

การพัฒนาส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับการเรียนการสอนแบบออนไลน์ เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว

THE DEVELOPMENT OF GRAPHICAL USER INTERFACE FOR ONLINE LEARNING IN POLAR COORDINATE SYSTEM

จตุรรัตน์ โพธิ์หลวง*
Jutarat Pholuang*

Received: October 15, 2021

Revised: November 20, 2021

Accepted: December 1, 2021

ABSTRACT

The researcher has developed the graphical user interface for online learning in polar coordinate system. The research has compared the learning achievement of the experimental group by using graphical user interface in polar coordinate system and the control group by using traditional method. Furthermore, the study has also investigated the students' opinions by using graphical user interface in polar coordinate system. The sample group consisted of students who enrolled in Engineering Mathematics course in the first semester of the 2021 academic year in Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani. The research was obtained by simple random sampling. The sample group was divided into experimental and control groups. The research instruments consisted of the online learning lesson plans in polar coordinate system, the graphical user interface about the another representation of a point in polar coordinates, the polar-Cartesian coordinate conversion calculator and graphing polar equations, an achievement test in polar coordinate system, and a survey questionnaire on opinions by using graphical user interface in polar coordinate system. The statistical methods were used in data analysis : percentage, mean, standard deviation, analysis of variance, and independent sample t-test. The research findings showed that 1) the graphical user interface for online learning in polar coordinate system had been developed with the quality at the highest level, 2) learning achievement of the experimental group by using the graphical user interface had higher achievement than the control group by using traditional method at .05 significant level, and 3) students who learned by using the graphical user interface were satisfied with a high level.

Keywords: Graphical User Interface; Polar Coordinate System; Online learning

Corresponding Author E-mail: jutarat@vru.ac.th

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี 13180

Applied Mathematics Program, Faculty of Science and Technology,

Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage,

Pathum Thani 13180 Thailand

บทคัดย่อ

ผู้วิจัยได้พัฒนาส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับการเรียนการสอนแบบออนไลน์ เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วระหว่างการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้และวิธีการสอนแบบปกติ และเพื่อสำรวจทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ คือนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย ในการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้เกี่ยวกับการหาพิกัดเชิงขั้วอื่น ๆ ที่เป็นตัวแทนของจุดที่กำหนดให้ การหาความสัมพันธ์ของจุดในระบบพิกัดฉากกับระบบพิกัดเชิงขั้ว และการวาดกราฟของสมการในระบบพิกัดเชิงขั้ว แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว และแบบสำรวจทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการทดสอบทีแบบกลุ่มอิสระ ผลการวิจัยพบว่า 1) ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับการเรียนการสอนออนไลน์เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วที่สร้างขึ้น มีคุณภาพการใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด 2) ผู้เรียนที่มีการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และ 3) ผู้เรียนมีทัศนคติต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้อยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้; ระบบพิกัดเชิงขั้ว; การเรียนการสอนออนไลน์

1. บทนำ

การจัดการเรียนการสอนออนไลน์ถือเป็นทางเลือกหลักในการจัดการเรียนการสอนหลายพื้นที่ทั่วโลก ในสภาวะการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (Coronavirus disease 2019) หรือโรคโควิด 19 (Covid-19) ด้วยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งผู้สอนและผู้เรียนจำเป็นต้องพร้อมรับการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบและกระบวนการจัดการเรียนการสอน โดยเฉพาะผู้สอนจำเป็นต้องมีนวัตกรรมทางการศึกษา มีทักษะและเทคนิคการสอนที่ทันสมัย มีการออกแบบกระบวนการให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมและมีปฏิสัมพันธ์ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เพราะผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้นั้นต้องอาศัยการลงมือปฏิบัติด้วย (Mathuros, 2021, pp. 33-42) ซึ่งในปัจจุบันการจัดการเรียนรู้อย่างไรวิชาคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่ยังเป็นรูปแบบการสอนแบบบรรยายเป็นหลัก การปรับรูปแบบการเรียนการสอนและกิจกรรม จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสนใจและกระตือรือร้น มีใจจดจ่อในเนื้อหา มีความคิดริเริ่มมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน เกิดการเรียนรู้และลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ผู้สอนจึงจำเป็นต้องนำเทคโนโลยีมาบูรณาการในการจัดการเรียนการสอน เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียนในยุคดิจิทัล (Phoodee, 2020, pp. 190-199) โดยเฉพาะสื่อการสอนในลักษณะโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณและการวาดกราฟต่าง ๆ เช่น โปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP) โปรแกรม MATLAB โปรแกรม SCILAB เป็นต้น

ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interface: GUI) เป็นวิธีการที่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ในการติดต่อสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางภาพ เช่น การใช้เมาส์กดเลือกสัญลักษณ์รูป (Icon) แทนการพิมพ์คำสั่ง หรือการเลือกคำสั่งตามรายการเลือก ที่เรียกว่า เมนู ผู้ใช้สามารถทำงานกับโปรแกรมได้โดยไม่ต้องผ่านการเขียนคำสั่งที่ละบรรทัด เพียงทำตามคำสั่งสำเร็จรูปที่ผู้ออกแบบได้ทำขึ้นและสามารถใช้งานได้ทันที (Charoensuk, 2013, p. 12) ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้จึงเป็นเครื่องมือที่นำมาช่วยในการจัดการเรียนการสอนรายวิชาคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการคำนวณ การแปลงค่า และการวาดกราฟต่าง ๆ

จากข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษารายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วในภาคเรียนที่ผ่านมา พบว่า นักศึกษายังมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ ด้วยค่าเฉลี่ย 8.84 จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน ผู้วิจัยจึงสร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ หรือ GUI ของโปรแกรม SCILAB สำหรับการเรียนการสอนรายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาและพัฒนาคุณภาพการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียนในยุคดิจิทัลนี้

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับการเรียนการสอนออนไลน์รายวิชาคณิตศาสตร์ วิศวกรรม เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วระหว่างการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้และวิธีการสอนแบบปกติ และเพื่อสำรวจทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว

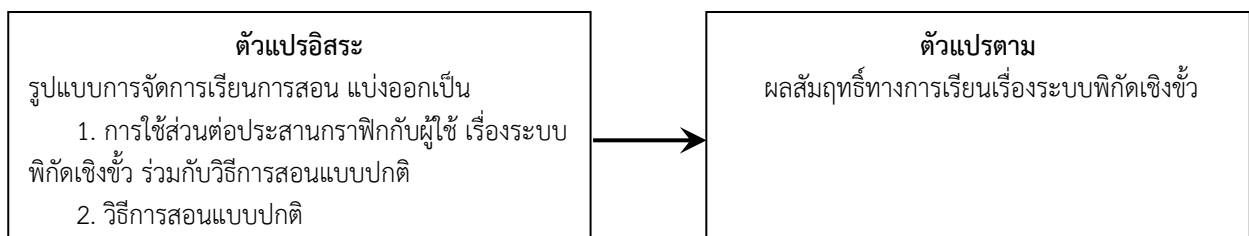
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้เข้ามาเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดการเรียนการสอนรายวิชาคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการคำนวณ การแปลงค่า และการวาดกราฟต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่น Charoensuk (2013) ได้สร้างสื่อประกอบการเรียนการสอน เรื่องปริพันธ์สามชั้น ในปริภูมิสามมิติ โดยใช้โปรแกรม MATLAB GUI ในการแสดงพื้นผิวต่าง ๆ และการคำนวณค่าปริพันธ์สามชั้น ซึ่งพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาในกลุ่มที่ใช้สื่อสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สื่อ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 นอกจากนี้ Surpare et al. (2016, pp. 1-13) ได้พัฒนารูปแบบการเรียนการสอนแบบผสมผสานด้วยการเรียนแบบปรับเหมาะร่วมกับเครือข่ายสังคมออนไลน์ โดยใช้ GUI-SCILAB กับใบงานเป็นเครื่องมือที่ใช้ประกอบการเรียนการสอน ซึ่งพบว่า ผู้เรียนมีคะแนนด้านทักษะการคิดคำนวณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 และในปีเดียวกัน Surpare and Seetao (2016, pp. 275-280) ได้พัฒนาชุด GUI-SCILAB เรื่องการแปลงฟูรีเยร์แบบต่อเนื่องทางเวลา สำหรับนักศึกษาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งพบว่า ผลการเรียนรู้ของผู้เรียนหลังการใช้ชุด GUI-SCILAB มีคะแนนสูงกว่าก่อนใช้ชุด GUI-SCILAB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 รวมถึง Porncharoen (2016) ได้พัฒนาโปรแกรมจำลองการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศสำหรับประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยใช้ฟังก์ชัน GUI ของโปรแกรม MATLAB ซึ่งผลการวิจัยพบว่า นักศึกษากลุ่มทดลองที่เรียนจากโปรแกรมจำลองการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้วิธีการสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 จะเห็นได้ว่า ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ สามารถพัฒนาเป็นสื่อเพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนรายวิชาทางด้านคณิตศาสตร์และวิศวกรรม และทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนสูงกว่าการเรียนการสอนแบบปกติ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ของโปรแกรม SCILAB สำหรับการเรียนการสอนในรายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว โดยมีสมมติฐานการวิจัยว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว โดยใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สูงกว่าวิธีการสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และผู้เรียนมีทัศนคติต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วอยู่ในระดับมาก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับการเรียนการสอนแบบออนไลน์ เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว ผู้วิจัยได้นำแนวคิดการจัดการเรียนการสอนจากงานวิจัยของ Charoensuk (2013), Surpare et al. (2016, pp. 1-13), Surpare and Seetao (2016, pp. 275-280) and Porncharoen (2016) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วระหว่างการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้และวิธีการสอนแบบปกติ ซึ่งแสดงกรอบแนวคิดการวิจัยได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

