การสร้างชุดประลองที่ใช้ในการเรียนแบบโครงงานเป็นฐาน เรื่องการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี ผ่านโปรแกรม MATLAB

The Construction of Demonstration Set using Project-based Learning Approch in Topic of Temperature Control with PID Controller via MATLAB

สันติ หุตะมาน พรจิต ประทุมสุวรรณ และวัชรินทร์ โพธิ์เงิน
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
santih@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาคุณภาพชุดประลองการควบคุมอุณหภูมิร่วมกับการสอนโดยใช้โครงงานเป็นฐานสำหรับวิชา การควบคุมระบบ 1 เรื่องการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีผ่านโปรแกรม MATLAB ประชากรที่ใช้ในการหาคุณภาพของชุดประลอง แบ่งเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน และกลุ่มผู้เรียนจำนวน 17 คนที่เป็นนักศึกษาสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ใช้วิธีสอนแบบโครงงานเป็นฐาน ชุดประลองประกอบไปด้วยฮีตเตอร์ที่ประกอบอยู่ในกล่องเหล็ก สแตนเลส ซึ่งเป็นการจำลองของเตาอบ ด้านในมีฮีตเตอร์ ขนาด 1,500 วัตถ์ 220 โวลต์ เป็นตัวแทนของแหล่งกำเนิดความร้อน การควบคุมอุณหภูมิใช้การควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากโซลิดสเตตรีเลย์ ใช้ Pt100 เป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิจากฮีตเตอร์ป้อนกลับไปยังตัวควบคุมเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้ตอบสนองตามคำสั่ง ด้วยตัวควบคุมพีไอดี จากโปรแกรมMATLABที่ต่อร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น STM32-F4-Discovery การปรับแต่งพารามิเตอร์และการต่อเซ็นเซอร์ จะดำเนินการโดยผู้เรียน ซึ่งต้องทำการวัดผลตอบสนองเพื่อนำมาออกแบบและสร้างตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้คำสั่ง sisotool ในโปรแกรมMATLAB ผลการทดลองพบว่า ชุดประลองที่สร้างขึ้นช่วยให้ผู้เรียนมีความสามารถในการวัดผลตอบสนอง ตลอดจนสามารถออกแบบ ตัวควบคุมพีไอดี โดยใช้โปรแกรม MATLABเข้ามาต่อร่วมกับสัญญาณป้อนกลับได้อย่างเหมาะสมและแสดงผลการตอบสนองของระบบ ถูกต้องตามทฤษฎี โดยมีผลประเมินคุณภาพของชุดประลองจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 3.82) และผลประเมินความพึงพอใจจากผู้เรียนต่อชุดประลองอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.28) เช่นกัน

คำสำคัญ: การเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน การควบคุมอุณหภูมิ โปรแกรมMATLAB

Abstract

The objective of research was to construct and validate efficiency of the experiment set via project-based learning, in the topic of temperature control using PID controller via MATLAB program for control system I course.Population were 5 experts and 17 students. The experiment set was constructed for aiding students of mechatronic engineering, department of teacher training in mechanical engineering, faculty of technical education, King Mongut's University of Technology that focuses on project-based learning approach. The experiment set consists of stainless steel cube and heater 1,500 W 220V installed within the cube. The cube was presented as oven chamber and the heater was presented as heat source. The heater was continues dimmed by solid state relay which Pt100 sensor feedback signal to controllervia microcontroller model STM32-F4-Discovery with MATLAB program. The student must design and tuning the system by sisotool command in MATLAB program.The results of developed the response corresponding with theory. The average opinion on the quality of the experiment set of five experts was in good level ($\bar{x}$ = 3.82) and the student's satisfaction was in good level ($\bar{x}$ = 4.28).

