

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการทดลอง

ในการดำเนินงานของโครงการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฮดรอลิกได้แบ่งการทดลองเป็น 2 แบบคือ การทดลองแบบรอบเปิด (Open Loop) และการทดลองแบบรอบปิด (Close Loop) โดยในส่วนการทดลองแบบรอบปิดใช้การควบคุมด้วยพีไอดี และได้มีการทดลองโดยระบุความเร็วต่าง ๆ ที่จุดกำหนด (Set-Point) และบันทึกผลการทดลองและหาค่าความแม่นยำในการเข้าสู่ความเร็วต่าง ๆ ซึ่งในผลการดำเนินงานและการทดลอง ประกอบด้วย

4.1 หน้าต่างของโปรแกรม Controllers for Servo - Hydraulic System บนคอมพิวเตอร์

4.1.1 หน้าหลักในการควบคุมชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฮดรอลิก

โปรแกรมหน้าหลักในการควบคุมชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฮดรอลิกซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งแบบรอบเปิดและแบบรอบปิดโดยใช้พีไอดี หน้าจอหลักจะเป็นโปรแกรมที่มีไว้สำหรับผู้ควบคุมสามารถใช้งานและทำการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฮดรอลิกดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 หน้าต่างของชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรม มีดังนี้

หมายเลข 1 คือ ปุ่มรัน (Run) เพื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรม

หมายเลข 2 คือ ปุ่มกดปรับค่าเกนอัตโนมัติ (Autotune)

หมายเลข 3 คือ ปุ่มกำหนดค่าใหม่ (Reset)

หมายเลข 4 คือ ปุ่มหยุดการทำงานของโปรแกรม (Stop)

หมายเลข 5 คือ หน้าปัดสำหรับกำหนดความเร็ว (Set point) ที่สามารถพิมพ์ค่าตัวเลขเพื่อระบุความเร็วที่ต้องการจากแป้นพิมพ์ (Keyboard) ได้เลย และมีการกำหนดความเร็วที่สามารถใช้เมาส์เลื่อนเข็มที่หน้าปัดไปยังความเร็วที่ต้องการได้

หมายเลข 6 คือ หน้าปัดแสดงค่าป้อนกลับ (Display Feedback)

หมายเลข 7 คือ กราฟแสดงผล ระหว่างจุดกำหนด (Set Point) สีขาวและค่าป้อนกลับ (Feed Back) สีแดง

หมายเลข 8 คือ แสดงค่าความผิดพลาด (Error)

หมายเลข 9 คือ แสดงค่าเอาต์พุต (Output)

หมายเลข 10 คือ ช่องเลือกการควบคุมซึ่งมีทั้งหมด 2 แบบ คือ การควบคุมแบบรอบเปิด (Open Loop) และการควบคุมแบบรอบปิด (Close Loop) ซึ่งแบ่งการควบคุมออกเป็น 4 แบบ คือ การควบคุมรอบปิดด้วยพีไอดีแบบปรับค่าเกนเอง (PID Manual) การควบคุมรอบปิดด้วยพีไอดีแบบปรับค่าเกนอัตโนมัติ (PID Autotune) การควบคุมรอบปิดด้วยฟัซซี (Fuzzy) และการควบคุมรอบปิดแบบผสม (Hybrid)

หมายเลข 11 คือ ช่องเลือกกฎฟัซซี (Rule base)

หมายเลข 12 คือ ช่องสำหรับปรับกำหนดค่า Proportional (Kp) Integral (Ti) Derivative (Td)

หมายเลข 13 คือ ช่องสำหรับใส่ค่าความผิดพลาดสูงสุดเพื่อสับเปลี่ยนการควบคุม ค่าที่ได้ในช่องนี้จะส่งผลเมื่อเลือกการควบคุมรอบปิดแบบผสม

หมายเลข 14 คือ ช่องสำหรับใส่ค่าความผิดพลาดต่ำสุดเพื่อสับเปลี่ยนการควบคุม ค่าที่ได้ในช่องนี้จะส่งผลเมื่อเลือกการควบคุมรอบปิดแบบผสม

การทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยสามารถกำหนดค่าความเร็วของมอเตอร์ที่ค่าเซตพอยต์ (Set Point) หรือใช้เมาส์เลื่อนเข็มที่หน้าปัดไปยังความเร็วที่ต้องการได้โดยผลการ

ตอบสนองสามารถดูได้จากกราฟที่แสดงขึ้นที่กราฟแสดงผลได้ทันทีและถ้าเลือกการควบคุมรอบปิดด้วยพีไอดีแบบปรับค่าเอง (PID Manual) สามารถปรับค่าเกน พี, ไอ หรือ ดี ได้จากช่องปรับกำหนดค่าเกน (PID Gain) ได้ทันที และถ้าเลือกการควบคุมรอบปิดด้วยพีไอดีแบบปรับค่าเกนอัตโนมัติ (PID Autotune) ก็สามารถกดปุ่ม Autotune เพื่อให้โปรแกรมหาค่าเกนให้เองโดยผลการตอบสนองสามารถดูได้จากกราฟ และถ้าหากต้องการบันทึกค่าต่าง ๆ จากการทดสอบก็กดปุ่ม Save File และเลือกที่เก็บไฟล์ซึ่งทำให้สะดวกต่อการเก็บบันทึกค่าจากการทดสอบ

4.1.2 หน้าหลักในการควบคุมชุดควบคุมระยะของกระบอกสูบไฮดรอลิก

โปรแกรมหน้าหลักในการควบคุมชุดควบคุมระยะของกระบอกสูบไฮดรอลิกซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งแบบรอบเปิดและแบบรอบปิดโดยใช้พีไอดี หน้าจอหลักจะเป็นโปรแกรมที่มีไว้สำหรับผู้ควบคุมสามารถใช้งานและทำการควบคุมตำแหน่งกระบอกสูบไฮดรอลิก ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 หน้าต่างของชุดควบคุมระยะทางกระบอกสูบ

