

การควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเตาอบด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก Temperature Control of Oven Process with Fuzzy Logic Controller

คมกฤษ รามัญ¹, อำนาจ กาศักดิ์², สิทธิชัย บุญปิยทัศน์³, เสถียร ธัญญศรีรัตน์⁴, เทียนชัย สุขศรี^{5*}
^{1,2,4,5} สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม, ³ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร 0-2219-3861, โทรสาร 0-2219-3861, *อีเมล์ aaa_kmitt@hotmail.com

Komkrit Ramanut¹, Amnaj Kasak², Sithchai Boonpiyathud³, Satean Tunyasirrat⁴, Tianchai Suksri^{5*}
^{1,2,4,5} Department of Instrumentation Engineering, ³ Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Pathumwan, Bangkok, 10330, Thailand,

Tel: 0-2219-3861, Fax: 0-2219-3861, *E-mail: aaa_kmitt@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเตาอบด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก โดยกระบวนการที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบไปด้วย เตาอบที่ควบคุมการทำงานด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแท่งฮีตเตอร์ผ่านทางอุปกรณ์ควบคุมมูมเฟส และใช้อาร์ทีดีเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ ซึ่งช่วงของอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้อยู่ระหว่าง 25 – 180 °C ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกและการควบคุมกระบวนการเตาอบ กระทำบนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ PID Control Toolset และใช้การ์ดอินเทอร์เฟซ DAQ USB-6008 ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการเตาอบ จากผลการทดลองพบว่าตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบทั้งในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว และมีค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวไม่เกิน $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Abstract

This objective of experiment is temperature control of oven process with fuzzy logic controller. The process is composed of oven and phase angle for heater controlling. Internal temperature in the oven is detected by RTD. Range of temperature operation is among 25-180 °C that is control by LabVIEW programming combination with PID Control Toolset. The interface between controller and process is operated by DAQ USB-6008. The results of the experiment show that fuzzy logic controller can efficiently control internal temperature of the oven in load and no-

load condition, fast response and steady state error less than $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

1. บทนำ

ระบบการควบคุมกระบวนการในภาคอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่ นั้นกระบวนการ (process) เป็นแบบอันดับหนึ่ง (first order), อันดับสอง (second order) ไปจนถึงอันดับสูง (higher order) รวมไปถึงกระบวนการที่มีเวลาไร้ผลตอบสนอง (dead time) ซึ่งกระบวนการเตาอบเป็นกระบวนการการควบคุมอุณหภูมิแบบหนึ่ง ที่ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม โดยคุณลักษณะของกระบวนการเตาอบนั้น เป็นกระบวนการแบบอันดับหนึ่งที่มีเวลาไร้ผลตอบสนองรวมอยู่ด้วย (first order plus dead time) ซึ่งตัวควบคุมที่ได้รับนิยมนำไปใช้งานในการควบคุมกระบวนการโดยส่วนใหญ่คือ ตัวควบคุมแบบพี (P : proportional), พีไอ (PI : proportional integral) และพีไอดี (PID : proportional integral derivative) แม้ว่าตัวควบคุมแบบที่ได้กล่าวมานั้น ได้รับความนิยมในการนำไปใช้งานเป็นส่วนใหญ่ในภาคอุตสาหกรรม แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมนั้นเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก และถึงแม้จะมีวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม [1, 2] แต่ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้นั้น ก็ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน ในการควบคุมกระบวนการได้ทันทีที่ต้องมีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอย่างละเอียด (fine tune) เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการนั้นๆก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานควบคุมกระบวนการจริง

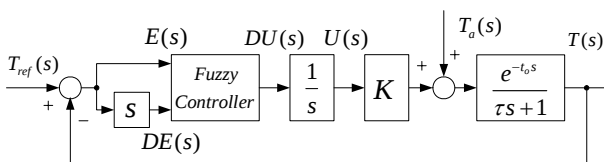
ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย L.A.Zadeh ในปี 1965 [3] ตั้งแต่นั้นมาทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกก็ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบควบคุมต่างๆ เช่นการ

ควบคุมความเร็วรอบของอินดัคชันมอเตอร์ [4, 5] เหตุที่ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกได้รับความนิยม ในการนำไปใช้งานในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถชดเชยข้อเสียของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม ที่การออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิมนั้น ต้องรู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ หากไม่รู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ก็ไม่สามารถออกแบบตัวควบคุม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการได้ นอกจากนั้นหากกระบวนการที่ต้องการควบคุม มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน จะทำให้การออกแบบตัวควบคุมนั้นยากลำบากมากขึ้น