Keyword : Project-based Learning Approch, Temperature Control, MATLAB Program

1. บทนำ

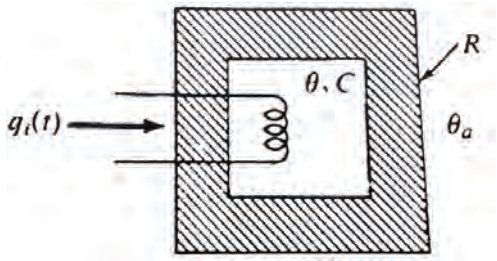
การจัดการสอนที่ใช้โครงงานเป็นฐานในปัจจุบัน ได้มีการนำมาใช้ในงานวิศวกรรมมากขึ้นโดยเฉพาะด้านระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) ซึ่งการสอนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน มีข้อเด่นในด้านช่วยให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการแก้ปัญหา, ทักษะในการสืบค้นข้อมูล, การร่วมมือกันทำงาน ตลอดจนกระตุ้นให้ผู้เรียนอยากที่จะเรียนรู้ [1] ซึ่งสอดคล้องกับการเรียนรู้ในศตวรรษที่21 [2] ทั้งนี้การจัดหลักสูตรให้สอดคล้องกับการสอนที่ใช้โครงงานเป็นฐานจะต้องรวมหลักสูตรให้วิชาทฤษฎีและปฏิบัติเป็นหนึ่งเดียว[3] กล่าวคือในรายวิชาใดๆก็ตามจะต้องมีทั้งทฤษฎีและปฏิบัติหลอมรวมอยู่ในวิชานั้นๆ ขณะเดียวกัน จะต้องจัดสรรให้เวลามากพอในการทำโครงงานด้วย การนำระบบสมองกลฝังตัวมาช่วยในการทำโครงงานนั้นส่งเสริมให้ผู้เรียนประยุกต์ความรู้ด้านซอฟแวร์ร่วมกับฮาร์ดแวร์เพื่อควบคุมระบบเช่นการควบคุมมอเตอร์ซึ่งใช้โปรแกรมแมทแลบร่วมกับทฤษฎีทำการออกแบบระบบ แล้วเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์ [4] ทั้งนี้ผู้เรียนจะต้องร่วมมือการทำโครงงานให้แล้วเสร็จ โดยมีผู้สอนเป็นผู้ช่วยหรืออาจจะเรียนรู้ไปพร้อมๆกับผู้เรียนก็ได้ [5] ซึ่งบางครั้ง อาจอาศัยความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาโครงงานให้สอดรับกับภาคอุตสาหรรม [6] ส่งผลให้การผลิตบัณฑิต ตรงตามความต้องการของอุตสาหรรม

จากข้อเด่นของการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานดังที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาชุดประลองที่ใช้การเรียนแบบโครงงานเป็นฐาน เรื่องการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32-F4-Discovery ผ่านโปรแกรม MATLAB ผู้เรียนจะต้องเขียนโปรแกรมเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จ่ายแรงดัน 0-10 โวลต์ไปยังชุดโซลิดเสตทรีเลย์เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ฮีตเตอร์ โดยมีตัวเซนเซอร์อุณหภูมิเป็น Pt100 ผ่านวงจร Instrument Amplifier เพื่อขยายแรงดันให้เหมาะสม แล้วจึงนำไปป้อนกลับผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วส่งผ่านไปยังโปรแกรม MATLAB ประมวลผลต่อไป ผู้เรียนสามารถดูผลตอบสนองจากโปรแกรม MATLAB ได้ในลักษณะเวลาจริง (Real Time) ทั้งในลักษณะลูปเปิด (Open Loop) และลูปปิด (Close Loop) โดยที่ผู้เรียนนอกจากจะต้องเป็นผู้เขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อเชื่อมโยงระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโปรแกรม MATLAB จะต้องสามารถปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้เหมาะสมกับพลานต์ (Plant) จริงได้ ตามที่ออกแบบโดยการออกแบบจะใช้คำสั่ง sisotool ในโปรแกรม MATLAB เป็นหลัก

ประชากรที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน เพื่อประเมินสำหรับหาคุณภาพของชุดประลอง และนักศึกษาสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ที่เรียนวิชา การควบคุมระบบ 1 ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกลคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2556 โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวน 17 คน เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อชุดประลอง

2. โมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบอุณหภูมิ

2.1 โมเดลทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิมีรายละเอียดคือ [7]



ภาพที่ 1 แบบจำลองของอุณหภูมิในเตาอบ

จากภาพที่ 1 เขียนเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ได้เป็น

$$\dot{\theta} + \frac{1}{RC}\theta = \frac{1}{C}q_i(t) + \frac{1}{RC}\theta_a \qquad (1)$$

โดยที่

θ คืออุณหภูมิในเตาอบ

θ_a คืออุณหภูมิภายนอก

q_i คืออัตราการไหลของความร้อน

R คือความต้านทานทางความร้อน

C คือความจุความร้อน

อุณหภูมิที่จุดทำงาน(อุณหภูมิคงที่) จะกลายเป็น

$$\frac{1}{RC}\bar{\theta} = \frac{1}{C}\bar{q}_i + \frac{1}{RC}\theta_a \qquad (2)$$

