

การพัฒนากิจกรรมหุ่นยนต์ IoT เชิงบูรณาการตามแนวทางสะเต็มศึกษา เพื่อเสริมสร้างทักษะ
กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับนักเรียนในยุคดิจิทัล

Development of Integrated IoT Robotics Activities Based on STEAM Education
to Enhance Engineering Design Process Skills for Students in the Digital Age

เอกพงศ์ บัวชุม^{1*}

Ekapong Buachoom^{1*}

¹โรงเรียนอำนาจเจริญ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาอุบลราชธานี อำนาจเจริญ

(Amnatcharoen School, The Secondary Educational Service Area Office Ubon Ratchathani Amnat Charoen)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT ต้นแบบตามแนวทาง สะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน โดยเน้นการบูรณาการความรู้จากหลายสาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์ ผลการทดลองพบว่าหุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุม ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ได้อย่างเสถียรและแม่นยำ โดยมีการปรับองค์ประกอบและการยิงลูกปิงปองที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งตอบ โจทย์การเรียนรู้การสอนเชิงวิศวกรรม ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีทักษะโดดเด่นในการระบุปัญหาและการรวบรวม ข้อมูล ซึ่งช่วยให้นักเรียนสามารถออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ได้อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตามนักเรียนยังต้องพัฒนาทักษะการ วางแผน การจัดการเวลา และการทดสอบซ้ำ เพื่อให้กระบวนการออกแบบมีความสมบูรณ์มากขึ้น นอกจากนี้ ทักษะการ นำเสนอผลงานยังเป็นส่วนที่จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างกลุ่มนักเรียน โดยกลุ่มที่มีผลการประเมินสูงสุดแสดงถึงการทำงานที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนและทดสอบหุ่นยนต์ซ้ำ ขณะที่กลุ่มที่ทำ คะแนนต่ำสุดจำเป็นต้องพัฒนาทักษะการควบคุมและทดสอบหุ่นยนต์ให้แม่นยำและละเอียดมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้แสดงให้เห็น ว่าการผสานเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เข้ากับการเรียนรู้เชิงวิศวกรรมสามารถส่งเสริมและพัฒนาทักษะ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ IoT ทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สะเต็มศึกษา

ABSTRACT

This research aimed to develop and evaluate the performance of a prototype IoT robot based on the STEAM education approach to enhance students' engineering design process skills. It emphasized the integration of knowledge from various fields, including science, technology, engineering, art, and mathematics. The experimental results indicated that the developed robot could be controlled stably and accurately through the Blynk application, with high efficiency in angle adjustments and ping-pong ball shooting, effectively supporting engineering education. The evaluation showed that students excelled in problem identification and data collection, enabling them to systematically design and develop the robot. However, students still need to improve their planning, time management, and repeated testing skills to make the design process more comprehensive. Additionally, presentation skills were identified as an area requiring improvement. The study also revealed differences among student groups, with the highest-performing groups demonstrating effective planning and repeated testing of the robot, while the lowest-performing groups need to further develop control and testing accuracy. This research highlights that integrating the Internet of Things (IoT) technology with engineering education can effectively promote and enhance students' engineering design process skills.

KEYWORDS: IoT Robot, Engineering Design Process Skills, STEAM Education

**Corresponding author, E-mail: Physics527sic@gmail.com. Tel. 089-5074757*

Received: 14 November 2024/Revised: 22 December 2024/Accepted: 25 December 2024/Published online: 27December 2024

บทนำ

ในยุคดิจิทัลที่เทคโนโลยีและนวัตกรรมมีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินชีวิต การพัฒนาทักษะทางวิศวกรรมและการออกแบบกลายเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อเตรียมเยาวชนให้พร้อมรับมือกับความท้าทายของอนาคต แนวทางสะเต็มศึกษา (STEAM Education) ซึ่งบูรณาการความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกัน เป็นการส่งเสริมการคิดอย่างมีระบบและการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ (Quigley et al., 2020; Noiwong & Wongthong, 2020) หนึ่งในหัวข้อที่มีความสำคัญอย่างมากคือการพัฒนากิจกรรมที่ใช้หุ่นยนต์ IoT (Internet of Things) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต กิจกรรมเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยพัฒนาทักษะด้านเทคโนโลยีเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process) ผ่านการสร้างสร้งสิ่งประดิษฐ์ (Hutamarn et al., 2021) การใช้หุ่นยนต์ IoT ในการเรียนการสอนยังเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานในยุคดิจิทัล เช่น การคิดเชิงระบบ (Detphiphatworakul et al., 2023) แนวทางนี้จึงเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาศักยภาพและความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนในการออกแบบนวัตกรรมที่มีคุณค่าต่อสังคม โดยเน้นการเสริมสร้างทักษะการแก้ปัญหาจากสถานการณ์จริง ควบคู่กับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อสร้งสร้งนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความต้องการและความท้าทายของอนาคต (Darmawansah et al., 2023; Piboon et al., 2024)

แม้ว่าแนวทางสะเต็มศึกษาและการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้ในการเรียนการสอนจะได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น แต่การผสมผสานแนวทางนี้เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมยังคงขาดการศึกษาเชิงลึกและเป็นระบบ งานวิจัยของ Barak and Zadok (2009) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการสร้างหุ่นยนต์มีศักยภาพในการส่งเสริมทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่การใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในกระบวนการดังกล่าวยังได้รับการศึกษาอย่างไม่เพียงพอ (Almutairi et al., 2024) ในขณะที่ งานวิจัยของ Asad et al. (2024) สนับสนุนว่าอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งช่วยเพิ่มความเข้าใจด้านเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยส่วนใหญ่ยังขาดการประเมินเชิงลึกในด้านทักษะการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนและการพัฒนาทักษะการออกแบบอย่างต่อเนื่อง ช่องว่างสำคัญในงานวิจัยเกี่ยวกับการบูรณาการ แนวทางสะเต็มศึกษา และอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งคือการขาดการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในกระบวนการออกแบบและทดสอบระบบอย่างเป็นระบบ งานวิจัยที่มีอยู่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นที่การบูรณาการในระดับพื้นฐาน และไม่ได้เจาะลึกถึงการใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการเรียนรู้ที่ซับซ้อน นอกจากนี้ Darmawansah et al. (2023) ยังชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการประเมินผลเชิงปริมาณในการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันและการแก้ไขปัญหาในสถานการณ์จริง ซึ่งเป็นประเด็นที่ต้องได้รับการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยหุ่นยนต์ IoT เพื่อเสริมสร้างทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา โดยบูรณาการการเรียนรู้ทั้งด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์ นักเรียนได้ฝึกทักษะการแก้ปัญหาจริงผ่านการออกแบบ ทดสอบ และปรับปรุงหุ่นยนต์ เริ่มจากการเรียนรู้หลักการฟิสิกส์เพื่อทำความเข้าใจการเคลื่อนที่และแรง จากนั้นนำความรู้ไปใช้ในด้านเทคโนโลยีผ่านการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยแอปพลิเคชัน Blynk พร้อมทั้งออกแบบและพัฒนาการทำงานของหุ่นยนต์ในด้านวิศวกรรม ความคิดสร้างสรรค์ด้านศิลปะ ยังช่วยให้นักเรียนออกแบบรูปลักษณ์และฟังก์ชันของหุ่นยนต์ให้สอดคล้องกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เช่น มุมยิงและความเร็วต้น การบูรณาการนี้คาดว่าจะสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการพัฒนาทักษะเชิงวิศวกรรมที่ครอบคลุม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับการศึกษาที่สูงขึ้น เตรียมความพร้อมให้นักเรียนเผชิญกับความเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT ต้นแบบ
2. พัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนด้วยกิจกรรมหุ่นยนต์ IoT ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. หุ่นยนต์ IoT (Internet of Things Robot) หมายถึง หุ่นยนต์ที่สามารถควบคุมและติดตามการทำงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อเชื่อมต่อหุ่นยนต์กับแอปพลิเคชัน Blynk ที่ช่วยควบคุมการเคลื่อนไหวและการทำงานของหุ่นยนต์แบบเรียลไทม์ ผู้ใช้งานสามารถสั่งการหุ่นยนต์จากระยะไกล รวมถึงปรับองศาการยิงและลำเลียงลูกปิงปองได้อย่างแม่นยำ

2. ทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม หมายถึง ความสามารถในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมมาใช้ในการออกแบบ พัฒนา และทดสอบหุ่นยนต์ผ่านกระบวนการที่มีขั้นตอนชัดเจน โดยเริ่มจากการระบุปัญหา รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไข และนำเสนอผลงาน