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรม มีดังนี้

หมายเลข 1 คือ ปุ่มรัน (Run) เพื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรม

หมายเลข 2 คือ ปุ่มกดปรับค่าเกนอัตโนมัติ (Autotune)

หมายเลข 3 คือ ปุ่มกำหนดค่าใหม่ (Reset)

หมายเลข 4 คือ ปุ่มหยุดการทำงานของโปรแกรม (Stop)

หมายเลข 5 คือ หน้าปัดสำหรับกำหนดตำแหน่ง (Set point) ที่สามารถพิมพ์ค่าตัวเลขเพื่อระบุความเร็วที่ต้องการจากแป้นพิมพ์ (Keyboard) ได้เลย และมีการกำหนดตำแหน่งที่สามารถใช้เมาส์เลื่อนสไลด์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้

หมายเลข 6 คือ สไลด์แสดงค่าป้อนกลับ (Display Feedback)

หมายเลข 7 คือ กราฟแสดงผล ระหว่างจุดกำหนด (Set Point) สีขาวและค่าป้อนกลับ (Feed Back) สีแดง

หมายเลข 8 คือ แสดงค่าความผิดพลาด (Error)

หมายเลข 9 คือ แสดงค่าเอาต์พุต (Output)

หมายเลข 10 คือ ช่องเลือกการควบคุมซึ่งมีทั้งหมด 2 แบบ คือ การควบคุมแบบรอบเปิด (Open Loop) และการควบคุมแบบรอบปิด (Close Loop) ซึ่งแบ่งการควบคุมออกเป็น 4 แบบ คือ การควบคุมรอบปิดด้วยพีไอดีแบบปรับค่าเกนเอง (PID Manual) การควบคุมรอบปิดด้วยพีไอดีแบบปรับค่าเกนอัตโนมัติ (PID Autotune) การควบคุมรอบปิดด้วยฟัซซี (Fuzzy) และการควบคุมรอบปิดแบบผสม (Hybrid)

หมายเลข 11 คือ ช่องเลือกกฎฟัซซี (Rule Base)

หมายเลข 12 คือ ช่องสำหรับปรับกำหนดค่า Proportional (Kp) Integral (Ti) Derivative (Td)

หมายเลข 13 คือ ช่องสำหรับใส่ค่าความผิดพลาดสูงสุดเพื่อสับเปลี่ยนการควบคุม ค่าที่ได้ในช่องนี้จะส่งผลเมื่อเลือกการควบคุมรอบปิดแบบผสม

หมายเลข 14 คือ ช่องสำหรับใส่ค่าความผิดพลาดต่ำสุดเพื่อสับเปลี่ยนการควบคุม ค่าที่ได้ในช่องนี้จะส่งผลเมื่อเลือกการควบคุมรอบปิดแบบผสม

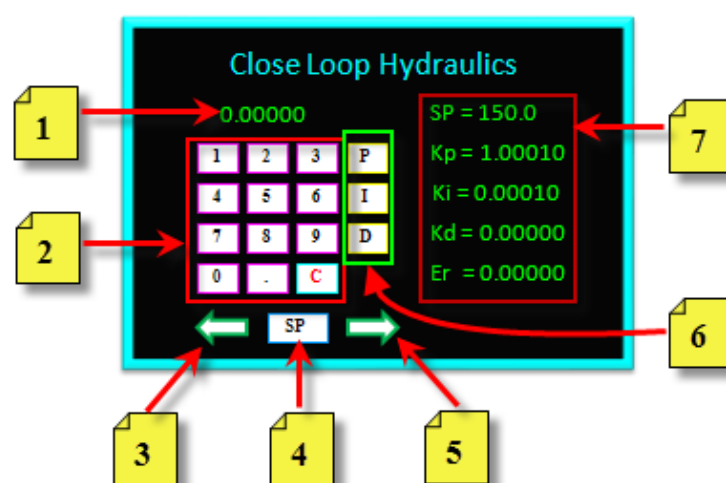
การทดสอบการควบคุมตำแหน่งกระบอกสูบ โดยสามารถกำหนดค่าระยะของกระบอกที่ค่าเซตพอยต์ (Set Point) หรือใช้เมาส์เลื่อนเข็มที่หน้าปัดไปยังระยะที่ต้องการได้โดยผลการตอบสนองสามารถดูได้จากกราฟที่แสดงขึ้นที่กราฟแสดงผลได้ทันทีและถ้าเลือกการควบคุมรอบ

ปิดด้วยพีไอดีแบบปรับค่าเอง (PID Manual) สามารถปรับค่าเกน พี, ไอ หรือ ดี ได้จากช่องปรับกำหนดค่าเกน (PID Gain) ได้ทันที และถ้าเลือกการควบคุมรอบปิดด้วยพีไอดีแบบปรับค่าเกนอัตโนมัติ (PID Autotune) ก็สามารถกดปุ่ม Autotune เพื่อให้โปรแกรมหาค่าเกนให้เองโดยผลการตอบสนองสามารถดูได้จากกราฟ และถ้าหากต้องการบันทึกค่าต่าง ๆ จากการทดสอบก็กดปุ่ม Save File และเลือกที่เก็บไฟล์ซึ่งทำให้สะดวกต่อการเก็บบันทึกค่าจากการทดสอบ

