การพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมแขนกล 1 องศาอิสระ ด้วยวิธี Model-based Portion โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับโปรแกรมแมทแลบ

The Development of Demonstration of Arm Robot 1 DOF Via Model-Based Portion Approach Using Microcontroller with MATLAB

สันติ หุตะมาน วัชรินทร์ โพธิ์เงิน พรจิต ประทุมสุวรรณ สมนึก ฮวบเอี่ยม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
santi.h@fte.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมแขนกล 1 องศาอิสระโดยใช้การควบคุมแบบ Model-based Portion สำหรับวิชา หุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น STM32-F4-Discovery ร่วมกับโปรแกรมแมทแลบ ผู้เรียนเป็นนักศึกษาสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยใช้ชุดสาธิตร่วมกับการสอน ซึ่งชุดสาธิตประกอบไปด้วยแขนกล 1 องศาอิสระที่ทำขึ้นจากวัสดุ Composite ตรงส่วนปลายเจาะรูสำหรับใส่ตุ้มถ่วงน้ำหนักขนาด 100,250 และ 500 กรัม ซึ่งเป็นการจำลองมวลที่มีการเปลี่ยนแปลงและปลายอีกด้านหนึ่งของแขนกล ต่อร่วมกับเพลา โดยมีต้นกำลังในการขับเคลื่อนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ 60 วัตถ์ ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรมแมทแลบซิมมูลิ้งค์ โดยวิธีการควบคุมแบบ Model-based Portion ส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านชุดขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และรับสัญญาณป้อนกลับจากเอ็นโคดเดอร์แบบ Incremental

ผลการทดลองพบว่า ชุดสาธิตที่สร้างขึ้นช่วยให้ผู้เรียนมีความสามารถในการวัดผลตอบสนอง ตลอดจนสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ Kp และ Kd จากโปรแกรมแมทแลบให้มีผลการตอบสนองของระบบสอดคล้องกับทฤษฎี การประเมินความเหมาะสมของชุดสาธิตโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.32) และผลประเมินความพึงพอใจจากผู้เรียนต่อชุดสาธิต อยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.23) เช่นกัน

คำสำคัญ: ชุดสาธิต การควบคุมแบบ model-based portion โปรแกรมแมทแลบ

Abstract

This research was the development of the demonstration set arm robot 1 degree of freedom (1 DOF). The portion control used a model-based approach for industrial robotics course using a micro controller STM-32-F4 discovery model via MATLAB program. The samples were students who are studying in the Bachelor of Engineering Program in Mechatronics Engineering, The Department of Teacher Training in Mechanical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. The demonstration set was employed with the teaching. It consisted of 1 DOF robotic arm which made of composite materials. The end of the drill holes weighed 100, 250 and 500 grams. It was simulated of the change of mass, and the other end of the robot arm connected with the

DC motor for driving the arm robot. The capacity of DC motor was 24 volt DC voltage and 250 watt power. The moving position was controlled via MATLAB Simulink program by using the portion control with the model-based approach, and sent signal to microcontroller and DC motor driver. The feedback signal was received from incremental encoder.

The findings found that the demonstration set helped students develop the responding ability measurement including the tuning up Kp and Kd parameter on MATLAB program. The results of the response related to the theory. The suitableness assessment of the demonstration set from five experts was at a high level ($\bar{x}$ = 4 . 3 2)and the student's satisfaction was at a high level ($\bar{x}$ = 4.23).