เนื้อหาที่ผู้วิจัยได้นำมาสร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว ได้แก่ การหาพิกัดเชิงขั้วอื่น ๆ ที่เป็นตัวแทนของจุดที่กำหนดให้ การหาความสัมพันธ์ของจุดในระบบพิกัดฉากกับระบบพิกัดเชิงขั้ว และการวาดกราฟของสมการในระบบพิกัดเชิงขั้ว เพื่อใช้ในการคำนวณและการแสดงกราฟของระบบพิกัดเชิงขั้วที่ถูกต้องและสมจริง

ประชากรในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 จำนวน 28 คน โดยกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย จากสูตรของ Yamane (1973, pp. 727-728) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีขนาดความคลาดเคลื่อนเป็น $\pm 5\%$ ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างเป็น 26 คน และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) โดยการจับฉลากในการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 13 คน ซึ่งกลุ่มทดลอง หมายถึง กลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ควบคู่กับการจัดการเรียนการสอนแบบปกติ กลุ่มควบคุม หมายถึง กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนแบบปกติเพียงอย่างเดียว

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์รายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรมเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว เกี่ยวกับการหาพิกัดเชิงขั้วอื่น ๆ ที่เป็นตัวแทนของจุดที่กำหนดให้ การหาความสัมพันธ์ของจุดในระบบพิกัดฉากกับระบบพิกัดเชิงขั้ว และการวาดกราฟของสมการในระบบพิกัดเชิงขั้ว แบบประเมินคุณภาพการใช้งานส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ในด้านต่าง ๆ จำนวน 12 ข้อ มีลักษณะแบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating scale) ตามวิธีของ Likert (1967, pp. 90-95) แบ่งระดับการวัดเป็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว จำนวน 20 ข้อ ลักษณะแบบทดสอบเป็นแบบเลือกตอบ (Multiple choice) จำนวน 4 ตัวเลือก และแบบสำรวจทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว จำนวน 15 ข้อ มีลักษณะแบบสำรวจเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ

การสร้างและการทดสอบคุณภาพของเครื่องมือ ประกอบด้วยการสร้างแผนการจัดการเรียนการสอนรายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ได้แก่ ระบบพิกัดเชิงขั้ว ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉากกับระบบพิกัดเชิงขั้ว และกราฟในระบบพิกัดเชิงขั้ว การสร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว มี 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการกำหนดและวางส่วนประกอบต่าง ๆ ลงบนส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ และขั้นตอนการเขียนโปรแกรม SCILAB เพื่อกำหนดการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ พร้อมทั้งทดสอบการใช้งาน ตรวจสอบความถูกต้อง และปรับปรุงข้อบกพร่องเบื้องต้น จากนั้นจึงนำเสนอส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ต่อผู้เชี่ยวชาญด้านคณิตศาสตร์ จำนวน 5 ท่าน เพื่อทดสอบและประเมินคุณภาพการใช้งานของระบบในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ ด้านการประมวลผล และการแสดงผล และด้านภาพรวมในการใช้งานของระบบ แบบประเมินคุณภาพมีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ จำนวน 30 ข้อ ลักษณะแบบทดสอบเป็นแบบเลือกตอบ จำนวน 4 ตัวเลือก นำเสนอแบบทดสอบต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Item-Objective Congruence Index: IOC) จากสูตรต่อไปนี้ (Rovinelli & Hambleton, 1977, pp. 49-60)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC แทนดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์

