

การศึกษาเทคนิคการควบคุมตำแหน่งโดยใช้โลหะจำรูป

Study of Position Control Technique Using SMA

จินดา แสงเกียรติยุทธ^{1*}, เดี่ยว กุลพิริกษ์¹, อนรรฆ ชันชะวานะ²

¹ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทรศัพท์ 0-2470-9101 โทรสาร 0-2470-9092 อีเมลล์ diew.koo@kmutt.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทรศัพท์ 0-2470-9116 โทรสาร 0-2470-9111 อีเมลล์ anak.kha@kmutt.ac.th

126 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

Jinda Saengkiattiyut^{1*}, Diew Koolpiruck¹, Anak Khantachawana²

¹Instrumentation and Control Systems Engineering,

Tel 0-2470-9092, Fax 0-2470-9092, E-mail diew.koo@kmutt.ac.th

²Department of Mechanical Engineering,

Tel 0-2470-9116, Fax 0-2470-9111, E-mail anak.kha@kmutt.ac.th

King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Prachautit Rd., Tungkru, Bangkok 10140, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการควบคุมตำแหน่งของโลหะจำรูปสำหรับนำไปใช้เป็นแอคชูเอเตอร์ โดยได้มีการออกแบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบฮาร์ดแวร์และการออกแบบซอฟต์แวร์ ในส่วนการออกแบบฮาร์ดแวร์ ได้สร้างเครื่องต้นแบบเพื่อทดสอบการควบคุมตำแหน่งและวงจรจ่ายกระแสซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสให้แก่โลหะจำรูป ในส่วนการออกแบบซอฟต์แวร์ ได้มีการเขียนโปรแกรมควบคุมลงไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้อัลกอริทึม พีดี สำหรับการควบคุมตำแหน่ง สำหรับการทดลองนั้นได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละน้ำหนักทดสอบซึ่งผู้จัดทำทดลองกับน้ำหนักตั้งแต่ 1-10 กิโลกรัม และในส่วนที่สองคือการทดลองโดยการเพิ่มตัวแปรปรวน ให้กับระบบด้วยการใส่น้ำหนัก 3 กิโลกรัมให้แก่ระบบ และบันทึกผลการทดลองที่ได้ในรูปแบบกราฟ จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่า การควบคุมตำแหน่งโลหะจำรูปนั้นให้ผลที่ดี โดยจะมีค่าความผิดพลาด 2.5 เปอร์เซ็นต์ของช่วงการวัดทั้งหมด

Abstract:

This research is focused on a position control technique of a SMA actuator. The research is divided into 2 parts, consisting of hardware and software design. In hardware design section, the SMA actuator was constructed in order to test

the position control and the current module was produced in order to regulate the current in SMA actuator. In software design section, a PD algorithm was implemented by the microcontroller for controlling the position. A number of experiments were performed in order to determine the suitable tuning parameters under various loads ranging from 1 to 10 kilograms. Then the experiment with the disturbance was performed by adding another 3 kilograms to each test load. The results show that the position can be effectively controlled with an error of 2.5 % span.

1. บทนำ

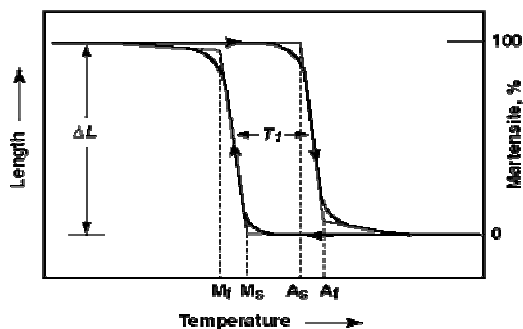
ในปัจจุบันการควบคุมตำแหน่งโดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่เป็นที่นิยม ได้แก่ การควบคุมตำแหน่งโดยใช้มอเตอร์และโซลินอยด์ ซึ่งอาศัยขดลวดเหนี่ยวนำในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวกระทำการจะเปลี่ยนแปลงระยะทางของการเคลื่อนที่โดยอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ซึ่งจะแปลงพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของพลังงานกลซึ่งก็คือความเร็ว และจากนั้นพลังงานกลนี้จะสามารถนำมาสร้างระยะขจัดในการเคลื่อนที่ได้ ข้อจำกัดของ 2 วิธีนี้ คือ ระบบที่ใช่มอเตอร์และโซลินอยด์มักจะเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ การที่นำ 2 วิธีนี้มาใช้ในการควบคุมระบบที่มีขนาดเล็กจึงทำได้ลำบาก ในปัจจุบันได้มีวิธีที่ใหม่และแตกต่างไปจาก

เดิมคือการใช้โลหะจำรูป(Shape Memory Alloys) แต่ปัญหาในการนำโลหะจำรูปมาประยุกต์ใช้ก็คือ ระบบที่นำโลหะจำรูปมาใช้งานจะมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ทำให้การควบคุมระบบเป็นไปได้ยากซึ่งงานวิจัยที่ใช้ไฟฟ้ามาควบคุมโลหะจำรูปให้มีการเคลื่อนที่มีหลายวิธีซึ่งส่วนใหญ่เป็นการควบคุมแบบเปิด [7],[8],[9] ซึ่งทำให้การควบคุมยังไม่นิ่งและการวิจัยแบบจำลองของความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของโลหะจำรูป[10] ยังมีไม่มากนัก ผู้วิจัยจึงเห็นประโยชน์ในการศึกษาการใช้โลหะจำรูปเพื่อการควบคุมตำแหน่งโดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะจำรูป และใช้อัลกอริทึม พิธีในการควบคุมตำแหน่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถช่วยในการออกแบบและพัฒนา แอคชูเอเตอร์สำหรับการควบคุมตำแหน่งที่ซับซ้อนมากขึ้น อีกทั้งผลการทดลองที่ได้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะจำรูป

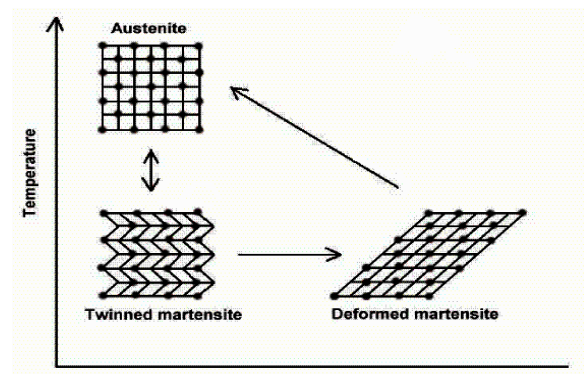
โลหะจำรูปคือโลหะผสมที่มีความสามารถจำและเปลี่ยนรูปก่อนการแปรรูปได้ ถ้าเราทำให้โลหะนั้นร้อนขึ้นหรือเย็นลงอย่างเหมาะสม สมมติว่าถ้าเรานำโลหะที่มีสมบัติดังกล่าวซึ่งเดิมเป็นเส้นตรง แล้วถูกนำมาดัดให้โค้งงอที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำหลอดที่งอขึ้นไปทำให้ร้อนขึ้นจะพบว่าหลอดดัดตัวกลับไปเป็นเส้นตรงได้เหมือนเดิม ปรากฏการณ์ดังกล่าว เรียกว่า ปรากฏการณ์จำรูป (Shape Memory Effect)



รูปที่ 1 การหดตัวของโลหะจำรูปเทียบกับอุณหภูมิ

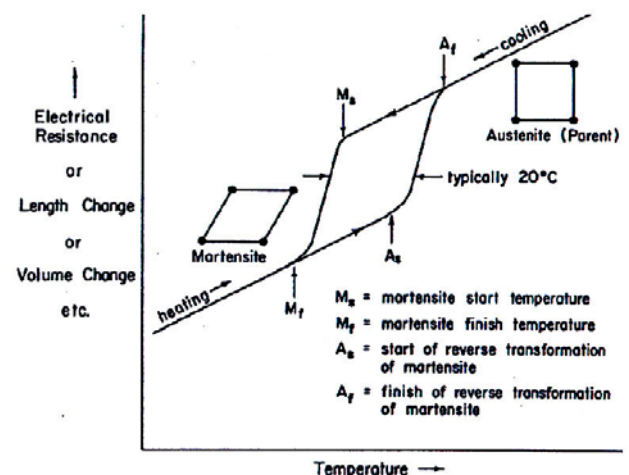
จากรูปเป็นรูปที่แสดง hysteresis และความไม่เป็นเชิงเส้นของโลหะจำรูป เมื่อเราทำให้โลหะจำรูป ร้อนขึ้นจนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึงค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า อุณหภูมิเปลี่ยนรูป โครงสร้างจะเปลี่ยนไปเป็น ออสเทนไนต์ (Austenite) และเมื่อปล่อยให้ชิ้นงานเย็นลงโครงสร้างของชิ้นงานจะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ (Martensite) อีกครั้ง

ปรากฏการณ์จำรูป (Shape Memory Effect) ความสามารถในการจำรูปเป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างของโลหะจำรูป กลไกการจำรูปนั้นมีความซับซ้อนค่อนข้างมาก แต่เราอาจอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองอย่างง่ายใน 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพอย่างง่ายแสดงกลไกการจำรูปของโลหะจำรูป

ก่อนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโลหะจำรูปมีโครงสร้างแบบทวินด์ มาเทนไซต์ (Twin Martensite) เมื่อเราทำการดัดแปลงรูปร่างของชิ้นงานโลหะจำรูป นอกจากลักษณะของชิ้นวัสดุที่ปรากฏจะเปลี่ยนไปแล้ว โครงสร้างภายในจะเปลี่ยนไปเป็น มาร์เทนไซต์ที่ถูกเปลี่ยนร่าง (Deformed Martensite) เมื่อเราทำให้ชิ้นโลหะร้อนขึ้นจนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึงค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า อุณหภูมิเปลี่ยนรูป โครงสร้างจะเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์ (Austenite) โดยรูปร่างของชิ้นโลหะที่ปรากฏต่อสายตาจะมีลักษณะเหมือนกับรูปร่างของชิ้นโลหะก่อนการแปรรูป แม้ว่าออสเทนไนต์และทวินด์มาเทนไซต์จะมีโครงสร้างต่างกันก็ตาม เมื่อปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวลงมาโครงสร้างของชิ้นงานจะเปลี่ยนเป็นทวินด์มาเทนไซต์อีกครั้ง จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เกิดขึ้นตลอดทั้งกระบวนการ ทำให้โลหะจำรูปสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมก่อนถูกเปลี่ยนรูปร่างแสดงในรูปที่ 2