3. สะเต็มศึกษา คือ การศึกษาแบบบูรณาการที่เน้นการรวมความรู้จากห้าสาขาวิชาหลัก ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมผ่านการปฏิบัติจริง

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT ต้นแบบ รวมถึงพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนด้วยกิจกรรมหุ่นยนต์ IoT ตามแนวทางสะเต็มศึกษา กิจกรรมดังกล่าวช่วยให้นักเรียนฝึกฝนทักษะการแก้ปัญหาในสถานการณ์จริงผ่านกระบวนการออกแบบ ทดสอบ และปรับปรุงหุ่นยนต์ โดยบูรณาการความรู้จากหลายสาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์ นักเรียนจะได้พัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การทำงานร่วมกัน และการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ IoT ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่พบในกระบวนการสร้างหุ่นยนต์ การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ การออกแบบกิจกรรม การทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ และการประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน เพื่อวิเคราะห์ผลการพัฒนาทักษะในแต่ละด้าน

ประชากร และตัวอย่างวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการกับนักเรียนโครงการห้องเรียนวิทยาศาสตร์พลังสิบ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 จำนวน 36 คน โรงเรียนอำนาจเจริญ จังหวัดอำนาจเจริญ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 โครงการนี้มุ่งพัฒนาศักยภาพนักเรียนในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีผ่านการเรียนรู้เชิงปฏิบัติและการใช้เทคโนโลยีทันสมัย เน้นทักษะคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา และบูรณาการความรู้หลากหลายสาขาวิชา เพื่อตอบโจทย์การเรียนรู้ในยุคดิจิทัล

เครื่องมือวิจัย

1. หุ่นยนต์ IoT ต้นแบบ ผู้วิจัยได้สร้างหุ่นยนต์ IoT ต้นแบบเพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาทักษะเชิงวิศวกรรมของผู้เรียน โดยหุ่นยนต์นี้ช่วยฝึกการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหามานการออกแบบและควบคุมแบบเรียลไทม์ อีกทั้งยังเสริมสร้างการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติจริงและการบูรณาการความรู้ในหลายสาขาวิชา เช่น ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี การทำงานเป็นทีมในการพัฒนาหุ่นยนต์ช่วยพัฒนาทักษะการสื่อสารและการทำงานร่วมกัน หุ่นยนต์ถูกออกแบบให้เคลื่อนที่และปฏิบัติงานได้หลากหลาย โดยมีโครงสร้างสำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ ฐานล้อที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ตัวหุ่นยนต์ที่สร้างจากแผ่นพลาสติก ระบบควบคุมผ่านบอร์ด ESP8266 และซอฟต์แวร์ Arduino IDE ที่เชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Blynk หุ่นยนต์ยังมีฟังก์ชันยิงและลำเลียงลูกปิงปองที่ควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

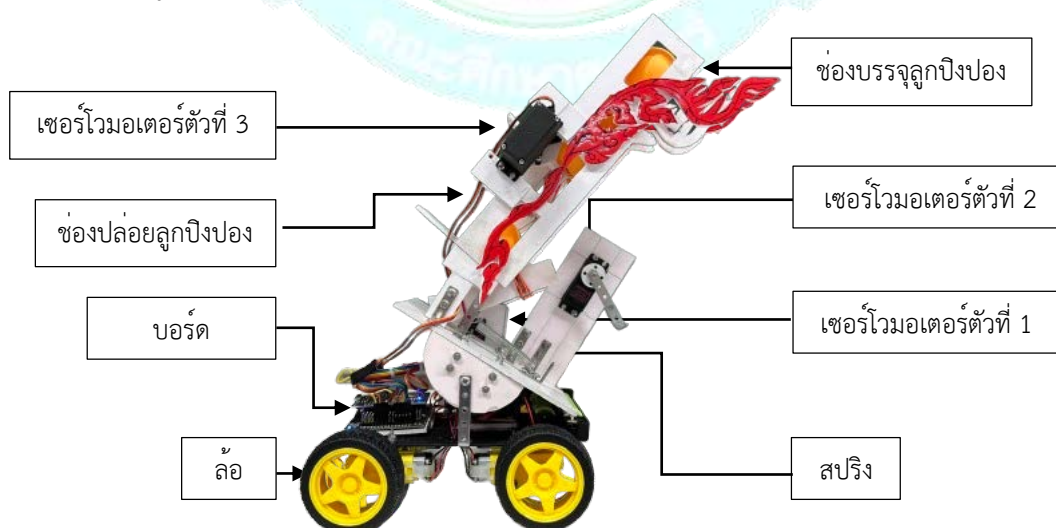


Figure 1 หุ่นยนต์ IoT ต้นแบบ

หุ่นยนต์ในภาพ 1 แบ่งออกเป็น 4 ส่วนสำคัญ ได้แก่

1) โครงสร้างฐานล่าง (Base Structure) ประกอบด้วยล้อสี่ล้อสองล้อที่เชื่อมต่อกับมอเตอร์เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ โดยมอเตอร์จะถูกควบคุมผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ (L298N Motor Driver)

2) โครงสร้างตัวหุ่นยนต์ (Body Structure) โครงสร้างกลางทำจากแผ่นพลาสติกบางที่เชื่อมต่อกันเป็นกรอบเพื่อเพิ่มความแข็งแรง มีส่วนขยายที่ใช้สำหรับประกอบกับส่วนเคลื่อนไหว เช่น คานติดที่ควบคุมโดยเซอร์โวมอเตอร์

3) โครงสร้างควบคุม (Control Structure) ประกอบด้วยบอร์ด ESP8266 ที่ทำหน้าที่เป็นสมองของหุ่นยนต์ โดยเชื่อมต่อ Wi-Fi เพื่อรับคำสั่งจากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ควบคุมการเคลื่อนไหวของมอเตอร์ผ่าน Motor Driver และมีบอร์ดขยายสำหรับเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์และอุปกรณ์อื่น ๆ

4) ซอฟต์แวร์และการควบคุม (Software and Control) ใช้ Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ และควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk โดยมีปุ่มต่าง ๆ สำหรับการเคลื่อนที่ ไปข้างหน้า ถอยหลัง หมุนซ้าย และหมุนขวา รวมถึงฟังก์ชันการล่าเหยื่อและยิงลูกปิงปอง ดังภาพ 2

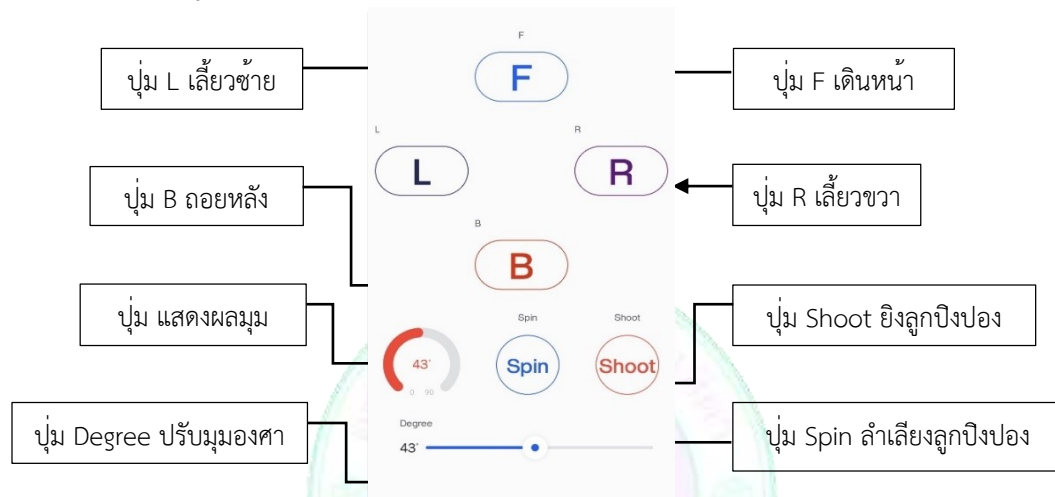


Figure 2 การแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

ในการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ IoT ต้นแบบ ผู้วิจัยใช้วิธีการหลากหลายเพื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ถูกบันทึกผ่านแอปพลิเคชัน Blynk โดยติดตามการทำงานของมอเตอร์และเซอร์โวมอเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่และการล่าเหยื่อลูกปิงปอง จากนั้น วิดีโอการทำงานของหุ่นยนต์ถูกบันทึกและวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Tracker เพื่อหาค่าความเร็ว ความเร่ง และตำแหน่งของลูกปิงปองในแต่ละเฟรม การวิเคราะห์นี้ทำให้เห็นถึงความแม่นยำและเสถียรภาพของหุ่นยนต์ ข้อมูลทั้งหมดถูกประเมินโดยใช้แบบประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ IoT เพื่อประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ในแต่ละด้าน