$\sum R$ แทนผลรวมของคะแนนการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ

N แทนจำนวนผู้เชี่ยวชาญ

จากนั้นทำการคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป และมีค่ามากที่สุด จำนวน 20 ข้อ นำแบบทดสอบที่ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญและปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (Difficulty) ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) และค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบ จากการวิเคราะห์ พบว่า แบบทดสอบมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.23-0.77 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.30-0.70 และค่าความเชื่อมั่น ซึ่งวิเคราะห์ด้วยสูตรคูเดอร์ ริชาร์ดสัน 20 (Kuder-Richardson 20: KR-20) (Kuder & Richardson, 1937, pp. 151-160) มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นเป็น 0.74 แสดงว่า ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบมีคุณภาพดี อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และการสร้างแบบสำรวจทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสำรวจ ส่วนที่ 2 เป็นคำถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ และส่วนที่ 3 เป็นคำถามปลายเปิด (Open-ended questions) เพื่อให้ผู้ตอบแบบสำรวจแสดงข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ นำเสนอแบบสำรวจทัศนคติต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา นำแบบสำรวจที่ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญและปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มเป้าหมาย

จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาความเชื่อมั่นของแบบสำรวจด้วยวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟา (Coefficient- α) ของ Cronbach (1957, pp. 297-334) จากการวิเคราะห์ พบว่า สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นมีค่าเป็น 0.77 แสดงว่า ความเชื่อมั่นของแบบสำรวจมีคุณภาพดี อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยผ่านทางแอปพลิเคชันกูเกิลมีท เพื่อให้ผู้เรียนได้ทราบถึงขั้นตอน วิธีการวัดผล การประเมินผล และบทบาทของผู้เรียนในงานวิจัยนี้ พร้อมทั้งให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน (Pretest) แบบออนไลน์ ผ่านทางเว็บไซต์ <https://quizizz.com> โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว ใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 40 นาที หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ ตามแผนการจัดการเรียนการสอนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วที่สร้างขึ้นผ่านทางแอปพลิเคชันกูเกิลมีท ใช้เวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยได้ส่งส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ที่ผ่านการทดสอบและประเมินคุณภาพการใช้งานจากผู้เชี่ยวชาญ ให้แก่ผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมด้วยตนเองภายหลังการเรียนการสอนในชั่วโมงเรียน ภายหลังจากการเรียนการสอนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว 1 สัปดาห์ ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน (Posttest) แบบออนไลน์ผ่านทางเว็บไซต์ <https://quizizz.com> โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว ใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 40 นาที พร้อมทั้งให้ผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองทำแบบสำรวจทัศนคติที่มีต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ ผ่านทางแอปพลิเคชัน กูเกิลฟอรม์

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินคุณภาพการใช้งานของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับเกณฑ์ในการแปลระดับคุณภาพการใช้งาน การวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ใช้การทดสอบทีแบบกลุ่มอิสระ (Independent sample t-test) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบโดยเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ที่ระดับนัยสำคัญ (Significant level) .05 ซึ่งกำหนดสมมติฐานในการทดสอบ ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2$$

เมื่อ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบโดยเฉลี่ยของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลอง

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบโดยเฉลี่ยของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มควบคุม

โดยตรวจสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูล ว่ามีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) หรือไม่ โดยใช้การทดสอบของชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) ซึ่งกำหนดสมมติฐานในการทดสอบ ดังนี้

$$H_0 : \text{ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ}$$

$$H_1 : \text{ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ}$$

พร้อมทั้งวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของข้อมูล ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ ซึ่งกำหนดสมมติฐานในการทดสอบ ดังนี้