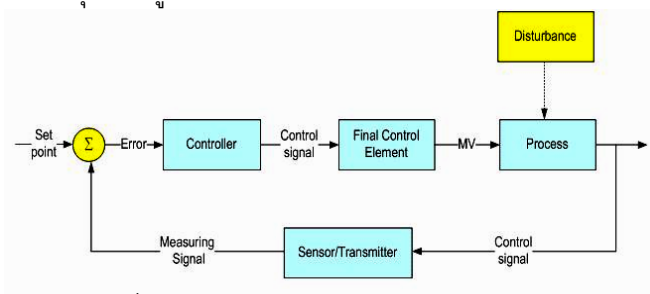


รูปที่ 3 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติโลหะจำรูป

ในกราฟนั้นแสดงถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูป ซึ่งเริ่มและสิ้นสุดเฟสมาแทนไฮด์ และอุณหภูมิซึ่งย้อนกลับไปสู่การเริ่ม และสิ้นสุดเฟสออสเทนไนต์ นั้นแสดงว่าอุณหภูมิเปลี่ยนรูปทั้งสี่ค่านี้จะแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนความร้อนและการลดอุณหภูมิจะเห็นว่า เสนกราฟแสดงการเปลี่ยนเฟสของโลหะจำรูปจะมีลักษณะเป็น Hysteresis โดยทั่วไปแล้วขนาดของช่วง Hysteresis จะมีค่าประมาณ 20-40 องศา ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะนั้นๆ โลหะจำรูป เริ่มมีบทบาทมากขึ้นในหลายด้าน ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ในรูปของ Actuator เนื่องจากมีน้ำหนักและขนาดเล็ก อีกทั้งยังลดขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้อีกด้วย เราสามารถพบ ได้ในงานหลายๆ ด้าน เช่น ทางด้านการแพทย์ ได้มีการนำ SMA มาใช้ในเครื่องมือ ผ่าตัดขนาดเล็ก ใช้ในการปลูกถ่ายเนื้อเยื่อ และอื่นๆอีกมากมาย รวมทั้งยังมีการนำมาใช้ใน Microrobot , Microvalve เป็นต้น

2.2 การควบคุมแบบพีไอดี

การออกแบบระบบควบคุมเป็นงานค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน โดยมีวิธีการให้เลือกหลายรูปแบบ หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมนั้นคือ การควบคุมแบบป้อนกลับแบบพีไอดีซึ่งเป็นรูปแบบการควบคุมที่ใช้อย่างกว้างขวาง โดยโครงสร้างการควบคุมสามารถแสดงโดยสรุป ดังในรูปที่ 4



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบป้อนกลับ

$$m(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] + b \quad (1)$$

$m(t)$ = สัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุม

$e(t)$ = ค่าความผิดพลาดที่เวลาใดๆ ได้จาก SP-PV

$K_c(t)$ = Proportional gain

b = ค่าไบแอสเป็นค่าสัญญาณเอาต์พุตจากคอนโทรลเลอร์ เมื่อ Error เป็นศูนย์

T_i = Integral time

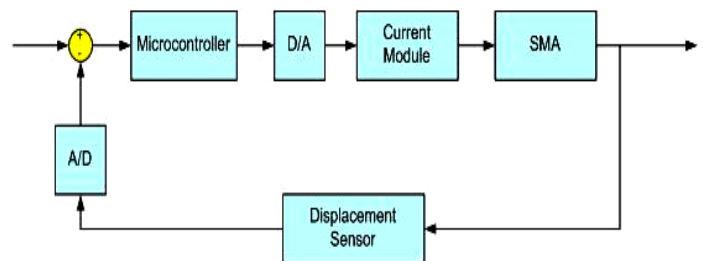
T_d = Derivative Time

เมื่อเพิ่มค่า K_c จะทำให้ offset ลดลง แต่การตอบสนองของระบบจะแกว่งมากขึ้น ทำให้เสถียรภาพของระบบลดลง ถ้าจะไม่ให้เกิดการแกว่งก็ต้องยอมลดค่า K_c ซึ่งส่งผลให้เกิด offset มากขึ้นตามไปอีก

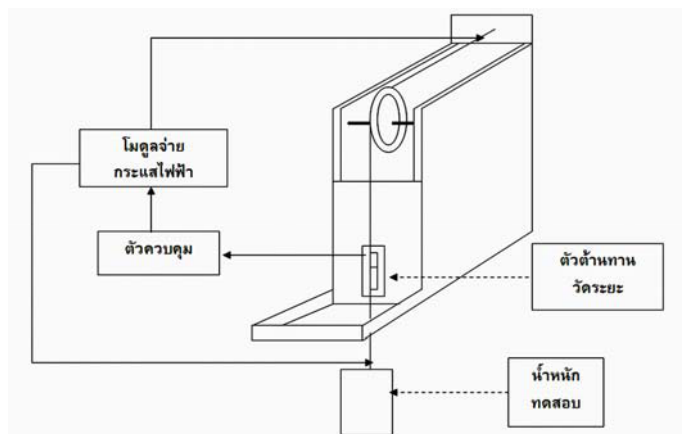
Integral time หรือ Reset Time มีหน่วยเป็นนาทีหรือวินาที ผลของ Integral Action ขึ้นกับค่า T_i ยิ่งค่า T_i มีค่าน้อย ผลของ Integral Action จะยิ่งมีค่ามาก บางครั้งอาจต้องเพิ่ม Derivative Action เพื่อเพิ่มความเร็วของระบบควบคุม Derivative Time หรือ Time rate มีหน่วยเป็นนาทีหรือวินาที ผลการตอบสนองของ Derivative Action จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด (SP-PV) ซึ่งในกรณีที่ Setpoint คงที่ ตรวจจับได้ค่าเอาต์พุตของโปรเซสไม่เปลี่ยนแปลง Derivative Action จะไม่มีผล การเพิ่ม Derivative Action เข้าไปใน PI Controller จะทำให้ผลตอบสนองของระบบต่อสิ่งรบกวนไวขึ้น สัญญาณวัดเปลี่ยนแปลงสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้นและลด overshoot ของระบบได้ยิ่งค่า T_d มีค่ามาก สัญญาณวัดยิ่งเปลี่ยนแปลงกลับสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าค่า T_d มากเกินไป สัญญาณวัดอาจเกิดการแกว่งได้และเพิ่มผลการรบกวนอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนจากภายนอก

3. การออกแบบ

ในส่วนของการสร้างงานวิจัยนั้น จะประกอบไปด้วยการออกแบบโครงสร้างทางกลของเครื่องต้นแบบ การออกแบบวงจรจ่ายกระแส และโครงสร้างของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยโครงสร้างทั้งหมดที่กล่าวมานั้นสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 5 แสดงบล็อกไดอะแกรมการออกแบบภาพรวมทั้งหมด