Keyword : demonstration set, model-based portion control, MATLAB Program

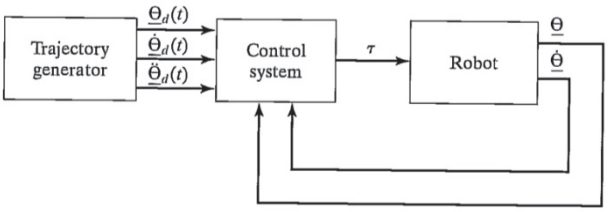
1. บทนำ

วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิชาพื้นฐานในสามด้าน ได้แก่ งานด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ งานทางกลและงานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ [1] การจัดการเรียนการสอนที่ใช้ ทฤษฎีควบคู่กับการปฏิบัติจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาอย่างถ่องแท้และสอดคล้องกับงานด้านอุตสาหกรรมจริง ขณะเดียวกันหากมีการบูรณาการประยุกต์ใช้ศาสตร์หลายๆ ด้านเข้าด้วยกัน ในการเรียนการสอนก็จะเป็นประโยชน์มากขึ้น ตัวอย่างที่ชัดเจนที่สุดคือรายวิชาหุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยลักษณะของเนื้อหาวิชา เป็นวิชาที่ผู้เรียนจะต้องประยุกต์ใช้วิชาด้านเครื่องกล อิเล็กทรอนิกส์ และการโปรแกรม เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายที่ต้องการ ผู้เรียนจะต้องเรียนรู้รายวิชาทั้งสามด้านดังที่กล่าวมาและบูรณาการความรู้ในการออกแบบและทดสอบระบบให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปสู่เป้าหมายได้อย่างแม่นยำ [2] แต่ทั้งนี้ในแง่ของการเรียนการสอนที่จะต้องบูรณาการศาสตร์หลายด้านเข้าด้วยกันนั้น ผู้สอนจะต้องมีการเรียงลำดับความยากง่ายของเนื้อหาตลอดจน ต้องให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการทดลองปฏิบัติการกับชุดทดลองจริง จึงจะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น และหากผู้เรียนสามารถหลอมรวมความรู้เพื่อต่อยอดเป็นนวัตกรรมและขยายเป็นงานวิจัยได้ก็จะเป็นผลดีต่อทั้งตัวผู้เรียนเอง และประเทศชาติ ดังตัวอย่างของการจัดทำยุทธศาสตร์การพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มประเทศยุโรป [3] ที่เน้นการพัฒนาความรู้ให้เป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ มีความคิดสร้างสรรค์ แต่ทั้งนี้ในทางปฏิบัติ หากชุดประลอง มีราคาสูงจนเกินไป ไม่สามารถจัดหาไว้ใช้ในการเรียนการสอนได้ ก็จะเป็นอุปสรรคที่ทำให้ผู้เรียนไม่สามารถประยุกต์ใช้ความรู้เข้ากับงานที่มีความสลับซับซ้อนได้ ดังนั้นการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้กับงานด้านการควบคุม จะช่วยลดอุปสรรคดังกล่าวได้เป็นอย่างดี [4] เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์มีต้นทุนที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับคอมพิวเตอร์ และยังช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะหลายๆ ด้าน เช่น ทักษะการเขียนโปรแกรม ทักษะการเชื่อมต่อ (Interface) เข้ากับระบบ รวมถึงวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อการควบคุมระบบให้มีผลตอบสนองที่ดีขึ้นสอดคล้องกับทฤษฎี หรือหากเป็นการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้กับงานด้านการควบคุมหุ่นยนต์อัตโนมัติ ก็จะเป็นการบูรณาการความรู้ด้าน ระบบสมองกลฝังตัว การขับเคลื่อนมอเตอร์ เซ็นเซอร์ ตลอดจน การเขียนแบบและอ่านแบบ [5] ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ด้านต่างๆ มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาให้สำเร็จได้ตามต้องการ จากข้อดีดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบชุดสาธิตการควบคุมแขนกล 1 องศาอิสระโดยใช้การควบคุมแบบ Model-based Portion ซึ่งเป็นการบูรณาการวิชาทางด้านเครื่องกล ไมโครคอนโทรลเลอร์ การเขียนโปรแกรมแมทแลบ ซึ่งการควบคุมแขนกล 1 องศาอิสระนี้ หากผู้เรียนสามารถเข้าใจสมการที่ใช้ในการควบคุมและหลักการปรับตั้งตัวควบคุมได้อย่างถ่องแท้แล้ว จะนำไปสู่การเรียนรู้ขั้นสูงที่เป็นแขนกลหลายองศาอิสระได้เป็นอย่างดี