โดยที่

$\bar{\theta}$ คืออุณหภูมิในเตาอบที่จุดทำงาน

$\bar{q}_i$ คืออัตราการไหลของความร้อนที่คงที่ ณ จุดทำงาน

ขณะที่ $\hat{\theta}(t) = \theta(t) - \bar{\theta}$ และ $\hat{q}_i(t) = q_i(t) - \bar{q}_i$ (3)

โดยที่

$\hat{\theta}(t)$ คืออุณหภูมิในเตาอบที่เปลี่ยนแปลงไปจากจุดทำงาน

$\hat{q}_i$ คืออัตราการไหลของความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปจากจุดทำงาน

ดังนั้นแทนสมการ(3)ลงใน(1) การเปลี่ยนแปลงความร้อนในเตาอบจะเปลี่ยนเป็น

$$\dot{\hat{\theta}} + \frac{1}{RC}(\hat{\theta} + \bar{\theta}) = \frac{1}{C}[\hat{q}_i(t) + \bar{q}_i] + \frac{1}{RC}\theta_a \qquad (4)$$

จากสมการ(4) เมื่อเทียบกับจุดทำงานโดยนำสมการ(2) ลบออกจากสมการ(4) จะได้

$$\dot{\hat{\theta}} + \frac{1}{RC}\hat{\theta} = \frac{1}{C}\hat{q}_i(t) \qquad (5)$$

แปลงลาปลาซสมการ(5) แล้วเขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้เป็น

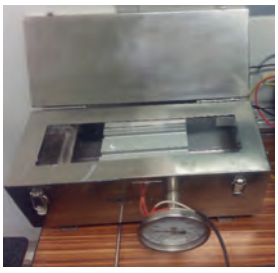
$$\frac{\hat{\Theta}(s)}{\hat{Q}_i(s)} = \frac{\frac{1}{C}}{s + \frac{1}{RC}} \qquad (6)$$

3 วิธีดำเนินการวิจัย

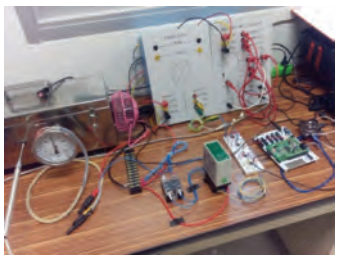
ในการวิจัยเริ่มต้นจากการออกแบบสร้างชุดประลอง และเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เหมาะสมกับการเชื่อมโยง (Interface) กับโปรแกรม MATLAB แล้วทำการทดสอบการควบคุมระบบ จนได้ผลถูกต้องตามทฤษฎี จากนั้นจึงให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินหาคุณภาพของชุดประลองแล้วจึงนำไปใช้กับผู้เรียน ที่เรียนในรายวิชาการควบคุมระบบ1โดยใช้รูปแบบการเรียนโครงงานเป็นฐาน ซึ่งผู้เรียนจะต้องค้นคว้าหาข้อมูลและวัดผลตอบสนองเพื่อหาทางควบคุมอุณหภูมิของชุดประลองให้ได้ตามคำสั่ง(Command) แล้วจึงนำผลตอบสนองที่ได้ไปหาฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) และป้อนฟังก์ชันถ่ายโอนบนโปรแกรมแมทแลบ บนคำสั่ง sisotool ผู้เรียนจะสามารถเลือกออกแบบชนิดของตัวควบคุม ตลอดจนวิธีการออกแบบตัวควบคุม เช่น Ziegler-Nichols , CHR ฯลฯ เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรมแมทแลบแล้ว จึงนำพารามิเตอร์ดังกล่าวป้อนให้แก่โปรแกรม MATLAB Simulink ที่เชื่อมโยงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็สามารถควบคุมระบบได้ หลังจากที่ทำโครงงานเสร็จ จึงให้ประเมินความพึงพอใจในการใช้ชุดประลอง ซึ่งรายละเอียดของชุดประลองมีดังนี้

3.1 ส่วนฮาร์ดแวร์

ประกอบไปด้วยกล่องเหล็กสแตนเลสที่ภายในบรรจุฮีตเตอร์ขนาด 1,500 วัตถ์ 220โวลต์ เป็นตัวแทนของแหล่งกำเนิดความร้อน ตรงกลางของกล่องเจาะช่องเพื่อให้อากาศระบายความร้อนออกได้ ด้านหน้าจะมีช่องสำหรับใส่ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ชนิด Pt100 และหน้าปัทม์ชนิดเข็มแสดงอุณหภูมิในห้อง Chamber แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของพลานต์