2. กิจกรรมหุ่นยนต์ IoT ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ในการวิจัยนี้ ได้รับการออกแบบเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน โดยกิจกรรมดังกล่าวเน้นการพัฒนาหุ่นยนต์ IoT ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก กิจกรรมทั้งหมดใช้ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งแบ่งการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา (Problem Identification) ใช้เวลา 1 ชั่วโมง นักเรียนจะทำความเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานของหุ่นยนต์ในสถานการณ์จำลอง ซึ่งมีเงื่อนไขสำคัญ เช่น การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลัง การหมุนซ้าย-ขวา การปรับองศาของตัวหุ่นยนต์ผ่านเซอร์โวมอเตอร์ และการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ในกระบวนการล่าเหยื่อและยิงลูกปิงปองไปยังเป้าหมายที่กำหนด

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Related Information Search) ใช้เวลา 2 ชั่วโมง นักเรียนศึกษาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เช่น การทำงานของมอเตอร์ ชุดขับมอเตอร์ L298N เซอร์โวมอเตอร์ การควบคุมผ่านบอร์ด ESP8266 และการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Blynk รวมถึงการใช้โปรแกรม Tracker เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ของลูกปิงปอง ซึ่งจะนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) ใช้เวลา 3 ชั่วโมง นักเรียนใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในการออกแบบวงจรไฟฟ้าและโครงสร้างของหุ่นยนต์ โดยมีการวางแผนผังวงจรที่เชื่อมต่อมอเตอร์ ชูตซ์มอเตอร์ เซอร์โวมอเตอร์ และบอร์ด ESP8266 เพื่อควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ นักเรียนออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์บนกระดานผลงานองค์ประกอบของศิลปะในการออกแบบรูปลักษณ์และโครงสร้างหุ่นยนต์ เช่น การเลือกสี รูปทรง และวัสดุที่สร้างสรรค์เพื่อให้หุ่นยนต์มีความสวยงามและดึงดูดใจ โดยคำนึงถึงความถูกต้องตามหลักคณิตศาสตร์และความเหมาะสมในการใช้งานจริง

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้ นักเรียนวางแผนงานเป็นทีม โดยแบ่งหน้าที่กันอย่างชัดเจน สมาชิกบางคนรับผิดชอบในการประกอบวงจรไฟฟ้า บางคนเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ผ่าน Arduino IDE และการใช้งานไลบรารี BlynkSimpleEsp8266 อีกส่วนหนึ่งทำการประกอบโครงสร้างหุ่นยนต์ด้วยแผ่นพลาสติกที่ออกแบบไว้

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข (Testing, Evaluation and Design Improvement) ใช้เวลา 2 ชั่วโมง นักเรียนทำการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ในทุกฟังก์ชัน ตั้งแต่การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถอยหลัง หมุนซ้าย-ขวา และการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ การใช้โปรแกรม Tracker ถูกนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยวิธีการเคลื่อนที่ของลูกบิงปอง เพื่อวิเคราะห์ผลการยิง หากพบปัญหาจะมีการปรับปรุงและทดสอบซ้ำ จนกระทั่งหุ่นยนต์ทำงานได้ตามเป้าหมายที่วางไว้

ขั้นที่ 6 นำเสนอผลงาน (Presentation) ใช้เวลา 1 ชั่วโมง นักเรียนนำเสนอผลการพัฒนาและแก้ไขปัญหของหุ่นยนต์ โดยอธิบายกระบวนการตั้งแต่การออกแบบโครงสร้าง การเขียนโปรแกรมควบคุม ไปจนถึงการทดสอบและปรับปรุง พร้อมใช้สื่อประกอบ เช่น สไลด์และวิดีโอ เพื่อแสดงกระบวนการทำงานจริง รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ในรูปแบบกราฟ สุดท้ายจะสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้และตอบคำถามจากผู้ฟัง เพื่อให้เห็นภาพรวมของการพัฒนาหุ่นยนต์อย่างชัดเจน

3. แบบประเมิน ผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องมือประเมินทักษะนักเรียนในการพัฒนาหุ่นยนต์ IoT ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ดังตาราง 1

Table 1 การประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมการสร้างหุ่นยนต์ IoT 6 ขั้นตอน

ขั้นตอน	การประเมิน
1. ระบุปัญหา	นักเรียนสามารถระบุปัญหาและข้อกำหนดที่สำคัญในการออกแบบหุ่นยนต์ IoT ได้อย่างชัดเจน เช่น การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ การควบคุมหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk หรือการทำงานของเซ็นเซอร์ การประเมินจะวัดจากความชัดเจนและความครบถ้วนของการระบุปัญหา
2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	นักเรียนรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหุ่นยนต์ IoT เช่น การใช้เซ็นเซอร์ การควบคุมผ่านเครือข่าย Wi-Fi หรือการเขียนโปรแกรมควบคุม การประเมินจะดูว่านักเรียนรวบรวมข้อมูลได้ครอบคลุมและถูกต้องมากน้อยเพียงใด
3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	นักเรียนออกแบบโครงสร้างและการทำงานของหุ่นยนต์ IoT ให้สามารถแก้ปัญหาที่ระบุได้อย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบจะถูกประเมินจากความคิดสร้างสรรค์และความสมบูรณ์ในการเลือกใช้วัสดุ การจัดวางอุปกรณ์ และการทำงานร่วมกันของระบบ
4. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	นักเรียนจัดสรรหน้าที่และทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ IoT การประเมินในขั้นนี้จะดูจากการวางแผนที่ชัดเจน และการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ
5. ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข	นักเรียนทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ IoT และปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดที่พบ การประเมินจะวัดจากความสามารถในการปรับปรุงแก้ไขและผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ
6. นำเสนอผลงาน	นักเรียนอธิบายวิธีการแก้ปัญหา การทดสอบ และผลการทำงานของหุ่นยนต์ IoT โดยใช้สื่อประกอบ การประเมินจะวัดจากความชัดเจนและความครบถ้วนของการนำเสนอ

เกณฑ์การให้คะแนนแบ่งเป็น 4 ระดับตามคุณภาพผลงาน ได้แก่ ระดับปรับปรุง (1-6 คะแนน) ผลงานมีทักษะสมบูรณ์เพียงบางส่วนและไม่สามารถใช้งานได้ตามที่คาดหวัง ต้องปรับปรุงหลายด้าน ระดับพอใช้ (7-12 คะแนน) ผลงานแสดงทักษะพื้นฐาน ทำงานได้บางส่วน แต่ยังมีข้อผิดพลาดที่ต้องแก้ไข ระดับดี (13-18 คะแนน) ผลงานแสดงทักษะที่ดี ทำงานได้ตามคาด แต่ยังมีจุดเล็กน้อยที่ต้องปรับปรุง และ ระดับดีมาก (19-24 คะแนน) ผลงานแสดงทักษะสมบูรณ์แบบ ทำงานได้ครบถ้วนและมีประสิทธิภาพ ไม่ต้องการการปรับปรุงเพิ่มเติม

การประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT มีตัวชี้วัด เช่น ความแม่นยำและระยะทางในการยิง การปรับองศา การลำเลียงลูกปิงปอง และการควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งครอบคลุมการทำงานทุกมิติ ทั้งด้านความเสถียรของระบบและมอเตอร์ ข้อมูลจากการประเมินจะถูกวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพและพัฒนาทักษะนักเรียนในแต่ละกลุ่ม ดังตาราง 2

Table 2 การประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT

ตัวชี้วัด	การประเมิน
1. ความแม่นยำในการยิง	การวัดความสามารถในการยิงให้แม่นยำไปยังเป้าหมาย
2. ระยะทางในการยิง	วัดระยะทางของการยิงไปยังเป้าหมาย ระยะการยิงที่ไกลกว่าหมายถึงประสิทธิภาพที่สูงขึ้น
3. การปรับองศา	วัดการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อปรับองศาของหุ่นยนต์ในการเล็งเป้าหมาย
4. การลำเลียงลูกปิงปอง	วัดการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ในการลำเลียงลูกปิงปองไปยังจุดที่เตรียมยิง
5. การยิงลูกปิงปอง	วัดการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในการยิงลูกปิงปอง
6. การควบคุมหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	วัดความเสถียรและประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อระหว่างแอปพลิเคชัน Blynk กับหุ่นยนต์ผ่านระบบ IoT

