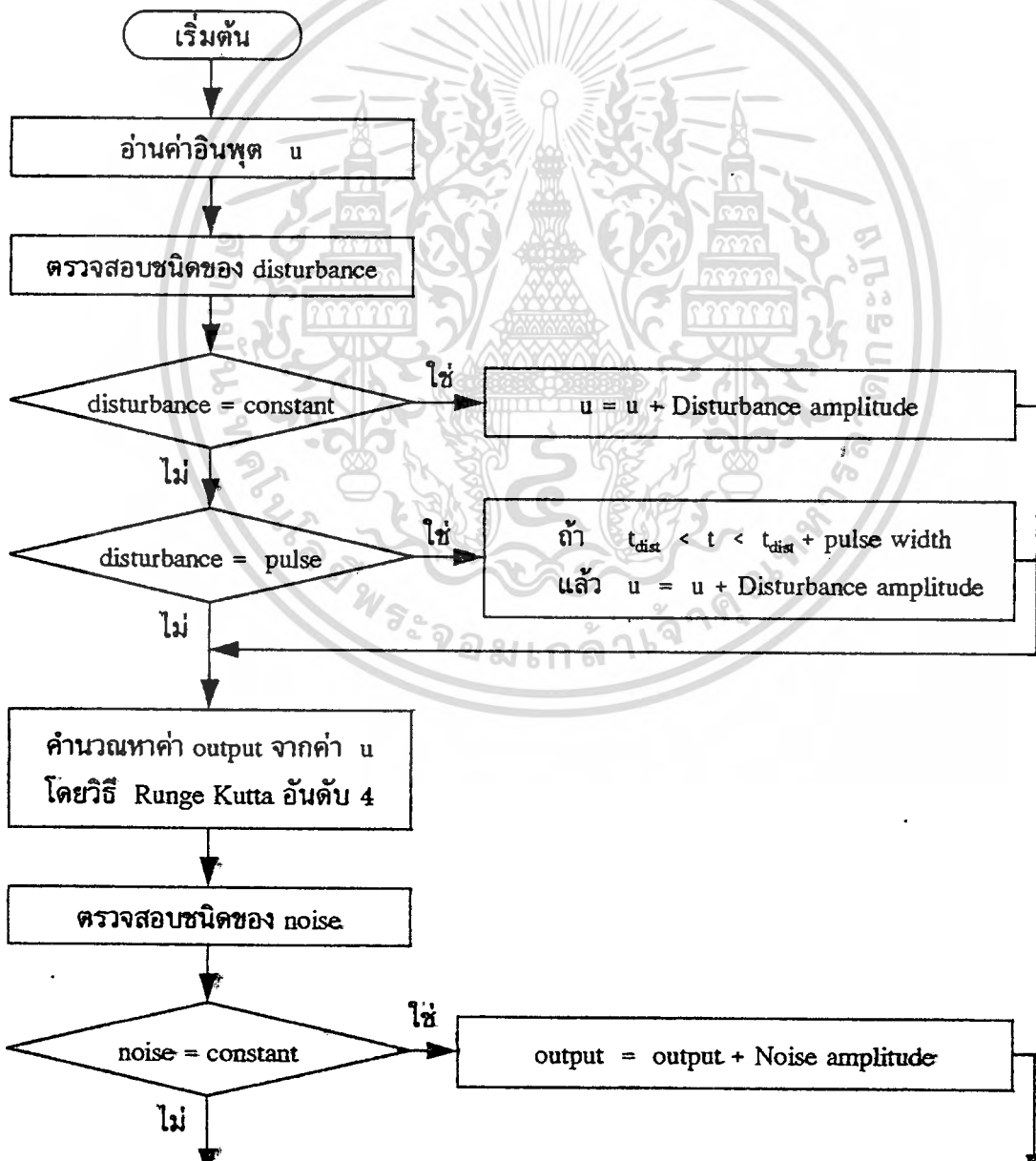
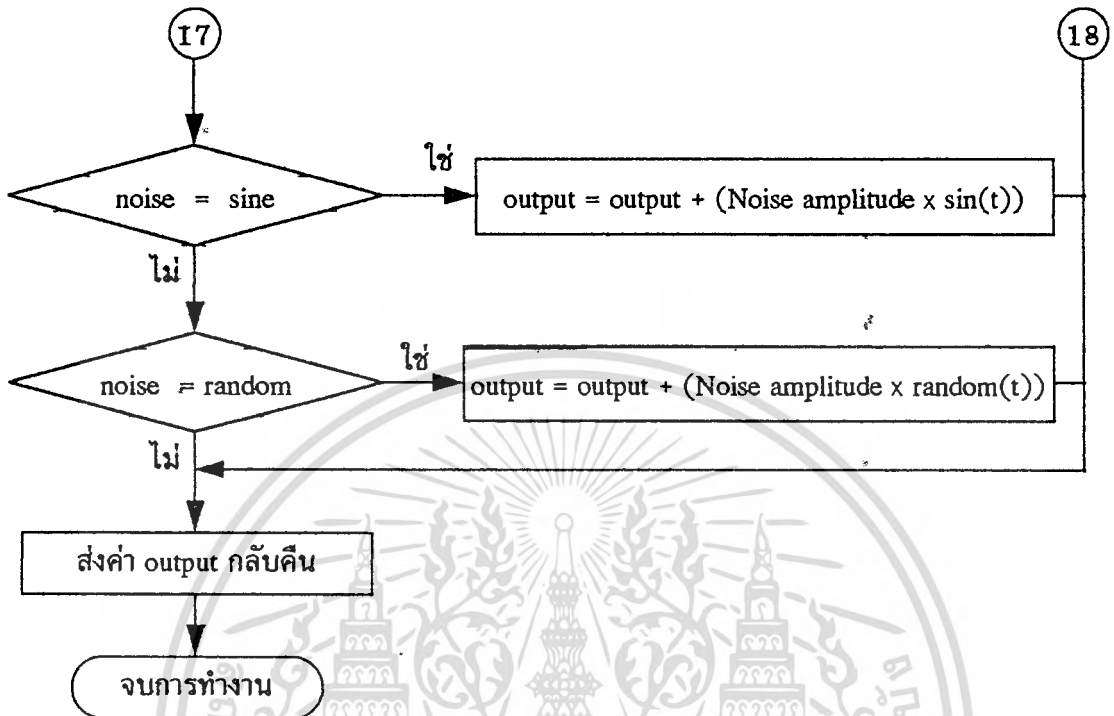