$$H_0 : S_1^2 = S_2^2$$

$$H_1 : S_1^2 \neq S_2^2$$

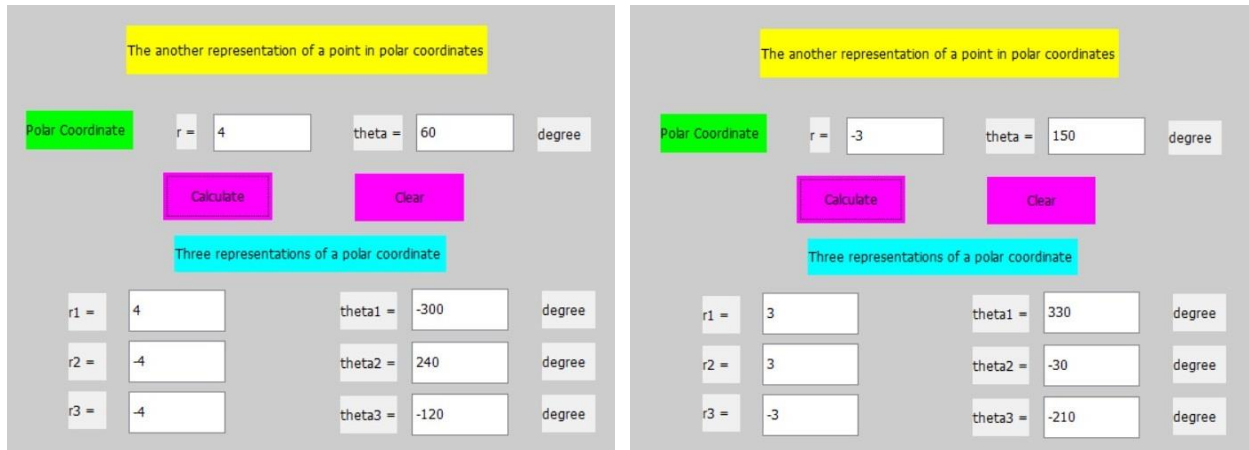
เมื่อ S_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของคะแนนสอบของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลอง

S_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของคะแนนสอบของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มควบคุม

และการวิเคราะห์ทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ ด้วยค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับเกณฑ์ในการแปลระดับความพึงพอใจ

4. ผลการวิจัย

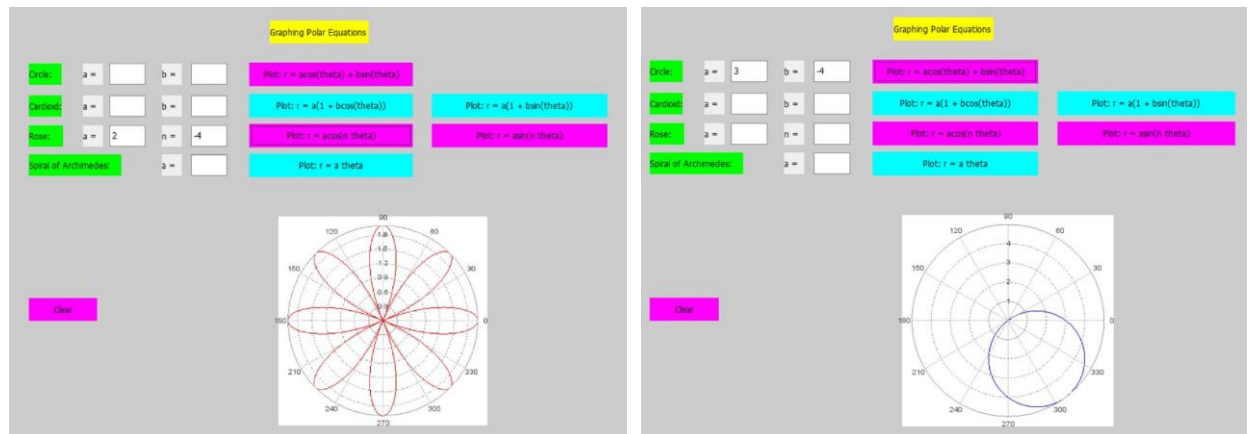
จากการสร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับการเรียนการสอนรายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว แสดงตัวอย่างการใช้งาน ดังรูปที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ตัวอย่างการหาพิกัดเชิงขั้วอื่น ๆ ที่เป็นตัวแทนของจุดที่กำหนดให้



รูปที่ 3 ตัวอย่างการหาความสัมพันธ์ของจุดในระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดเชิงขั้ว