การประเมินประสิทธิภาพหุ่นยนต์ IoT แบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับ 1 (ต้องปรับปรุง) ระดับ 2 (พอใช้) ระดับ 3 (ดี) และระดับ 4 (ดีมาก) โดยวัดจากความแม่นยำและระยะทางในการยิง การปรับองศา การลำเลียงและยิงลูกปิงปอง รวมถึงการควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ระดับ 4 หมายถึงหุ่นยนต์ทำงานสมบูรณ์ทุกด้าน ในขณะที่ระดับ 1 บ่งชี้ถึงปัญหาหลายด้าน เช่น การยิงไม่แม่นยำหรือการควบคุมไม่เสถียร การให้คะแนนนี้ช่วยประเมินประสิทธิภาพและชี้จุดที่ต้องปรับปรุง

การวิเคราะห์ข้อมูล งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อประเมินการพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT โดยการวิเคราะห์เชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ถูกนำมาใช้สรุปผลคะแนนทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในแต่ละขั้นตอน รวมถึงประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ ข้อมูลที่ได้จากการประเมินทักษะและการทดสอบหุ่นยนต์ของแต่ละกลุ่มถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละตัวชี้วัด อาทิ การระบุปัญหา การออกแบบ การทดสอบ และความสามารถในการทำงานของหุ่นยนต์ การวิเคราะห์เปรียบเทียบกลุ่ม ถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มนักเรียนที่ทำคะแนนได้ดีและกลุ่มที่ยังต้องการการพัฒนา ผลการวิเคราะห์เหล่านี้ช่วยให้เห็นจุดเด่นและจุดที่ต้องปรับปรุงของนักเรียนในแต่ละกลุ่ม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญในการให้ข้อเสนอแนะและพัฒนาทักษะเพิ่มเติมให้กับนักเรียนในอนาคต

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ IoT ต้นแบบ แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในระดับ ดีมาก ในทุกตัวชี้วัด โดยในด้านความแม่นยำในการยิงพบว่าสามารถเข้าเป้าหมายได้ 28 จาก 30 ครั้ง คิดเป็นความแม่นยำร้อยละ 93.33 ส่วนด้านระยะทางเฉลี่ยของการยิงลูกปิงปองอยู่ที่ 2.87 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดของระบบและการใช้งาน ด้านการปรับองศาของหุ่นยนต์ ระบบเซอร์โวมอเตอร์สามารถปรับองศาได้สูงสุดถึง 60 องศา ด้านการลำเลียงลูกปิงปองทำงานโดยไม่มีการติดขัด ในกระบวนการลำเลียงและด้านระบบการยิงลูกปิงปองสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง สำหรับด้านการควบคุม

หุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งใช้เทคโนโลยี IoT พบว่ามีการเชื่อมต่อสัญญาณที่เสถียรและสามารถควบคุมการทำงานแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

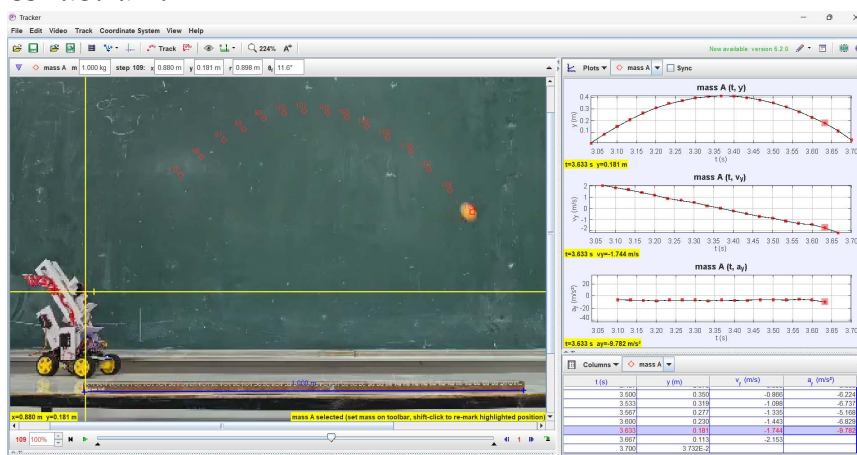


Figure 3 การวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอของการเคลื่อนที่ของลูกปิงปองด้วยโปรแกรม Tracker

จากภาพ 3 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกปิงปองผ่านโปรแกรม Tracker ช่วยหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) การติดตามการเคลื่อนที่ของลูกปิงปองผ่านภาพถ่ายวิดีโอแสดงการเคลื่อนที่ในแนวโค้งพาราโบลา ซึ่งการวิเคราะห์นี้สัมพันธ์กับประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ในการยิงลูกปิงปองที่แม่นยำ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งในแนวแกน y กับเวลา โดยผลการ fit curve จากสมการพาราโบลาช่วยคำนวณค่า g ได้ที่ -9.8 m/s^2 ซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐานของแรงโน้มถ่วง การวิเคราะห์นี้สนับสนุนประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ในการควบคุมการยิงและการลำเลียงลูกปิงปอง ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำและความเสถียรของหุ่นยนต์ IoT ในการทดสอบ

2. ผลการพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้วยกิจกรรมหุ่นยนต์ IoT แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าในการเสริมสร้างทักษะของนักเรียนในหลายมิติ โดยการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

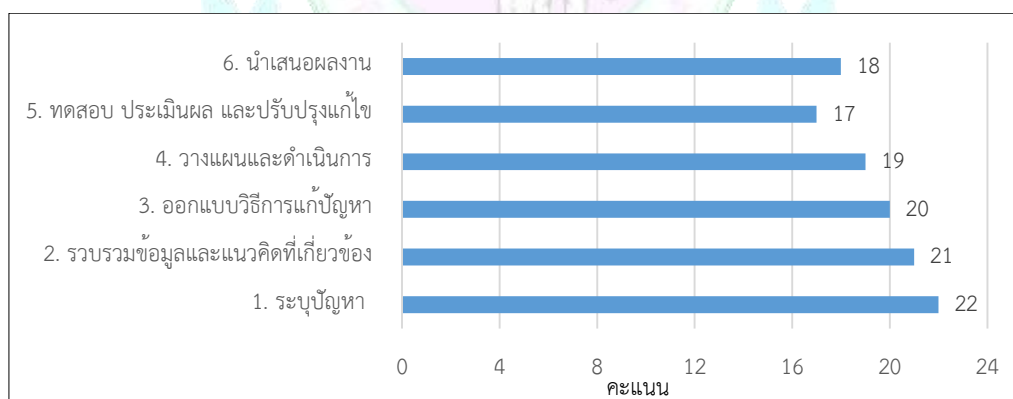


Figure 4 แผนภูมิแสดงทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของแต่ละตัวชี้วัด

1) การวิเคราะห์ทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของแต่ละตัวชี้วัด จากภาพ 4 ผลการประเมินการทำกิจกรรมหุ่นยนต์ IoT ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีทักษะที่โดดเด่นในหลายด้าน โดยเฉพาะในขั้นตอนการระบุปัญหา (22 คะแนน) และการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (21 คะแนน) ซึ่งสะท้อนถึงความเข้าใจเทคโนโลยีและความสามารถในการค้นคว้าและประยุกต์ใช้ข้อมูลได้ดี ในด้านการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (20 คะแนน) และการวางแผนและดำเนินการ (19 คะแนน) แม้นักเรียนทำได้ดี แต่ยังต้องปรับปรุงในเรื่องความแม่นยำและการจัดการเวลา ส่วนการทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไข (17 คะแนน) พบว่ายังมีความท้าทายในการทดสอบระบบอย่างครอบคลุม การทดสอบซ้ำและการปรับปรุงที่ละเอียดขึ้นเป็นจุดที่ควรพัฒนาเพิ่มเติม สำหรับการนำเสนอผลงาน

(18 คะแนน) นักเรียนทำได้ในระดับดี แต่ควรพัฒนาทักษะการสื่อสารและการจัดเตรียมสื่อให้มีความน่าสนใจและเป็นระบบมากขึ้น ผลการประเมินสะท้อนถึงความสามารถที่ดีในหลายด้าน แต่ยังต้องพัฒนาทักษะในการทดสอบ การปรับปรุงข้อบกพร่อง และการนำเสนอ เพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพการทำงานในเชิงวิศวกรรม

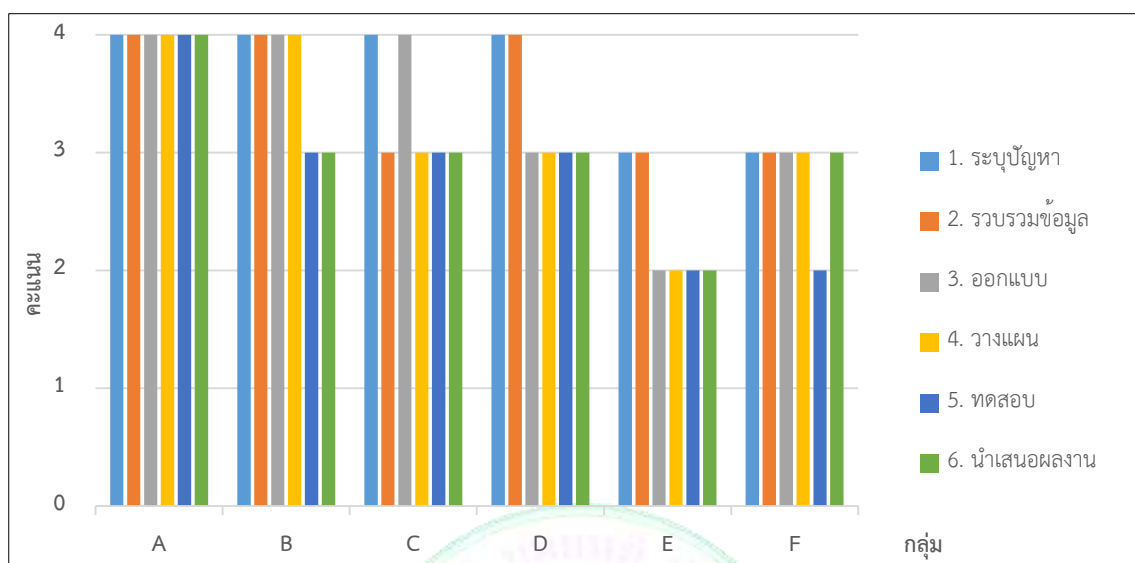
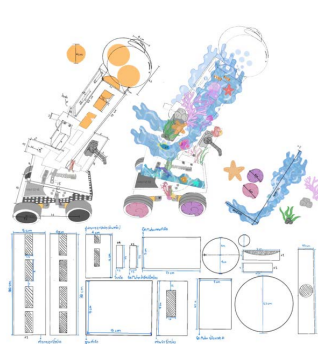


Figure 5 แผนภูมิแสดงทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่ม

2) การวิเคราะห์ทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแบบรายกลุ่ม จากภาพ 5 แสดงคะแนนของกลุ่ม A ถึง F ที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีการวิเคราะห์และอภิปรายผลเป็นรายกลุ่มได้ดังนี้

กลุ่ม A ทำคะแนนได้ดีมากในทุกหัวข้อของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยได้ 4 คะแนนเต็มในทุกด้าน สะท้อนถึงการทำงานที่เป็นระบบและละเอียดรอบคอบ การระบุปัญหาและการรวบรวมข้อมูลของกลุ่ม A ได้ 4 คะแนน ซึ่งสอดคล้องกับการออกแบบในตาราง 3 ตัวหุ่นยนต์ได้รับการออกแบบอย่างพิถีพิถัน โดยคำนึงถึงรายละเอียด การใช้วัสดุและองค์ประกอบที่เหมาะสม รวมถึงการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ผ่านโปรแกรม Tracker ที่แสดงถึงการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างรอบคอบ ในด้านการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาและการวางแผน กลุ่ม A ได้ 4 คะแนน สะท้อนถึงความสามารถในการออกแบบและวางแผนการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

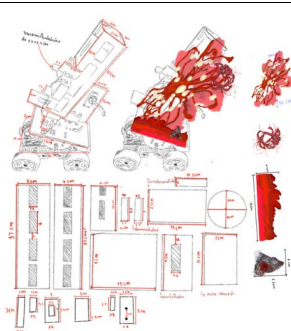
Table 3 การออกแบบและการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กลุ่ม A โดยใช้โปรแกรม Tracker

หุ่นยนต์กลุ่ม A	การออกแบบหุ่นยนต์	การวิเคราะห์จากโปรแกรม Tracker
		สมการตำแหน่งตามแนวแกน x, $x=3.1t$ สมการความเร็วตามแนวแกน x กับเวลา, $v_x=3.1 \text{ m/s}$ สมการตำแหน่งตามแนวแกน y, $y=-4.9t^2+2.3t$ ความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา $v_y=-9.8t+2.3$ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งตามแนวแกน y กับเวลา ซึ่งกราฟนี้จะแสดงความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง ใกล้เคียงกับค่า $g=-9.8 \text{ m/s}^2$

กลุ่ม B ทำคะแนนได้ดีมากในหลายหัวข้อของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่ยังมีบางด้านที่ต้องปรับปรุง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่แสดงถึงการทำงานและรายละเอียดการออกแบบของกลุ่ม B โดยในหัวข้อการระบุปัญหา กลุ่ม B ได้ 4 คะแนน สะท้อนถึงความสามารถในการเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหาได้ดี รวมถึงได้ 4 คะแนนในหัวข้อการรวบรวมข้อมูล ซึ่ง

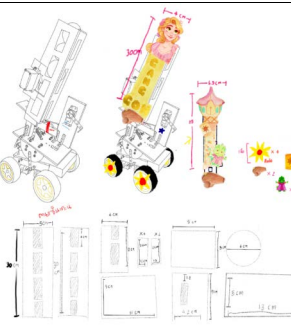
แสดงว่ากลุ่มสามารถรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและนำมาใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภาพการออกแบบและแผนผังการประกอบหุ่นยนต์ในตาราง 4 แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดการวางโครงสร้างที่ชัดเจน สอดคล้องกับการรวบรวมข้อมูลอย่างรอบคอบ ในหัวข้อการออกแบบ กลุ่ม B ได้ 4 คะแนน แสดงถึงความซับซ้อนและความสร้างสรรค์ในการออกแบบหุ่นยนต์ ขณะที่ในหัวข้อการวางแผน กลุ่ม B ได้ 4 คะแนน ซึ่งสะท้อนถึงการวางแผนโครงสร้างและการดำเนินงานที่รอบคอบและชัดเจน ภาพแสดงถึงการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีความละเอียดและการวางแผนที่ดี ในหัวข้อการทดสอบ กลุ่ม B ได้ 3 คะแนน โดยมีกระบวนการทดสอบหุ่นยนต์ผ่านโปรแกรม Tracker ซึ่งวิเคราะห์การเคลื่อนที่และความเร็วได้อย่างชัดเจน แต่การนำผลการทดสอบไปปรับปรุงหุ่นยนต์อาจยังไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ กลุ่ม B ยังได้ 3 คะแนนในหัวข้อการนำเสนอผลงาน ซึ่งอาจขาดความชัดเจนหรือไม่ครอบคลุมทุกขั้นตอนสำคัญ ทำให้ผู้ฟังไม่เข้าใจการทำงานของหุ่นยนต์ได้อย่างครบถ้วน

Table 4 การออกแบบและการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กลุ่ม B โดยใช้โปรแกรม Tracker

หุ่นยนต์กลุ่ม B	การออกแบบหุ่นยนต์	การวิเคราะห์จากโปรแกรม Tracker
		สมการตำแหน่งตามแนวแกน x, $x=2.9t$ สมการความเร็วตามแนวแกน x กับเวลา, $v_x=2.9 \text{ m/s}$ สมการตำแหน่งตามแนวแกน y, $y=-4.9t^2+2.2t$ ความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา $v_y=-9.8t+2.2$ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา ซึ่งกราฟนี้จะแสดงความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกปิงปองได้ ค่า $g=-9.8 \text{ m/s}^2$