การจำลองการทำงานของกระบวนการ

การจำลองการทำงานของกระบวนการ จะใช้การคำนวณเชิงเลขวิธี Runge-Kutta อันดับ 4 คำนวณหาค่าเอาต์พุตของกระบวนการ และจำลองการรบกวนจากภายนอกและสัญญาณนอยส์ ตามค่าที่ผู้ใช้กำหนดไว้ในค่า Configuration ของช่องควบคุม. แผนภาพแสดงการจำลองการทำงานของกระบวนการสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 28

ภาพที่ 28





แสดงการจำลองการทำงานของกระบวนการ

บทที่ 5

การทดลอง

ในการทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมที่สร้างขึ้น จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือการจำลองระบบควบคุมทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (simulation) การใช้ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นควบคุมกระบวนการในเวลาจริง และการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นในการควบคุมกระบวนการหลายอินพุตหลายเอาต์พุต

การทดลองที่ 1 จะทำการจำลองระบบควบคุมทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของตัวควบคุม ก่อนที่จะนำตัวควบคุมไปใช้ในการควบคุมกระบวนการจริง ในการทดลองจะทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมในการควบคุมกระบวนการจำลองอันดับหนึ่งและอันดับสองที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ กัน และทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมในการปรับตัว เมื่อมีการจำลองสัญญาณนอยส์และการรบกวนจากภายนอก

การทดลองที่ 2 จะใช้ตัวควบคุมที่สร้างขึ้น ทำการควบคุมกระบวนการในห้องทดลอง 3 กระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถึงเดียว และกรณีสองถึง โดยจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมในการควบคุมกระบวนการ เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่าง ๆ กัน และทดสอบประสิทธิภาพในการปรับตัวของตัวควบคุม เมื่อมีการรบกวนจากภายนอก และเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบควบคุมพีซีซีที่นำเสนอนี้กับการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID

การทดลองที่ 3 จะเป็นการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมที่สร้างขึ้น ในการควบคุมกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อน โดยแบ่งการควบคุมออกเป็น 3 รูป คือ การควบคุมระดับน้ำโดยควบคุมการเปิดวาล์วทางเข้าของน้ำที่อุณหภูมิห้อง การควบคุมอุณหภูมิโดยควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องทำความร้อน และการควบคุมอุณหภูมิโดยควบคุมการเปิดวาล์วทางเข้าของน้ำเย็น

การจำลองระบบควบคุมทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองระบบควบคุมทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้จะต้องกำหนดค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ ขนาดและชนิดของสัญญาณนอยส์ และการรบกวนจากภายนอก ที่ต้องการจำลองให้กับโปรแกรม ในการจำลองระบบควบคุม โปรแกรมการทำงานของตัวควบคุมไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOFLIC จะคำนวณค่าของสัญญาณควบคุม u และส่งเป็นค่าอินพุตให้กับโปรแกรมการจำลองการทำงานของกระบวนการ ซึ่งทำงานโดยใช้การคำนวณเชิงเลขวิธี Runge-Kutta อันดับ 4 และเมื่อโปรแกรมคำนวณค่าเอาต์พุตได้แล้ว จะส่งค่าเอาต์พุตเป็นสัญญาณป้อนกลับให้กับโปรแกรมการทำงานของตัวควบคุม SOFLIC เพื่อใช้ในการคำนวณสัญญาณควบคุม u ต่อไป

ในการทดลองนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง และการควบคุมกระบวนการอันดับสอง ในการทดลองแต่ละตอน จะทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมในการควบคุมกระบวนการที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กัน และทดสอบประสิทธิภาพในการปรับตัวของตัวควบคุม เมื่อมีสัญญาณนอยส์ และมีการรบกวนจากภายนอก

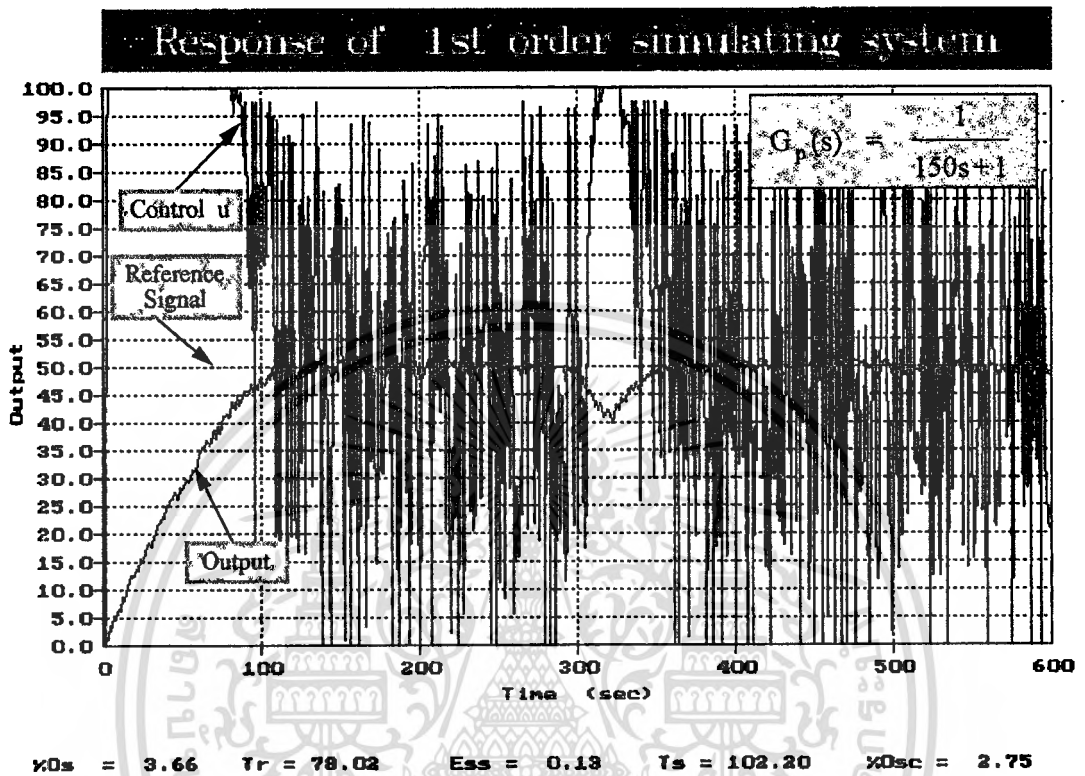
ตอนที่ 1 การควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง

- 1) ทำการทดลอง โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการอันดับหนึ่งที่ต้องการควบคุม ให้ค่าเกนที่สภาวะคงตัว (steady state gain : K_{ss}) เท่ากับ 1 และค่าเวลาคงตัว (time constant : τ) เท่ากับ 150 วินาที ได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการที่ต้องการควบคุมดังนี้

$$G_p(s) = \frac{1}{150s + 1}$$

- 2) กำหนดขนาดของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50 %
- 3) กำหนดขนาดของสัญญาณควบคุมสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 100% และ 0% ตามลำดับ
- 4) จำลองสัญญาณนอยส์แบบสุ่ม ขนาด 5% ของสัญญาณอ้างอิงตลอดช่วงของการจำลองการควบคุม
- 5) จำลองการรบกวนจากภายนอกเป็นสัญญาณพัลส์ ความกว้าง 20 วินาที ขนาด 100 % เฟสตรงข้ามกับสัญญาณควบคุม ที่เวลา $t = 300$ วินาที
- 6) ทำการจำลองระบบควบคุมทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลตอบสนองของระบบควบคุม สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 29

ภาพที่ 29



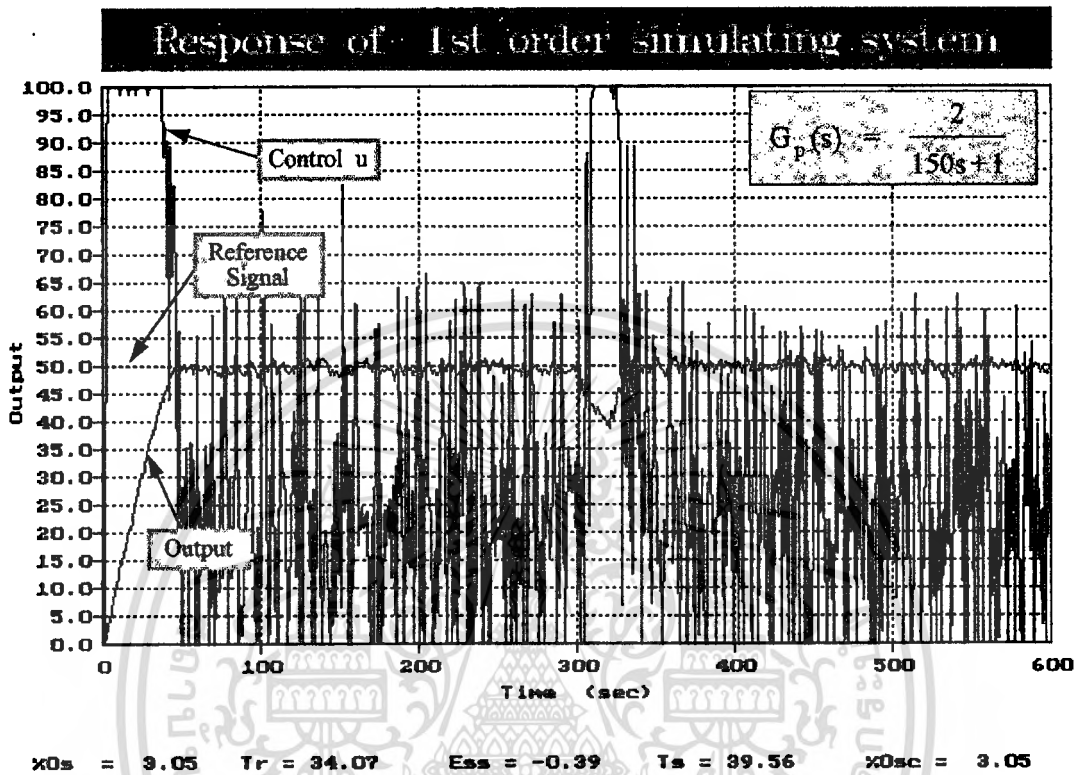
แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม ในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน $G_p(s) = \frac{1}{150s+1}$ เมื่อกำหนดขนาดของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50% สัญญาณนอยส์แบบสุ่ม ขนาด 5% ของสัญญาณอ้างอิง และจำลองการรบกวนจากภายนอกเป็น สัญญาณพัลส์ ความกว้าง 20 วินาที ขนาด 100 % ของสัญญาณควบคุมสูงสุด เฟสตรงข้าม กับสัญญาณควบคุม ที่เวลา $t = 300$ วินาที

- 7) เปลี่ยนค่าเกณฑ์สภาวะคงตัวของกระบวนการที่ต้องการควบคุมให้เท่ากับ 2 ได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการที่ต้องการควบคุมดังนี้

$$G_p(s) = \frac{2}{150s+1}$$

- 8) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-6 ผลตอบสนองของระบบควบคุม แสดงได้ดังภาพที่ 30