รูปที่ 6 แสดงส่วนประกอบโครงสร้างของงานวิจัย

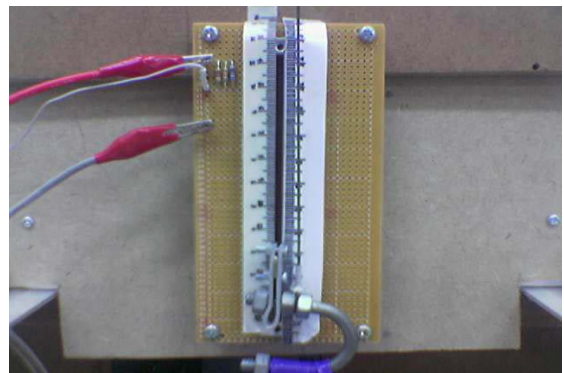
จากรูปที่ 6 ซึ่งประกอบด้วยส่วนของโมดูลจ่ายกระแสไฟฟ้า ,ตัวต้านทานวัดระยะและตัวควบคุม โดยโมดูลจ่ายกระแสไฟฟ้าจะทำหน้าที่ควบคุมกระแสและจ่ายกระแสให้แก่เส้นลวดซึ่งเป็นโลหะจำรูป ซึ่งมีความยาว 100 เซนติเมตรต่อกับกับโหลด โดยผ่านกระบวนการจำรูป ทำให้รูปร่างเป็นเส้นตรงเรียบร้อยแล้ว ซึ่งเมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวด จะทำให้อุณหภูมิของเส้นลวดสูงขึ้นและเส้นลวดจะเกิดการหดตัวทำให้โหลดเกิดการยกตัวขึ้น การควบคุมตำแหน่งของลวดโลหะจำรูป โดยผู้ทำการกำหนดค่าระยะการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของลวดโลหะจำรูป เมื่อนำระยะการเปลี่ยนแปลงจากตัวต้านทานวัดระยะไปเปรียบเทียบกับระยะการเปลี่ยนแปลงที่ผู้ต้องการ จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาด(Error) ค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งไปให้ตัวควบคุม เพื่อนำไปคำนวณหาตัวแปรปรับโปรเซส ค่าตัวแปรนี้จะถูกส่งไปให้โมดูลจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อควบคุมกระแสที่จะจ่ายให้แก่ลวดโลหะจำรูป ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลวดโลหะจำรูป โดยตัวต้านทานวัดระยะจะวัดค่าระยะการเคลื่อนที่กลับไปให้ตัวควบคุมจนกว่าค่าความผิดพลาดจะเป็นศูนย์ การออกแบบโครงสร้างทางกลของเครื่องต้นแบบเนื่องจากตัวลวด SMA มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงระยะทางซึ่งขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเช่นกันจึงออกแบบฮาร์ดแวร์เพื่อทำการทดลองเก็บค่าตัวแปร เพื่อดูความสัมพันธ์ ค่าที่ต้องการ เช่น ระยะของการเปลี่ยนแปลงเมื่อทดลองทำการเปลี่ยนค่าโหลดตั้งแต่ 1-10 กิโลกรัม โดยปลายด้านหนึ่งลวดโลหะจำรูปนั้นจะถูกตรึงอยู่กับโครงอะลูมิเนียมดังรูปที่ 7 และพาดผ่านรอก



รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างของเครื่องต้นแบบ

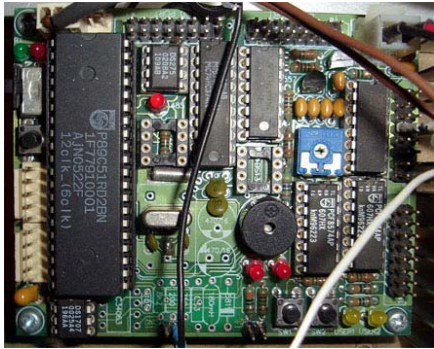
ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งนั้นจะเชื่อมต่ออยู่กับตะขอเหล็ก ซึ่งจะทำหน้าที่รับน้ำหนักโหลดที่ใช้ในการทดลอง นอกจากจะเชื่อมต่อกับตะขอเหล็กแล้วปลายสุดของลวดยังเชื่อมต่อกับแกนของตัวต้านทานวัดระยะโดยบนตัวต้านทานวัดระยะนั้นจะติดแถบไม้บรรทัด ดังรูปที่ 8 เพื่อให้ผู้ใช้ได้ดูความเปลี่ยนแปลงของระยะการเคลื่อนที่ของลวดเมื่อเทียบกับตำแหน่งล่างสุดที่ลวดหยุดอยู่ขณะนั้นๆ ตัวต้านทานวัดระยะที่ใช้ นั้นมีความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม และจะให้เอาท์พุตออกมาในรูป

ของค่าความต่างศักย์ เมื่อลวดเกิดการเคลื่อนที่ที่จะทำให้แกนของ ตัวต้านทานวัดระยะเกิดการเคลื่อนที่และความต้านทานและความต่างศักย์ของตัวต้านทานวัดระยะเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยระยะการเคลื่อนที่ที่แปรผันตรงกับ ความต้านทานและค่าความต่างศักย์ของตัวต้านทานวัดระยะ จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นตัวต้านทานวัดระยะจะทำหน้าที่แปลงระยะการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปของความต่างศักย์ เมื่อเราทราบค่าความต่างศักย์ของตัวต้านทานวัดระยะ ณ ตำแหน่งนั้นๆ แล้ว เราก็จะสามารถนำค่าความต่างศักย์นี้ส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมตำแหน่งต่อไป การออกแบบโครงสร้างในส่วนของรอก จะต้องพิจารณาถึงรัศมีความโค้งที่ค่าต่ำสุดที่ทำให้ลวด SMA ไม่เกิดการโค้งงอเมื่อเคลื่อนที่ผ่านรอก ตามทฤษฎีแล้วรอกที่ใช้ผ่านลวดต้องมีค่ารัศมีของรอกไม่ต่ำกว่า 50 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด SMA