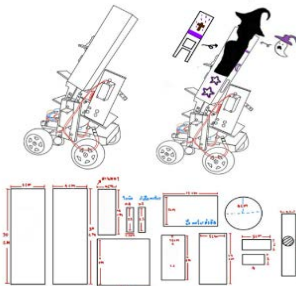
กลุ่ม C ทำคะแนนได้ในระดับดีถึงดีมากในบางหัวข้อของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเฉพาะในส่วนของการระบุปัญหา ซึ่งได้ 4 คะแนน แสดงให้เห็นว่ากลุ่มนี้สามารถระบุปัญหาได้อย่างครอบคลุม อย่างไรก็ตาม ในหัวข้อการรวบรวมข้อมูล กลุ่ม C ได้เพียง 3 คะแนน เนื่องจากการใช้ข้อมูลเชิงลึกยังไม่ครอบคลุมเพียงพอ แม้จะมีการแสดงรายละเอียดที่ดีในเรื่องการตกแต่งและความคิดสร้างสรรค์ของหุ่นยนต์ในตาราง 5 แต่ยังคงขาดการนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ในหัวข้อการออกแบบ กลุ่ม C ได้ 4 คะแนน ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการออกแบบที่สร้างสรรค์และสวยงาม แต่ในหัวข้อการวางแผน กลุ่ม C ได้ 3 คะแนน เนื่องจากการวางแผนโครงสร้างบางส่วนยังไม่สมบูรณ์ ทำให้หุ่นยนต์อาจไม่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากเท่าที่ควร นอกจากนี้ ในด้านการทดสอบและการนำเสนอ กลุ่ม C ได้ 3 คะแนนในทั้งสองหัวข้อ แม้จะมีการทดสอบการเคลื่อนที่และความเร็วของหุ่นยนต์ผ่านโปรแกรม Tracker แต่ผลการทดสอบยังไม่ได้ถูกนำไปปรับปรุงหุ่นยนต์อย่างครอบคลุม ส่วนการนำเสนอผลงานยังขาดความชัดเจนในบางแง่มุม ทำให้ไม่สามารถสื่อสารข้อมูลและการทำงานทั้งหมดได้อย่างครบถ้วน

Table 5 การออกแบบและการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กลุ่ม C โดยใช้โปรแกรม Tracker

หุ่นยนต์กลุ่ม C	การออกแบบหุ่นยนต์	การวิเคราะห์จากโปรแกรม Tracker
		สมการตำแหน่งตามแนวแกน x, $x=2.7t$ สมการความเร็วตามแนวแกน x กับเวลา, $v_x=2.7 \text{ m/s}$ สมการตำแหน่งตามแนวแกน y, $y=-4.8t^2+2.0t$ ความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา $v_y=-9.6t+2.0$ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา ซึ่งกราฟนี้จะแสดงความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง ใกล้เคียงกับค่า $g=-9.6 \text{ m/s}^2$

กลุ่ม D ได้คะแนนในระดับดีในหลายหัวข้อของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเฉพาะในหัวข้อการระบุปัญหา และการรวบรวมข้อมูล ซึ่งกลุ่ม D ได้ 4 คะแนน สะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาและรวบรวมข้อมูลที่เป็นสำหรับการออกแบบหุ่นยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภาพการออกแบบในตาราง 6 แสดงให้เห็นถึงการวางแผนที่ชัดเจน และการใช้วัสดุที่เหมาะสม ในด้านการออกแบบและการวางแผน กลุ่ม D ได้ 3 คะแนนในทั้งสองหัวข้อ แม้ว่าการออกแบบจะมีความคิดสร้างสรรค์และการวางแผนใช้วัสดุและชิ้นส่วนต่าง ๆ อย่างชัดเจน แต่ยังมีจุดที่ต้องปรับปรุงในการแก้ปัญหาเชิงกลไกหรือโครงสร้างที่ครอบคลุมมากขึ้น นอกจากนี้ ในการทดสอบและการนำเสนอ กลุ่ม D ได้ 3 คะแนนเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการใช้โปรแกรม Tracker ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่และความเร็ว แต่การทดสอบอาจยังไม่เพียงพอสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ นอกจากนี้ การนำเสนอผลงานยังขาดความชัดเจนในบางส่วน ทำให้ไม่สามารถสื่อสารการทำงานของหุ่นยนต์ได้ครบถ้วนทุกแง่มุมจากข้อมูล

Table 6 การออกแบบและการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กลุ่ม D โดยใช้โปรแกรม Tracker

หุ่นยนต์กลุ่ม D	การออกแบบหุ่นยนต์	การวิเคราะห์จากโปรแกรม Tracker
		สมการตำแหน่งตามแนวแกน x, $x=2.6t$ สมการความเร็วตามแนวแกน x กับเวลา, $v_x=2.6 \text{ m/s}$ สมการตำแหน่งตามแนวแกน y, $y=-4.7t^2+2.1t$ ความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา $v_y=-9.4t+2.1$ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา ซึ่งกราฟนี้จะแสดงความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง ใกล้เคียงกับค่า $g=-9.4 \text{ m/s}^2$

กลุ่ม E ได้คะแนนในระดับพอใช้ในหลายหัวข้อของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยในหัวข้อการระบุปัญหา และการรวบรวมข้อมูล กลุ่ม E ได้ 3 คะแนนในทั้งสองหัวข้อ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการระบุปัญหาและรวบรวมข้อมูลได้บ้าง แต่ยังไม่ครอบคลุมทั้งหมด ในส่วนของการออกแบบและการวางแผน กลุ่ม E ได้เพียง 2 คะแนน ซึ่งสอดคล้องกับภาพในตาราง 7 แสดงถึงการออกแบบหุ่นยนต์ที่มีความสร้างสรรค์ แต่โครงสร้างยังไม่สมดุลหรือแข็งแรงพอที่จะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภาพแสดงถึงการตกแต่งที่น่าสนใจ แต่ขาดความมั่นคงในโครงสร้าง ส่งผลให้คะแนนในหัวข้อนี้ต่ำ นอกจากนี้ ในหัวข้อการทดสอบและการนำเสนอ กลุ่ม E ได้คะแนนเพียง 2 คะแนนในทั้งสองหัวข้อ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการทดสอบและการประเมินผลยังไม่เพียงพอ แม้ว่าโปรแกรม Tracker จะแสดงการวิเคราะห์การเคลื่อนที่และความเร็ว แต่การทดสอบจริงอาจยังไม่ครอบคลุมทุกสถานการณ์ ทำให้หุ่นยนต์ไม่ได้รับการปรับปรุงตามความจำเป็น การนำเสนอผลงานยังขาดความชัดเจนและการสื่อสารที่ครบถ้วนในกระบวนการทำงาน

Table 7 การออกแบบและการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กลุ่ม E โดยใช้โปรแกรม Tracker

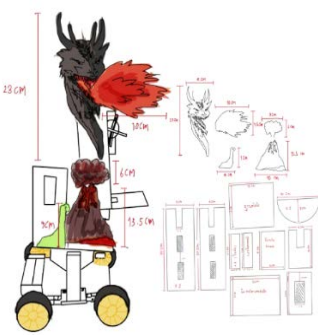
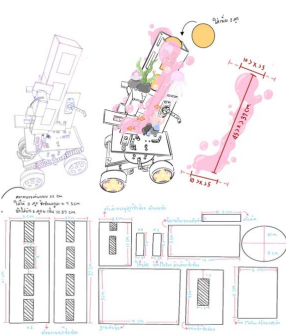
หุ่นยนต์กลุ่ม E	การออกแบบหุ่นยนต์	การวิเคราะห์จากโปรแกรม Tracker
		สมการตำแหน่งตามแนวแกน x, $x=2.8t$ สมการความเร็วตามแนวแกน x กับเวลา, $v_x=2.8 \text{ m/s}$ สมการตำแหน่งตามแนวแกน y, $y=-4.8t^2+2.2t$ ความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา $v_y=-9.6t+2.2$ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา ซึ่งกราฟนี้จะแสดงความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง ใกล้เคียงกับค่า $g=-9.6 \text{ m/s}^2$

Table 8 การออกแบบและการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กลุ่ม F โดยใช้โปรแกรม Tracker

หุ่นยนต์กลุ่ม F	การออกแบบหุ่นยนต์	การวิเคราะห์จากโปรแกรม Tracker
		สมการตำแหน่งตามแนวแกน x, $x=2.5t$ สมการความเร็วตามแนวแกน x กับเวลา, $v_x=2.5 \text{ m/s}$ สมการตำแหน่งตามแนวแกน y, $y=-4.7t^2+2.2t$ ความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา $v_y=-9.4t+2.2$ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งตามแนวแกน y กับเวลา ซึ่งกราฟนี้จะแสดงความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง ใกล้เคียงกับค่า $g=-9.4 \text{ m/s}^2$