ภาพที่ 30



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม ในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน $G_p(s) = \frac{2}{150s+1}$ เมื่อกำหนดขนาดของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50% สัญญาณนอยส์แบบสุ่ม ขนาด 5% ของสัญญาณอ้างอิง และจำลองการรบกวนจากภายนอกเป็น สัญญาณพัลส์ ความกว้าง 20 วินาที ขนาด 100 % ของสัญญาณควบคุมสูงสุด เฟสตรงข้าม กับสัญญาณควบคุม ที่เวลา $t = 300$ วินาที

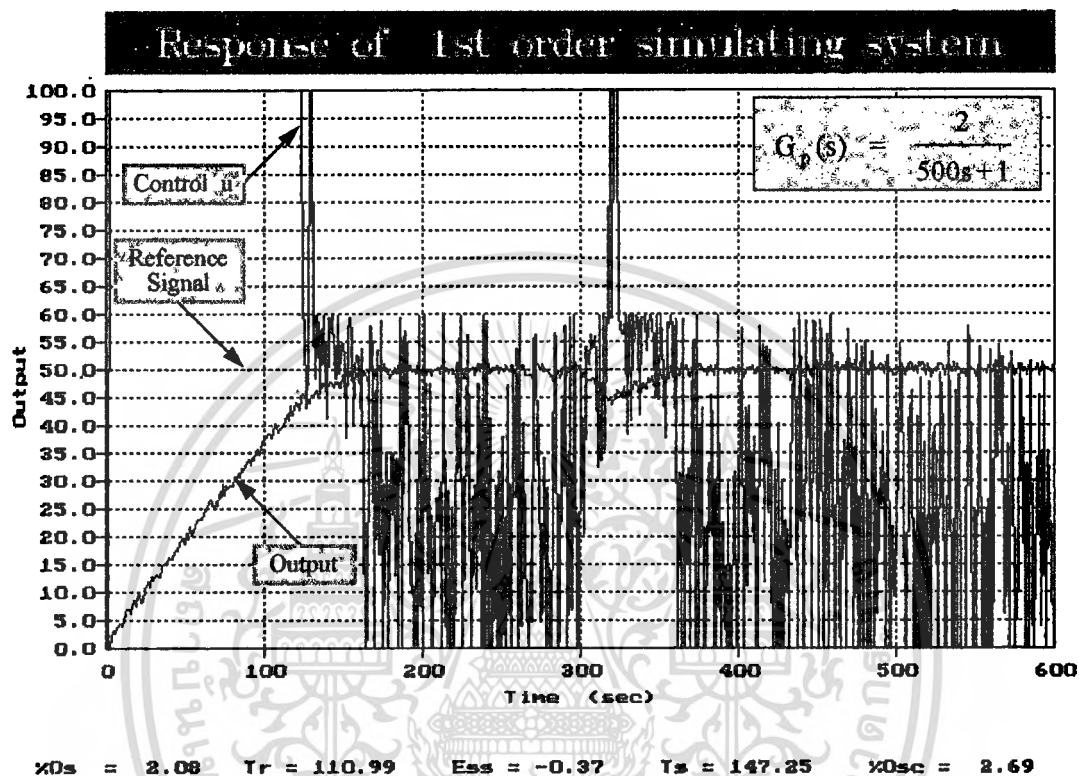
- 9) เปลี่ยนค่าเวลาคงตัวของกระบวนการที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 50 ได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอน ของกระบวนการที่ต้องการควบคุมดังนี้

$$G_p(s) = \frac{2}{500s+1}$$

- 10) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-6 ผลตอบสนองของระบบควบคุม แสดงได้ดังภาพที่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 31



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม ในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน $G_p(s) = \frac{2}{500s + 1}$ เมื่อกำหนดขนาดของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50% สัญญาณนอยส์แบบสุ่ม ขนาด 5% ของสัญญาณอ้างอิง และจำลองการรบกวนจากภายนอกเป็น สัญญาณพัลส์ ความกว้าง 20 วินาที ขนาด 100 % ของสัญญาณควบคุมสูงสุด เฟสตรงข้าม กับสัญญาณควบคุม ที่เวลา $t = 300$ วินาที

- 11) สรุปค่าสมรรถนะของระบบควบคุม เมื่อทำการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีค่า พารามิเตอร์ต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7
แสดงค่าสมรรถนะของระบบควบคุม
ในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กัน