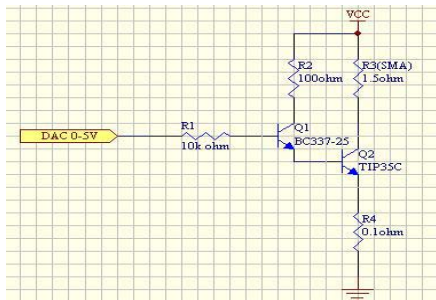
รูปที่ 8 แสดงการติดตั้งตัวต้านทานวัดระยะบนเครื่องต้นแบบ

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานนั้นเป็นบอร์ดทดลอง ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51RD2 ที่สามารถโปรแกรม flash Rom ได้ใหม่ได้หลายครั้ง บนบอร์ดประกอบด้วยชิพเบอร์ PCF 8591 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (A/D) และตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก (D/A) ขนาด 8 บิตในตัว โดยมี A/D ถึง 4 Channel สามารถปรับแรงดันอ้างอิงได้ที่ตัวต้านทานซึ่งปรับค่าได้บนบอร์ด นอกจากนี้ยังมี D/A อีก 1 Channel โดยชิพ PCF 8591 นี้จะอินเตอร์เฟสกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวต้านทานวัดระยะนั้นจะถูกส่งมายังตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลและค่าเอาท์พุตที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ จะถูกส่งออกมาทางตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก เพื่อส่งค่าแอนะล็อกไปให้วงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าไปใช้ควบคุมกระแสที่จ่ายให้แก่ลวดโลหะจำรูปต่อไป

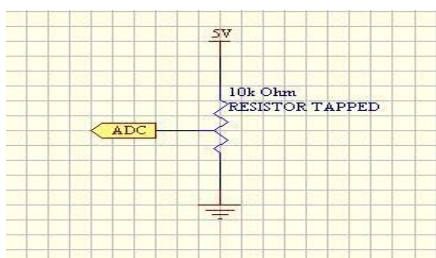


รูปที่9 แสดงภาพบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบวงจรจ่ายกระแส อุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุม โดยใช้การจ่ายกระแสผ่านให้โลหะจำรูป ซึ่งนั่นก็คือการให้ความร้อนแก่โลหะจำรูปทำให้อุณหภูมิของโลหะจำรูปสูงขึ้นจนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกลนั่นคือระยะทาง เราทำการจ่ายโวลต์เดจที่มาจาก การส่งค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าทำการแปลงค่าดิจิตอลเป็นค่าแอนาล็อกเพื่อจ่ายให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ เนื่องจากต้องการขยายกระแสที่ค่อนข้างต่ำเป็นกระแสที่สูงจึงต้องคำนึงถึงความสามารถในการจ่ายกระแสของตัวทรานซิสเตอร์ที่จ่ายให้ โดยในวงจรนี้ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC337-25 และ TIP35C ทำการต่อมาถึงกันโดยจากวงจรต้องการค่าของกระแสที่ผ่านลวด SMA สูงสุดที่ตอนแรกไม่เกินที่ 6 แอมแปร์ เนื่องจากถ้ามีค่าสูงกว่านั้นอาจทำให้ลวดSMA ร้อนจนขาดได้

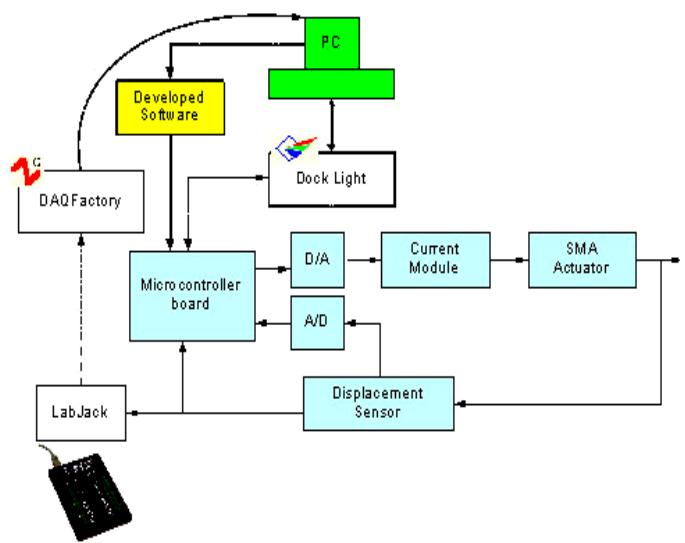


รูปที่10 แสดงวงจรที่ใช้ในการจ่ายกระแสเพื่อให้ความร้อน



รูปที่11 แสดงวงจรของการวัดระยะด้วยตัวต้านทานวัดระยะ

การวัดระยะการเปลี่ยนแปลงความยาวเส้นลวด SMA ใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดันโดยเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโลหะจำรูป ทำให้ค่าแรงดันที่จ่ายเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความต้านทาน ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง โดยจากการทดลองทำการป้อนค่ากลับมา 1 มิลลิเมตรมีค่าเท่ากับ 0.0532 V โดยจะจ่ายความต่างศักย์ 5 Vให้แก่ตัวต้านทานวัดระยะและทำให้ค่าที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวต้านทานวัดระยะจะให้ค่าความต่างศักย์ที่แตกต่างกันออกไป ค่าความต่างศักย์ที่ได้นี้จะถูกส่งไปยังตัวแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิตอลเพื่อแปลงค่าความต่างศักย์ที่ได้ให้เป็นข้อมูลแบบดิจิตอล

