การควบคุมฟัซซี่ลอจิกของระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิก

Fuzzy Logic Control of Proportional Hydraulic System

อุนนัต พิณโสภณ[1] และ ณัฐวุฒิ เดไปวา[2]
[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในการควบคุมความเร็วของระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิก ระบบไฮดรอลิกที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยแขนกลที่ทำงานด้วยกระบอกสูบและบังคับความเร็วการทำงานด้วยวาล์วควบคุมทิศทางชนิดพรอพอร์ชันนัล ระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่สร้างขึ้นจะคำนวณคำสั่งสั่งงานส่งไปยังวาล์วควบคุมทิศทางพอร์ชันนัลโดยใช้สัญญาณป้อนกลับจากเอนโคดเดอร์ของแขนกลไฮดรอลิก ผลการควบคุมความเร็วของระบบไฮดรอลิกด้วยฟัซซี่ลอจิกจะถูกเปรียบเทียบกับผลการควบคุมด้วยระบบควบคุมพีไอ

คำสำคัญ: ฟัซซี่ลอจิก ระบบไฮดรอลิก วาล์วพรอพอร์ชันนัล

Abstract

This paper presents the design and implementation of fuzzy logic control for velocity feedback control of proportional hydraulic system. The hydraulic system in this study consists of robot arms actuated by hydraulic cylinders. The velocities of the arms are controlled by proportional directional control valves. The fuzzy logic calculates the valve control action based on the encoder feedback signal from the robot arms. Velocity tracking performances of fuzzy logic will be then compared with the tracking performances obtained from PI control system.

Keywords: Fuzzy logic, Hydraulic System, Proportional Valve

1. บทนำ

การใช้งานระบบไฮดรอลิกเป็นไปอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมหนัก เนื่องจากข้อดีของระบบไฮดรอลิกคือความทนทานในการใช้งานหนักเป็นระยะเวลาต่อเนื่องโดยปราศจากความเสียหาย ความสะดวกในการถ่ายทอดกำลังโดยผ่านทางสายไฮดรอลิก การเคลื่อนที่ของไฮดรอลิกมีความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น อัตราส่วนระหว่างขนาดต่อกำลังที่ได้มีขนาดเล็กกว่าระบบอื่น และระบบไฮดรอลิกมีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนได้ดีกว่าระบบอื่น แต่ข้อเสียที่สำคัญของระบบไฮดรอลิกคือระบบ"ฮดรอลิกเป็นระบบที่ซับซ้อน ไม่เป็นเชิงเส้น และยากที่จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ละเอียดและถูกต้อง [1]

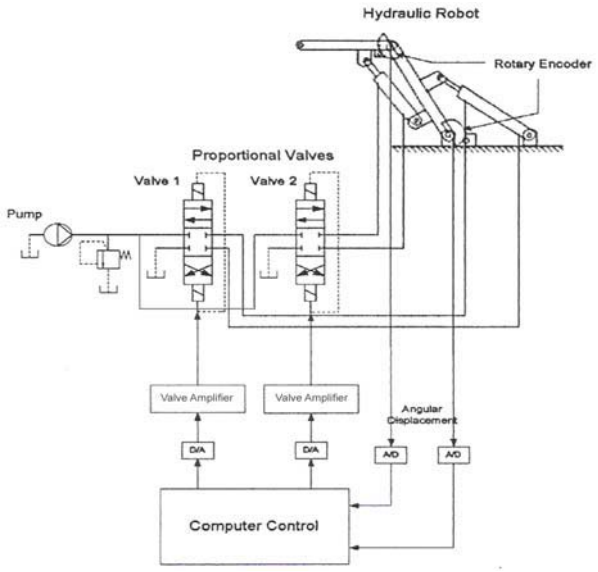
ระบบควบคุมหลายประเภทได้ถูกวิจัยและทดสอบกับระบบ"ฮดรอลิกในอดีตที่ผ่านมา [2] ระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกเป็นหนึ่งในระบบควบคุมที่ได้รับความสนใจในการประยุกต์ใช้กับระบบไฮดรอลิก [2] [3] [4] [5] เนื่องจากระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกสามารถพัฒนาขึ้นโดยผู้ที่ออกแบบไม่จำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่จะพิจารณาบนพื้นฐานพฤติกรรมของระบบที่จะควบคุม ทำให้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่มีความคล้ายคลึงกับการตัดสินใจของมนุษย์ [6] แต่การออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกนั้นกระทำได้ไม่ง่ายนักเนื่องจากต้องใช้ความชำนาญในการกำหนดเงื่อนไขและกฎการควบคุมฟัซซี่ บทความนี้จึงได้นำเสนอการสร้างระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกอย่างง่ายสำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบไฮดรอลิก ระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่แสดงในบทความนี้จะประกอบด้วยจำนวนของกฎการควบคุมที่ไม่มากนัก ผลการควบคุมความเร็วของระบบไฮดรอลิกด้วยฟัซซี่ลอจิกจะถูกเปรียบเทียบกับผลการควบคุมด้วยระบบควบคุมพีไอ