กลุ่ม F ได้คะแนนในระดับดีในหลายหัวข้อของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยในหัวข้อการระบุปัญหาและการรวบรวมข้อมูล กลุ่ม F ได้ 3 คะแนน ซึ่งแสดงว่ากลุ่มสามารถระบุปัญหาได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่ครบถ้วน รวมถึงการรวบรวมข้อมูลที่ยังไม่ครอบคลุมเพียงพอ ภาพในตาราง 8 แสดงให้เห็นถึงการออกแบบหุ่นยนต์ที่มีความคิดสร้างสรรค์ในการตกแต่ง แต่ยังขาดการนำข้อมูลเชิงลึกมาใช้ในการสนับสนุนการทำงานอย่างเต็มที่ ในส่วนของการออกแบบและการวางแผน กลุ่ม F ได้ 3 คะแนนในทั้งสองหัวข้อ สะท้อนถึงการออกแบบที่น่าสนใจในด้านความคิดสร้างสรรค์ แต่ยังมีปัญหาเรื่องการวางแผนโครงสร้างที่อาจไม่สมบูรณ์หรือขาดความสมดุล ส่งผลให้หุ่นยนต์อาจทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ในหัวข้อการทดสอบ กลุ่ม F ได้ 2 คะแนนในการทดสอบผ่านโปรแกรม Tracker ซึ่งมีการใช้ข้อมูลทางฟิสิกส์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงหลังการทดสอบยังไม่เพียงพอ ทำให้หุ่นยนต์ยังมีข้อบกพร่องในด้านความแม่นยำและเสถียรภาพ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากลุ่ม F ยังขาดการวิเคราะห์เชิงลึกและการปรับแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ส่งผลให้การทำงานของหุ่นยนต์ในบางสถานการณ์ยังไม่สมบูรณ์ ในหัวข้อการนำเสนอผลงาน กลุ่ม F ได้ 3 คะแนน โดยการนำเสนอแสดงให้เห็นความพยายามในการสื่อสารแนวคิดและขั้นตอนการทำงาน แต่ยังขาดความชัดเจนและความครอบคลุมในบางจุด

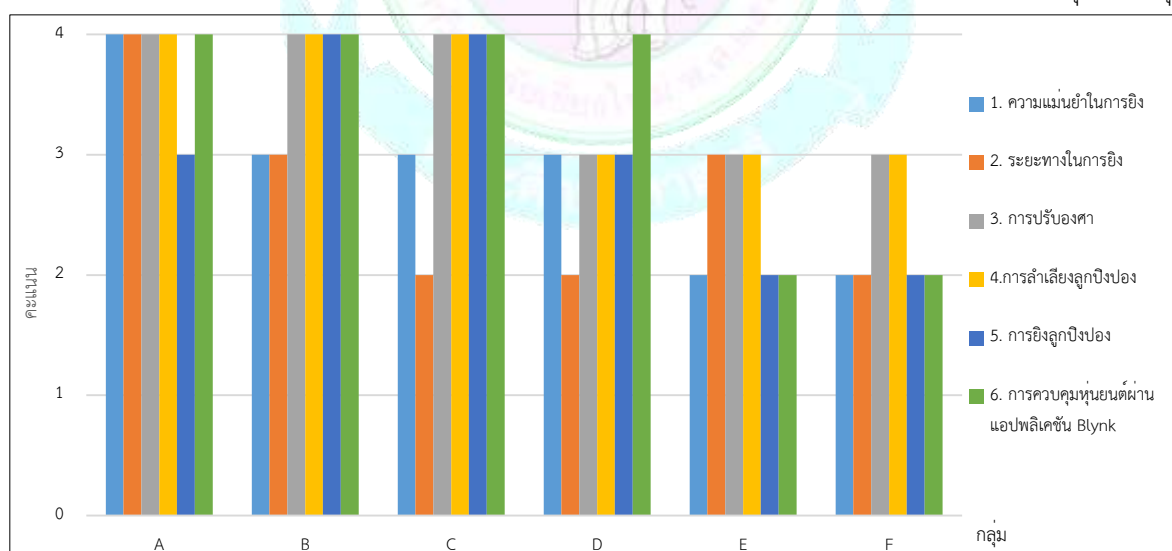


Figure 6 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT แบบรายกลุ่ม

3) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT แบบรายกลุ่ม จากการประเมินผลใน 6 ด้าน พบว่าหุ่นยนต์แต่ละกลุ่มมีความโดดเด่นและข้อจำกัดแตกต่างกันดังนี้ จากภาพ 6 ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่ากลุ่ม A ได้คะแนนรวมสูงสุดที่ 23 คะแนน และคะแนนเฉลี่ย 3.83 คะแนน กลุ่มนี้มีความโดดเด่นในด้านความแม่นยำในการยิงลูกปิงปองและการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk โดยทั้งสองตัวชี้วัดได้คะแนนสูงสุดที่ 4 คะแนน ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำและความเสถียรของการควบคุมหุ่นยนต์ อย่างไรก็ตาม ยังมีบางจุดที่ต้องพัฒนา เช่น การยิงลูกปิงปองผ่านเซอร์ไวโมเตอร์ที่ 3 ซึ่งได้ 3 คะแนน กลุ่ม B

ได้คะแนนรวม 22 คะแนน และคะแนนเฉลี่ย 3.67 คะแนน กลุ่มนี้ทำได้ดีในหลายด้าน โดยเฉพาะการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งได้ 4 คะแนน แต่ยังมีบางส่วนที่ต้องปรับปรุง เช่น ความแม่นยำและระยะทางในการยิงลูกปิงปองที่ได้ 3 คะแนน กลุ่ม C ได้คะแนนรวม 21 คะแนน และคะแนนเฉลี่ย 3.50 คะแนน กลุ่มนี้มีความสามารถในการปรับองศาเซอร์โวมอเตอร์และการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ได้ดี โดยได้คะแนนเต็มในทั้งสองด้าน อย่างไรก็ตาม ในด้านระยะทางในการยิงไกลยังต้องปรับปรุง เนื่องจากได้เพียง 2 คะแนน กลุ่ม D ได้คะแนนรวม 18 คะแนน และคะแนนเฉลี่ย 3.00 คะแนน โดยทำได้ดีในด้านการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk แต่ยังมีข้อบกพร่องในด้านระยะทางในการยิง ได้ 2 คะแนน กลุ่ม E ได้คะแนนรวม 15 คะแนน และคะแนนเฉลี่ย 2.50 คะแนน โดยมีปัญหาในหลายด้าน โดยเฉพาะความแม่นยำ การยิงลูกปิงปองและการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ที่ยังทำได้ไม่สมบูรณ์ ได้ 2 คะแนน ซึ่งให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงการทำงาน กลุ่ม F ได้คะแนนรวมต่ำสุดที่ 14 คะแนน และคะแนนเฉลี่ย 2.33 คะแนน กลุ่มนี้มีปัญหามากในหลายด้าน โดยเฉพาะในด้านความแม่นยำในการยิง ระยะทางในการยิง การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในการยิงลูกปิงปองและการควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ได้เพียง 2 คะแนน ซึ่งบ่งบอกถึงข้อจำกัดในการทำงานและความจำเป็นในการปรับปรุงเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อการใช้งานได้ดีขึ้น

อภิปราย และข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ IoT ต้นแบบแสดงถึงความสำเร็จตามวัตถุประสงค์หลัก โดยหุ่นยนต์สามารถบรรลุผลในระดับดีมากในทุกตัวชี้วัด ความแม่นยำในการยิงร้อยละ 93.33 และระยะทางเฉลี่ย 2.87 เมตร แสดงถึงความเสถียรและประสิทธิภาพของระบบควบคุม การปรับองศาได้ถึง 60 องศา ระบบลำเลียงและยิงลูกปิงปองทำงานต่อเนื่องโดยไม่มีการติดขัดสะท้อนถึงการออกแบบกลไกที่เหมาะสม การควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk เชื่อมต่อกับเทคโนโลยี IoT ทำได้อย่างราบรื่นในรูปแบบเรียลไทม์ รองรับความต้องการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โปรแกรม Tracker ช่วยวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง เช่น ความแม่นยำ ความเร็ว และระยะทาง โดยข้อมูลเหล่านี้สนับสนุนการระบุจุดบกพร่องและปรับปรุงระบบในแต่ละรอบการทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาโดย Ruangbun and Wuttiptom (2016) ระบุว่าโปรแกรม Tracker ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ผ่านการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ โดยเชื่อมโยงความรู้กลศาสตร์เข้ากับปรากฏการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการเหล่านี้ช่วยให้หุ่นยนต์ IoT ต้นแบบสามารถตอบสนองต่อการเรียนรู้แบบสะสมศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้วยกิจกรรมหุ่นยนต์ IoT ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ผลการประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความโดดเด่นในด้านการระบุปัญหาและการรวบรวมข้อมูล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Barak and Zadok (2009) ที่ระบุว่าการใช้หุ่นยนต์สามารถส่งเสริมทักษะการคิดเชิงวิเคราะห์และการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การบูรณาการหุ่นยนต์ในกระบวนการเรียนรู้อย่างช่วยเพิ่มความเข้าใจเชิงวิศวกรรม (Vicente et al., 2021) นักเรียนที่สามารถวิเคราะห์และระบุปัญหาอย่างชัดเจนสามารถออกแบบหุ่นยนต์ที่ทำงานได้ตามเป้าหมายและมีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตาม ทักษะในการวางแผน การจัดการเวลา และการทดสอบซ้ำยังคงต้องการการพัฒนาเพิ่มเติม เนื่องจากกระบวนการเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในการทำให้การออกแบบมีความสมบูรณ์และสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ได้ในระยะยาว (Asad et al., 2024) การวางแผนอย่างเป็นระบบและการจัดการเวลาอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยให้นักเรียนสามารถบริหารจัดการทรัพยากรได้ดีขึ้นในกระบวนการพัฒนาและทดสอบหุ่นยนต์ ขณะเดียวกัน การทดสอบซ้ำและการปรับปรุงหลังการทดสอบจะเพิ่มความแม่นยำของหุ่นยนต์

