

Journal of Digital Education and Learning Engineering

ดำเนินการวารสารโดย สมาคมการศึกษาดิจิทัลและวิศวกรรมการเรียนรู้

การพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก Development of an Educational Demonstration Kit for Temperature Control Using an Analog PID Controller

ภัทรานิษฐ์ สมมุติ, ศศิธร ชูแก้ว, และสันติ หุตะมาน*

Patthanit Sommut, Sasithorn Chookaew & Santi Hutamarn*

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Received: August 2, 2025 Revised: August 24, 2025 Accepted: September 4, 2025

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมอุณหภูมิมีความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมได้นำการควบคุมอุณหภูมิมาใช้ในการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม การเรียนการสอนด้านวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมอุณหภูมียังเป็นเรื่องที่มีเนื้อหาซับซ้อนและยังมีการขาดแคลนสื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสม การศึกษานี้ จึงได้พัฒนาชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก เพื่อช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนในเรื่องดังกล่าวโดยใช้เซนเซอร์ RTD Pt100 ในการวัดอุณหภูมิ และใช้วงจรรวมออปแอมป์ในการประมวลผลและควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามค่าที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ ยังได้นำเทคโนโลยีความจริงเสริมมาประยุกต์ใช้เป็นสื่อการสอน เพื่อกระตุ้นความสนใจและการมีส่วนร่วมของผู้เรียน โดยเน้นการสร้างความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิให้ดียิ่งขึ้น กลุ่มเป้าหมายในครั้งนี้ เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า จำนวน 10 คน ผลการศึกษพบว่า การพัฒนาชุดสาธิตมีประสิทธิภาพในการควบคุมด้วยระบบพีไอดีสามารถนำไปใช้เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะของผู้เรียน โดยผู้เรียนทุกคนมีคะแนนผ่านเกณฑ์การประเมินกล่าวคือ มีคะแนนมากกว่าร้อยละ 80 และระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการใช้ชุดสาธิตอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.61 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.53

คำสำคัญ: ชุดสาธิต การควบคุมแบบพีไอดี การควบคุมอุณหภูมิ

Abstract

Temperature control systems are of paramount importance today, particularly in the industrial sector, where they are integral to maintaining product quality. However, the engineering education related to these systems often involves complex content and suffers from a lack of appropriate learning materials. This study addresses these challenges by developing an analog PID-based temperature control demonstration kit. This kit aims to enhance student learning in temperature control using an RTD Pt100 sensor for

*Corresponding author

Email address: santi.h@fte.kmutnb.ac.th

temperature measurement. It utilizes op-amp integrated circuits for processing and maintaining a constant temperature according to a set point. Furthermore, augmented reality (AR) technology has been integrated as an instructional medium to stimulate student interest and engagement. This approach emphasizes fostering a deeper understanding of the operational principles of temperature control systems. The target group for this study comprised 10 undergraduate students in Electrical Technology. The study's findings indicate that the developed demonstration kit is effective in promoting student skill achievement in PID control systems. All participating students scored above the evaluation criterion, exceeding 80%. Additionally, student satisfaction with the use of the demonstration kit was exceptionally high, with an overall average score of 4.61 and a standard deviation of 0.53.

Keywords: Demonstration Kit, PID Controller, Temperature Control

■ บทนำ

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมเป็นกำลังหลักที่สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศมาโดยตลอด มีการเจริญเติบโตและมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทั้งในภาคอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เหล็ก โลหะ เกษตรกรรม การแปรรูปอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และเคมีภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้ล้วนจะต้องมีกระบวนการผลิตซึ่งกระบวนการผลิตนั้นต้องมีความแม่นยำและมีเสถียรภาพสูง ทำให้ในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อรักษาคุณภาพและความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมอุณหภูมิ เพราะหากอุณหภูมิไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้น จึงได้มีงานวิจัยมากมายที่ได้ศึกษาวิธีการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมในหลากหลายรูปแบบและหลากหลายการประยุกต์ใช้ เช่น Khairudin et al. (2020) ได้นำเสนอ การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ลอจิกฟัซซีโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น AT mega 2560 นอกจากนี้ He et al., 2020 ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบพีไอดี (PID) ฟัซซีในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของโรงงานบุหรี และ Teli et al. (2024) ได้นำเสนอการควบคุมอุณหภูมิเตาเผาอัตโนมัติโดยใช้ตัวควบคุมโมดูลอัจฉริยะ

ด้วยความสำคัญดังกล่าว ทำให้ในสถาบันการศึกษาได้มีการเรียนการสอนเกี่ยวกับระบบการควบคุมในหลักสูตรด้านวิศวกรรม เป็นเหตุให้นักวิจัยได้นำเสนอวิธีการสร้างชุดการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบการควบคุมไว้หลากหลายแนวทาง เช่น Assis & Coelho (2023) ได้นำเสนอการใช้เครื่องมือทางการศึกษาเพื่อจำลองระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นกลยุทธ์การสอนและการเรียนรู้ทางไกลในสาขาด้านวิศวกรรม Yegül (2023) ได้นำเสนอการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบฝังตัวของชุดควบคุมที่ใช้ในระบบการผลิตทางการเกษตรแบบไม่ใช้ดิน