4.2 หน้าต่างของโปรแกรมบน Microcontroller ARM7 Touchscreen

โปรแกรมหน้าหลักในการควบคุมชุดไฮดรอลิกส์โดยใช้พีไอดีซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 Touchscreen เป็นตัวควบคุม หน้าจอหลักจะเป็นโปรแกรมที่มีไว้สำหรับผู้ควบคุมสามารถใช้งานและทำการควบคุมชุดไฮดรอลิกส์ โดยหน้าจอเป็นแบบทัชสกรีนดังแสดงในภาพที่

4.3



ภาพที่ 4.3 หน้าต่างของโปรแกรม

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรม มีดังนี้

หมายเลข 1 คือ แสดงตัวเลขจากการกดปุ่มบนหน้าจอ

หมายเลข 2 คือ ปุ่มกดตัวเลขและเคลียร์ค่า

หมายเลข 3 คือ ปุ่มกดเลือกการควบคุมทางซ้าย

หมายเลข 4 คือ ปุ่มกดสำหรับกำหนดความเร็ว (Set point)

หมายเลข 5 คือ ปุ่มกดเลือกการควบคุมทางขวา

หมายเลข 6 คือ ปุ่มกดสำหรับปรับกำหนดค่า Proportional (Kp) Integral (Ti) Derivative (Td)

หมายเลข 7 คือ แสดงค่าการกำหนดความเร็ว (Set point) ค่าเกนพีไอดี (PID Gain) และค่าความผิดพลาด (Error)

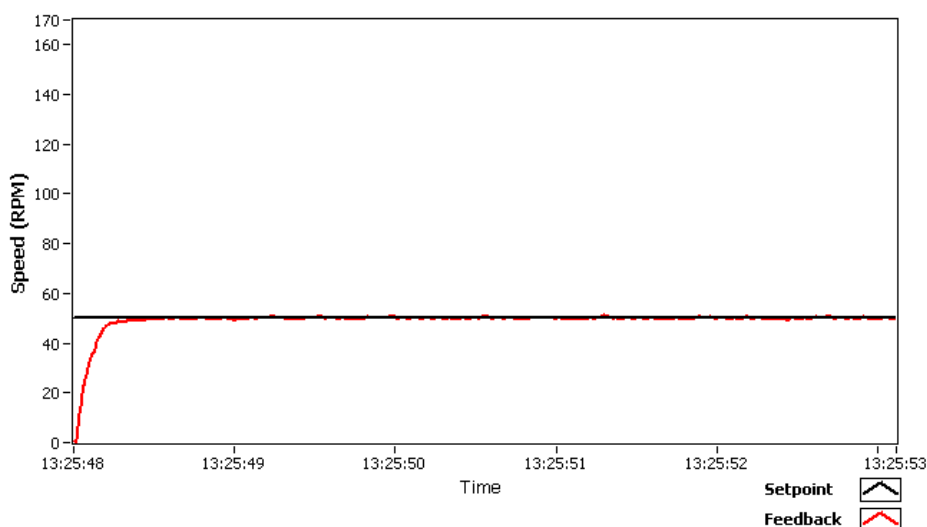
การทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์ ซึ่งสามารถกำหนดค่าความเร็วของมอเตอร์ (Set Point) ได้โดยการกดปุ่มตัวเลขบนหน้าจอ และกดปุ่ม SP ส่วนการปรับค่าเกนพีไอดีสามารถทำได้โดยการกดปุ่มตัวเลขบนหน้าจอและกดปุ่มค่าที่ต้องการปรับตั้งซึ่งมีด้วยกัน 3 ค่า คือ P , I และ D เมื่อปรับตั้งค่าต่าง ๆ เสร็จแล้วต่อไปก็เลือกทิศทางที่ต้องการจะควบคุม โดยผลการตอบสนองสามารถดูได้จากค่าความผิดพลาดที่แสดงอยู่บนหน้าจอ

* หมายเหตุ : ในขณะที่โปรแกรมกำลังทำงานอยู่นั้นจะไม่สามารถกดปุ่มต่าง ๆ บนหน้าจอได้

4.3 ผลการทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์บนคอมพิวเตอร์

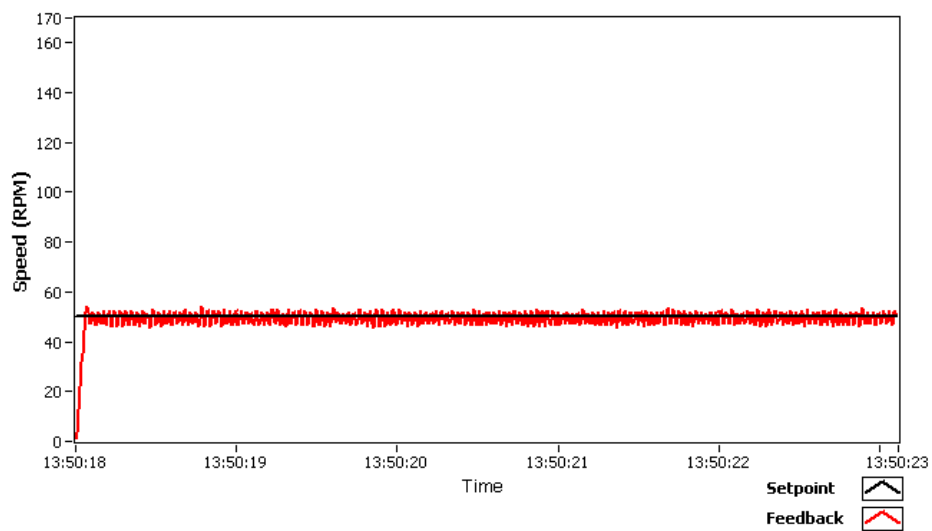
การทดลองได้ทำการปรับค่าความเร็วที่แตกต่างกัน 4 ค่าและปรับค่าแรงดันที่แตกต่างกัน 3 ค่า โดยกำหนดค่าความเร็ว 50 รอบต่อนาที, 100 รอบต่อนาที และ 150 รอบต่อนาทีตามลำดับและค่าแรงดันที่ 10 บาร์, 30 บาร์และ 50 บาร์ ตามลำดับ แต่ในที่นี้ได้เอาค่าความเร็ว 50 รอบต่อนาที และค่าแรงดัน 30 บาร์ เพื่อนำมาเป็นตัวอย่าง