ภาพที่ 3 ภาพรวมในส่วนของฮาร์ดแวร์

ชุดแปรค่าอุณหภูมิ ใช้ โซลิดสเตตรีเลย์ ปรับค่าพลังงานความร้อนของฮีตเตอร์ จากการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ตามสัญญาณที่ได้รับจากตัวควบคุม (Controller) โดยสัญญาณที่จะนำมาควบคุมนี้ เป็นระดับแรงดัน 0-10 โวลต์ (ไฟฟ้ากระแสตรง) จึงต้องใช้ โซลิตเสตตรีเลย์ ที่อินพุตรับสัญญาณอินพุต 0-10 โวลต์ (ไฟฟ้ากระแสตรง) ด้วยการรับสัญญาณป้อนกลับ จะใช้เซ็นเซอร์ที่ทำขึ้นจาก Pt100 ติดตั้งในช่อง Chamber เพื่อตรวจรู้อุณหภูมิ ผู้เรียนจะต้องต่อสายจาก Pt100 มายังกล่อง Instrument Amplifier ที่ผู้วิจัยเตรียมไว้ให้ ทั้งนี้ผู้เรียนต้องออกแบบและสร้าง วงจรปรับระดับสัญญาณ (Signal Conditioning) เพื่อปรับระดับสัญญาณให้เหมาะสมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (3.3 โวลต์)

3.2 ส่วนซอฟแวร์จะใช้โปรแกรม MATLAB Simulink

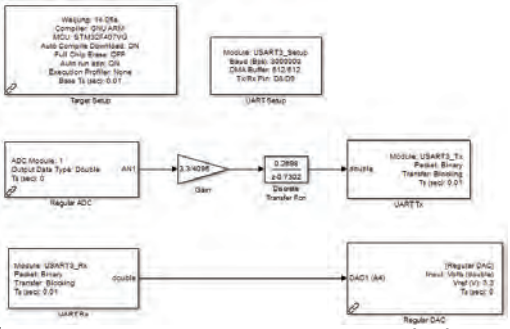
เป็นส่วนที่เชื่อมโยงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น STM32-F4-Discovery การปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจะกระทำบนตัวโปรแกรม MATLAB จากนั้นโปรแกรมจะส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการโปรแกรมการติดต่อระหว่าง

โปรแกรม MATLAB และไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะต้องให้มีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือฝั่งโปรแกรม MATLAB บนคอมพิวเตอร์พีซี(หรือโน๊ตบุ๊ค) หรือที่เรียกว่า Host จะมีการโปรแกรมแสดงดังภาพที่4 ขณะที่ฝั่งไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่า Target จะมีการโปรแกรมแสดงดังภาพที่5ซึ่งการเชื่อมโยงระหว่างคอมพิวเตอร์พีซีกับไมโคร คอนโทรลเลอร์จะต้องปรับตั้งค่าให้มีความสัมพันธ์กัน เมื่อปรับค่าให้ทั้ง Host และ Target ติดต่อกันได้แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งสัญญาณแรงดันไฟตรง 0-3.3 โวลต์ไปยังชุดปรับระดับสัญญาณเพื่อปรับระดับแรงดันไฟตรงให้เหมาะสมกับโซลิตเสตทรีเลย์(0-10 โวลต์) และโซลิตเสตทรีเลย์ก็จะปรับขนาดของแรงดันไฟสลับ 0-220 โวลต์ตามสัญญาณอินพุตแล้วส่งไปยังฮีตเตอร์ ให้มีอุณหภูมิมากน้อยตามขนาดของสัญญาณอินพุตจากโซลิตเสตทรีเลย์ต่อไป

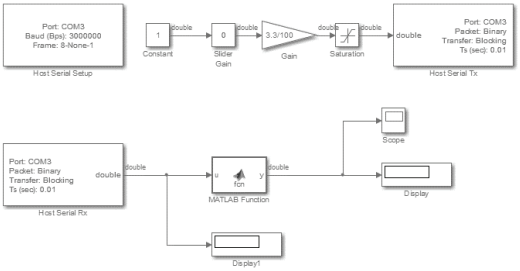
ขณะเดียวกัน อุณหภูมิภายในห้อง Chember ก็จะถูกส่งผ่านเซ็นเซอร์ (Pt100) กลับเข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งเข้าไปยังโปรแกรม MATLAB อีกทอดหนึ่ง เป็นลักษณะของลูปปิดและการควบคุมจะเป็นเวลาจริง(Real Time)

