลอง อย่างไรก็ตาม แม้งานวิจัยจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลสูง แต่ก็ยัง

มีข้อจำกัดบางประการซึ่งนำไปสู่ข้อเสนอแนะเพื่อการต่อยอดในอนาคต ดังนี้

1) การตรวจสอบความยืดหยุ่นของนวัตกรรม (Robustness Testing) แม้งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการพัฒนาทักษะการออกแบบเชิงวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมผ่านเกมการเรียนรู้ที่ใช้สะเต็มศึกษาเป็นฐาน หากแต่การนำผลการศึกษานี้ไปปรับใช้ในบริบทอื่น เช่น ระดับชั้นหรือสถาบันที่มีลักษณะและทรัพยากรแตกต่างกัน จะเป็นการทดสอบและยืนยัน ความยืดหยุ่นและความเหมาะสม (Flexibility and Appropriateness) ของแนวทางนี้ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

2) การพัฒนาต่อยอดสู่แพลตฟอร์มดิจิทัล (Digital Platform Development) การต่อยอดงานวิจัยฉบับนี้ในอนาคตอาจพัฒนาเครื่องมือเพิ่มเติมในรูปแบบเกมการเรียนรู้ดิจิทัลหรือแพลตฟอร์มออนไลน์ ซึ่งไม่เพียงแต่จะช่วยให้สามารถรองรับการทำงานร่วมกันได้สะดวกขึ้น แต่ยังเอื้อต่อการให้ ผลสะท้อนกลับแบบทันที (Real-time Feedback) ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง

3) การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุด (Comparative Study for Best Practices) ควรมีการศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับกระบวนการอื่น ๆ ที่ใช้ในการพัฒนาทักษะลักษณะเดียวกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการประเมินประสิทธิภาพและระบุเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้จริง การวิเคราะห์เปรียบเทียบนี้ยังช่วยชี้ให้เห็นข้อจำกัดหรือความได้เปรียบของแต่ละแนวทาง ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการให้เหมาะสมยิ่งขึ้นในบริบททางวิศวกรรม

4) การประเมินผลกระทบระยะยาว (Long-term Impact Assessment) การติดตามผลผู้เรียนในระยะยาวหลังการเข้าร่วมกิจกรรมเป็นอีกประเด็นที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากจะสามารถประเมินความคงทนของทักษะความรู้ และพฤติกรรมที่พัฒนาขึ้นได้อย่างแท้จริง การเก็บข้อมูลระยะยาวจะสนับสนุนการปรับปรุงแนวทางและ

ออกแบบกระบวนการเรียนรู้ให้มีความยั่งยืนและสามารถนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมของการเรียนรู้ทางวิศวกรรมที่แตกต่างกันได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนทั้งสามคน คือ อภิมุข นรินทร์โชติ และปาลิตา สำหรับการร่วมพัฒนาบอร์ดเกม Zero Carbon นวัตกรรมเกมการเรียนรู้ฐานสะเต็มศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้านี้ และที่อนุญาตให้ผู้วิจัยนำบอร์ดเกมดังกล่าวมาศึกษาต่อเพื่อส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ในงานวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบคุณน้อง ๆ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ทุกคนที่เข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่างและขอขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้ ข้อเสนอแนะ และแรงบันดาลใจอันมีคุณค่าในการทำงานวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- [2] R. W. Bybee, *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. Arlington, VA: NSTA Press, 2013.
- [3] National Research Council, *A Framework for K-12 Science Education*. Washington, DC: National Academies Press, 2011.
- [4] M. Sanders, “STEM, STEM education, STEMmania,” *The Technology Teacher*, vol. 68, no. 4, pp. 20–26, 2009.
- [5] J. L. Plass, B. D. Homer, and C. K. Kinzer, “Foundations of game-based learning,” *Educational Psychologist*, vol. 50, no. 4, pp. 258–283, 2015.
- [6] Y. M. Cheng, S. J. Lou and S. H. Kuo, “Investigating elementary school students' technology acceptance by applying digital game-based learning to environmental education,” *Australas. J. Educ. Technol.*, vol. 29, no. 1, pp. 96–110, 2013.
- [7] M. Fullan, J. Quinn and J. McEachen, *Deep Learning: Engage the World Change the World*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press, 2018.
- [8] E. Cordero, D. Centeno and A. Todd. (2020, February 4). The role of climate change education on individual lifetime carbon emissions [Online]. Available: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0206266>
- [9] K. Nattapat and et al., “Development of a Learning Innovation on Climate Action Using Game-based Learning Integrated with STEM Education,” in *Thailand International Conference on Education Research (ThaiCER)*, Bangkok, 2025, pp. 190-203.
- [10] C. E. Hmelo-Silver, “Problem-based learning: What and how do students learn?” *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 235–266, 2004.
- [11] J. L. Kolodner, D. Crismond, J. Gray, J. Holbrook and S. Puntambekar, “Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design into practice,” *J. Learn. Sci.*, vol. 12, no. 4, pp. 495–547, 2003.
- [12] D. H. Jonassen, *Learning to Solve Complex Scientific Problems*. New York, NY: Routledge, 2011.

- [13] M. J. Prince and R. M. Felder, “Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases,” *J. Eng. Educ.*, vol. 95, no. 2, pp. 123–138, 2006.
- [14] D. P. Crismond and R. S. Adams, “The informed design teaching and learning matrix,” *J. Eng. Educ.*, vol. 101, no. 4, pp. 738–797, 2012.
- [15] L. D. English and D. King, “STEM learning through engineering design: Fourth-grade students’ investigations in aerospace,” *Int. J. STEM Educ.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–18, 2015.
- [16] D. A. Schön, *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. New York, NY: Basic Books, 1983.
- [17] A. Widiyatmoko, “The effect of environmental pollution game-based learning on improving students’ conceptual understanding and environmental awareness,” *J. Innov. Educ. Cult. Res.*, vol. 3, no. 4, pp. 691–700, 2022.
- [18] S. K. Tsai, “Enhancing environmental literacy through digital game-based learning: A Technology-Integrated Attitude Change Approach,” *Sustainability*, vol. 17, no. 16, p. 7416, 2025.