ส่วนในกราฟที่แสดงผลจะมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที(Round per Minute : rpm)และเวลาเป็นมิลลิวินาที

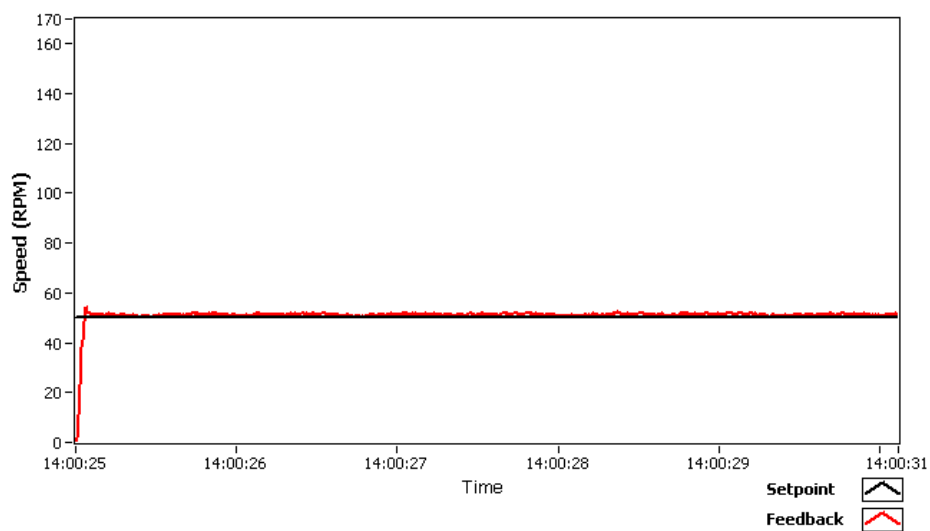


ภาพที่ 4.4 กราฟที่ได้จากแลบVIEW โดยการปรับค่าความเร็วที่ 0 รอบต่อนาที ถึง 50 รอบต่อนาที

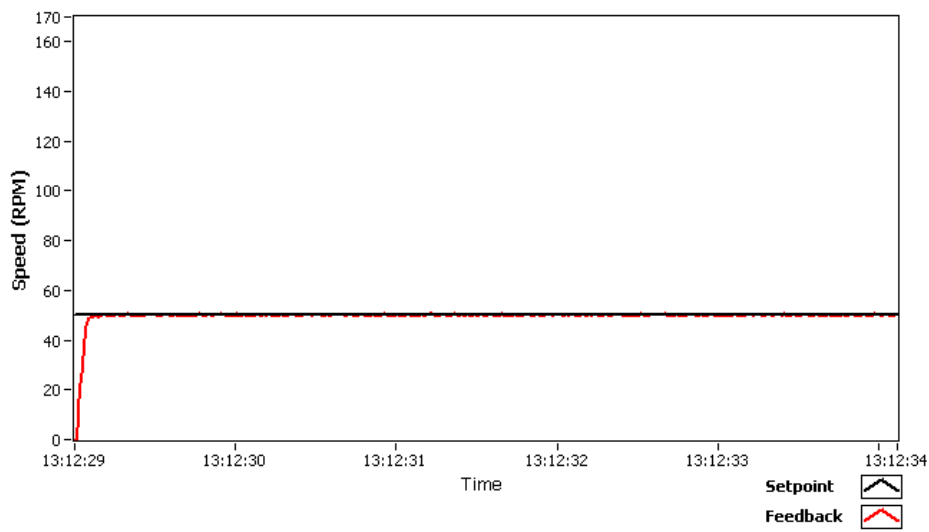
โดยใช้ไฟไอดี



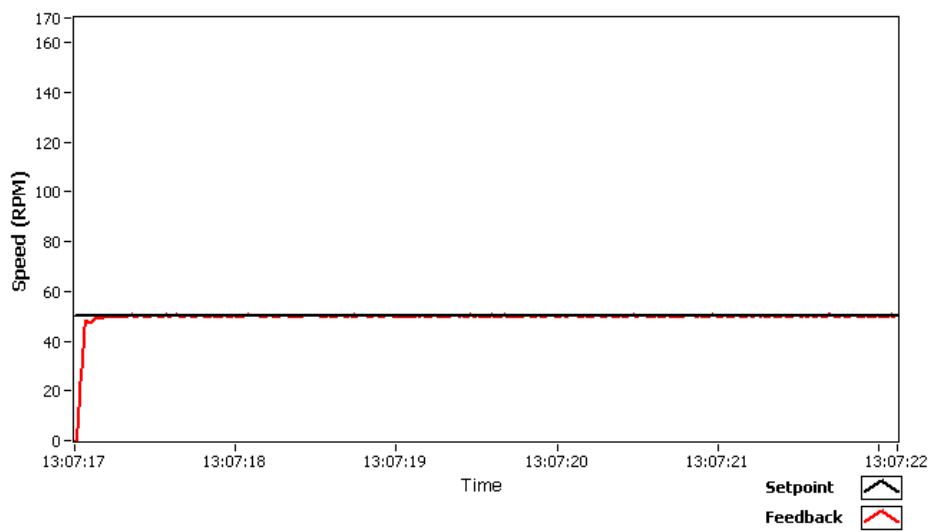
ภาพที่ 4.5 กราฟที่ได้จากแลบวิวโดยการปรับค่าความเร็วที่ 0 รอบต่อนาที ถึง 50 รอบต่อนาที
โดยใช้พัลส์ 3 สมาชิก