รูปที่ 4 ตัวอย่างการวาดกราฟของสมการในระบบพิกัดเชิงขั้ว

ผลการประเมินคุณภาพการใช้งานของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ในด้านต่าง ๆ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านคณิตศาสตร์ จำนวน 5 ท่าน ด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้มีคุณภาพการใช้งานในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยค่าเฉลี่ย 4.53 (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.48) โดยประเด็นด้านภาพรวมในการใช้งานของระบบมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ 4.76 (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.40) รองลงมา คือ ประเด็นด้านการประมวลผลและการแสดงผล มีค่าเฉลี่ย 4.45 (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.56) และประเด็นด้านการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ มีค่าเฉลี่ย 4.27 (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพการใช้งานของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ด้านการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้		
1.1 รูปแบบ องค์ประกอบ การจัดเรียง มีความเหมาะสม	4.40	0.55
1.2 ภาษาที่ใช้มีความชัดเจน เข้าใจง่าย	4.60	0.55
1.3 รูปแบบของตัวอักษร ขนาด และสีมีความเหมาะสม	3.80	0.45
รวม	4.27	0.51
2. ด้านการประมวลผลและการแสดงผล		
2.1 รูปแบบการแสดงผลมีความเหมาะสม	4.40	0.55
2.2 การประมวลผลทำได้ง่ายและมีความสะดวก	4.60	0.55
2.3 การประมวลผลในแต่ละส่วนมีความถูกต้องและรวดเร็ว	4.80	0.45
2.4 รูปแบบของตัวอักษร ขนาด และสีในการแสดงผลข้อมูลมีความเหมาะสม	4.00	0.71
รวม	4.45	0.56
3. ด้านภาพรวมในการใช้งานของระบบ		
3.1 ระบบมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน	4.60	0.55
3.2 ระบบนี้สามารถประมวลผลและสรุปผลได้ถูกต้องแม่นยำ	5.00	0.00
3.3 ระบบนี้สอดคล้องกับความต้องการที่จะนำไปใช้งาน	4.60	0.55
3.4 ระบบนี้ช่วยอำนวยความสะดวกในการประมวลผล	4.80	0.45
3.5 ระบบนี้มีประโยชน์เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้จริง	4.80	0.45
รวม	4.76	0.40
ภาพรวมทั้งหมด	4.53	0.48

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า กลุ่มควบคุมมีคะแนนสอบก่อนเรียนโดยเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มทดลอง ในขณะที่กลุ่มทดลองมีคะแนนสอบหลังเรียนโดยเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยระหว่างการสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนในแต่ละกลุ่ม พบว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนสอบโดยเฉลี่ยเป็น 8.85 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่มีคะแนนสอบโดยเฉลี่ยเป็น 6.46

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

กลุ่ม	คะแนนสอบ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กลุ่มทดลอง	คะแนนสอบก่อนเรียน	2.77	1.42
	คะแนนสอบหลังเรียน	14.92	2.29
	คะแนนสอบโดยเฉลี่ย	8.85	1.84
กลุ่มควบคุม	คะแนนสอบก่อนเรียน	3.00	1.53
	คะแนนสอบหลังเรียน	9.92	1.80
	คะแนนสอบโดยเฉลี่ย	6.46	1.65

ผลการตรวจสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลคะแนนสอบโดยเฉลี่ยของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้การทดสอบของชาฟิโร-วิลค์ จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ แสดงได้ดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า ค่าความน่าจะเป็น (P-value) ของกลุ่มทดลองมีค่าเป็น .809 และค่าความน่าจะเป็นของกลุ่มควบคุมมีค่าเป็น .573 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ .05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลคะแนนสอบโดยเฉลี่ยของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
คะแนนสอบโดยเฉลี่ยของกลุ่มทดลอง	.181	13	.200*	.964	13	.809
คะแนนสอบโดยเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม	.139	13	.200*	.948	13	.573

a. Lilliefors Significance Correction

* This is a lower bound of the true significance.

ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยการใช้การทดสอบที่แบบกลุ่มอิสระ แสดงได้ดังตารางที่ 4 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลคะแนนสอบโดยเฉลี่ยของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่า มีค่าความน่าจะเป็น .565 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ .05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของคะแนนสอบของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากัน สำหรับการทดสอบที่แบบกลุ่มอิสระ พบว่า มีค่าความน่าจะเป็น .001 ซึ่งน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ .05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบโดยเฉลี่ยของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม กล่าวได้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วโดยใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สูงกว่าวิธีการสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
คะแนนสอบ โดยเฉลี่ย	Equal variances assumed	.341	.565	-3.476	24	.002	-2.38462	.68605	-3.80055	-9.6868
	Equal variances not assumed			-3.476	23.721	.002	-2.38462	.68605	-3.80143	-9.6780