System Performance of 1st Order Simulating System					
Plant Transfer Function	Os (%)	Tr (sec)	Ts (sec)	Ess (%)	Osc (%)
$G_p(s) = \frac{1}{150s+1}$	3.66	78.02	102.20	0.13	2.75
$G_p(s) = \frac{2}{150s+1}$	3.05	34.07	39.56	-0.39	3.05
$G_p(s) = \frac{2}{500s+1}$	2.08	110.99	147.25	-0.37	2.69

ตารางที่ 7 แสดงว่าค่าสมรรถนะของระบบควบคุม ในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง มีค่าโอเวอร์ชูตต่ำ (Os น้อยกว่า 5%) เาต์พุตของระบบลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงได้เร็ว (Tr และ Ts น้อย) มีการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิงน้อยมาก (Osc น้อยกว่า 5%) และแทบจะไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว (Ess น้อยกว่า $\pm 1\%$)

ตอนที่ 2 การควบคุมกระบวนการอันดับสอง

- 1) ทำการทดลอง โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการอันดับสองที่ต้องการควบคุม ให้ค่าเกณฑ์สภาวะคงตัวเท่ากับ 1 ค่าอัตราหน่วง (damping ratio : ζ) เท่ากับ 1.0 และค่าความถี่ธรรมชาติ (natural frequency : ω_n) เท่ากับ 0.02 เรเดียนต่อวินาที ได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการที่ต้องการควบคุมดังนี้

$$G_p(s) = \frac{1}{2500s^2 + 100s + 1}$$

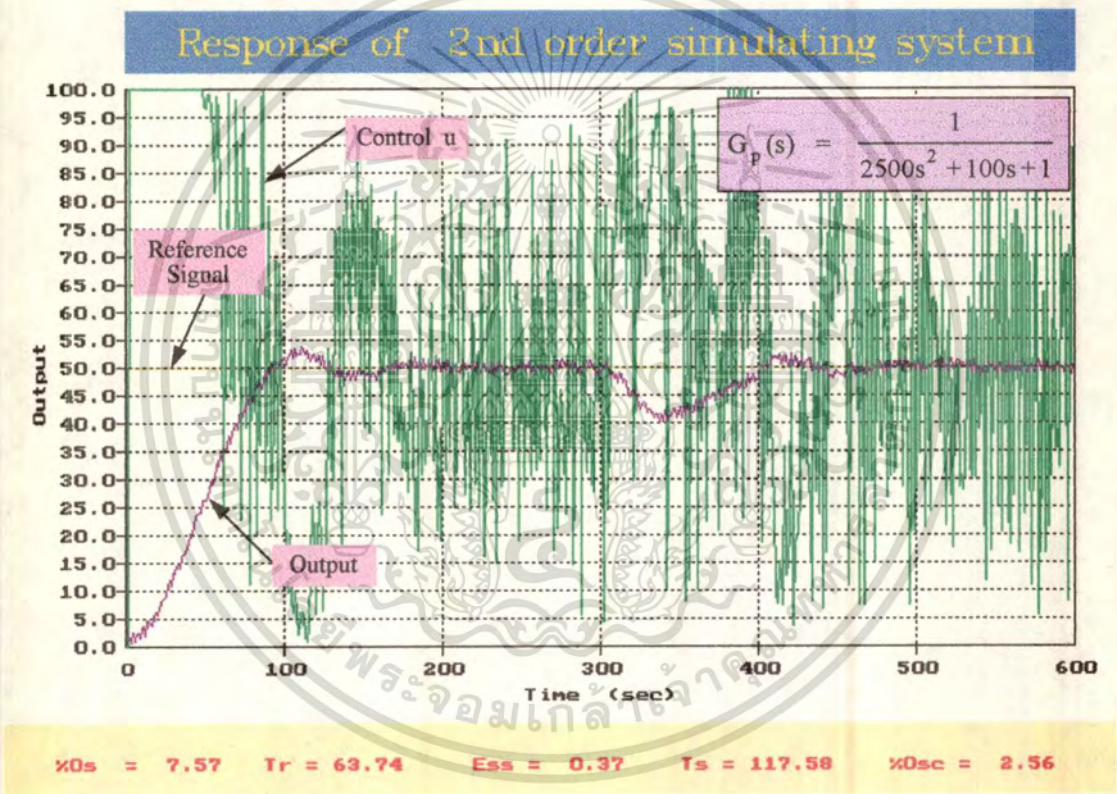
- 2) กำหนดขนาดของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50 %
- 3) กำหนดขนาดของสัญญาณควบคุมสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 100% และ 0% ตามลำดับ