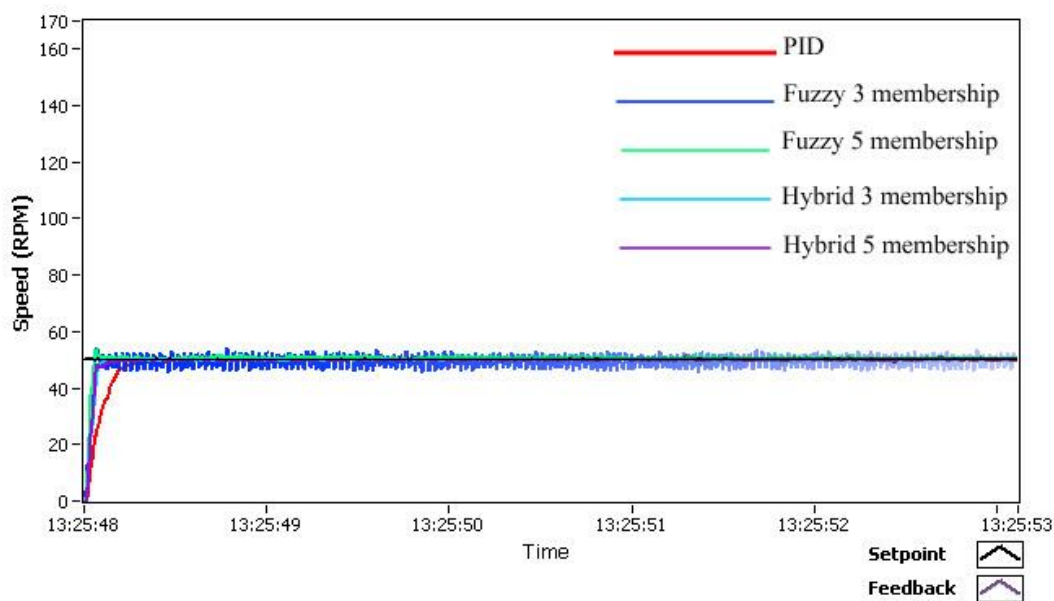
ภาพที่ 4.6 กราฟที่ได้จากแลบวิวโดยการปรับค่าความเร็วที่ 0 รอบต่อนาที ถึง 50 รอบต่อนาที
โดยใช้พัลส์ 5 สมาชิก



ภาพที่ 4.7 กราฟที่ได้จากแลบวิวโดยการปรับค่าความเร็วที่ 0 รอบต่อนาที ถึง 50 รอบต่อนาที โดยใช้ไฮบริด 3 สมาชิก



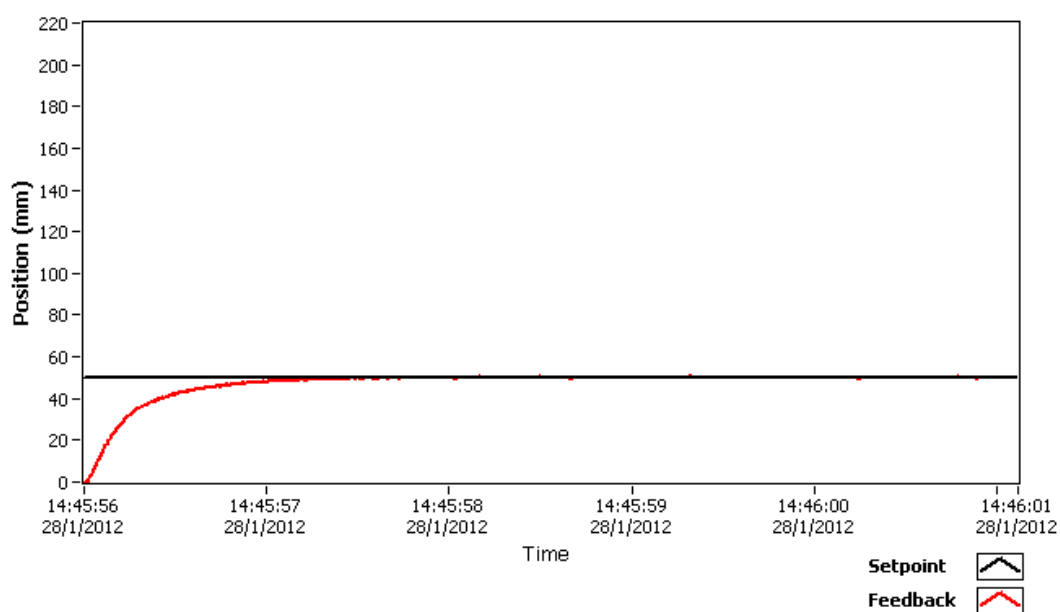
ภาพที่ 4.8 กราฟที่ได้จากแลบวิวโดยการปรับค่าความเร็วที่ 0 รอบต่อนาที ถึง 50 รอบต่อนาที โดยใช้ไฮบริด 5 สมาชิก