2. อุปกรณ์ทดลอง

รูป 1 ชุดอุปกรณ์แขนกลไฮดรอลิก

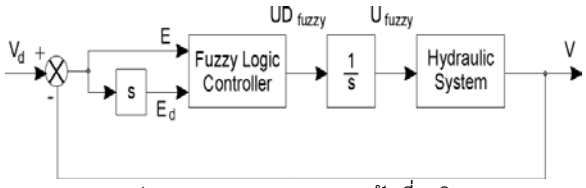
การควบคุมความเร็วของระบบไฮดรอลิกที่แสดงในบทความนี้กระทำการทดลองด้วยชุดทดลองระบบแขนกลไฮดรอลิกสองแขนดังแสดงในรูป 1 แผนภาพอธิบายการทำงานชุดทดลองของระบบแขนกลไฮดรอลิกแสดงในรูป 2 แขนกลแต่ละแขนจะขับเคลื่อนด้วยกระบอกสูบไฮดรอลิก โดยที่กระบอกสูบแต่ละตัวจะรับน้ำมันจากวาล์วควบคุมทิศทางชนิดพรอพอร์ชันนัล การเคลื่อนที่ของแต่ละแขนจะถูกวัดด้วยโรตารีเอนโคดเดอร์ที่ติดตั้งอยู่บนแขนกล การควบคุมอัตราการไหลและทิศทางของน้ำมันไฮดรอลิกเข้าแต่ละกระบอกสูบเพื่อควบคุมความเร็วกระทำได้ด้วยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะคำนวณสัญญาณควบคุม

ตามสัญญาณสั่งงานและสัญญาณป้อนกลับจากเอนโคดเดอร์ สัญญาณสั่งงานจากคอมพิวเตอร์จะถูกขยายด้วยวาล์วแอมปลิไฟเออร์ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมทิศทาง ที่ตำแหน่งปลายของแขนกลแขนที่สองจะมีที่สำหรับติดตั้งมวลถ่วงเพื่อใช้สำหรับการทดลองในกรณีที่ภาระภายนอกมีขนาดไม่คงที่



รูป 2 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบแขนกลไฮดรอลิก

3. การออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกสำหรับการควบคุมแขนกลไฮดรอลิค



รูป 3 แผนภาพระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิก

รูป 3 แสดงแผนภาพระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่ใช้ในการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก โดยที่ Vd เป็นสัญญาณคำสั่งความเร็ว V เป็นสัญญาณความเร็วที่วัดได้ E เป็นค่าความผิดพลาด Ed เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด UDfuzzy เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสั่งงาน และ Ufuzzy เป็นค่าสัญญาณสั่งงาน การออกแบบระบบฟัซซีลอจิกนี้เป็นการเลียนแบบการทำงานของการควบคุมแบบพีไอ โดยหลักการทำงานของการควบคุมแบบพีไอ มีดังนี้

$$U_{PI} = K_P e + K_I \int_0^t e dt \qquad (1)$$

$$\dot{U}_{PI} = K_P \dot{e} + K_I e \qquad (2)$$

โดย K_P คือเกนของตัวควบคุมเชิงสัดส่วน

K_I คือเกนของตัวควบคุมเชิงอินทิกรัล

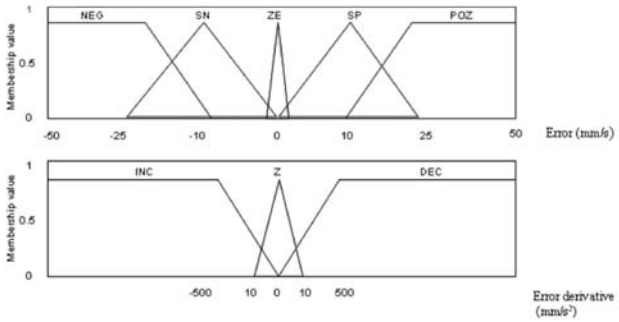
e คือความผิดพลาด

ระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิกใช้สมการ (2) ในการเลียนแบบการทำงาน ดังนั้นสัญญาณสั่งงานจากตัวควบคุมแบบฟัซซีคืออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสั่งงาน จึงต้องทำการแปลงให้เป็นสัญญาณสั่งงานเสียก่อนเสียก่อนดังสมการ (3)