- 4) จำลองสัญญาณนอยส์แบบสุ่ม ขนาด 5% ของสัญญาณอ้างอิงตลอดช่วงของการจำลองการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) จำลองการรบกวนจากภายนอกเป็นสัญญาณพัลส์ ความกว้าง 20 วินาที ขนาด 100 % เฟสตรงข้ามกับสัญญาณควบคุม ที่เวลา $t = 300$ วินาที
- 6) ทำการจำลองระบบควบคุมทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลตอบสนองของระบบควบคุม สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 32

ภาพที่ 32



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม ในการควบคุมกระบวนการอันดับสองที่มีค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน $G_p(s) = \frac{1}{2500s^2 + 100s + 1}$ เมื่อกำหนดขนาดของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50% สัญญาณนอยส์แบบสุ่ม ขนาด 5% ของสัญญาณอ้างอิง และจำลองการรบกวนจากภายนอกเป็น สัญญาณพัลส์ ความกว้าง 20 วินาที ขนาด 100 % ของสัญญาณควบคุมสูงสุด เฟสตรงข้าม กับสัญญาณควบคุม ที่เวลา $t = 300$ วินาที

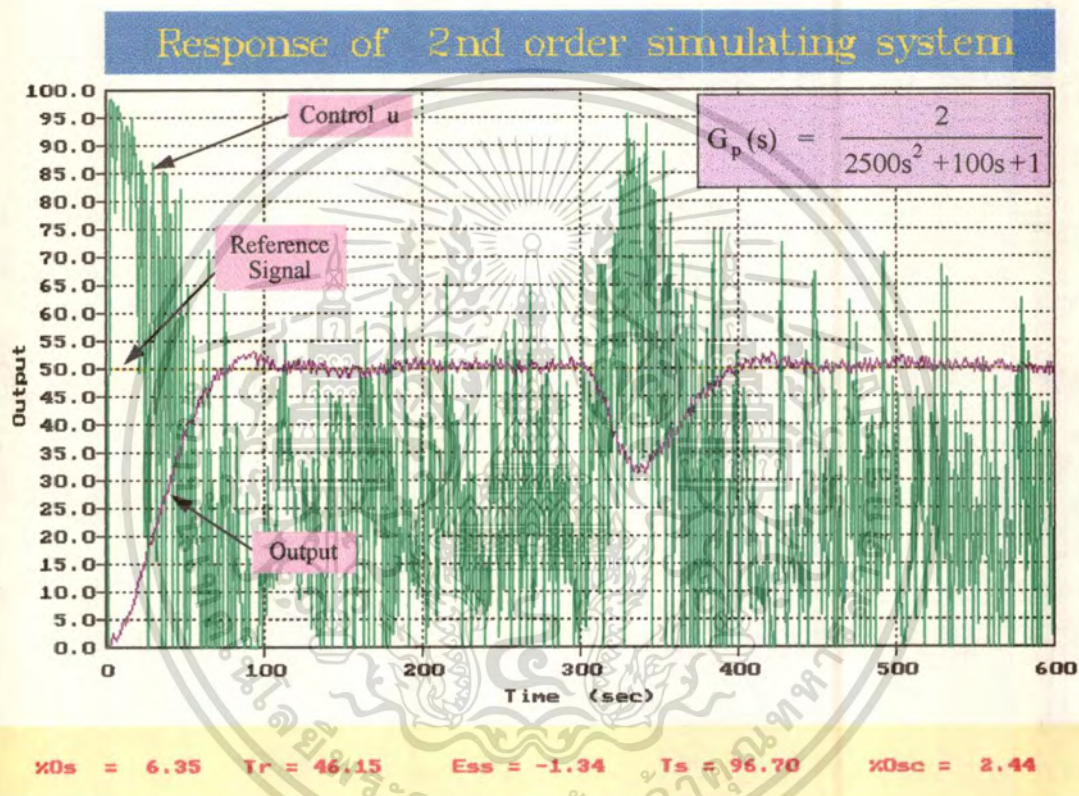
- 7) เปลี่ยนค่าเกณฑ์สภาวะคงตัวของกระบวนการเป็น 2 ได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_p(s) = \frac{2}{2500s^2 + 100s + 1}$$

8) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-6 ผลตอบสนองของระบบควบคุม แสดงได้ดังภาพที่ 33