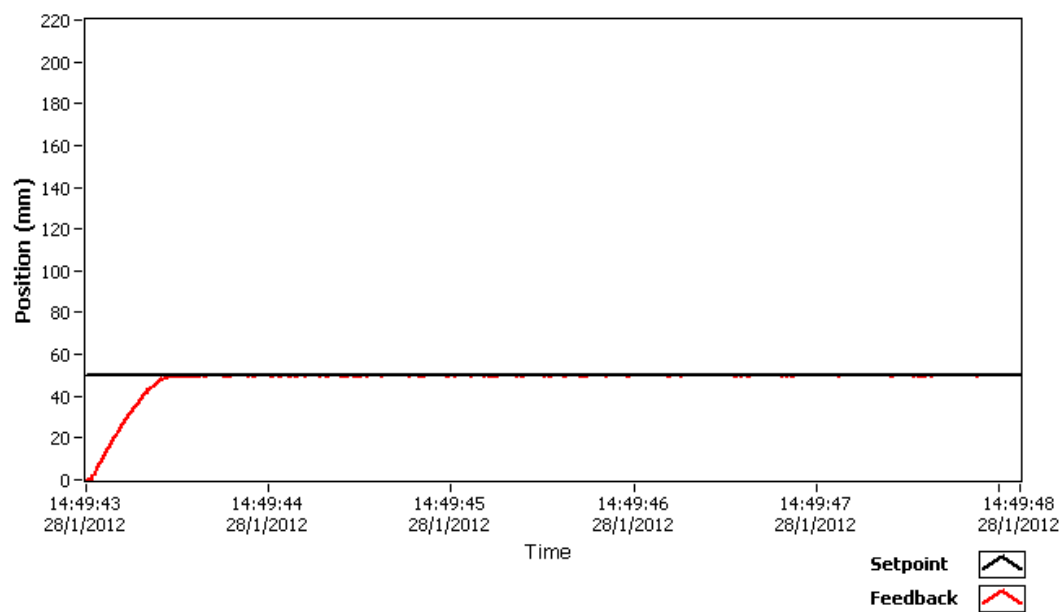
ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบของการควบคุมแบบต่างๆ

4.4 ผลการทดลองควบคุมตำแหน่งกระบอกสูบบนคอมพิวเตอร์

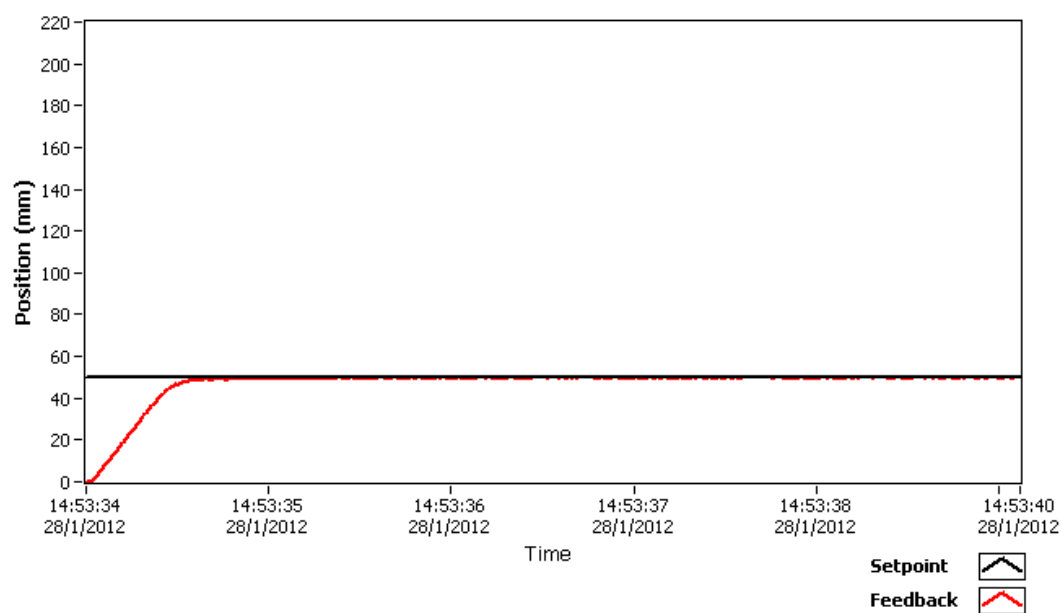
การทดลองได้ทำการปรับค่าระยะที่แตกต่างกัน 4 ค่าและปรับค่าแรงดันที่แตกต่างกัน 3 ค่าโดยกำหนดค่า 50 มิลลิเมตร, 100 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับและค่าแรงดันที่ 10 บาร์, 30 บาร์ และ 50 บาร์ ตามลำดับ แต่ในที่นี้ได้เอาค่าความเร็ว 50 มิลลิเมตร และค่าแรงดัน 30 บาร์ เพื่อนำมาเป็นตัวอย่าง



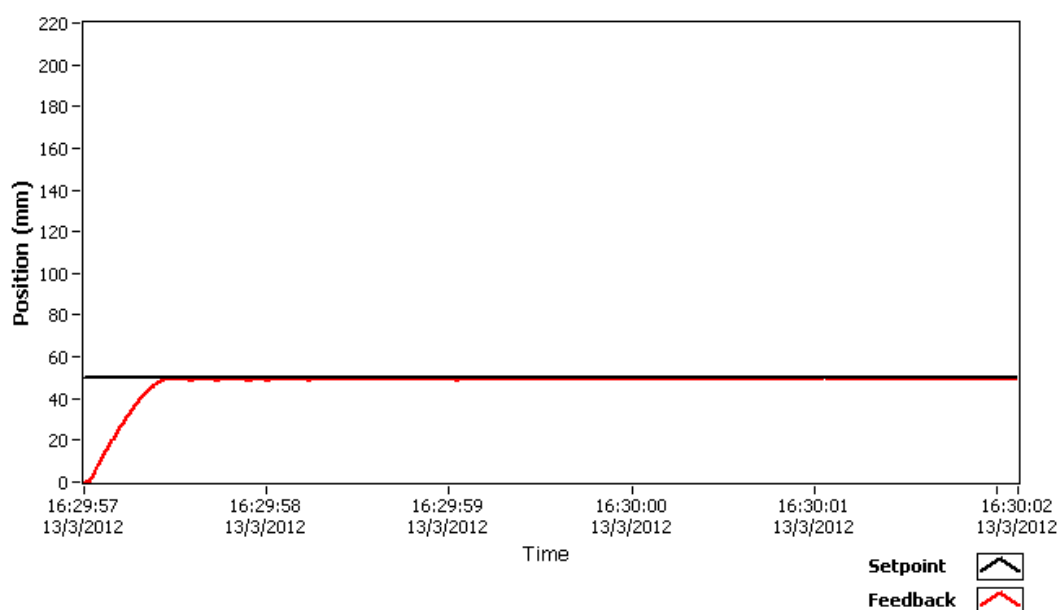
ภาพที่ 4.10 กราฟที่ได้จากแลบวิวโดยการปรับค่าระยะที่ 0 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร โดยใช้พีไอดี