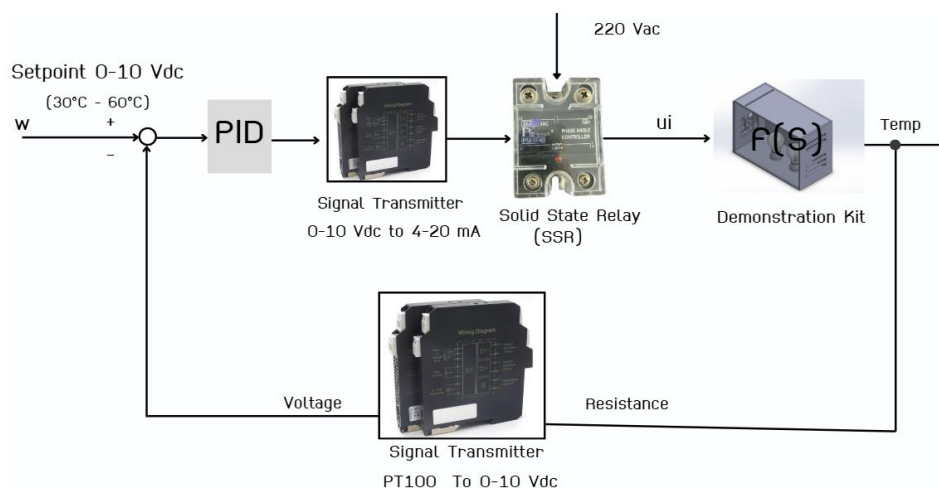
เนื่องด้วยการจัดการเรียนการสอนรายวิชาระบบควบคุม ตามหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า นั้น ผู้เรียนประสบปัญหาเกี่ยวกับการเรียนรู้ในเนื้อหาที่มีความยากต่อการทำความเข้าใจ หากอาศัยการอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจเพียงอย่างเดียวนั้น อาจไม่สามารถทำให้ผู้เรียนมองเห็นภาพได้อย่างชัดเจน อีกทั้ง ธรรมชาติรายวิชานี้ต้องอาศัยหลักการทฤษฎีในการเชื่อมโยงเพื่อให้ผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติจริงได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้มีการพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก เพื่อใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอน เพื่อส่งเสริมความเข้าใจและสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ของผู้เรียนให้สามารถไปสู่ความสำเร็จในการเรียนรู้ได้

จุดประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อหาประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อกของชุดสาธิต
- 2) เพื่อเพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนในการใช้ชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก
- 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก

การออกแบบชุดสาธิตและเทคโนโลยีความจริงเสริม

ภาพรวมของชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก ระบบควบคุมนี้ใช้ตัวควบคุมพีไอดี (PID Controller) รับสัญญาณคำสั่ง (Command Signal : w) ในรูปของแรงดันไฟฟ้า 0-10 โวลต์ เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดพีที100 ที่ความต้านทานแปรค่าตามอุณหภูมิ การแปลงค่าอุณหภูมิให้เป็นแรงดันไฟฟ้า จึงต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณ (Signal Transmitter) จากเซนเซอร์พีที100 เป็นแรงดันไฟฟ้า 0-10 โวลต์ จากนั้นจึงนำสัญญาณป้อนกลับนี้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณคำสั่ง ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบจะส่งไปยังตัวควบคุมพีไอดีผ่านตัวแปลงสัญญาณเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์เพื่อเป็นสัญญาณควบคุมโซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay) สำหรับควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อสร้างความร้อนให้กับชุดสาธิต แสดงดังภาพที่1

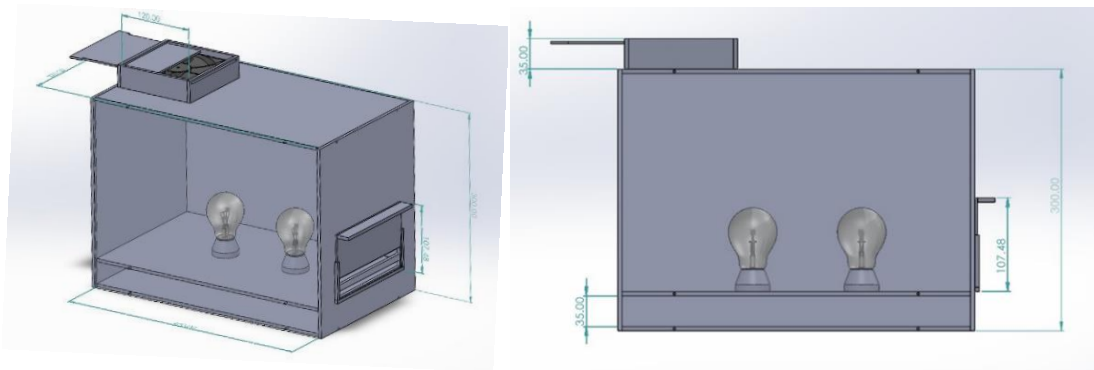


ภาพที่ 1. ภาพรวมโครงสร้างการออกแบบการทำงานของชุดสาธิต

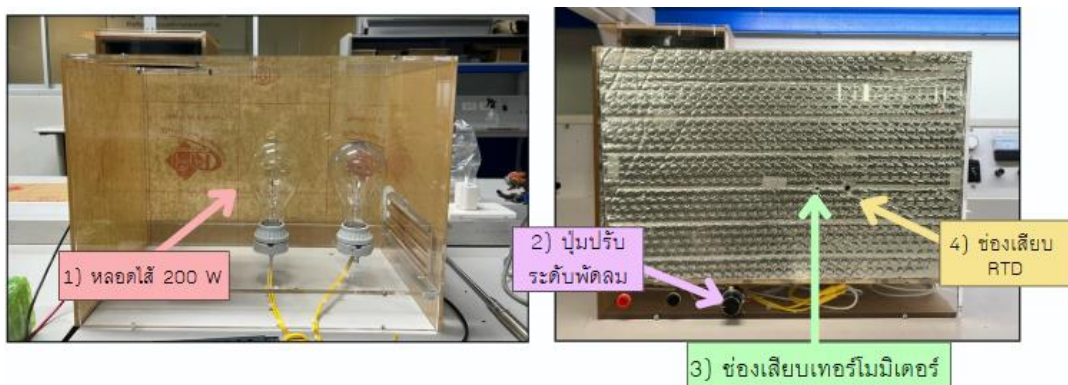
การออกแบบชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก

ในการออกแบบชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก ผู้วิจัยใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบ อีกทั้งยังได้มีการออกแบบกล่องควบคุมอื่นๆร่วมด้วย โดยใช้อะคลิกริกเป็นโครงสร้างที่เชื่อมต่อปิดทึบพร้อม กับบุนนกันความร้อนเพื่อง่ายต่อการควบคุมอุณหภูมิ ด้านในของชุดทดลอง ประกอบด้วยหลอดไฟไส้จำนวน 2 หลอดขนาด กำลังไฟ 200 วัตต์ใช้เป็นตัวกำเนิดพลังงานความร้อนดังภาพที่ 3-1 มีพัดลมติดอยู่ทางด้านข้าง เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของ ความร้อนในระบบซึ่งสามารถปรับระดับการไหลเวียนของอุณหภูมิได้จากการปรับพัดลม ดังภาพที่ 3-2 ติดตั้งเซนเซอร์พีที100 ซึ่งเป็นเซนเซอร์ชนิด อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector : RTD) ที่มีความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ดีกว่าชนิดอื่น ผ่านช่องเสียบทางด้านหน้าดังภาพที่ 3-4 เพื่อให้สามารถวัดอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ โดยมีช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัด

อุณหภูมิดังภาพที่ 3-3 การออกแบบชุดสาธิตเขียนขึ้นจากโปรแกรม SolidWorks แสดงดังภาพที่ 2 และ ชุดสาธิตที่สร้างขึ้นสำหรับใช้ประกอบการเรียนรู้แสดงดังภาพที่ 3



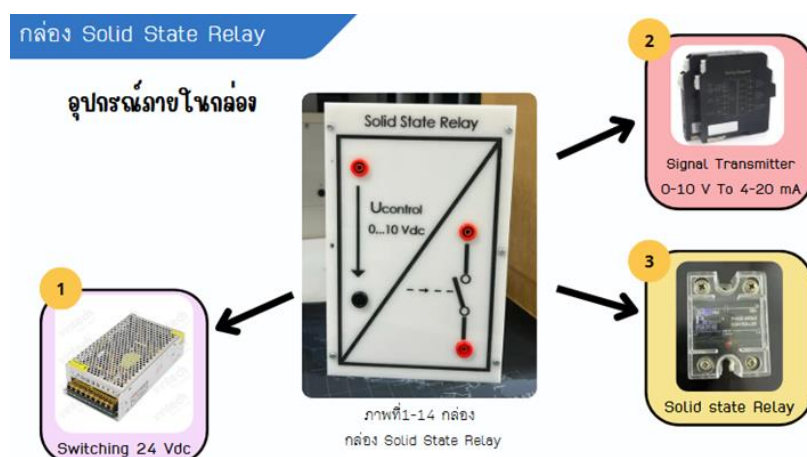
ภาพที่ 2. การออกแบบชุดสาธิตด้วยโปรแกรม SolidWorks



ภาพที่ 3. ชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อกที่สร้างขึ้นจริงตามการออกแบบ

การออกแบบกล่องควบคุมโซลิดสเตตรีเลย์

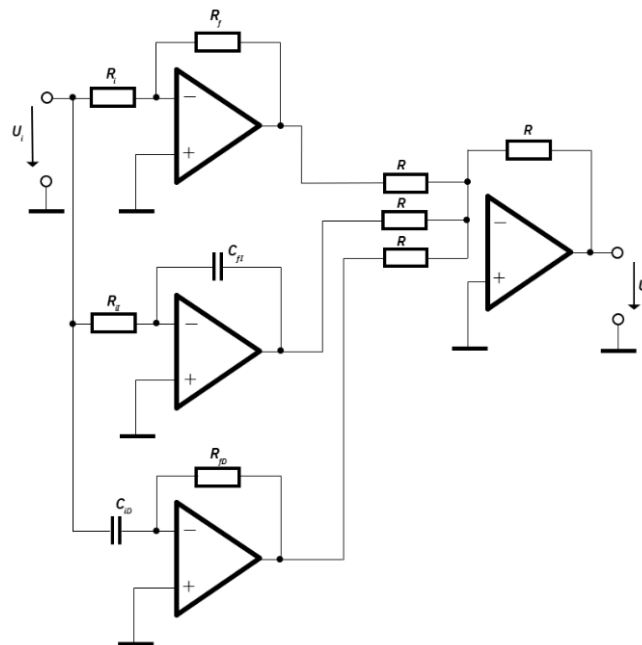
ภายในกล่องควบคุม ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ ได้แก่ ตัวแปลงสัญญาณ และ โซลิดสเตตรีเลย์ ตัวแปลงสัญญาณทำหน้าที่แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0-10 โวลต์ ดังภาพที่ 4-2 ตัวแปลงสัญญาณนี้ต้องป้อนแหล่งจ่ายไฟ 24 โวลต์ ดังภาพที่ 4-1 ซึ่งส่งมาจากวงจรควบคุมพีไอดี ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับโซลิดสเตตรีเลย์ ที่ทำหน้าที่คล้ายสวิตช์สำหรับควบคุมการจ่ายพลังงานไปยังหลอดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยโซลิดสเตตรีเลย์ดังภาพที่ 4-3 จะเปิดหรือปิดการทำงานตามสัญญาณควบคุมจาก $U_{control}$



ภาพที่ 4. กล้องโซลิตสเตรีย

การออกแบบวงจรพีไอดี

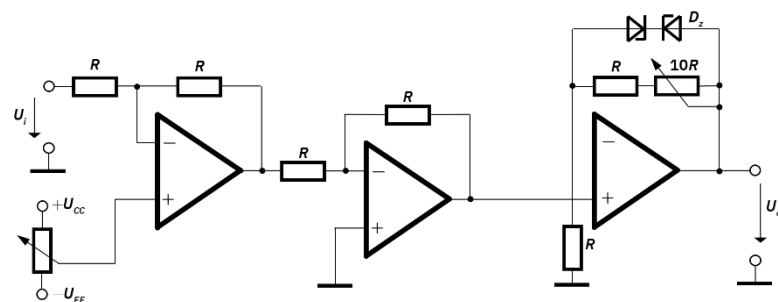
วงจรพีไอดีเป็นตัวควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์เพื่อควบคุมระบบให้เข้าสู่ค่าที่ต้องการช่วยลดข้อผิดพลาดระหว่างสัญญาณเอาต์พุต (U_o) ของระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณคำสั่ง (U_i) ใช้โอปแอมป์ในการสร้างเป็นตัวควบคุม ถูกติดตั้งไว้ที่กล่องแอนะล็อกพีไอดี มีวงจรการต่อแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5. วงจรตัวควบคุมพีไอดี

การออกแบบวงจรออฟเซต (Offset Circuit)

ชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อกใช้วงจรออฟเซตเพื่อปรับระดับแรงดันเริ่มต้นของเซ็นเซอร์ เนื่องจากบางครั้ง แรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์อาจไม่เริ่มต้นที่ 0 โวลต์ทำให้สัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์มีความผิดพลาด ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรออฟเซตที่สร้างขึ้นจากออปแอมป์ ปรับระดับสัญญาณให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการควบคุม จากนั้นใช้วงจรขยายสัญญาณ เพื่อขยายสัญญาณให้มีระดับแรงดันที่สอดคล้องกับระดับสัญญาณคำสั่ง ส่งผลให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำตามค่าของสัญญาณคำสั่ง วงจรนี้จะถูกติดตั้งไว้ในกล่องปรับแต่งสัญญาณจากเซ็นเซอร์พีที100 ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6. วงจร ออฟเซต และวงจรขยายสัญญาณ 10 เท่า

การตั้งค่า ซีโร (Zero) และ สเปน (Span)

การตั้งค่า ซีโร และสเปน ถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการปรับค่าระบบวัดสัญญาณอินพุต เช่น สัญญาณจากเซนเซอร์พีที100 เพื่อให้สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างถูกต้องและแม่นยำตามช่วงอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดช่วงการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 30-60 องศาเซลเซียส แปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะล็อกขนาด 0-10 โวลต์ โดยการแปลงสัญญาณจะต้องใช้วงจรการปรับออฟเซต และวงจรขยายสัญญาณให้เหมาะสม ก่อนส่งเข้าสู่วงจรของการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) โดยที่ ซีโร คือ ค่าที่กำหนดเป็นจุดเริ่มต้นของช่วงสเกลการวัด การวัดอุณหภูมิในช่วง 30-60 องศาเซลเซียส จะปรับตั้งค่าซีโรที่ 30 องศาเซลเซียสให้มีค่าระดับสัญญาณที่ 0 โวลต์ และ สเปน คือ ช่วงของการวัดหรือการควบคุม หากช่วงวัดคือ 30-60 องศาเซลเซียส ค่าสเปนที่ 60 องศาเซลเซียส จะมีค่าระดับสัญญาณที่ 10 โวลต์ ดังภาพที่ 7



(ก)



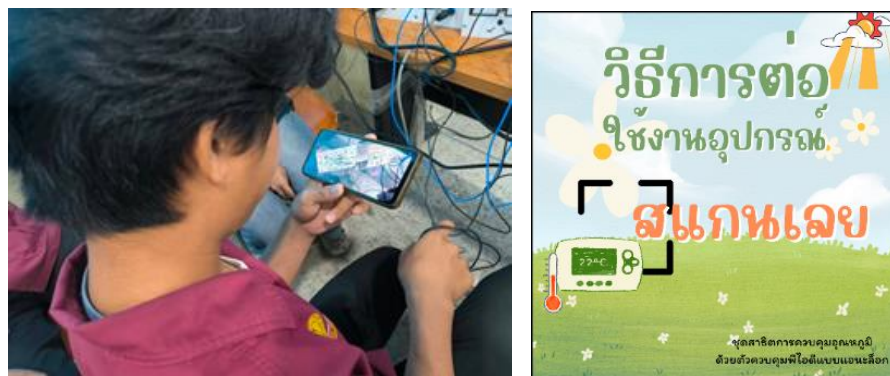
(ข)

ภาพที่ 7. (ก) การตั้งค่าซีโร และ (ข) การตั้งค่าสเปน

การทำงานของชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก เริ่มจากการป้อนค่าอินพุต หรือ สัญญาณคำสั่ง ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 0-10 โวลต์ ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 30-60 องศาเซลเซียส เข้าสู่ตัวควบคุมพีไอดี ซึ่งจะเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้จากเซนเซอร์พีที100 ที่ค่าความต้านทานจะแปรค่าตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ผ่านตัวแปลงความต้านทานเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0-10 โวลต์ แล้วจึงส่งเข้าสู่ตัวควบคุมพีไอดี ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างสัญญาณคำสั่ง กับ สัญญาณจากค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระบบ ถูกส่งไปยังโซลิตัสเตอรีลย์เพื่อควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับหลอดไส้ที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระบบ ซึ่งเซนเซอร์พีที100 จะส่งค่าอุณหภูมิกลับให้พีไอดีปรับการทำงานให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องจนค่าอุณหภูมิจริงเท่ากับระดับของสัญญาณคำสั่งที่กำหนดไว้

การออกแบบแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริม

การออกแบบแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความจริงเสริม เป็นการวางแผนการออกแบบแอปพลิเคชันที่สามารถใช้ร่วมกับชุดสาธิต โดยในแอปพลิเคชันจะแสดงวิธีการต่อใช้งานชุดสาธิตร่วมกับกล่องควบคุมต่างๆ การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบเทคโนโลยีความจริงเสริมจะใช้โปรแกรม Unity ร่วมกับ Vuforia Engine ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยต้องมีการสร้างฐานข้อมูลของภาพ (Image Target) ภายในระบบของ Vuforia เพื่อใช้เป็นตัวตรวจจับมาร์กเกอร์ (Marker) สำหรับเรียกใช้องค์ประกอบของความจริงเสริมภายในแอปพลิเคชัน โดยผู้วิจัยได้มีการออกแบบมาร์กเกอร์ ดังภาพที่ 8 สำหรับการนำเทคโนโลยีความจริงเสริมมาใช้มีเป้าหมายหลักเพื่อแสดงวิธีการเชื่อมต่อและใช้งานระหว่างชุดสาธิตกับอุปกรณ์กล่องควบคุมต่าง ๆ ให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจขั้นตอนการใช้งานได้อย่างถูกต้องและชัดเจน เพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสียหายของชุดสาธิตได้ โดยแอปพลิเคชันนี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ร่วมกับชุดสาธิต เพื่อเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้แบบเสมือนจริง



ภาพที่ 8. ผู้เรียนใช้งานเทคโนโลยีความจริงเสริมร่วมกับชุดสาธิตโดยใช้มาร์กเกอร์ของชุดสาธิต

■ การวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ

ในการจัดทำได้มีการทดสอบระบบแบบระบบควบคุมแบบวงเปิดเพื่อนำผลตอบสนองของระบบมาวิเคราะห์ หาฟังก์ชันถ่ายโอนและคำนวณค่าอัตราขยายได้แก่พีโอดี จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปใช้ในการปรับตั้งระบบควบคุมแบบลูปปิดเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีผลตอบสนองดังนี้

ตารางที่ 1

ผลการทดสอบแบบระบบควบคุมแบบวงเปิด

สัญญาณอินพุต (โวลต์)	ค่าเวลาไต่ขึ้น (วินาที)	สัญญาณเอาต์พุต (โวลต์)	เวลาคงตัว (วินาที)
10	324.58	12.421	287

จากผลตอบสนองของระบบดังตารางที่ 1 สามารถนำมาวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบในโดเมนลาปลาซได้ โดยอาศัยรูปแบบของระบบลำดับหนึ่ง ที่มีสมการฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$F(s) = \frac{K_{ps}}{T_1 s + 1}$$

เมื่อ $F(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนในโดเมนของลาปลาซ

K_{ps} คือ ค่าอัตราขยาย

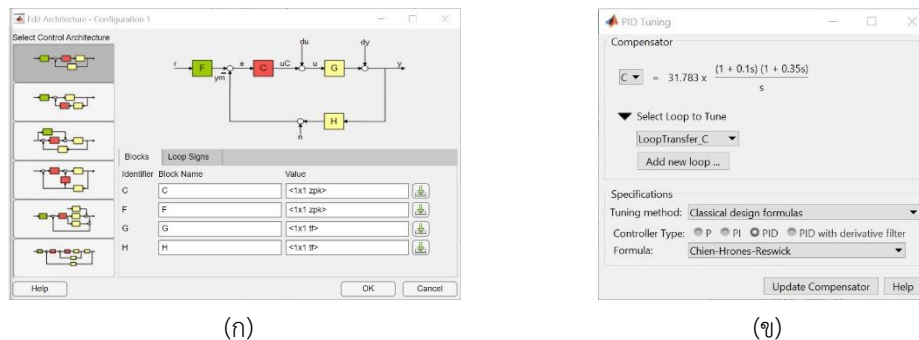
s คือ ตัวแปรเชิงซ้อนของลาปลาซ

T_1 คือ ค่าคงที่เวลาของระบบลำดับหนึ่ง

จากสมการข้างต้นจะได้ค่าคงที่เกน เท่ากับ 1.241 และเมื่อพิจารณาค่าคงที่เวลาของระบบจากกราฟผลตอบสนอง ค่าคงที่เวลาของระบบ เท่ากับ 227 วินาที ดังนั้นจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบตามสมการดังนี้

$$\frac{U_o}{U_i} = F(s) = \frac{1.24}{227s + 1}$$

จากผลการ แสดงถึงระบบควบคุมอันดับหนึ่ง มีลักษณะตอบสนองช้า โดยที่ค่าอัตราการขยายของระบบเท่ากับ 1.241 และค่าเวลาคงตัวของระบบลำดับหนึ่งเท่ากับ 227 วินาที โดยฟังก์ชันถ่ายโอนนี้สามารถนำไปใช้จำลองพฤติกรรมของระบบในโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุมได้ โดยใช้การปรับตั้งตัวควบคุมแบบพีไอดีตามสูตรของ Chien-Hrones-Reswick เพื่อให้ได้อัตราการขยายแบบสัดส่วน และ อัตราการขยายแบบอินทิกรัลที่เหมาะสมสำหรับการควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12. การออกแบบตัวควบคุมผ่านโปรแกรม MATLAB

■ วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการฝึกอบรมให้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขา เทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ ที่ลงทะเบียนรายวิชาระบบควบคุม จำนวน 10 คน ใช้ระยะเวลาในการเก็บผล ข้อมูลจำนวน 2 วันละ 7 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 14 ชั่วโมง โดยในกระบวนการเรียนรู้ชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุม พีไอดีแบบแอนะล็อก เริ่มจากผู้เรียนได้รับใบเนื้อหา และ ใบงาน โดยมีการให้ข้อมูลในรูปแบบสไลด์นำเสนอ แบ่งเนื้อหา ออกเป็น 4 หน่วยการเรียนรู้ ได้แก่ 1) ฟังก์ชันถ่ายโอนและบล็อกไดอะแกรม 2) อนุกรม 3) การวิเคราะห์และออกแบบระบบ ควบคุมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และ 4) การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมพีไอดีเพื่อควบคุมอุณหภูมิ

ในกระบวนการเรียนรู้ด้วยชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อกนี้ แบ่งขั้นตอน กระบวนการเรียนรู้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ทฤษฎี และ ปฏิบัติ ในแต่ละบทเรียนมีใบเนื้อหาและใบปฏิบัติงานพร้อมทั้งมีชุดสาธิต สำหรับทดลองใช้งานจริงและชมการสาธิตการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจอย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริม เพื่อช่วยให้นักศึกษาสามารถมองเห็นโครงสร้างระบบได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเรียนรู้แล้ว ผู้วิจัยให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะ จำนวน 4 ข้อ รวมคะแนนทั้งสิ้น 55 คะแนน ใช้เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงให้ผู้เรียนทำแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อ การจัดการเรียนรู้ร่วมกับชุดสาธิตที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำผลไปใช้ในการสรุปผลการศึกษาต่อไป

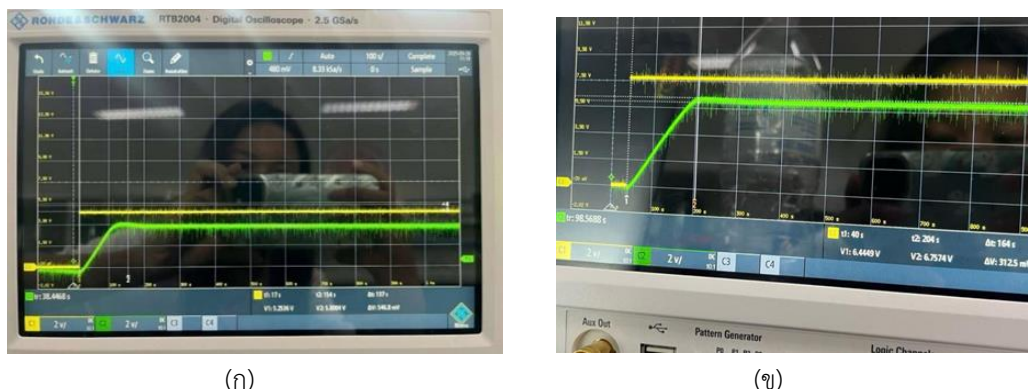
■ ผลการวิจัย

จุดประสงค์ที่ 1 ผลการหาประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อกของชุดสาธิต

ผลการทดลองการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีในระบบแบบวงปิด

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการควบคุมในระบบแบบวงปิดการทดสอบโดยใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วน หรือเรียก สั้นๆว่า ตัวควบคุมแบบพีไอดี นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ โดยมุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมของระบบเมื่อมีการปรับค่าของอัตรา

การขยายเพียงอย่างเดียวเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของตัวควบคุมแบบพีในการตอบสนองต่อสัญญาณ ตลอดจนผลกระทบ ต่อค่าความคลาดเคลื่อนของระบบและเสถียรภาพในการควบคุม โดยมีผลการทดลองดังนี้

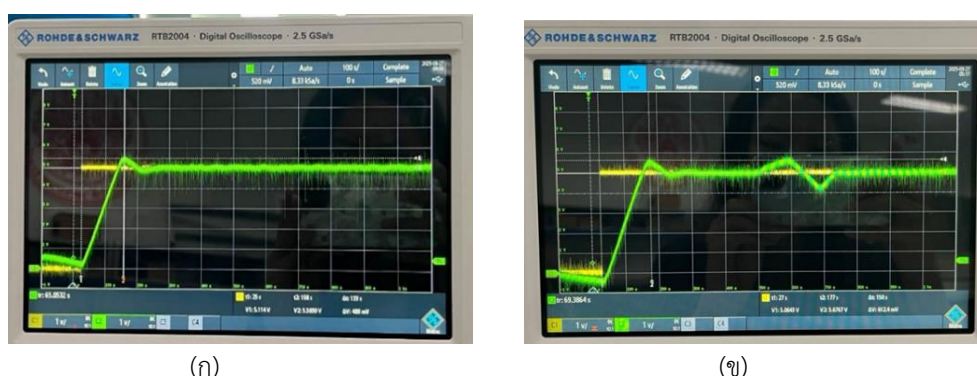


ภาพที่ 9. การควบคุมแบบพี เมื่อ (ก) สัญญาณคำสั่งที่ 5 โวลต์ (ข) สัญญาณคำสั่งที่ 8 โวลต์

จากภาพที่ 9 (ก) และ (ข) แสดงผลการตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงปิดเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพี ในการควบคุม อุณหภูมิภายในชุดสาธิต โดยกำหนดสัญญาณคำสั่งที่ 5 โวลต์ ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า เวลาเพิ่มขึ้นเท่ากับ 38.4468 วินาที มีเปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน (Percent Overshoot : %OS) เท่ากับ 10.40 เปอร์เซ็นต์ และใช้ เวลาในการไถ่ระดับไปถึงค่าสูงสุดของสัญญาณที่ 137 วินาที ขณะที่ผลการตอบสนองเมื่อกำหนดสัญญาณคำสั่งที่ 8 โวลต์ ที่ สอดคล้องกับอุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าเวลาเพิ่มขึ้นเท่ากับ 99.8568 วินาที เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินลดลงเหลือ 4.84 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาในการไถ่ระดับไปถึงค่าสูงสุดของสัญญาณที่ 164 วินาที แสดงให้เห็นถึงผลของการเปลี่ยนสัญญาณ คำสั่งที่มีต่อการควบคุมแบบพี

ผลการทดลองการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีในระบบแบบวงปิด

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวควบคุมแบบพีในระบบควบคุมแบบวงปิด จึงได้ทำการทดลองโดยกำหนดสัญญาณ คำสั่งของอุณหภูมิและสังเกตการตอบสนองของระบบภายใต้สภาวะปกติร่วมกับกรณีที่มีการใส่สัญญาณรบกวนเข้าไปใน กระบวนการควบคุม และมีผลการทดลองดังนี้



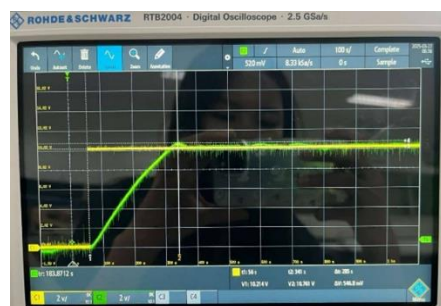
ภาพที่ 10. การควบคุมแบบพีโอ เมื่อ (ก) สัญญาณคำสั่งที่ 5 โวลต์ และ (ข) สัญญาณคำสั่งที่ 5 โวลต์ และมีสัญญาณรบกวน

จากภาพที่ 10 (ก) แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงปิดเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล หรือตัวควบคุมแบบพีโอ กำหนดให้ สัญญาณคำสั่งที่ 5 โวลต์ ซึ่งทำให้อุณหภูมิภายในชุดสาธิตอยู่ที่ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ระบบมีเวลาเพิ่มขึ้น 65.05 วินาที มีเปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินร้อยละ 9.38 ใช้เวลาไปถึงค่าสูงสุด 133 วินาที ภาพที่ 10 (ข) มีการใส่

สัญญาณรบกวน พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 46 องศาเซลเซียส โดยระบบมีเวลาเพิ่มขึ้น 69.38 วินาที เพอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12.08 และใช้เวลาไปถึงค่าสูงสุด 150 วินาที แสดงให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนส่งผลให้ระบบตอบสนองช้าลง และ เกิดการแกว่งมากขึ้น



(ก)



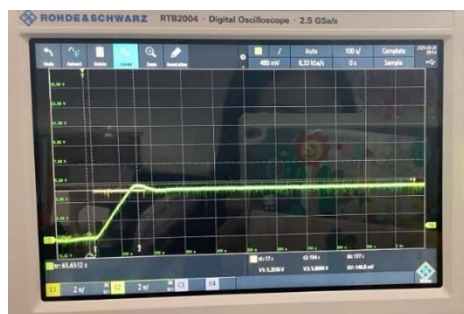
(ข)