$$U_{fuzzy} = \left(UD_{fuzzy} \times \Delta t\right) + U_{fuzzy(old)} \qquad (3)$$

โดย $U_{fuzzy(old)}$ คือสัญญาณสั่งงานรอบก่อนหน้า

รูป 4 แสดงการออกแบบฟังก์ชันสมาชิก (membership function) ของอินพุททั้งสองตัว ซึ่งก็คือค่าความผิดพลาด (E) และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด (Ed)



รูป 4 การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกของอินพุท

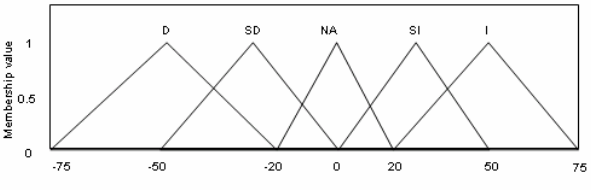
กฎที่ใช้ในการควบคุมฟัซซี่ลอจิกมีรายละเอียดดังแสดงในรูป 5

Error

Error Derivative	NEG	SN	ZE	SP	PEZ
DEC	SD	NA	NA	SI	I
Z	D	SD	NA	SI	I
INC	D	SD	NA	NA	SI

รูป 5 กฎการควบคุมฟัซซี่ลอจิก

รูป 6 แสดงการออกแบบฟังก์ชันสมาชิกเอาท์พุทจากฟัซซี่ลอจิก การแปลงสัญญาณของสมาชิกเอาท์พุทที่ได้ให้เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสั่งงาน (UDfuzzy) จะใช้ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ (Center of Area method)



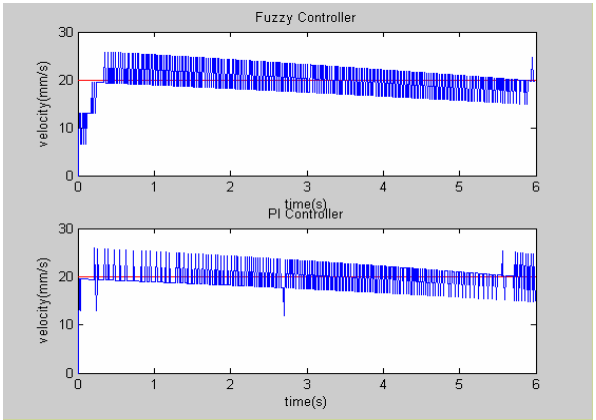
รูป 6 การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกของเอาท์พุท

4. การทดลอง

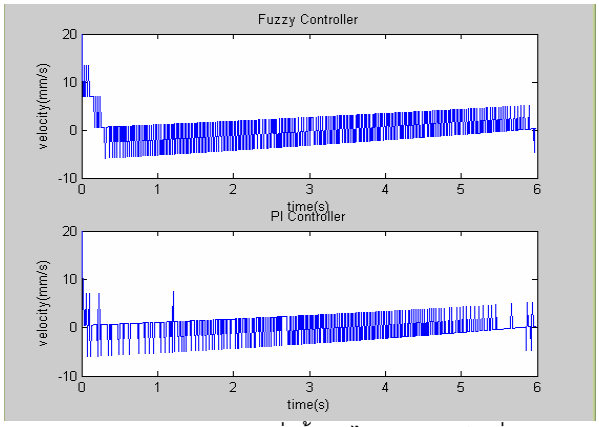
การทดลองเพื่อทดสอบความสามารถของระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกกระทำโดยการควบคุมความเร็วของแขนกลแขนที่หนึ่ง(หรือแขนล่าง) การควบคุมความเร็วของระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกได้ถูกเปรียบเทียบกับระบบควบคุมพีไอ ค่าเกน K_P และ K_I ของระบบควบคุมพีไอถูกเลือกโดยการทดลองให้มีผลการควบคุมที่ดีที่สุด