3.5 การหาคุณภาพของชุดประลอง

ดำเนินการโดยเชิญผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์สอนในรายวิชาการควบคุมระบบหรือวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 5 ท่าน กรอกแบบประเมินคุณภาพของชุดประลอง



ภาพที่4 แผนภาพบล็อกในส่วนของการโปรแกรมเพื่อเชื่อมโยงบนคอมพิวเตอร์พีซี



ภาพที่5 แผนภาพบล็อกของการโปรแกรมเพื่อเชื่อมโยง บนไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6 การหาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดประลอง

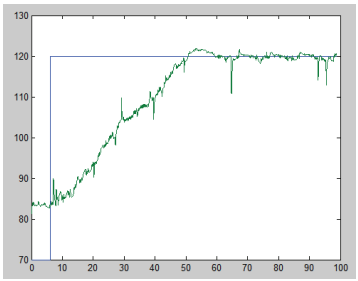
ดำเนินการโดยใช้ผู้เรียนที่เป็นผู้ทำโครงงานในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุม1 (Control System I) และผ่านการเรียนการสอนโดยใช้โครงงานเป็นฐานมาแล้วจำนวน17 คน กรอกแบบสอบถามความพึงพอใจ ที่มีหัวข้อเกี่ยวกับด้านการใช้งานอาทิเช่น ชุดประลองสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทำโครงงาน, ชุดประลองช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และมีทักษะการแก้ปัญหาจากสภาพจริง และ ชุดประลองเป็นการบูรณาการรายวิชามากกว่า 2 วิชาเข้าด้วยกัน เป็นต้น

4. สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

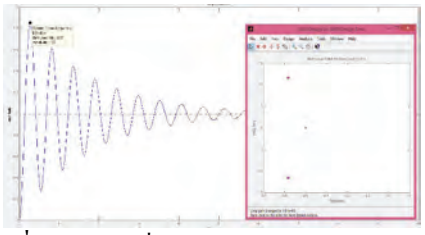
4.1 ผลตอบสนองจากการควบคุมอุณหภูมิจากชุดประลองที่สร้างขึ้น

มีผลตอบสนองที่เป็นทั้ง ลูปเปิดและลูปปิด ควบคุมโดยใช้โปรแกรมแมทแลบร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32-F-Discoveryซึ่งสามารถพล๊อตผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้น (Step Response) จากโปรแกรม MATLAB ได้และจากผลตอบสนองที่เกิดขึ้น พบว่าใกล้เคียงกับทฤษฎีของการควบคุมอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 6

ขณะที่การออกแบบตัวควบคุม จะใช้คำสั่ง sisotool ในโปรแกรมแมทแลบแต่ผู้เรียนจะต้องทราบพฤติกรรมของระบบเสียก่อนแล้วจึงนำพฤติกรรมนั้นไปแปลงให้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน(Transfer Function) ของระบบแล้วอิมพอร์ต (Import) เข้าสู่โหมดการออกแบบจากคำสั่ง sisotool ผู้เรียนก็จะสามารถออกแบบตัวควบคุมได้ ดังภาพที่ 7 และทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อนำมาปรับตัวควบคุม (Controller) ได้อย่างเหมาะสมต่อไป



ภาพที่6 ผลตอบสนองของระบบการควบคุมอุณหภูมิที่เชื่อมโยงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโปรแกรมแมทแลบ



ภาพที่ 7 การใช้คำสั่ง sisotool ในโปรแกรมแมทแลบ

สำหรับการใช้ชุดประลองควบคู่กับการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน ผู้เรียนจะต้องมีพื้นความรู้ด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และ การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 มาแล้ว นั่นคือในการออกแบบหลักสูตรจะต้องคำนึงถึงรายวิชาก่อนหน้า จะต้องผ่านรายวิชาที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์มาแล้ว จึงจะช่วยให้ผู้เรียนบูรณาการความรู้ที่เคยเรียนเป็นพื้นฐานเดิม ประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในรายวิชาการควบคุมระบบ1 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2 ผลการประเมินของชุดประลอง