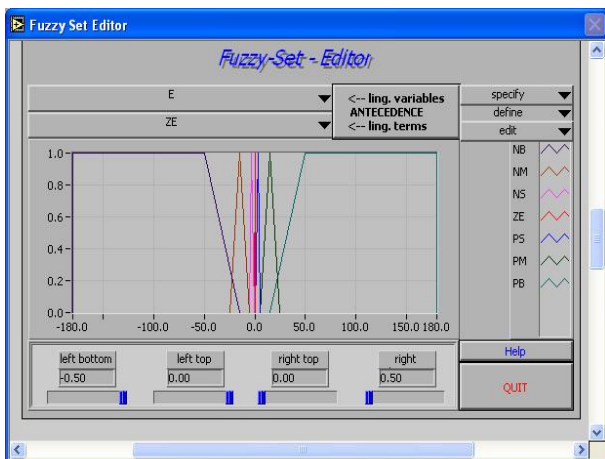
ในบทความนี้นำเสนอ การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกสำหรับประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ โดยการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกและการควบคุมกระบวนการเตาอบนั้น ได้กระทำบนโปรแกรม LabVIEW [6, 7] ร่วมกับ PID Control Toolset [8] และใช้การ์ดอินเทอร์เฟซ DAQ USB-6008 ในการรับและส่งสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการเตาอบ สำหรับการทดลองจะทำการควบคุมกระบวนการอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ พีไอ และพีไอดี ทั้งในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด

2. การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

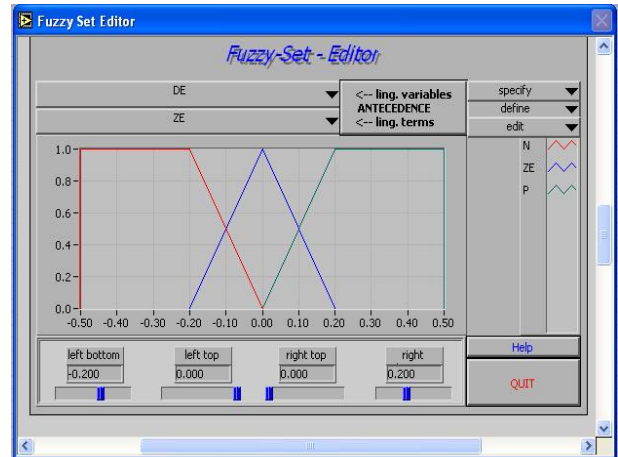
ระบบควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเตาอบในบทความนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 1. จากรูปที่ 1. ระบบควบคุมประกอบไปด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแบบ mamdani โดยอินพุตของตัวควบคุมฟัซซี่มีสองตัวคือ ค่าความผิดพลาด (Error) E และ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด (Delta Error) DE ส่วนเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี่คือ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุม (Delta Control Signal) DU และค่าสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการเตาอบคือ U



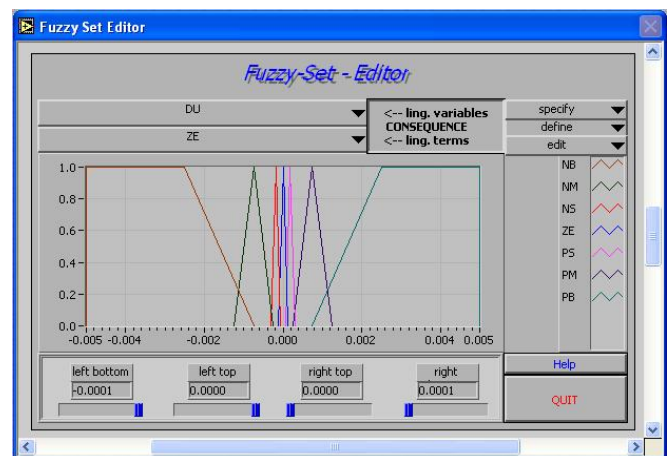
รูปที่ 1. ब्ल็อกไดอะแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิกระบวนการเตาอบ



รูปที่ 2. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตค่าความผิดพลาด (Error) E



รูปที่ 3. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด (Delta Error) E



รูปที่ 4. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุม (Delta Control Signal) DU

รูปที่ 2., 3. และ 4. แสดงการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ด้วย PID Control Toolset บนโปรแกรม LabVIEW โดยในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกนี้ ได้กำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตแบบค่าความผิดพลาดมีสมาชิก 7 ตัวและช่วงของฟัซซี่เซตมีค่าระหว่าง -180 ถึง 180 แสดงได้ดังรูปที่ 2. สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตแบบค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด กำหนดให้มีสมาชิก 3 ตัว และช่วงของฟัซซี่เซตมีค่าระหว่าง -0.5 ถึง 0.5 แสดงได้ดังรูปที่ 3. ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ของเอาต์พุตค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุม กำหนดให้มีสมาชิก 7 ตัวและช่วงของฟัซซี่เซตมีค่าระหว่าง -0.005 ถึง 0.005 แสดงได้ดังรูปที่ 4.