รูป 7 แสดงการตอบสนองต่อคำสั่งความเร็วขั้นบันได 20 mm/s ของทั้งสองระบบควบคุม โดยที่รูป 7ก.แสดงผลการตอบสนอง รูป 7ข. แสดงค่าความผิดพลาด และรูป 7ค.แสดงสัญญาณคำสั่ง จากรูปจะเห็นว่าระบบฟัซซี่ลอจิกจะมีช่วงเวลาเพิ่มระดับ (rise time) ที่นานกว่าระบบควบคุมพีไอ ค่าความผิดพลาดของทั้งสองระบบมีขนาดใกล้เคียงกัน

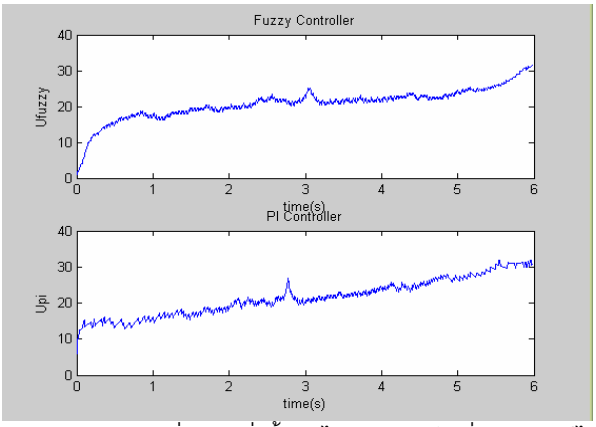
รูป 8 ถึงรูป 10 แสดงการตอบสนองต่อคำสั่งความเร็วคลื่นรูปไซน์ที่มีขนาดแอมพลิจูด 10 mm/s 20 mm/s และ30 mm/s ตามลำดับ ทั้งสองระบบควบคุมมีความสามารถในการตามสัญญาณคำสั่งใกล้เคียงกัน ดังจะเห็นได้จากรูปค่าความผิดพลาดในรูป 8ข. ถึงรูป 10ข.



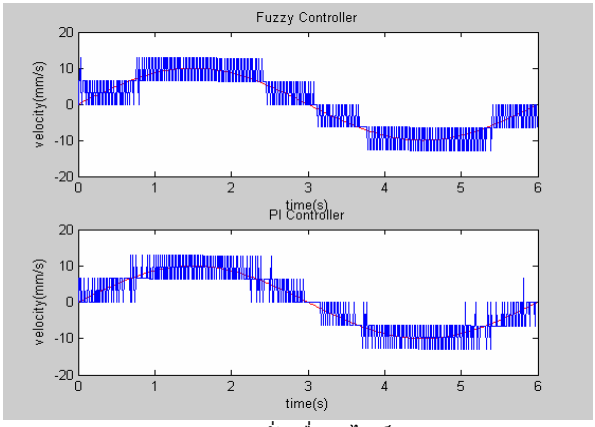
รูป 7ก. การตอบสนองต่อคำสั่งขั้นบันไดของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



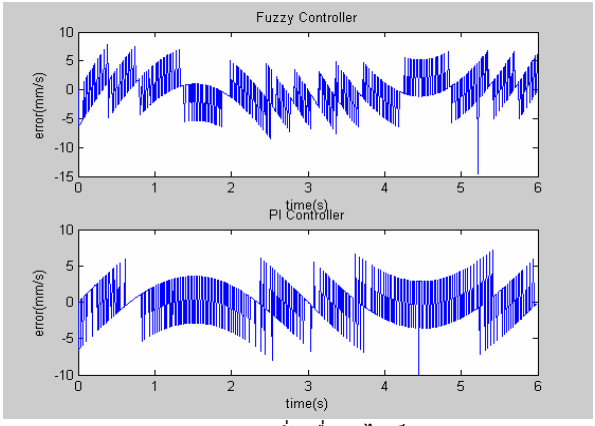
รูป 7ข. ค่าความผิดพลาดต่อคำสั่งขั้นบันไดของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