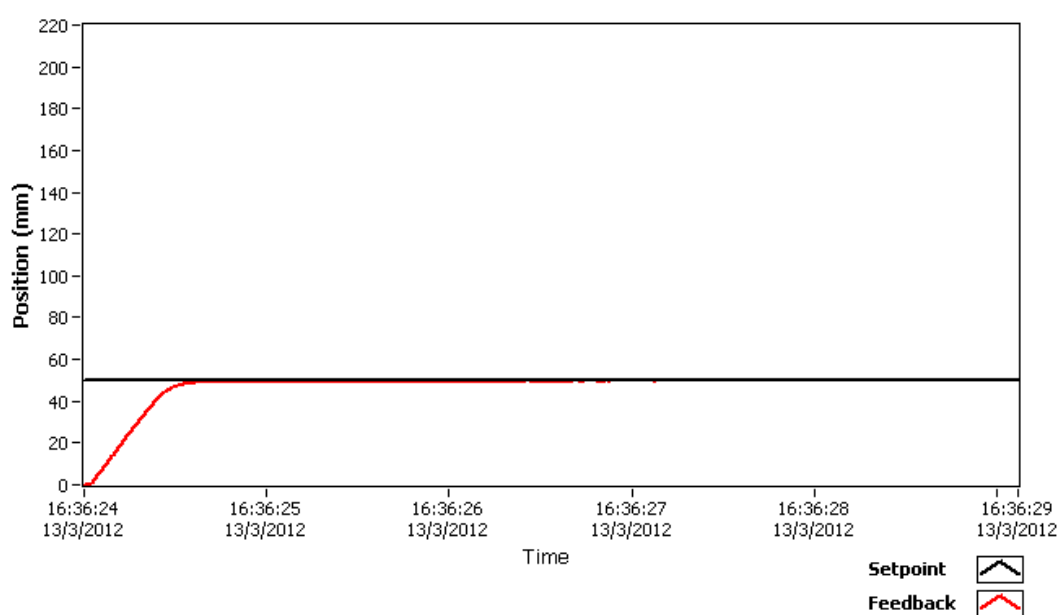
ภาพที่ 4.11 กราฟที่ได้จากแลบวิวโดยการปรับค่าระยะที่ 0 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร
โดยใช้พีซี 3 สมาชิก



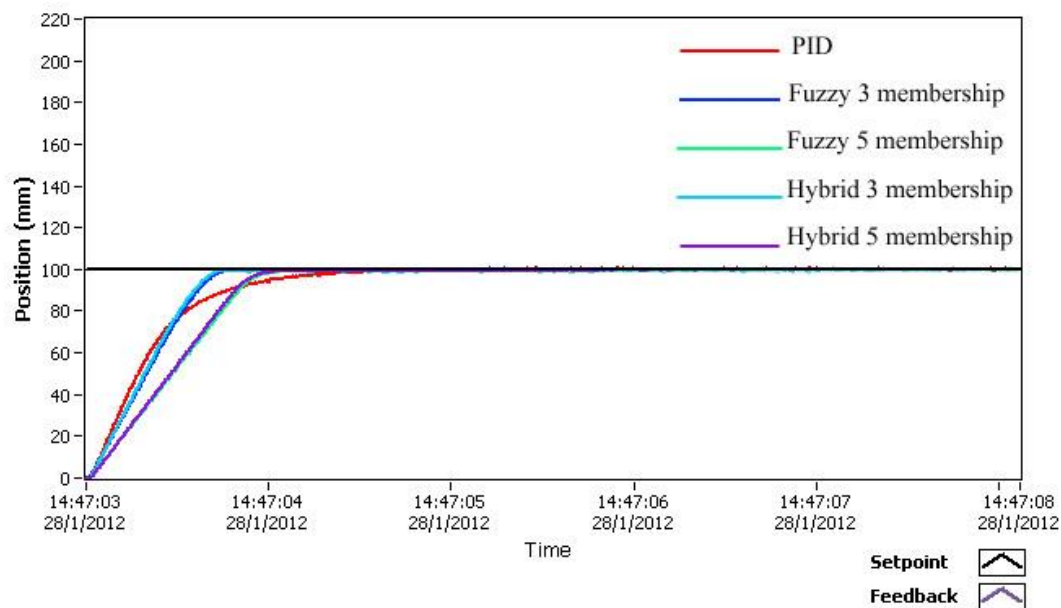
ภาพที่ 4.12 กราฟที่ได้จากแลบวิวโดยการปรับค่าระยะที่ 0 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร
โดยใช้พีซี 5 สมาชิก