จากการประเมินการทำงานของแต่ละกลุ่มในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของหุ่นยนต์ IoT พบว่ากลุ่ม A ทำคะแนนได้สูงสุดในทุกหัวข้อ แสดงถึงการทำงานที่เป็นระบบและรอบคอบ การระบุปัญหาและการรวบรวมข้อมูลมีความสอดคล้องกับการออกแบบที่พิถีพิถัน การใช้วัสดุและการวิเคราะห์ข้อมูลผ่านโปรแกรม Tracker ทำให้หุ่นยนต์ของกลุ่มนี้มี

ประสิทธิภาพทั้งในการแก้ปัญหาและการวางแผน ด้านกลุ่ม B แม้จะทำได้ดีในหลายหัวข้อ แต่ยังคงต้องปรับปรุงในกระบวนการทดสอบและการนำเสนอ โดยเฉพาะการนำผลการทดสอบไปปรับปรุงผลงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ กลุ่ม C และ D แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการออกแบบและการวางแผนที่ดี แต่ยังขาดความครอบคลุมในกระบวนการทดสอบและการปรับปรุงหุ่นยนต์ ซึ่งทำให้ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ได้เต็มที่ กลุ่ม E และ F เผชิญความท้าทายมากขึ้นในด้านการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการทดสอบยังไม่สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงหุ่นยนต์ได้อย่างเพียงพอ การนำเสนอผลงานยังขาดความชัดเจนในการสื่อสารแนวคิดและผลการทำงานทั้งหมด การประเมินผลนี้สะท้อนถึงความสำคัญของการทดสอบซ้ำและการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาใช้ในการปรับแต่งหุ่นยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ทั้งนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Perez et al. (2023) ที่เน้นถึงบทบาทของการทดสอบและการปรับปรุงซ้ำในกระบวนการเรียนรู้วิศวกรรม

จากการประเมินผลการทดสอบความสามารถของนักเรียนในการควบคุมและการใช้งานหุ่นยนต์ IoT ผ่านแบบประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่ทำคะแนนสูง เช่น กลุ่ม A และ B สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้อย่างเสถียร โดยเฉพาะในด้านการควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และมีความแม่นยำในการยิงลูกปิงปอง คะแนนที่สูงในด้านนี้บ่งชี้ว่านักเรียนมีความเข้าใจลึกซึ้งเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อควบคุมมอเตอร์ รวมถึงสามารถปรับแต่งกลไกให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของงานได้เป็นอย่างดี การที่นักเรียนสามารถปรับองศาของเซอร์โวมอเตอร์และการยิงลูกปิงปองได้อย่างแม่นยำแสดงถึงการใช้ทักษะเชิงวิศวกรรมที่ครบถ้วนในด้านการออกแบบ การทดสอบ และการปรับปรุงหุ่นยนต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Darmawansah et al. (2023) ที่เน้นความสำคัญของการทดสอบและปรับปรุงในการพัฒนาทักษะเชิงวิศวกรรม ในขณะเดียวกัน กลุ่มที่ทำคะแนนต่ำ เช่น กลุ่ม E และ F ประสบปัญหาในการควบคุมหุ่นยนต์ให้มีความเสถียร โดยเฉพาะในด้านการยิงลูกปิงปองที่ยังขาดความแม่นยำและมีข้อบกพร่องในการปรับทิศทางของเซอร์โวมอเตอร์ รวมถึงการล้าสมัยลูกปิงปองที่อาจยังมีการติดขัด ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าการควบคุมหุ่นยนต์ผ่าน IoT ด้วยแอปพลิเคชัน Blynk เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมความสำเร็จของนักเรียน การฝึกฝนเพิ่มเติมและการทดสอบในเงื่อนไขที่หลากหลายช่วยยกระดับประสิทธิภาพหุ่นยนต์และทักษะนักเรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Almutairi et al. (2024) ที่ระบุว่าอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเป็นเทคโนโลยีมีศักยภาพสูงในการพัฒนาการควบคุมที่ซับซ้อนและการเรียนรู้แบบปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยเกี่ยวกับหุ่นยนต์ IoT ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา โดยใช้เป็นเครื่องมือเพื่อเสริมทักษะการคิดเชิงวิศวกรรม การแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในชีวิตจริง ครูสามารถนำกิจกรรมการสร้างหุ่นยนต์ IoT มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาทักษะด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมของนักเรียน นอกจากนี้ สถานศึกษาและหน่วยงานด้านการศึกษายังสามารถนำผลวิจัยไปพัฒนาหลักสูตรสะเต็มศึกษาให้เหมาะสมกับนักเรียนในระดับต่าง ๆ โดยเฉพาะการใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเป็นสื่อกลางในการเรียนการสอน ซึ่งจะช่วยเสริมทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่จำเป็นสำหรับการแก้ปัญหาในโลกแห่งเทคโนโลยีสมัยใหม่

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการควบคุมหุ่นยนต์ จะช่วยเพิ่มความลึกของการวิจัยและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในบริบทที่กว้างขึ้น โดยการพัฒนากิจกรรมกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ IoT โดยเฉพาะในด้านความแม่นยำในการควบคุม การทดสอบซ้ำ และความสามารถในการทำงานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เพื่อขยายผลการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในการออกแบบและพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุดในหลายบริบท

References

- Almutairi, R., Bergami, G., & Morgan, G. (2024). Advancements and challenges in IoT simulators: A comprehensive review. *Sensors*, 24(5), 1511.
- Asad, M. M., Naz, A., Shaikh, A., Alrizq, M., Akram, M., & Alghamdi, A. (2024). Investigating the impact of IoT-Based smart laboratories on students' academic performance in higher education. *Universal access in the information society*, 23(3), 1135-1149.
- Barak, M., & Zadok, Y. (2009). Robotics projects and learning concepts in science, technology and problem solving. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(3), 289-307.
- Darmawansah, D., Hwang, G. J., Chen, M. R. A., & Liang, J. C. (2023). Trends and research foci of robotics-based STEM education: a systematic review from diverse angles based on the technology-based learning model. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 12.
- Detphiphatworakul, T., Kiddee, K., & Petsangsri, S. (2023). The effect of STEAM project-based learning by engineering design process on problem-solving ability for grade 8 students. *Journal of Education and Innovation*, 25(1), 117-130. [in Thai]
- Hutamarn, S., Chookaew, S., & Howimanporn, S. (2021). A study using the low-cost robot kit as a tool to promote students' engagement in STEM education. *Journal of Education Khon Kaen University*, 44(3), 128-143.
- Noiwong, W., & Wongthong, P. (2020). Learning activity based on STEAM Education that emphasizes engineering design process in topic of hydroponics for enhancing 21st century skills of upper elementary school students. *Journal of Science and Science Education*, 3(2), 177-189. [in Thai]
- Perez, E., Manca, S., Fernández-Pascual, R., & Mc Guckin, C. (2023). A systematic review of social media as a teaching and learning tool in higher education: A theoretical grounding perspective. *Education and Information Technologies*, 28(9), 11921-11950.
- Piboon, K., Khlaisang, J., & Koraneekij, P. (2024). Virtual studio learning environment based on STEAM education concept integrated with socio-scientific issues to enhance learner's scientific creativity. *Journal of Information and Learning*, 35(2), 1-14.
- Quigley, C. F., Herro, D., King, E., & Plank, H. (2020). STEAM designed and enacted: Understanding the process of design and implementation of STEAM curriculum in an elementary school. *Journal of Science Education and Technology*, 29(4), 499-518.
- Ruangbun, T., & Wuttirom, S. (2016). Designing and developing electromagnetic induction projectile launcher. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 7(1), 191-203. [in Thai]
- Vicente, F. R., Zapatera Llinares, A., & Montes Sánchez, N. (2021). Curriculum analysis and design, implementation, and validation of a STEAM project through educational robotics in primary education. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 160-174.