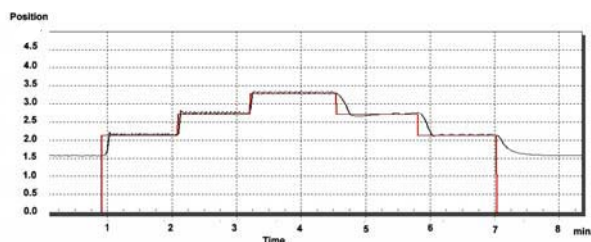


รูปที่12 แสดงภาพรวมในการออกแบบซอฟต์แวร์ทั้งหมด

ซอฟต์แวร์ ใช้โปรแกรม DOCKLIGHT เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบ วิเคราะห์และจำลองโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารแบบอนุกรม(serial communication) โดยโปรแกรมนี้สามารถแสดงการสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัวหรือทดสอบการสื่อสารแบบอนุกรมของอุปกรณ์ตัวเดียวได้ DOCKLIGHT นี้ยังสามารถจำลองโปรโตคอลที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดได้ และยังการตอบสนองกลับมายังผู้ใช้ได้ด้วย และใช้โปรแกรม DAQFactoryเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เก็บข้อมูลและจำลองการควบคุมการทำงานของระบบควบคุมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ใช้สามารถเก็บข้อมูลได้ในช่วงเวลาที่เหมาะสม แสดงผลข้อมูลบนหน้าจอที่ออกแบบเอง ควบคุมการทำงานของระบบและวิเคราะห์ข้อมูลได้ DAQFactory ถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หน้าจอแสดงผลจะออกแบบได้ง่ายโดยเพียงแค่คลิกและวางอุปกรณ์ที่ใช้ต้องการบนหน้าจอแสดงผล และใช้หน้าต่างหรือตารางในการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ อีกทั้งผู้ใช้ยังไม่ต้องลากเส้นเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์อีกด้วย สำหรับงานวิจัยนี้ผู้จัดทำได้นำโปรแกรม DAQFactory มาเพื่อใช้แสดงกราฟในการทดลอง เพื่อศึกษา

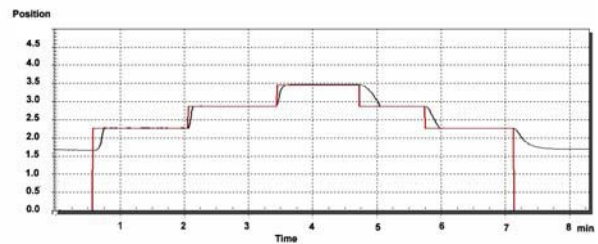
และวิเคราะห์การตอบสนองของระบบ โดยมี LabJack รุ่น U12 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก มาใช้ในการเก็บค่าข้อมูลของระบบเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานต่อการวิเคราะห์ผลข้อมูลต่างๆ การเชื่อมต่อ LabJack เข้ากับคอมพิวเตอร์นั้นผู้จัดทำได้ใช้พอร์ตUSB ในการเชื่อมต่อ

แนวคิดในการควบคุมตำแหน่งเนื่องจากโลหะจำรูปมีความเป็นไม่เชิงเส้นสูง การควบคุมโลหะจำรูปให้เคลื่อนที่ขึ้นและลงนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมไม่เหมือนกัน โดยในขาขึ้นนั้นจะใช้เวลาในการควบคุมเร็วกว่าขาลง จากการทดลองผู้จัดทำพบว่าโลหะจำรูปนั้นจะเริ่มหดตัว(เคลื่อนที่ขึ้น)ที่กระแสประมาณ 2.5 A ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของโหลดที่ถ่วง โดยถ้าน้ำหนักของโหลดมากขึ้น กระแสที่จะทำให้โลหะจำรูปหดตัวก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย ในการควบคุมโลหะจำรูปโดยใช้ ตัวต้านทานวาร์ระยะนั้น การหดตัวของลวด 1 มิลลิเมตรจะทำให้ความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงไปประมาณ 0.0532 โวลต์ ดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณได้ว่าเมื่อลวดหดถึงระยะที่ต้องการแล้วจะทำให้ความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงไปเท่าใด จากนั้นจึงนำค่าความต่างศักย์นี้ไปคำนวณในสมการฟิโอดี โดยค่าสัญญาณควบคุมจะอยู่ระหว่าง 0-5 โวลต์ โดยค่าที่ได้นี้จะถูกส่งไปที่วงจรจ่ายกระแสเพื่อปรับกระแสที่จ่ายให้แก่ลวดโลหะจำรูป สำหรับการควบคุมแบบพี หรือProportional นั้นจะทำให้ระบบเกิดการแกว่งหรือ Oscillate ดังรูป เนื่องจากลวดโลหะจำรูปนั้นมีความไวต่ออุณหภูมิมาก ดังรูปที่ 13 โดยมีความผิดพลาดไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์ของช่วงการวัด



รูปที่13 แสดงการควบคุมลวดโลหะจำรูปแบบ Proportional (P) ที่ Setpoint ต่างๆ

เมื่อเปลี่ยนตัวควบคุมเป็นพีดี เพื่อลดการแกว่งของระบบ แสดงผลดังรูปที่ 14 เส้นกราฟเกิดความราบเรียบมากขึ้น และระบบเข้าสู่สมดุลได้ไวขึ้น และยังสามารถลดค่าความผิดพลาดของระบบได้เป็นอย่างดีอีกด้วย ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะใช้พีดีในการควบคุมระยะการเคลื่อนที่ของลวดโลหะจำรูป