ภาพที่ 11. (ก) การควบคุมแบบพีไอ เมื่อสัญญาณคำสั่งที่ 10 โวลต์ (ข) เมื่อสัญญาณคำสั่งที่ 10 โวลต์และมีสัญญาณรบกวน

จากภาพที่ 11 (ก) แสดงผลการตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล เมื่อกำหนดขนาดสัญญาณคำสั่งที่ 10 โวลต์ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในชุดสาริตอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ระบบมีเวลาเพิ่มขึ้น 182.22 วินาที มีเพอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินร้อยละ 4.19 และใช้เวลาไปถึงค่าสูงสุด 288 วินาที ซึ่งมีการใส่สัญญาณรบกวนภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ภาพที่ 11 (ข) พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 60.5 องศาเซลเซียส โดยระบบมีเวลาเพิ่มขึ้น 183.87 วินาที เพอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 5.36 และใช้เวลาไปถึงค่าสูงสุด 285 วินาที แสดงให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนมีผลต่อการตอบสนองของระบบ โดยทำให้ระบบเกิดการแกว่งมากขึ้นแม้จะใช้ตัวควบคุมเดียวกัน

ผลการทดลองการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ในระบบแบบวงปิด

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวควบคุมแบบพีไอดีในระบบควบคุมแบบวงปิด จึงได้ทำการทดลองโดยกำหนดสัญญาณคำสั่งของอุณหภูมิและสังเกตผลการตอบสนองของระบบภายใต้สภาวะปกติร่วมกับกรณีที่มีการใส่สัญญาณรบกวนเข้าไปในกระบวนการควบคุม มีผลการทดลองดังนี้



(ก)

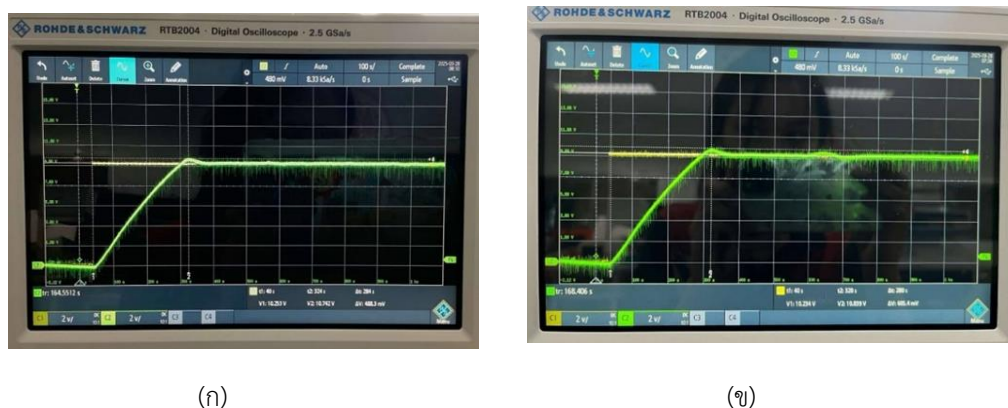


(ข)

ภาพที่ 12. การควบคุมแบบพีไอดี เมื่อ (ก) สัญญาณคำสั่งที่ 5 โวลต์ (ข) สัญญาณคำสั่งที่ 5 โวลต์และมีสัญญาณรบกวน

จากภาพที่ 12 (ก) แสดงผลการตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงปิดเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยกำหนดระดับของสัญญาณคำสั่งที่ 5 โวลต์ ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิภายในชุดสาริตอยู่ที่ 45.5 องศาเซลเซียส พบว่า ระบบมีเวลาเพิ่มขึ้น 65.65 วินาที เพอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินร้อยละ 10.41 ใช้เวลาที่ค่าสูงสุด 137 วินาที ส่วนภาพที่ 12 (ข) ใส่สัญญาณรบกวนภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 46.7 องศาเซลเซียส ระบบมีเวลาเพิ่มขึ้น 71.05 วินาที การกระเพื่อมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ

ละ 13.26 และใช้เวลาไปถึงค่าสูงสุด 139 วินาที แสดงให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนทำให้ระบบตอบสนองช้าลงและเกิดการแกว่งตัวมากขึ้นแม้ค่าของสัญญาณคำสั่งจะไม่เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 13. การควบคุมแบบพีไอดี เมื่อ (ก) สัญญาณคำสั่งที่ 10 โวลต์ (ข) สัญญาณคำสั่งที่ 10 โวลต์ มีสัญญาณรบกวน

จากภาพที่ 13 (ก) แสดงผลการตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงปิดเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยกำหนดค่าสัญญาณคำสั่งที่ 10 โวลต์ ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิภายในชุดสาธิตอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ระบบมีค่าเวลาเพิ่มขึ้น 164.55 วินาที เพอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินเท่ากับ 4.77 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาไปถึงค่าสูงสุด 284 วินาที ส่วนภาพที่ 13 (ข) มีการป้อนสัญญาณรบกวนร่วมด้วย ภายใต้ค่าสัญญาณคำสั่งเท่าเดิม พบว่าอุณหภูมิยังคงอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส โดยระบบมีค่าเวลาเพิ่มขึ้น 168.41 วินาที เพอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินเพิ่มขึ้นเป็น 5.91 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาไปถึงค่าสูงสุด 280 วินาที สะท้อนให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนมีผลกระทบต่อการตอบสนองของระบบแม้จะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งเป็นแบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมก็ตาม

จุดประสงค์ที่ 2 ผลประเมินผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะของผู้เรียน

ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียน ในโครงการชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก ใช้วิธีการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะนี้เป็นแบบรูบิก (Rubric Score) ให้คะแนนที่ระบุคุณภาพคำตอบของแต่ละระดับไว้อย่างชัดเจน เพื่อช่วยให้การตรวจให้คะแนนมีความปรนัย โดยการประเมินครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด 4 หน่วยการเรียนรู้ จำนวน 4 ข้อ คะแนนเต็มรวม 55 คะแนน ใช้เวลาในการทดสอบ 3 ชั่วโมง โดยมีเกณฑ์การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในแต่ละหน่วยจากร้อยละของคะแนนรวมของผู้เรียน พบว่า ผู้เรียนจำนวน 10 คน มีคะแนนผ่านเกณฑ์การประเมินมากกว่าร้อยละ 80 สามารถแปลความได้ว่าผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้จากการเรียนรู้ด้วยชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2