ภาพที่ 4.13 กราฟที่ได้จากแลบวิวโดยการปรับค่าระยะที่ 0 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร
โดยใช้ไฮบริด 3 สมาชิก



ภาพที่ 4.14 กราฟที่ได้จากแลบวิวโดยการปรับค่าระยะที่ 0 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร
โดยใช้ไฮบริด 5 สมาชิก



ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบของการควบคุมแบบต่างๆ

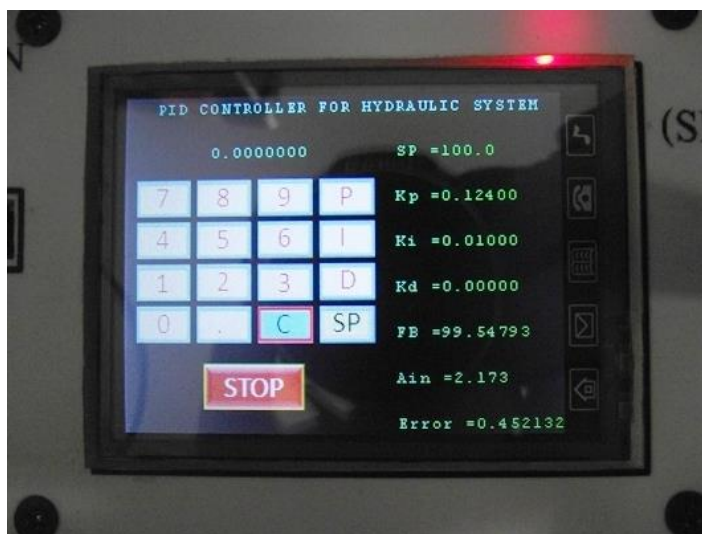
4.5 ผลการทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยพีไอดีบนไมโครคอนโทรลเลอร์ทักสกรีน

การทดลองได้ทำการปรับค่าความเร็วที่แตกต่างกัน 4 ค่าและปรับค่าแรงดันที่แตกต่างกัน 3 ค่า โดยกำหนดค่าความเร็ว 50 รอบต่อนาที, 100 รอบต่อนาที และ 150 รอบต่อนาทีตามลำดับและค่าแรงดันที่ 10 บาร์, 30 บาร์และ 50 บาร์ ตามลำดับ แต่ในที่นี้ได้เอาค่าแรงดัน 30 บาร์ มาเป็นตัวอย่าง



ภาพที่ 4.16 การปรับค่าความเร็วที่ 0 รอบต่อนาที ถึง 50 รอบต่อนาที

จากภาพที่ 4.16 เป็นผลการทดลอง ซึ่งปรับค่าความเร็วจาก 0 ถึง 50 รอบต่อนาที โดยการปรับค่าเกนที่ $K_p = 0.124$, $K_i = 0.01$, $K_d = 0$ และมีค่าความผิดพลาดประมาณ 0.74%



ภาพที่ 4.17 การปรับค่าความเร็วที่ 0 รอบต่อนาที ถึง 100 รอบต่อนาที

จากภาพที่ 4.17 เป็นผลการทดลองซึ่งปรับค่าความเร็วจาก 0 รอบต่อนาที ถึง 100 รอบต่อนาที โดยการปรับค่าเกณฑ์ $K_p = 0.124$, $K_i = 0.01$, $K_d = 0$ และมีค่าความผิดพลาดประมาณ 0.45%



ภาพที่ 4.18 การปรับค่าความเร็วที่ 0 รอบต่อนาที ถึง 150 รอบต่อนาที

จากภาพที่ 4.18 เป็นผลการทดลองซึ่งปรับค่าความเร็วจาก 0 รอบต่อนาที ถึง 150 รอบต่อนาที โดยการปรับค่าเกณฑ์ $K_p = 0.124$, $K_i = 0.01$, $K_d = 0$ และมีค่าความผิดพลาดประมาณ 0.02%

4.6 ผลการทดลองควบคุมตำแหน่งกระบอกสูบด้วยพีไอดีบนไมโครคอนโทรลเลอร์ทักสกรีน

การทดลองได้ทำการปรับค่าระยะทางที่แตกต่างกัน 3 ค่าและปรับค่าแรงดันที่แตกต่างกัน 3 ค่า โดยกำหนดค่าความเร็ว 50 มิลลิเมตร, 100 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับและค่าแรงดันที่ 10 บาร์, 30 บาร์และ 50 บาร์ ตามลำดับ แต่ในที่นี้ได้เอาค่าแรงดัน 30 บาร์ มาเป็นตัวอย่าง



ภาพที่ 4.19 การปรับค่าระยะทางที่ 0 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

จากภาพที่ 4.19 เป็นผลการทดลองซึ่งปรับค่าระยะทางจาก 0 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร โดยการปรับค่าเกณฑ์ $K_p = 6.22$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ และมีค่าความผิดพลาดประมาณ 0.35%



ภาพที่ 4.20 การปรับค่าระยะทางที่ 0 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร

จากภาพที่ 4.20 เป็นผลการทดลองซึ่งปรับค่าระยะทางจาก 0 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร โดยการปรับค่าเกณฑ์ $K_p = 6.22$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ และมีค่าความผิดพลาดประมาณ 0.73%



ภาพที่ 4.21 การปรับค่าระยะทางที่ 0 มิลลิเมตร ถึง 150 มิลลิเมตร

จากภาพที่ 4.21 เป็นผลการทดลองซึ่งปรับค่าระยะทางจาก 0 มิลลิเมตร ถึง 150 มิลลิเมตร โดยการปรับค่าเกณฑ์ $K_p = 6.22$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ และมีค่าความผิดพลาดประมาณ 0.18%