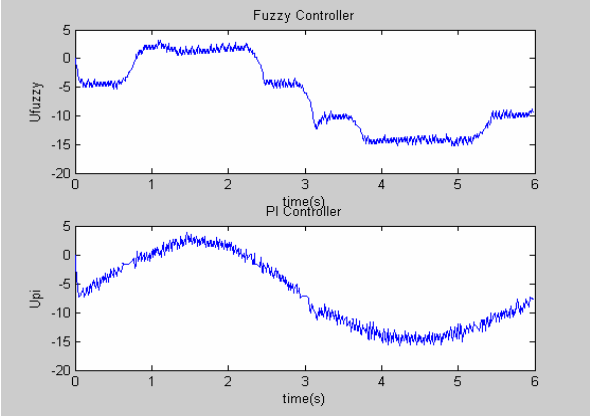
รูป 7ค. สัญญาณคำสั่งต่อคำสั่งขั้นบันไดของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



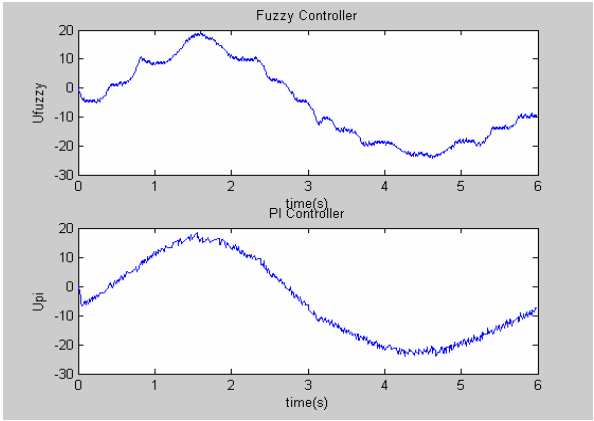
รูป 8ก. การตอบสนองต่อคำสั่งคลื่นรูปไซน์ แอมพลิจูด 10 mm/s ของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



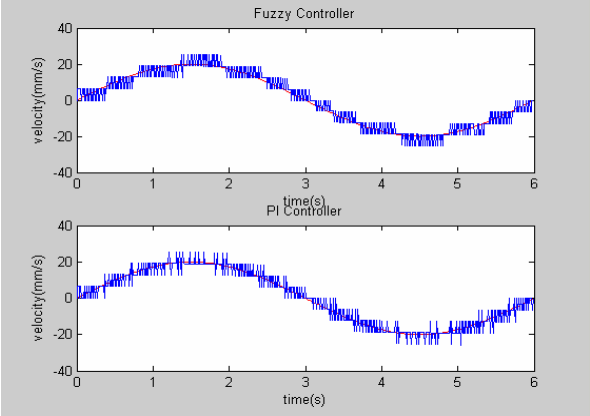
รูป 8ข. ค่าความผิดพลาดต่อคำสั่งคลื่นรูปไซน์ แอมพลิจูด 10 mm/s ของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



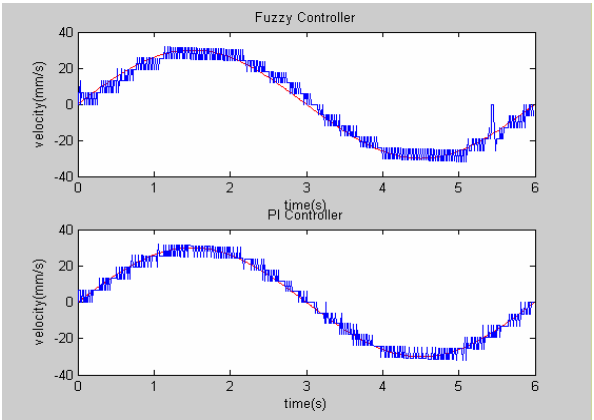
รูป 8ค. สัญญาณคำสั่งต่อคำสั่งคลื่นรูปไซน์ แอมพลิจูด 10 mm/s ของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



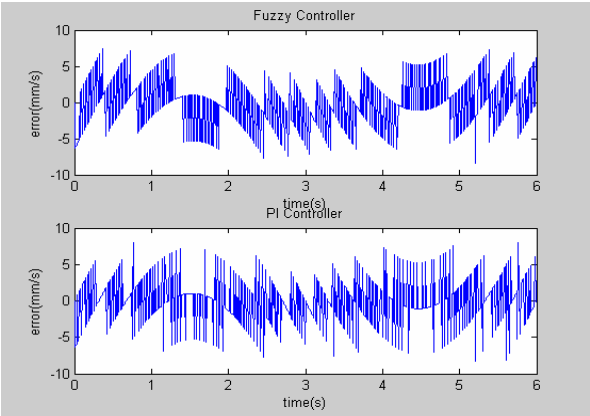
รูป 9ค. สัญญาณคำสั่งต่อคำสั่งคลื่นรูปไซน์ แอมพลิจูด 20 mm/s ของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