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ ด้วยค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงได้ดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนที่มีการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 9 คน จากทั้งหมด 13 คน คิดเป็นร้อยละ 69.23 โดยเป็นผู้เรียนที่ศึกษาอยู่ในสาขาวิชาเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ จำนวน 6 คน และสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 46.15 และ 53.85 ตามลำดับ และผู้เรียนมีทัศนคติต่อการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ด้วยค่าเฉลี่ย 4.48 (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.45) โดยทัศนคติด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ 4.60 (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.45) รองลงมา คือ ทัศนคติด้านรูปแบบการนำเสนอ มีค่าเฉลี่ย 4.43 (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.47) และทัศนคติด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย 4.42 (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.47) ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ข้อมูลทั่วไปของผู้เรียน

รายการ		จำนวน	ร้อยละ
เพศ	ชาย	9	69.23
	หญิง	4	30.77
	รวม	13	100.00
สาขาวิชา	เมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์	6	46.15
	วิศวกรรมเครื่องกล	7	53.85
	รวม	13	100.00

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการมีส่วนร่วมต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ด้านเนื้อหา		
1.1 มีความสอดคล้องกับเนื้อหาเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว	4.54	0.52
1.2 มีความครอบคลุม ครบถ้วน และเพียงพอต่อการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว	4.38	0.51
1.3 มีความรู้ความเข้าใจเนื้อหาเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วเพิ่มขึ้น	4.46	0.52
1.4 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อการเรียนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว	4.38	0.51
1.5 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเนื้อหาเรื่องอื่น ๆ ได้	4.31	0.48
รวม	4.42	0.47
2. ด้านการใช้งาน		
2.1 มีความเหมาะสมในการใช้งาน ใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน	4.62	0.51
2.2 มีความถูกต้องแม่นยำในการประมวลผล	4.77	0.44
2.3 มีความเหมาะสมของตัวอักษร ขนาด และสีในการแสดงผล	4.54	0.52
2.4 สามารถศึกษาวิธีใช้ได้ด้วยตนเอง	4.62	0.51
2.5 ช่วยอำนวยความสะดวกในการคำนวณและกราฟในระบพิกัดเชิงขั้ว	4.46	0.52
รวม	4.60	0.45
3. ด้านรูปแบบการนำเสนอ		
3.1 ปุ่มกดและหน้าจอมีความชัดเจน	4.31	0.48
3.2 โปรแกรมมีความน่าสนใจ ดึงดูดการใช้งาน	4.46	0.52
3.3 มีความเหมาะสมของรูปแบบการจัดเรียงปุ่มกดและข้อความ	4.38	0.51
3.4 มีความสมดุลขององค์ประกอบต่าง ๆ บนหน้าจอ	4.54	0.52
3.5 กราฟมีสีสันสวยงามและมีความชัดเจน	4.46	0.52
รวม	4.43	0.47
ภาพรวมทั้งหมด	4.48	0.45

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับการเรียนการสอนออนไลน์รายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว ที่พัฒนาขึ้น มีคุณภาพการใช้งานในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยประเด็นด้านภาพรวมในการใช้งานของระบบมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด วิจัยารณ์ได้ว่า ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้คำนวณและแสดงกราฟในระบบพิกัดเชิงขั้วได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ จากการวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่า คะแนนสอบก่อนเรียนโดยเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาคะแนนสอบหลังเรียนโดยเฉลี่ย พบว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนสอบหลังเรียนโดยเฉลี่ย 14.92 ซึ่งมากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีคะแนนสอบหลังเรียนโดยเฉลี่ย 9.92 วิจัยารณ์ได้ว่า คะแนนสอบหลังเรียนโดยเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนทั้งสองกลุ่มโดยใช้คะแนนเฉลี่ยระหว่างคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยการทดสอบที่แบบกลุ่มอิสระ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มทดลองที่มีการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ควบคู่กับการเรียนการสอนแบบปกติ สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนแบบปกติเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Charoensuk (2013), Surpare et al. (2016, pp. 1-13), Surpare and Seetao (2016, pp. 275-280), Porncharoen (2016) and Yonwilad (2016, pp. 1-7) นอกจากนี้ผู้เรียน ที่เป็นกลุ่มทดลองมีทัศนคติต่อการมีส่วนร่วมต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ในระดับมากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่า การใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ควบคู่กับการจัดการเรียนการสอนแบบปกติ ช่วยให้ผู้เรียนได้ทดลองหาคำตอบและตรวจสอบคำตอบได้ด้วยตนเอง สามารถสังเกตและจับคู่กราฟกับสมการในระบบพิกัดเชิงขั้วได้ ทำให้ผู้เรียนมีความสนใจและกระตือรือร้นต่อการเรียนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับบทความของ (Phooddee, 2020, pp. 190-199) ที่กล่าวว่า เครื่องมือดิจิทัลที่นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์สามารถสนับสนุนให้ผู้เรียนได้มีการเรียนรู้ตลอดเวลาและสามารถแสดงศักยภาพของตนเองอย่างเต็มที่ เกิดการเรียนรู้ที่แท้จริง มีการจดจำในการเรียนรู้ที่ยาวนานและมีความฉลาดทางดิจิทัล (Digital Intelligence Quotient: DQ) ซึ่งเหมาะสมกับการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ในยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงไปสู่ความปกติใหม่ (New normal)