ประชากรที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน เพื่อประเมินสำหรับหาความเหมาะสมของชุดสาธิต และนักศึกษาสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ที่ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2558 ที่เรียนวิชาหุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวน 12 คน เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อชุดสาธิต

2. คณิตศาสตร์ของการควบคุมแขนกล

2.1 โมเดลทางคณิตศาสตร์ของแขนกล 1 องศาอิสระมีรายละเอียดดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพบล็อกการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

จากภาพที่ 1 สมการการเคลื่อนที่ของ Lagrangian คือ [6]

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta,\dot{\theta}) + F(\dot{\theta}) + G(\theta) + \tau_d \qquad (1)$$

โดยที่ τ คือ แรงบิดที่จ่ายให้กับตัวหุ่นยนต์ในแต่ละข้อต่อ

M คือ เมตริกซ์ $n \times n$ ของมวลในแต่ละข้อต่อ

V คือ เวคเตอร์ที่สร้างแรงบิดต้านกลับ

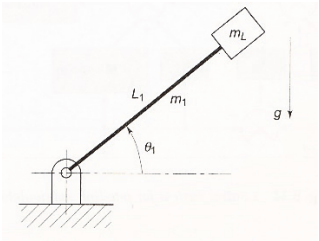
F คือ แรงเสียดทานในแต่ละข้อต่อ

G คือ แรงบิดที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก

τ_d คือ สิ่งรบกวนจากภายนอก (Disturbances)

θ คือ ตำแหน่งในการเคลื่อนที่

หากแขนกลเป็นชนิด 1 องศาอิสระดังภาพที่ 2 และไม่คิดผลจากสิ่งรบกวนภายนอก จากสมการ (1) จะเขียนใหม่ได้เป็น [7]



ภาพที่ 2 แผนภาพลักษณะของแขนกล 1 องศาอิสระ

$$\tau_1 = \left(\frac{m_1}{3} + m_L\right)L_1^2\ddot{\theta}_1 + \left(\frac{m_1}{3} + m_L\right)gL_1C_1 + B_1\dot{\theta}_1 \qquad (2)$$

โดยที่ m_1 คือ มวลของแขนกล

m_L คือ มวลของโหลด

L_1 คือ ความยาวของแขนกล

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก

C_1 คือ $\cos(\theta_1)$

B_1 คือ สัมประสิทธิ์การหน่วง

กำหนด Control Law จากสมการความผิดพลาดของระบบเป็น

$$I \cdot \ddot{e} + K_d\dot{e} + K_p e = 0 \qquad (3)$$

โดยที่ $I = \left(\frac{m_1}{3} + m_L\right)L_1^2$

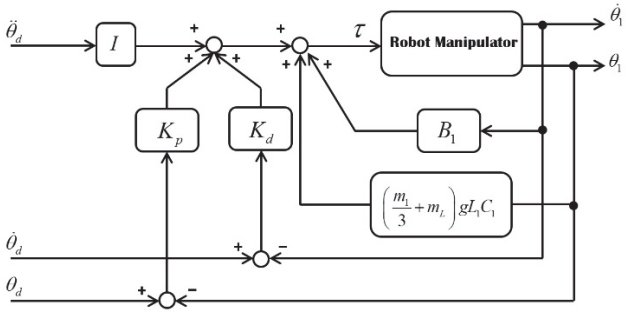
แทนค่า $e = \theta_d - \theta_1$ ลงในสมการ (3) จะได้สมการใหม่เป็น

$$I\ddot{\theta}_d + K_d(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_1) + K_p(\theta_d - \theta_1) = I\ddot{\theta}_1 \qquad (4)$$