ตารางแสดงผลสรุปคะแนนของผู้เรียน

ลำดับ ที่	ใบงานสำหรับวัดทักษะผู้เรียน				คะแนนรวม (คะแนนเต็ม 55)	คิดเป็นร้อยละ
	1(10)	2(20)	3(5)	4(20)		
1	8	20	4	20	52	94.55
2	7	20	4	18	49	89.09

ลำดับ ที่	ใบงานสำหรับวัดทักษะผู้เรียน				คะแนนรวม (คะแนนเต็ม 55)	คิดเป็นร้อยละ
	1(10)	2(20)	3(5)	4(20)		
3	8	20	4	20	52	94.55
4	8	17	3	19	47	85.45
5	8	18	3	19	48	87.27
6	8	20	4	19	51	92.73
7	8	17	4	20	49	89.09
8	7	18	3	20	48	87.27
9	8	18	4	20	50	90.91
10	7	19	4	18	48	87.27

หมายเหตุ: คะแนนต่ำกว่า ร้อยละ 80 หมายถึง ไม่ผ่านเกณฑ์ประเมิน

จุดประสงค์ที่ 3 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

การประเมินความพึงพอใจครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดสาคิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก ประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 14 ข้อ 5 ระดับ ตามมาตรวัดประเมินค่าของลิเคิร์ท (Likert Rating Scale) โดยให้ระดับคะแนน 1 หมายถึง ผู้เรียนเห็นด้วยน้อยที่สุด ถึง 5 หมายถึง ผู้เรียนเห็นด้วยมากที่สุด ในตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดสาคิตอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.61 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.53

ตารางที่ 3

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดสาคิต

รายการประเมิน	สรุปผล		
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1. การนำเข้าสู่บทเรียนมีความน่าสนใจ	4.80	0.42	มากที่สุด
2. เนื้อหามีความสำคัญน่าสนใจ	5.00	0.00	มากที่สุด
3. เนื้อหามีความถูกต้อง ชัดเจน	4.80	0.42	มากที่สุด
4. มีการลำดับเนื้อหาอย่างต่อเนื่องและเข้าใจง่าย	4.60	0.70	มากที่สุด
5. การใช้ภาษาสื่อความหมายได้ชัดเจน	4.30	0.48	มาก
6. เนื้อหาสามารถประยุกต์ใช้กับวิชาอื่นได้	4.50	0.71	มากที่สุด
7. ความแม่นยำของระบบ	4.40	0.52	มากที่สุด
8. ความสามารถในการปรับค่าพารามิเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.60	0.52	มากที่สุด
9. ความพร้อมของระบบในการใช้งาน	4.80	0.42	มากที่สุด
10. ความเสถียรของระบบ	4.60	0.52	มากที่สุด
11. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบควบคุมมากขึ้น	4.40	0.52	มาก
12. เกิดความกระตือรือร้นและมีความสุขในการเรียน	4.70	0.48	มากที่สุด
13. เกิดความเข้าใจมากขึ้นหลังการใช้เทคโนโลยีความจริงเสริม	4.70	0.48	มากที่สุด

รายการประเมิน	สรุปผล		
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
14. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานได้	4.40	0.70	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.61	0.53	มากที่สุด

หมายเหตุ: คะแนนเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายถึง น้อยที่สุด, 1.50-2.49 หมายถึง น้อย, 2.50-3.49 หมายถึง ปานกลาง, 3.50-4.49 หมายถึง มาก และ 4.50-5.00 หมายถึง มากที่สุด

■ บทสรุปจากการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก โดยมีดำเนินการเก็บข้อมูลจากผู้เรียนระดับปริญญาตรี จำนวน 10 คน ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะเกินร้อยละ 80 และ ความพึงพอใจที่มีต่อชุดสาธิตการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนะล็อก อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.61 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.53) ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การนำชุดสาธิตที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้นนี้เป็นสื่อประกอบการจัดการเรียนรู้จะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และ มองเห็นภาพพฤติกรรมของระบบจากการทดลองจริง รวมถึงการใช้ประโยชน์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบตัวควบคุม ไม่ต้องใช้การคำนวณจากคณิตศาสตร์ขั้นสูงเหมือนในอดีต อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการศึกษาครั้งนี้ คือ ขนาดของกลุ่มเป้าหมายที่มีขนาดเล็กเกินไปอาจส่งผลต่อความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตนอกจากจะเพิ่มจำนวนของกลุ่มเป้าหมายให้มากขึ้นแล้ว สามารถนำชุดสาธิตดังกล่าวไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้เกิดกระบวนการเรียนรู้ในเนื้อหาการควบคุมที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้นได้

■ References

- Assis, W. O., & Coelho, A. D. (2023). Use of Educational Tool for Modeling Temperature Control Systems as a Remote Teaching and Learning Strategy in Engineering. *IAENG International Journal of Applied Mathematics*, 53(2), 1-11.
- He, Y., Wang, H., & Chen, D. (2020, December). The application of fuzzy PID control in the process temperature and humidity control of cigarette factory. In *2020 IEEE 9th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)* (Vol. 9, pp. 1091-1096). IEEE.
- Khairudin, M., Ibrahim, B., Arifin, F., Rohjai, B., Duta, A. P., Nurhidayah, F., & Mahendra, I. G. (2021). Temperature control based on fuzzy logic using atmega 2560 microcontroller. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1737, No. 1, p. 012044). IOP Publishing.
- Teli, S., Kanase, T., Desai, K. R., Ingale, S., Sohani, M., & Babu, W. R. (2024, April). Auto Temperature Control of Furnace using Intelligent Modular Controller. In *2024 International Conference on Expert Clouds and Applications (ICOECA)* (pp. 375-379). IEEE.
- Yegül, U. (2023). Development of an embedded software and control kit to be used in soilless agriculture production systems. *Sensors*, 23(7), 3706.