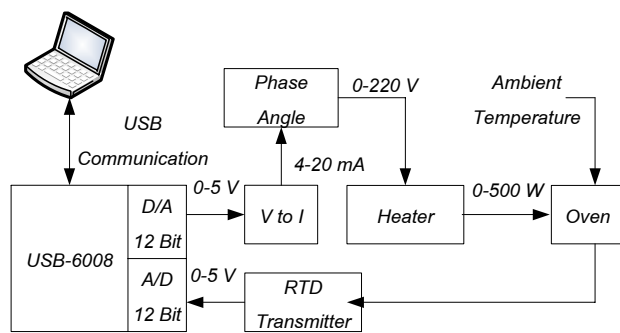
สำหรับกฎการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่ใช้ในการควบคุม นั้นจะมีทั้งหมด 21 กฎด้วยกัน โดยตารางกฎการควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. กฎการควบคุมของตัวควบคุมพีชซีลอจิก

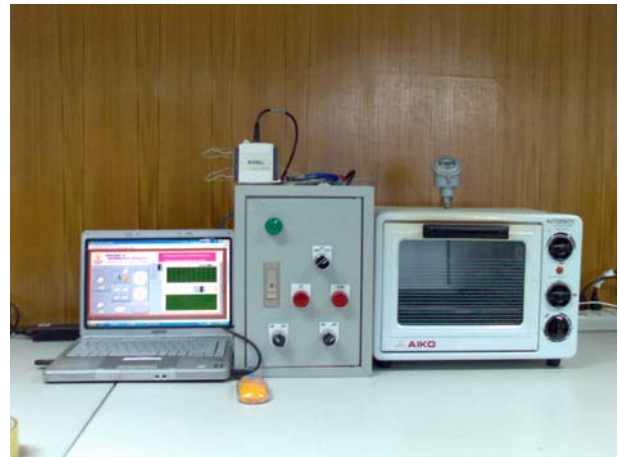
		Delta Error (Celsius)		
		N	ZE	P
Error (Celsius)	NB	NB	NB	NM
	NM	NM	NM	NS
	NS	NS	NS	ZE
	ZE	NS	ZE	PS
	PS	ZE	PS	PS
	PM	PS	PM	PM
	PB	PM	PB	PB

3. การออกแบบระบบควบคุมด้วย LabVIEW

ระบบควบคุมประกอบไปด้วยเตาอบขนาดปริมาตร 15,000 cm³ หรือ 15 ลิตร ควบคุมการทำงานด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแท่งฮีตเตอร์ขนาด 500 Watt ภายในเตาอบผ่านทางอุปกรณ์ควบคุมมมเฟสที่รับสัญญาณอินพุตขนาด 4-20 mA และการตรวจวัดอุณหภูมิใช้อาร์ทีดีเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิภายในเตาอบที่เปลี่ยนแปลงไป ช่วงของอุณหภูมิภายในเตาอบที่ใช้ในการทดลองมีช่วงระหว่าง 25 – 180 °C อุปกรณ์แปลงสัญญาณรับค่าจากตัวอาร์ทีดี เพื่อแปลงสัญญาณอุณหภูมิที่วัดได้ให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิเตาอบ กระทำบนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับตัวควบคุมพีชซีลอจิกใน PID Control Toolset โดยสัญญาณควบคุมขนาด 0-5 โวลต์ถูกส่งให้กับวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส เพื่อส่งต่อไปยังอุปกรณ์ควบคุมมมเฟส ซึ่งการรับและส่งสัญญาณ ระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการเตาอบใช้การ์ดอินเทอร์เฟซรุ่น USB-6008 ของบริษัทเนชั่นแนลอินสทรูเมนต์ จำกัด ในการรับส่งสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการเตาอบ ระบบควบคุมกระบวนการเตาอบแสดงได้ดังรูปที่ 5. และรูปที่ 6. แสดงระบบควบคุมกระบวนการเตาอบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5. ระบบควบคุมกระบวนการเตาอบ