นำสมการ (4) แทนค่าลงในสมการ (2) ดังนั้นจะได้สมการแรงบิดที่จ่ายให้กับชุดมอเตอร์เป็น

$$\tau = I\ddot{\theta}_d + K_d(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_1) + K_p(\theta_d - \theta_1) + B_1\dot{\theta}_1 + \left(\frac{m_1}{3} + m_L\right)gL_1C_1 \qquad (5)$$

จากสมการ (6) นำมาเขียนเป็นแผนภาพบล็อกได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภาพการควบคุมด้วย Model-based Portion

จากภาพที่ 3 เขียนเป็นแผนภาพที่แยกการควบคุมเป็นสองส่วนคือ ส่วนของ Servo Portion เป็นส่วนที่ใช้ขับเคลื่อนระบบ และ Model-based Portion ที่ใช้โมเดลจากสมการ (5) เป็นตัวอ้างอิง

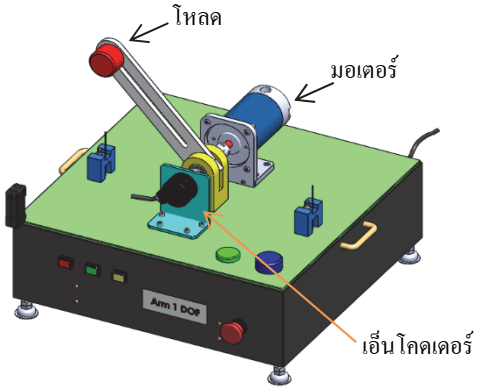
3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเริ่มต้นจากการออกแบบสร้างชุดสาธิต และเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อ (Interface) กับโปรแกรมแมทแลบ แล้วทำการทดสอบการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลโดยใช้ภาพที่ 2 เป็นโมเดลต้นแบบ และมีสมการ (5) เป็นสมการที่ใช้ในการเขียนลงบนโปรแกรมแมทแลบซิมมูลิ้งค์ เปรียบเทียบผลตอบสนองที่ได้จากการจำลองการทำงานบนโปรแกรม กับผลตอบสนองที่ได้จากชุดสาธิต จนได้ผลตอบสนองที่สอดคล้องกัน จากนั้นจึงให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินหาคุณภาพของชุดสาธิตแล้วจึงนำไปใช้กับผู้เรียนที่เรียนในรายวิชาหุ่นยนต์อุตสาหกรรมโดยใช้รูปแบบการเรียนปกติควบคู่กับการใช้ชุดสาธิต ซึ่งผู้เรียนจะต้องค้นคว้าหาข้อมูลและจำลองการทำงานของสมการ (5) ด้วยโปรแกรมแมทแลบซิมมูลิ้งค์ ทำการทดลองปรับตั้งจนได้ผลสอดคล้องกับทฤษฎีจากนั้นจึงให้ผู้เรียนทำการทดสอบและวัดหา

ค่าพารามิเตอร์จากชุดสาธิตเมื่อทราบค่าพารามิเตอร์แล้ว จึงนำพารามิเตอร์ดังกล่าวป้อนให้แก่โปรแกรมแมทแลบซิมมูลิ้งค์ที่เชื่อมโยงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และให้ผู้เรียนทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม K_p, K_d ก็สามารถควบคุมตำแหน่งของแขนกลได้ตามสัญญาณคำสั่ง จากนั้นจึงให้ผู้เรียนประเมินความพึงพอใจในการใช้ชุดสาธิต ซึ่งรายละเอียดของชุดสาธิตมีดังนี้