การประเมินของชุดประลอง จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินเพื่อหาคุณภาพ และ ส่วนที่ให้ผู้เรียนประเมินความพึงพอใจ มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ผลประเมินคุณภาพของชุดประลองจากผู้เชี่ยวชาญ

โดยให้ผู้เชี่ยวชาญกรอกแบบประเมินคุณภาพของชุดประลองของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน มีผลประเมินเฉลี่ยอยู่ในระดับดี (เกณฑ์ 3.51 ถึง 4.50) ที่ระดับ $\bar{x}$ = 3.82 ดังตารางที่1

4.2.2 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

จากการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 17 คนมีผลประเมินอยู่ในระดับดี (เกณฑ์ 3.51 ถึง 4.50)ที่ระดับ $\bar{x}$ = 4.28 ดังตารางที่2

ตารางที่1 ผลการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ

ข้อคำถาม	$\bar{X}$	S.D.
สามารถแสดงผลได้ชัดเจน	4.4	0.49
วัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้สร้างหาซื้อได้ง่าย	3.80	0.75
สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก	4.00	0.89
รูปแบบ ขนาด น้ำหนัก เหมาะกับการประลอง	3.40	0.49
สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการเรียน	4.60	0.49
มีความสะดวกในการใช้งาน	3.20	0.40
เหมาะสมกับการเรียนรู้เป็นกลุ่ม	3.80	0.75
แสดงการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง	4.40	0.49
ปลอดภัยในการใช้งาน	2.80	0.40
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	**3.82**	**0.57**

ตารางที่2 ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เรียน

ข้อคำถาม	$\bar{X}$	S.D.
สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทำโครงงาน	4.41	0.49
เหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	4.24	0.55
ส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างการเรียนรู้ด้วยตนเอง	4.59	0.49
ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาจากสภาพจริง	4.59	0.49
เหมาะสมกับผู้เรียนเป็นกลุ่ม(3คน)	3.76	1.06
ส่งเสริมผู้เรียนเข้าใจเนื้อหามากขึ้น	4.29	0.67
มีความน่าสนใจและท้าทายในการใช้งาน	4.41	0.60
ส่งเสริมให้ผู้เรียนอาศัยข้อผิดพลาดมาเป็นบทเรียนในการเรียนรู้	4.29	0.67
มีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัย	3.82	0.98
ส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ	4.88	0.32
ดูแลรักษาง่าย	3.65	0.84
ช่วยลดเวลาในการสื่อความหมายกับผู้สอน	4.35	0.48
มีอะไหล่และหาซื้อง่าย	3.59	0.49
เป็นการบูรณาการรายวิชามากกว่า 2 เข้าด้วยกัน	4.59	0.49
ผู้เรียนมั่นใจว่าสามารถออกแบบควบคุมได้	4.29	0.46
เหมาะสมกับการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน	4.71	0.57
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	**4.28**	**0.60**

4.3 อภิปรายผล

การพัฒนาชุดประลองการควบคุมอุณหภูมิเพื่อใช้ในการเรียนแบบโครงงานเป็นฐาน จากการทดสอบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมและการปรับแต่งสัญญาณ (Signal Conditioning) พบว่าสามารถควบคุมระบบได้ถูกต้อง ตรงตามทฤษฎี ซึ่งการใช้ชุดประลองควบคู่กับรูปแบบการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน ช่วยเพิ่มทักษะในด้านต่างๆให้แก่ผู้เรียนอาทิ เช่น ทักษะปฏิบัติ ทักษะการค้นหาข้อมูล ทักษะการเรียนรู้

ร่วมกัน ทักษะการแก้ปัญหา เป็นต้น ซึ่งมีความจำเป็นในการทำงานหลังจากผู้เรียนจบการศึกษาไปแล้ว นอกจากนี้ยังช่วยพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Creative Thinking) ซึ่งเป็นการคิดขั้นสูง ให้แก่ผู้เรียนอีกด้วย