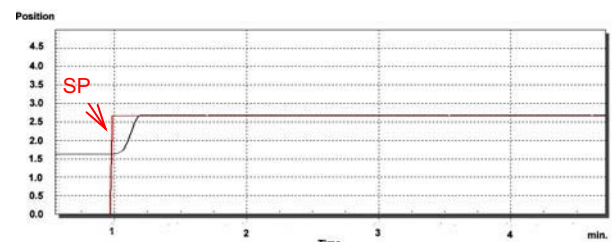


รูปที่14 แสดงการควบคุมลวดโลหะจำรูปแบบ Proportional, Derivative(PD)ที่สภาวะ Setpoint ต่างๆกัน

4. ผลการทดลอง

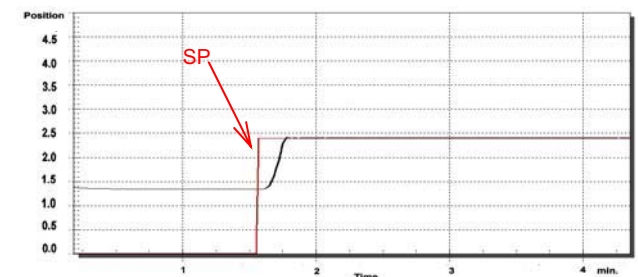
ผลการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละน้ำหนักทดสอบและผลการทดลองเมื่อเพิ่มการรบกวน(Disturbance) ให้แก่ระบบโดยใส่น้ำหนัก 3 กิโลกรัมเพิ่มเข้าไปที่แต่ละน้ำหนักทดสอบ ผลการทดลองเพื่อหาค่าปรับแต่งพารามิเตอร์การควบคุมที่เหมาะสม โดยกราฟการตอบสนองต่อค่าเป้าหมาย (set point) ที่โหลด 1,5,7,10 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่15,16,17 และ 18 ตามลำดับ

โหลด 1 กิโลกรัม



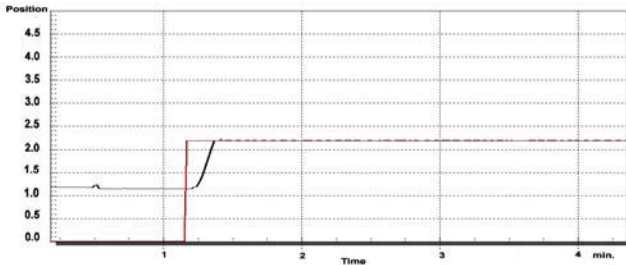
รูปที่15 แสดงการควบคุมแบบ PD เมื่อทดสอบด้วยโหลด 1 กิโลกรัมที่ $K_u = 5$ และ $T_u = 30$

โหลด 5 กิโลกรัม



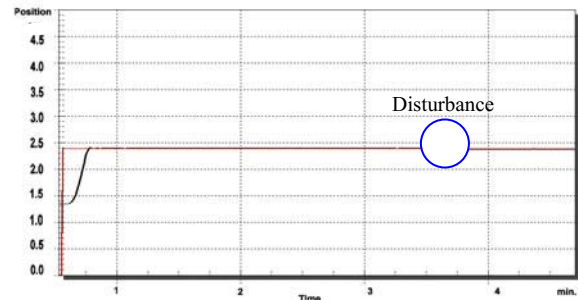
รูปที่16 แสดงการควบคุมแบบ PD เมื่อทดสอบด้วยโหลด 5 กิโลกรัมที่ $K_u = 5$ และ $T_u = 5$

โหลด 7 กิโลกรัม



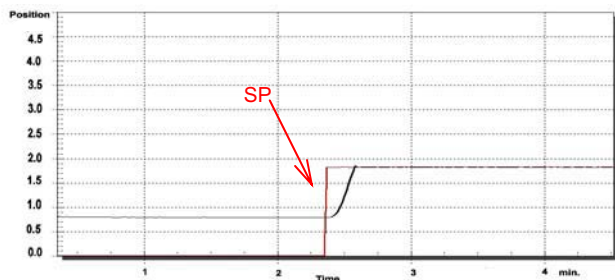
รูปที่17 แสดงการควบคุมแบบ PD เมื่อทดสอบด้วยโหลด 7 กิโลกรัมที่ $K_u = 5$ และ $T_u = 2$

โหลด 5 กิโลกรัม



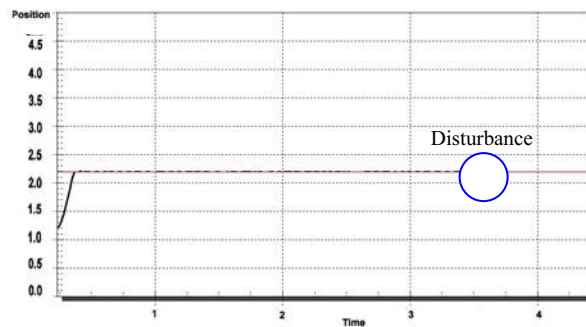
รูปที่20 แสดงการควบคุมแบบ PD เมื่อใช้โหลด 5 กิโลกรัมที่ $K_u = 5$ และ $T_u = 5$ และเพิ่ม Disturbance 3 กิโลกรัมให้แก่ระบบ

โหลด 10 กิโลกรัม



รูปที่18 แสดงการควบคุมแบบ PD เมื่อทดสอบด้วยโหลด 10 กิโลกรัมที่ $K_u = 5$ และ $T_u = 2$

โหลด 7 กิโลกรัม

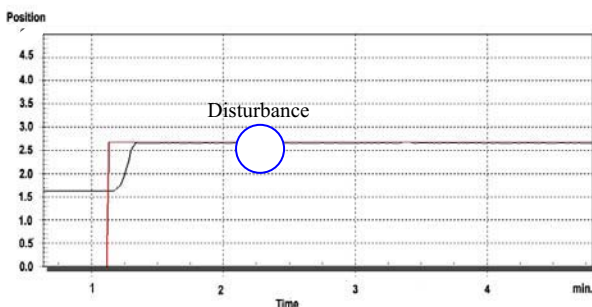


รูปที่21 แสดงการควบคุมแบบ PD เมื่อใช้โหลด 7 กิโลกรัมที่ $K_u = 5$ และ $T_u = 2$ และเพิ่ม Disturbance 3 กิโลกรัมให้แก่ระบบ