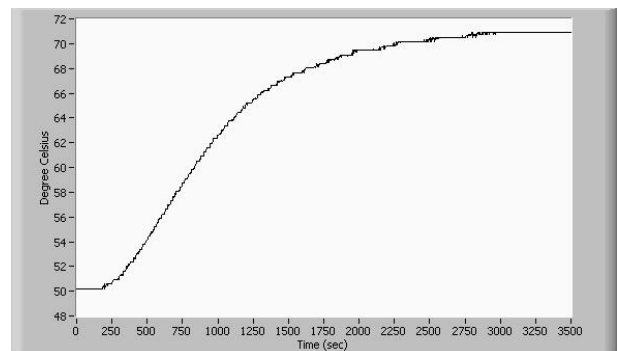
รูปที่ 6. ระบบควบคุมกระบวนการเตาอบที่ใช้ในการทดลอง

4. ผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมพีชซีลอจิกนั้นแบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ด้วยวิธี Ziegler Nichols และการทดลองควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีชซีลอจิกเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอและพีไอดีทั้งในสภาวะไม่มีโหลดและไม่มีโหลด

4.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ

ในการทดลองนี้ทำการทดลองในห้องที่มีอุณหภูมิ (T_0) 25 °C และเลือกจุดทำงาน ณ ตำแหน่งที่อุณหภูมิของกระบวนการ (T) มีค่าเท่ากับ 50.2 °C



รูปที่ 7. ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงเปิด

รูปที่ 7. แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงเปิด เมื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุตอ้างอิงที่ป้อนให้กับกระบวนการไป 10 % โดยจากผลการทดลองได้แบบจำลองของกระบวนการดังนี้

$$T(s) = \frac{41.362e^{-1.667s}}{14.1667s + 1} U(s)$$

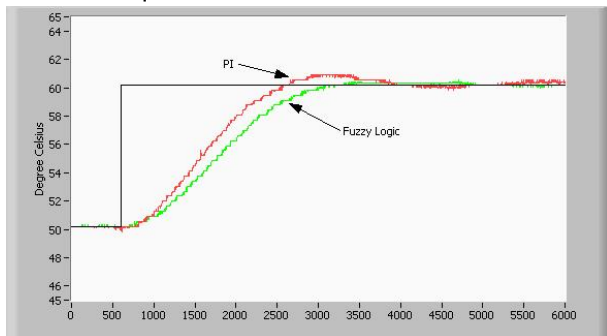
จากสมการ ณ จุดการทำงานของกระบวนการนี้มีค่าอัตราขยายของระบบควบคุม 41.362 °C/Volt, ค่าคงตัวเวลา (Time Constant) 14.1667 นาที หรือ 850 วินาที และค่าเวลาไรผลตอบสนอง 1.6667 หรือ 100 วินาที ได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีดังตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. พารามิเตอร์ของตัวควบคุม

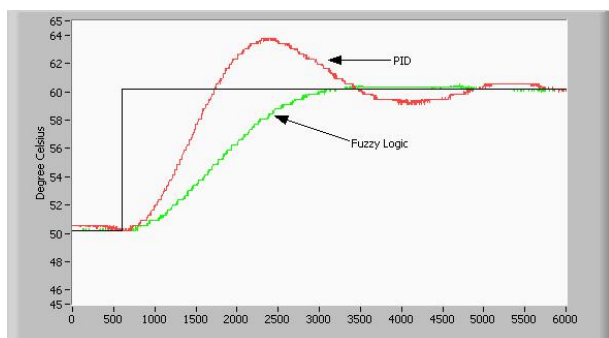
Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	0.198	∞	0
PI	0.185	5.556	0
PID	0.246	3.333	0.833

4.2 การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก เปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอและพีไอดี

4.2.1 การควบคุมกระบวนการในสภาวะไม่มีโหลด



รูปที่ 8. ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก
เปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอ



รูปที่ 9. ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก
เปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี

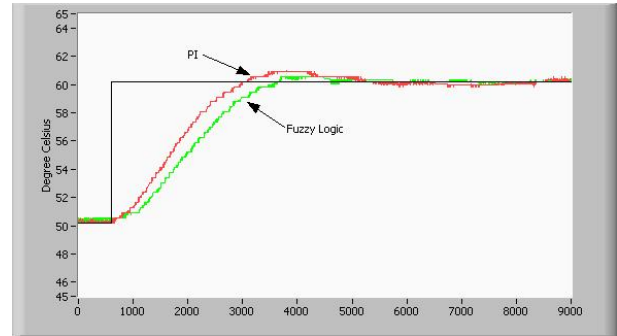
รูปที่ 8. และรูปที่ 9. แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอและพีไอดี เมื่อกำหนดให้สัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดเปลี่ยนแปลงไป 10°C จากรูปพบว่าผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกนั้น ให้ผลตอบสนองในช่วงเวลาไต่ขึ้น (Rise Time) นั้นช้ากว่าตัวควบคุมพีไอและพีไอดี แต่มีค่าฟุ้งเกิน (Percent Overshoot) ที่น้อยกว่าและค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) ที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอและพีไอดี ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 3.