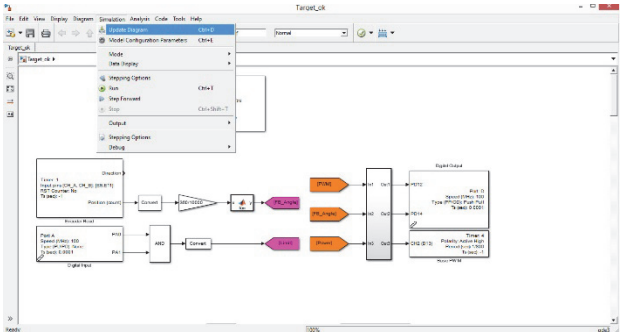
3.1 ส่วนฮาร์ดแวร์ ประกอบไปด้วยแขนกลที่ทำขึ้นจากวัสดุ Composite จำพวก Polyacetal เนื่องจากมีความแข็งและทนอุณหภูมิได้สูง ที่ปลายด้านหนึ่งของแขนกล ติดยึดตุ้มน้ำหนักที่มีขนาด 100, 250 และ 500 กรัม เพื่อทำการทดสอบกรณีที่ค่ามวล m_L มีการเปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลต่อระบบอย่างไรบ้าง และที่ปลายอีกข้างหนึ่ง ต่อเข้ากับเพลาของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดแม่เหล็กถาวร ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ 60 วัตถ์ เป็นตัวต้นกำลัง ใช้เอ็นโคดเดอร์แบบ Incremental เป็นตัวเซนเซอร์ตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของแขนกล เข้าสู่โปรแกรมแมทแลบซิมมูลิ้งค์โดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32-F4-Discovery จากนั้นเมื่อนำไปประมวลผลเสร็จก็จะส่งสัญญาณจากโปรแกรมแมทแลบผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดขับเคลื่อนให้มอเตอร์เคลื่อนที่ตามสัญญาณคำสั่งต่อไป ลักษณะของชุดสาธิตแสดงดังภาพที่ 4 และการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังภาพที่ 5

3.2 ส่วนซอฟแวร์จะใช้โปรแกรมแมทแลบซิมมูลิ้งค์เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น STM32-F4-Discovery แสดงดังภาพที่ 5 การปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจะกระทำบนตัวโปรแกรมแมทแลบ จากนั้นโปรแกรมจะส่งข้อมูลผ่านสาย ยูเอสบีไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการโปรแกรมการติดต่อระหว่างโปรแกรมแมทแลบและไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะต้องส่งข้อมูลเข้าหากันระหว่างฝั่งโปรแกรมแมทแลบบนคอมพิวเตอร์ หรือที่เรียกว่า Host เชื่อมโยงเข้ากับฝั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือที่เรียกว่า Target และจะมีการสื่อสารข้อมูลตลอดจนกว่าผู้ใช้จะสิ้นสุดการทำงาน ลักษณะของการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องปรับตั้งค่าให้มีความสัมพันธ์กัน เมื่อปรับค่าให้ทั้ง Host และ Target ติดต่อกันได้แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งสัญญาณแรงดันไฟตรง 0-3.3 โวลต์ไปยังชุดปรับระดับสัญญาณเพื่อปรับระดับแรงดันไฟตรงให้เหมาะสมกับชุดขับมอเตอร์และชุดขับมอเตอร์ก็จะปรับระดับแรงดันด้วยสัญญาณ พีดับบลิวเอ็มให้แขนกลเคลื่อนที่ตามสัญญาณคำสั่งต่อไป



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบภายนอกของชุดสาธิต

ภาพที่ 5 การเชื่อมต่อชุดขับมอเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 6 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์

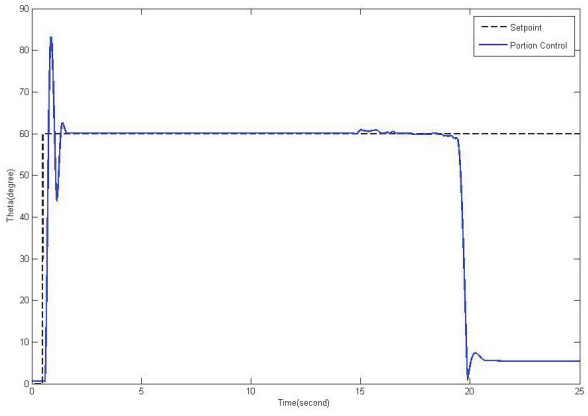
3.3 การประเมินความเหมาะสมของชุดสาธิต ดำเนินการโดยเชิญผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์สอนในรายวิชาหุ่นยนต์อุตสาหกรรม หรือการควบคุมระบบ จำนวน 5 ท่านกรอกแบบประเมินคุณภาพของชุดสาธิต หัวข้อจากแบบประเมินคุณภาพ