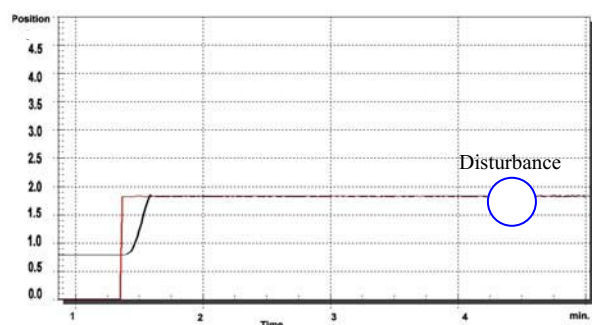
จากการทดลองที่โหลด 1 ถึง 10 กิโลกรัม เมื่อมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายสังเกตได้ว่าระยะตำแหน่งสามารถปรับเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจนถึง 10 กิโลกรัม

เมื่อเพิ่ม Disturbance ด้วยการเพิ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัมเข้ามาในระบบ ผลการทดลองที่ภาวะโหลด 1,5,7,10 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่19,20,21 และ 22 ตามลำดับ

โหลด 1 กิโลกรัม



รูปที่19 แสดงการควบคุมแบบ PD เมื่อใช้โหลด 1 กิโลกรัมที่ $K_u = 5$ และ $T_u = 30$ และเพิ่ม Disturbance 3 กิโลกรัมให้แก่ระบบ



โหลด 10 กิโลกรัม

รูปที่22 แสดงการควบคุมแบบ PD เมื่อใช้โหลด 10 กิโลกรัมที่ $K_u = 5$ และ $T_u = 2$ และเพิ่ม Disturbance 3 กิโลกรัมให้แก่ระบบ

จากการทดลองเมื่อเพิ่มโหลด 3 กิโลกรัมเพื่อเป็นสิ่งรบกวนให้แกระบบสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มสิ่งรบกวนแล้วระบบจะสามารถตอบสนองสิ่งรบกวนได้และสามารถกลับเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว

5. สรุป

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อเราสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้แล้ว ไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ค่าตัวแปรควบคุม (Process Variable) ก็จะสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (Set point) ได้ แต่จากการควบคุมที่ใช้แบบพี (Proportional Control) เพียงอย่างเดียว จะมีผลเสีย คือ ระบบจะมีการแกว่งรอบค่าเป้าหมาย ซึ่งเราสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยใช้แบบพีดี (Proportional-Derivative Control) ซึ่งผลของเทอมดี (Derivative Action) จะช่วยให้ค่าตัวแปรควบคุม กลับสู่ค่าเป้าหมายได้ไวขึ้นและสามารถลดการแกว่งของระบบได้อีกด้วย และเมื่อทำการเพิ่มโหลดจำนวน 3 กิโลกรัมเพื่อเป็นสิ่งรบกวน (Disturbance) ให้แกระบบ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มสิ่งรบกวนให้แกระบบแล้ว ระบบสามารถที่จะตอบสนองสิ่งรบกวนได้อย่างรวดเร็วและกลับเข้าสู่ค่าเป้าหมายดังเดิมได้ ส่วนในการควบคุมตำแหน่งให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลงนั้น การเคลื่อนที่ลงจะเข้าสู่จุดเป้าหมายได้ช้ากว่าเพราะการถ่ายเทความร้อนที่ไม่เท่ากัน (Hysteresis) ของลวดโลหะจำรูป สรุปผลได้ว่า การควบคุมตำแหน่งด้วยแอคชูเอเตอร์การโลหะจำรูปนั้นให้ผลที่ดี โดยจะมีค่าความผิดพลาด 2.5 เปอร์เซ็นต์ของช่วงการวัดทั้งหมด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พจนานฎ สุวรรณมณี, "เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น", พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น , 2548.
- [2] มงคล ทองสงคราม , "อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น", พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ , ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง.
- [3] เจริญ เจนจิรวัดนา , วัชรนันท์ งามเกษมสันต์, 2548, การศึกษาและพัฒนาเทคนิคการควบคุมตำแหน่งของตัวกระทำโลหะจำรูป, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมควบคุมและเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [4] T W Duerig, Bs, ME, PhD, "Engineering Aspects of Shape Memory Alloys", Butterworth-Heinemann Ltd. , 1990
- [5] Roger G. Gilbertson, "Muscle Wires 3rd edition", Mondo-Tronics, Inc., 2000
- [6] Robert L. Boylestad & Louis Nashelsky, "Electronic Devices and Circuit Theory 7th edition", Prentice Hall international, Inc., 1999
- [7] C. Zhang, R. H. Zee, and P. E. Thoma, "Development of Ni-Ti based shape memory alloys for actuation and control,"

in Proc. Intersoc. Energy Conversion Engineering Conf., 1996, pp. 239-244.

- [8] A. B. Slatkin, J. Burdick, and W. Grundfest, "The development of a robotic endoscope," in Proc. IEEE Conf. Intelligent Robots Systems, 1995, pp. 162-171
- [9] K. Byungkyu, L. Sunghak, "Design and Fabrication of a Locomotive Mechanism for Capsule-Type Endoscopes Using Shape Memory Alloys (SMAs)" IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 10, NO. 1, FEBRUARY 2005
- [10] J.L. Pons, D. Reynaerts, "Comparison of Different Control Approaches to Drive SMA Actuators" Monterey, CA, July 7-9, 1997