ตารางที่ 3. เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมในสภาวะไม่มีโหลด

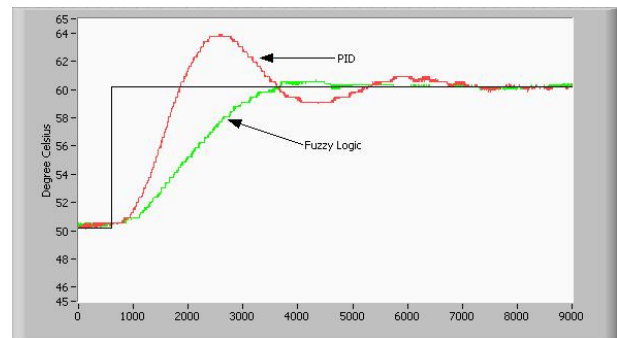
Type of Controller	Percent Overshoot P_o	Settling Time t_s
PI	7 %	3,500 sec
PID	35 %	5,000 sec
Fuzzy Logic	2 %	3,000 sec

4.2.1 การควบคุมกระบวนการในสภาวะมีโหลด

การทดลองผลตอบสนองของระบบควบคุมในสภาวะมีโหลดนี้ ใช้ น้ำจำนวน 2 ลิตรทำหน้าที่เป็นโหลดในระบบควบคุม ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 10. และ 11



รูปที่ 10. ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก
เปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอ



รูปที่ 11. ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก
เปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี

รูปที่ 10. และรูปที่ 11. แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอและพีไอดี เมื่อกำหนดให้สัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดเปลี่ยนแปลงไป 10°C ในสภาวะมีโหลดเป็นน้ำจำนวน 2 ลิตร จากรูปพบว่าผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกนั้น ให้ผลตอบสนองในช่วงเวลาไต่ขึ้น (Rise Time) นั้นช้ากว่าตัวควบคุมพีไอและพีไอดี แต่มีค่าฟุ้งเกิน (Percent Overshoot) ที่น้อยกว่าและค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) ที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอและพีไอดี เช่นเดียวกับกรณีผลการทดลองในสภาวะไม่มีโหลด ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 4.

ตารางที่ 4. เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมในสภาวะมีโหลด

Type of Controller	Percent Overshoot P_o	Settling Time t_s
PI	7 %	6,000 sec
PID	35 %	6,500 sec
Fuzzy Logic	3.5 %	4,000 sec

5. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเตาอบด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก การทดลองนั้นกระทำบนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ PID Control Toolset ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิก จากผลการทดลองตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอและพีไอดีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้จากวิธี Ziegler Nichols ทั้งในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด พบว่าตัวควบคุมฟัซซีลอจิกนั้นให้ผลตอบสนองในช่วงเวลาไต่ขึ้นช้ากว่าตัวควบคุมพีไอและพีไอดี แต่มีค่าฟุ้งเกินที่น้อยกว่า, มีค่าเวลาเข้าที่ที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอและพีไอดี และตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีค่าผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวไม่เกิน $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ho, W.K., Hand, C.C., and Zhou, J.H., 1995. Performance and gain and phase margins of well-known PI tuning formulas. IEEE Trans. Contr.Syst.Technol., Vol. 3, pp.245-248.
- [2] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, 1942. Optimum Settings for Automatic Controller. ASME Trans., Vol. 64, pp.759-768
- [3] L.A. Zadeh, 1965. Fuzzy sets. Information Control, Vol. 8, June, pp.338-353.
- [4] S. Tunyasirirut, J.Ngamwiwit, T. Furuya, and Y. Yamamoto. 2004. Fuzzy Technique based Chopper Control for Slip Energy Recovery System with Twelve-Pulse Converter.
- [5] Satean Tunyasirirut, Tianchai Suksri, and Sompong Srilad., 2007. Fuzzy Logic Control for a Speed Control of Induction Motor using Space Vector Pulse Width Modulation. International Journal of Computer Information and Systems Science and Engineering, Vol. 19, January, pp.71-77
- [6] Johnson, G.W., and Jennings, R., 2001. LabVIEW Graphical Programming. 3rd ed., McGraw-Hill., Singapore
- [7] Essick, J., 1999. Advanced LabVIEW Labs., PrenticeHall., New Jersey, USA
- [8] National Instruments, 2001. PID Control Toolset User Manual
- [9] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, 1942. Optimum Settings for Automatic Controller. ASME Trans., Vol. 64, pp. 759-768