สรุปได้ว่า ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับการเรียนการสอนออนไลน์รายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม เรื่องระบบพิกัดเชิงขั้ว ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพการใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด สามารถช่วยอำนวยความสะดวกให้ผู้เรียนทบทวนเนื้อหาและฝึกปฏิบัติได้ด้วยตนเอง และยังช่วยพัฒนาระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่มีการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ควบคู่กับการจัดการเรียนการสอนแบบปกติ ผู้เรียนมีทัศนคติต่อการมีส่วนร่วมต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ที่อยู่ในระดับมาก ทั้งทางด้านเนื้อหา ด้านการใช้งาน และด้านรูปแบบการนำเสนอ ทำให้ผู้เรียนมีความสนใจ กระตือรือร้นที่อยากจะเรียนรู้ ต่อยอดความคิดทางด้านคณิตศาสตร์ และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ในเรื่องอื่นหรือรายวิชาอื่นที่เกี่ยวข้องได้

6. ข้อเสนอแนะ

การจัดการเรียนการสอนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วที่มีการใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ร่วมกับการเรียนการสอนแบบปกติ ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เพิ่มขึ้น สามารถทบทวนความรู้ได้ด้วยตนเอง ดังนั้นจึงสามารถนำส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ไปประกอบการเรียนการสอนเรื่องระบบพิกัดเชิงขั้วในภาคเรียนต่อไปได้ สำหรับการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการพัฒนาส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ในเรื่องอื่น ๆ ของรายวิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรมเพิ่มขึ้น เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้น สนใจการเรียน สามารถทบทวนเนื้อหาและฝึกปฏิบัติได้ด้วยตนเอง ซึ่งเหมาะสมกับการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ในยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงไปสู่ความปกติใหม่นี้

เอกสารอ้างอิง

- Charoensuk, K. (2013). *MATLAB GUI for teaching and learning in vector calculus: triple integrals* [Master's thesis]. Silpakorn University. (in Thai)
- Cronbach, L. J. (1957). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 297-334.
- Kuder, G. F., & Richardson, M. W. (1937). The theory of the estimation of test reliability. *Psychometrika*, 2(3), 151-160.
- Likert, R. (1967). *The method of constructing and attitude scale, reading in Attitude theory and measurement*. Wiley & Son.
- Mathuros, S. (2021). Management education online in the new normal Covid-19. *Rajapark Journal*, 15(3), 33-42. (in Thai)
- Phoodee, W. (2020). Mathematics instruction in digital age: Methods and tools. *Journal of Science & Science Education*, 3(2), 190-199. (in Thai)
- Porncharoen, R. (2016). *Development of simulated program for analysis of parameters of antenna for applying telecommunication engineering education* (Research report). Rajamangala University of Technology Phra Nakorn. (in Thai)
- Rovinelli, R. J., & Hambleton, R. K. (1977). On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity. *Dutch Journal of Educational Research*, 2, 49-60.
- Surpare, K., Lohakan, M., & Wannapiroon, P. (2016). Development of adaptive blended learning with social networks to enhance computation thinking skill and writing program skill for electrical engineering students. *Journal of graduate studies Valaya Alongkorn Rajabhat University*, 10(3), 1-13. (in Thai)
- Surpare, K., & Seetao, C. (2016). Development on graphical user interface (GUI) of SCILAB in continuous time Fourier transform for Electrical Engineering students. In W. Wittaya (Ed.), *TechEd 9. Proceeding of the 9th National Conference on Technical Education* (pp. 275-280). (in Thai)
- Yamane, T. (1973). *Statistics: An introductory analysis* (3rd ed.). Harper and Row Publications.
- Yonwilad, W. (2016). A comparative study of the learning achievement of finding the solution of linear equation system with the SCILAB program and traditional method. *Nakhon Lampang Buddhist College's Journal*, 5(1), 1-7. (in Thai)