แบ่งออกเป็น 2 ด้านคือ ด้านการใช้งาน และ ด้านความเหมาะสมในการนำไปชุดสาธิต

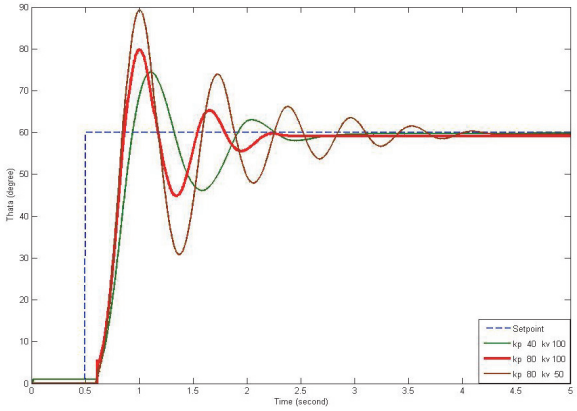
3.6 การหาความพึงพอใจของผู้เรียนจำนวน 12 คน ที่มีต่อชุดสาธิต ดำเนินการโดยมอบหมายงานให้ผู้เรียน จำลองการทำงานของแขนกล 1 องศาอิสระ ตามสมการที่ (5) หลังจากนั้นทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง แล้วนำค่าที่ได้มาทดสอบกับชุดสาธิต เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองการทำงานกับชุดสาธิตว่าสอดคล้องกันหรือไม่ จากนั้นให้ผู้เรียน กรอกแบบสอบถามความพึงพอใจ ที่มีหัวข้อเกี่ยวกับด้านการใช้งาน และด้านความเหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นชุดสาธิต

4. สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

4.1 ผลตอบสนองจากการควบคุมแขนกล 1 องศาอิสระที่ได้จากชุดสาธิตที่สร้างขึ้น ผู้เรียนสามารถเขียนโปรแกรมผ่านโปรแกรมแมทแลบ ซิมมูลิ้งค์ โดยใช้สายยูเอสบีเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32-F-Discovery และส่งไปยังมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนแขนกล 1องศาอิสระ ตามคำสั่งบนโปรแกรมแมทแลบขณะเดียวกันก็สามารถแสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้น (Step Response) จากการเคลื่อนที่ของแขนกลได้ใกล้เคียงกับทฤษฎีแสดงดังภาพที่ 7 ขณะที่การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ K_p, K_d ก็จะส่งผลให้ระบบแขนกลมีการเคลื่อนที่ ในรูปแบบการหน่วง (Damped) ที่แตกต่างกันออกไป แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่7 ผลตอบสนองของระบบแขนกล ที่ได้จากชุดสาธิต



ภาพที่ 8 การทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ K_p, K_d

สำหรับการใช้ชุดสาธิตควบคู่กับการเรียนการสอน ผู้เรียนจะต้องมีพื้นความรู้ด้านการควบคุมระบบ และรวมถึง การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 มาแล้ว นั่นคือในการออกแบบหลักสูตรจะต้องคำนึงถึงรายวิชาก่อนหน้า จะต้องผ่านรายวิชาที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมและไมโครคอนโทรลเลอร์มาแล้ว จึงจะช่วยให้ผู้เรียนบูรณาการความรู้ที่เคยเรียนเป็นพื้นฐานเดิม ประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในการควบคุมแขนกลของหุ่นยนต์ที่มีหลายข้อต่อ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2 ผลการประเมินของชุดสาธิต