จากผลการประเมินคุณภาพของชุดประลอง พบว่าผู้เชี่ยวชาญเห็นด้วยในระดับมาก เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 3.82จากมาตราจัดลำดับ (Rating Scale) 5 ลำดับของ Likert ที่จะนำไปใช้ประกอบการสอน แสดงให้เห็นว่าชุดประลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในระดับหนึ่ง ที่พอจะนำไปใช้ประกอบการสอนได้และจากผลการประเมินความพึงพอใจโดยให้ผู้เรียนที่ใช้รูปแบบการสอนโครงงานเป็นฐานได้ทดลองใช้และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อชุดประลอง ผลการประเมินโดยผู้เรียนพบว่า มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อชุดประลองในระดับมาก เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.28 จากมาตราจัดลำดับ (Rating Scale) 5 ลำดับของ Likert ซึ่งหากพิจารณาในรายข้อที่ผู้เรียนทดลองใช้ชุดประลองประเมิน ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด (มากกว่า 4.50 ขึ้นไป) พบว่ามี 5 หัวข้อจาก 16 หัวข้อ ได้แก่ ชุดประลองช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติและทดลอง, ชุดประลองเหมาะสมกับการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน, ชุดประลองเป็นการบูรณาการรายวิชามากกว่า 2 วิชาเข้าด้วยกัน, ชุดประลองส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองและชุดประลองช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และมีทักษะจากการแก้ปัญหาจริง ตามลำดับ ขณะที่มีผลการประเมินมีค่าต่ำสุดอยู่ในระดับพึงพอใจมาก (เกณฑ์ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.51 – 4.50) คือหัวข้ออุปกรณ์ของชุดประลองมีอะไหล่หาซื้อยาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.59 ซึ่งอาจเป็นเพราะผู้เรียนไม่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมากนักจึงอาจจะยังไม่ทราบร้านค้าที่จำหน่ายอุปกรณ์ดังกล่าว

4.4 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อพัฒนาชุดประลอง การควบคุมอุณหภูมิเพื่อใช้ในการเรียนแบบโครงงานเป็นฐานนี้ เป็นการพัฒนาชุดประลองเพื่อให้ผู้เรียนสามารถใช้โปรแกรม MATLAB ต่อเข้ากับพลานต์โดยมีการเชื่อมโยงระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์พีซีหรือโน๊ตบุ๊คได้ ซึ่งในอดีตการเชื่อมโยงด้วยโปรแกรม MATLAB กับพลานต์ ผู้ใช้ เสียค่าใช่จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ในการเชื่อมโยงในราคาสูงมาก ทำให้จำกัดโอกาสทางการศึกษาแก่สถานศึกษาที่มีงบประมาณจำกัด แต่งานวิจัยชิ้นนี้ ช่วยลดอุปสรรคดังกล่าวลงได้เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีราคาในหลักพันบาท ทั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อสถาบันการศึกษาที่เปิดสอนในระดับปริญญาตรีโดยเฉพาะสายเทคโนโลยีปฏิบัติการ หรือวิศวกรรมปฏิบัติการ เพราะไม่ต้องใช้การคำนวณมากนัก แต่สามารถออกแบบวงจรตัวควบคุมและปรับแต่งจากพลานต์ที่สอดคล้องกับงานอุตสาหกรรมได้จริง ซึ่งในอนาคตหากเปลี่ยนจากโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมอื่น เช่น SciLab เป็นต้น ก็จะช่วยให้ลดต้นทุนในการจัดทำชุดประลองได้อีกเพราะไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ซอฟแวร์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. ประจำปี 2557 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Gao-Wei Chang et al. “A Progressive Design Approch to Enhance Project-Based Learning in Applied Electronics Through an Optoelectronic Sensing Project” IEEE Transactions on Education,Vol.51,No.2,May2008.
[2] Nasser Hosseinzadeh et al. “A Curriculum for Electrical Power Engineering based on Project Based Learning Philosophy” IEEE International Conference on Industrial Technology, 2009. ICIT 2009, 10-13 Feb 2009.
[3] Stephanie Bell. “Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future” The Clearing House: A Journal of Educational Strategies,Vol.83, Issue2, 2010.
[4] Gourab Sen Gupta et al. “A Project-Based Approch to Teach Mixed-Signal Embedded Microcontroller for DC Motor Control” Proceedings of the Third IEEE International Workshop on Electronic Design, DELTA’06, 2005.
[5] Gregorio Romero et al. “A new approch for integrating teams in multidisciplinary project based learning” Procedia Social and Behavioral Sciences 2, Elsevier Ltd.,2010.
[6] Chyi-Shyong Lee et al. “A Project-based Laboratory for Learning Embedded System Designs with Support from the Industry”38th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 22-25 October, Saratoga Springs, NY, 2008.
[7] Charles M. Close et al. “Modelling and Analysis of Dymic System” 3rdEdition,John Wiley&Sons, Inc. 2002.