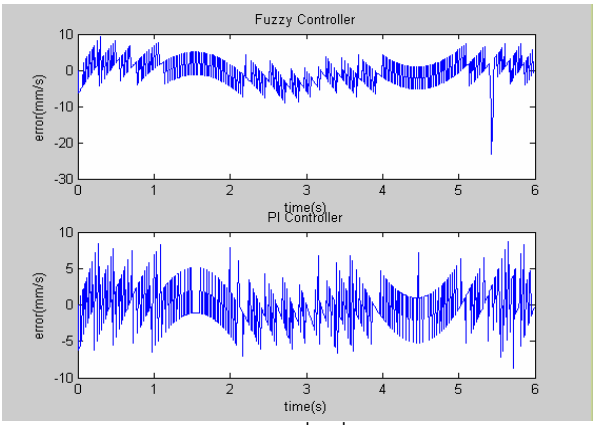
รูป 9ก. การตอบสนองต่อคำสั่งคลื่นรูปไซน์ แอมพลิจูด 20 mm/s ของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



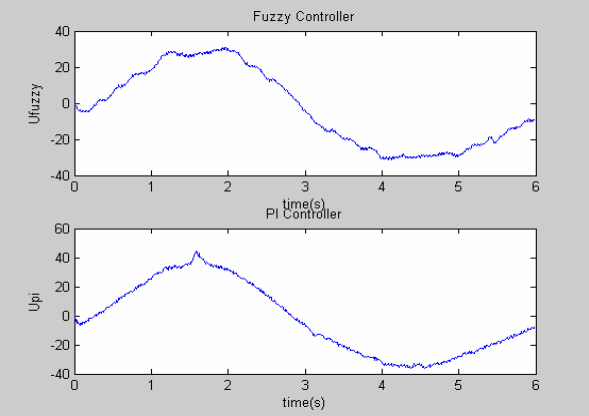
รูป 10ก. การตอบสนองต่อคำสั่งคลื่นรูปไซน์ แอมพลิจูด 30 mm/s ของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



รูป 9ข. ค่าความผิดพลาดต่อคำสั่งคลื่นรูปไซน์ แอมพลิจูด 20 mm/s ของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



รูป 10ข. ค่าความผิดพลาดต่อคำสั่งคลื่นรูปไซน์ แอมพลิจูด 30 mm/s ของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ



รูป 10ค. สัญญาณคำสั่งต่อคำสั่งคลื่นรูปไซน์ แอมพลิจูด 30 mm/s ของระบบฟัซซี่และระบบพีไอ

5 สรุปผลการทดลอง

ระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกอย่างง่ายได้ถูกออกแบบและประยุกต์ใช้กับการควบคุมความเร็วของระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิก ระบบควบคุมได้ถูกออกแบบด้วยจำนวนของกฎการควบคุมที่ไม่มากนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นผลการควบคุมที่ดีของระบบฟัซซี่ลอจิกเมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมพีไอ ระบบฟัซซี่ลอจิกจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับระบบควบคุมพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิก

6. เอกสารอ้างอิง

[1] H. Merritt, “Hydraulic control systems”, Wiley, 1967.

[2] K. Edge, “The control of fluid power systems – responding to the future”, Proc. of Instn. Mech. Engrs., Part I, Vol. 211, pp. 91-110, 1997.

[3] Q. Zhang, D. Meinhold, and J. Krone, “Valve Transform Fuzzy Tuning Algorithm for Open-centre Electro-hydraulic Systems”, Journal of Agric. Engng. Res. Vol73 331-339, 1999.

[4] P. Branco and J. Dente, “Design of an electro-hydraulic system using neuro-fuzzy Techniques”, Fusion of Neural Networks, Fuzzy Sets & Genetic Algorithms: Industrial Applications, Chapter 4, CRC Press, 1999

[5] B. Nicoaus and H. Kiendl, “Evolutionary optimization of industrial hydraulic valve with the help of a fuzzy performance-index”, 10th Conference on Fuzzy Systems, December 2001, Melbourne, Australia.

[6] สัญญา มิตรเอม, ”หลักการเบื้องต้นของระบบควบคุมแบบฟัซซี่”, วารสารสมาคมวิชาการหุ่นยนตร์ไทย, vol1, no1, pp5-22, มีนาคม 2544