การประเมินของชุดสาธิต จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินเพื่อหาความเหมาะสม และ ส่วนที่ให้ผู้เรียนประเมินความพึงพอใจ มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ผลประเมินคุณภาพของชุดสาธิตจากผู้เชี่ยวชาญ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญกรอกแบบประเมินความเหมาะสมของชุดสาธิตของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน มีผลประเมินเฉลี่ยอยู่ในระดับดี (เกณฑ์ 3.51 ถึง 4.50) ที่ระดับ $\bar{x}$ = 4.32

4.2.2 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนจากการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คนมีผลประเมินอยู่ในระดับดี (เกณฑ์ 3.51 ถึง 4.50) ที่ระดับ $\bar{x}$ = 4.23

4.3 อภิปรายผล

การพัฒนาชุดสาธิต การควบคุมแขนกล 1 องศาอิสระด้วยวิธี Model-based Portion จากการทดสอบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมและการปรับแต่งสัญญาณ (Signal Conditioning) พบว่าสามารถควบคุมระบบได้ถูกต้อง ตรงตามทฤษฎี ซึ่งการใช้ชุดสาธิตควบคู่กับรูปแบบการเรียนปกติ จะมีส่วนช่วยเพิ่มจินตนาการของผู้เรียน ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อหาของการควบคุมแขนกลด้วยวิธี Model-based Portion นี้ จะใช้

คณิตศาสตร์เป็นหลัก และถ้าหากผู้เรียนมีพื้นฐานด้านคณิตศาสตร์ค่อนข้างต่ำ ก็จะยิ่งทำให้การทำความเข้าใจในเนื้อหา จะเป็นไปด้วยความลำบากยิ่งขึ้น แต่หากนำชุดสาธิตไปใช้ร่วมกับการเรียนการสอนก็จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเพิ่มขึ้น

จากผลการประเมินคุณภาพของชุดสาธิต พบว่าผู้เชี่ยวชาญเห็นด้วยในระดับมาก เฉลี่ยรวมทุกหัวข้ออยู่ที่ระดับ 4.32 จากมาตราจัดลำดับ (Rating Scale) 5 ลำดับของ Likert เหมาะสมที่จะนำไปใช้ประกอบการสอน แสดงให้เห็นว่าชุดสาธิตที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในระดับหนึ่ง ที่พอจะนำไปใช้ประกอบการสอนได้และเมื่อนำไปใช้สอนจริงกับผู้เรียนและให้ผู้เรียนประเมินความพึงพอใจ ค่าเฉลี่ยผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เรียนที่มีต่อชุดสาธิตพบว่า มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อชุดสาธิตอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.23 จากมาตราจัดลำดับ (Rating Scale) 5 ลำดับของ Likert ซึ่งหากพิจารณาในรายข้อที่ผู้เรียน ทดลองใช้ชุดสาธิตมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด (มากกว่า 4.50 ขึ้นไป) พบว่ามี 8 หัวข้อจาก 17 หัวข้อ ได้แก่ ชุดสาธิตมีอุปกรณ์ป้องกันมิให้เกิดอันตรายแก่ผู้ทดลอง, การเดินสายไฟ การเก็บสายไฟการป้องกันทางไฟฟ้าได้มาตรฐาน, ซอฟแวร์ช่วยให้มองเห็นผลการทดลองได้อย่างชัดเจน, ซอฟแวร์สามารถเลือกชนิดของตัวควบคุมได้หลายวิธี, สามารถนำไปใช้เป็นชุดสาธิตได้, คู่มือมีการจัดเรียงตัวอักษรอย่างเป็นระบบ, คู่มือมีข้อมูลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี และ คู่มือมีช่วยให้การดำเนินการทดลองหรือสาธิตเป็นไปอย่างถูกต้องและรวดเร็ว ตามลำดับ

4.4 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมแขนกล 1 องศาอิสระโดยใช้การควบคุมแบบ Model-based Portion นี้ เป็นการพัฒนาชุดสาธิตเพื่อให้ผู้เรียนสามารถใช้โปรแกรมแมทแลบต่อเข้ากับแขนกล 1 องศาอิสระโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์พีซีหรือโน๊ตบุ๊คได้ ซึ่งในอดีตการเชื่อมต่อด้วยโปรแกรมแมทแลบกับระบบ ผู้ใช้เสียค่าใช่จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ในการเชื่อมต่อในราคาสูงมาก ทำให้จำกัดโอกาสทางการศึกษาแก่สถานศึกษาที่มีงบประมาณจำกัด แต่งานวิจัยชิ้นนี้ ช่วยลดอุปสรรคดังกล่าวลงได้ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีราคาถูกในหลักพันบาท ทั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อสถาบันการศึกษาที่เปิดสอนในระดับปริญญาตรีโดยเฉพาะสายเทคโนโลยีปฏิบัติการ หรือวิศวกรรมปฏิบัติการ เพราะสามารถยืนยันผลจากทฤษฎีว่ามีความถูกต้อง สามารถนำมาประยุกต์ได้จริง ผู้เรียนเห็นภาพปรากฏการณ์ควบคู่กับการเรียนทฤษฎี ทำให้เกิดจินตนาการและเกิดการเชื่อมโยงความรู้ไปสู่การปฏิบัติได้ และถ้านำประโยชน์ของ GUI ที่มีอยู่ในโปรแกรมแมทแลบมาร่วมด้วย ก็จะช่วยให้ชุดสาธิตมีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งในอนาคตหากมองในด้านต้นทุนการผลิต อาจจะเปลี่ยนจากโปรแกรมแมทแลบเป็นโปรแกรมอื่นก็จะช่วยให้ลดต้นทุนในการจัดทำชุดสาธิตได้อีกเพราะไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ซอฟแวร์ที่ปัจจุบันยังมีราคาสูงอยู่ ขณะเดียวกันหากเลือกออกแบบชุดสาธิตโดยให้แขนกลให้มีหลายข้อต่อมากขึ้น ซึ่งแน่นอนอาจต้องใช้การควบคุมที่สลับซับซ้อนมากขึ้นตามไปด้วย สมการทางคณิตศาสตร์จะเปลี่ยนจากการคำนวณทางสเกลล่า ไปเป็นปริภูมิเสตต ก็จะยิ่งทำให้ผู้เรียนเข้าใจกลไกการควบคุมหุ่นยนต์ที่คล้ายคลึงกับสภาพใช้งานจริงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ชุดสาธิตแขนกล 1 องศาอิสระนี้ ก็จะยังคงเป็นพื้นฐานเบื้องต้น ให้ผู้เรียนเข้าใจการควบคุมอย่างง่าย ก่อนที่จะก้าวไปสู่การควบคุมที่สลับซับซ้อนมากกว่านี้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. ประจำปี 2559 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Stefan Kozak. “Multidisciplinary Approach and Dual Education in Control Engineering for Mechatronics” International Federation of Automatic Control (IFAC), Science Direct IFAC-Paper On Line 49-6, 2016.
[2] Oleg I. Borisov, Vladislav S. Gromov.et al. “Manipulator Tasks in Robotics Education” International Federation of Automatic Control (IFAC), Science Direct IFAC-Paper On Line 49-6, 2016.
[3] Dache Liliana and Pop Silvia Florina. “Education, Knowledge and Innovation from Mechatronics Perspective” Procedia-Social and Behavioral Sciences 203, p.205-209, 2015.
[4] F.A. Candelas, et al. “Experiences on using Arduino for Laboratory Experiments of Automatic Control and Robotics” International Federation of Automatic Control (IFAC), Science Direct IFAC-Paper On Line 48-29, 2015.
[5] Tetsuya Akagi, et al. “Systematic Education Program for Robotics and Mechatronics Engineering in OUS using Robot Competition” IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS2015), Procedia Computer Science 76, 2015.
[6] John J. Craig. “Introduction to Robotics Mechanics and Control” 3rd Edition, Pearson Education, Inc., 2005.
[7] R K Mittal and I J Nagrath. “Robotics and Control” Tata Mc-Graw-Hill Publishing Company Limited. 2003.