ภาพที่ 33



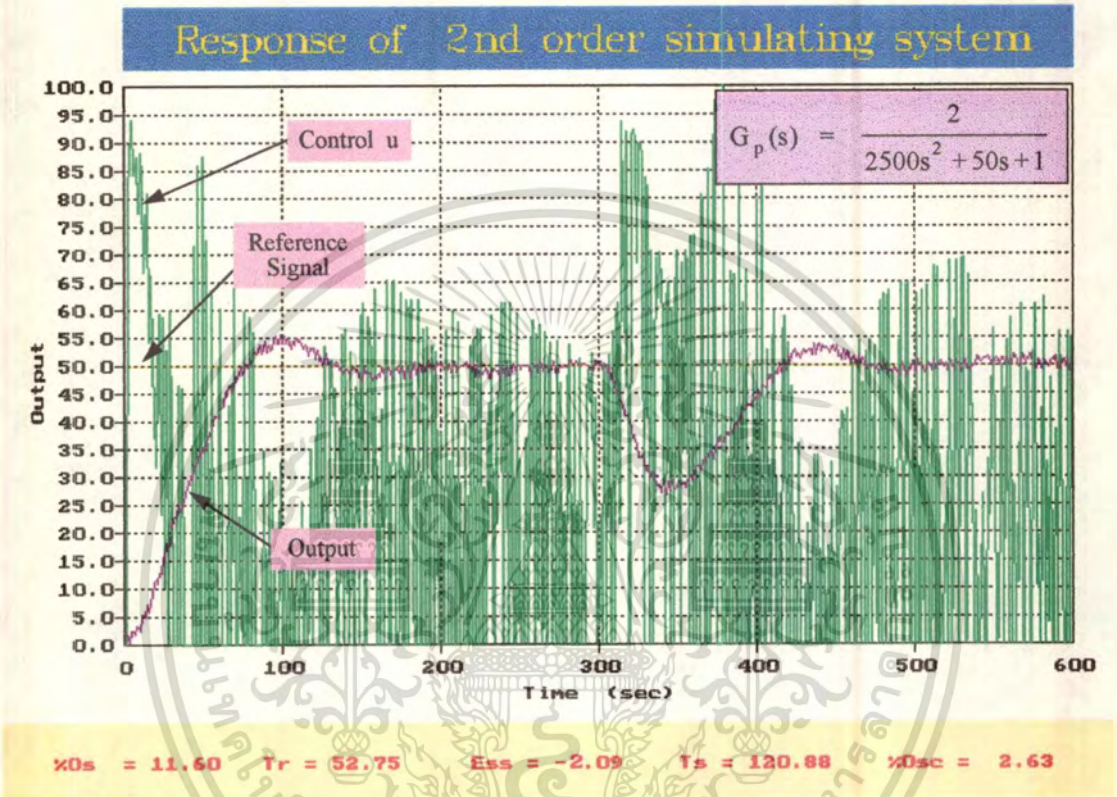
แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม ในการควบคุมกระบวนการอันดับสองที่มีค่าฟังก์ชันถ่ายโอน $G_p(s) = \frac{2}{2500s^2 + 100s + 1}$ เมื่อกำหนดขนาดของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50% สัญญาณนอยส์แบบสุ่ม ขนาด 5% ของสัญญาณอ้างอิง และจำลองการรบกวนจากภายนอกเป็นสัญญาณพัลส์ ความกว้าง 20 วินาที ขนาด 100 % ของสัญญาณควบคุมสูงสุด เฟสตรงข้ามกับสัญญาณควบคุม ที่เวลา $t = 300$ วินาที

9) เปลี่ยนค่าคงที่อัตราหน่วงของกระบวนการเป็น 0.5 ได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการที่ต้องการควบคุมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ $G_p(s) = \frac{2}{2500s^2 + 50s + 1}$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-6 ผลตอบสนองของระบบควบคุม แสดงได้ดังภาพที่ 34

ภาพที่ 34



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม ในการควบคุมกระบวนการอันดับสองที่มีค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน $G_p(s) = \frac{2}{2500s^2 + 50s + 1}$ เมื่อกำหนดขนาดของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50% สัญญาณนอยส์แบบสุ่ม ขนาด 5% ของสัญญาณอ้างอิง และจำลองการรบกวนจากภายนอกเป็น สัญญาณพัลส์ ความกว้าง 20 วินาที ขนาด 100 % ของสัญญาณควบคุมสูงสุด เฟสตรงข้าม กับสัญญาณควบคุม ที่เวลา $t = 300$ วินาที

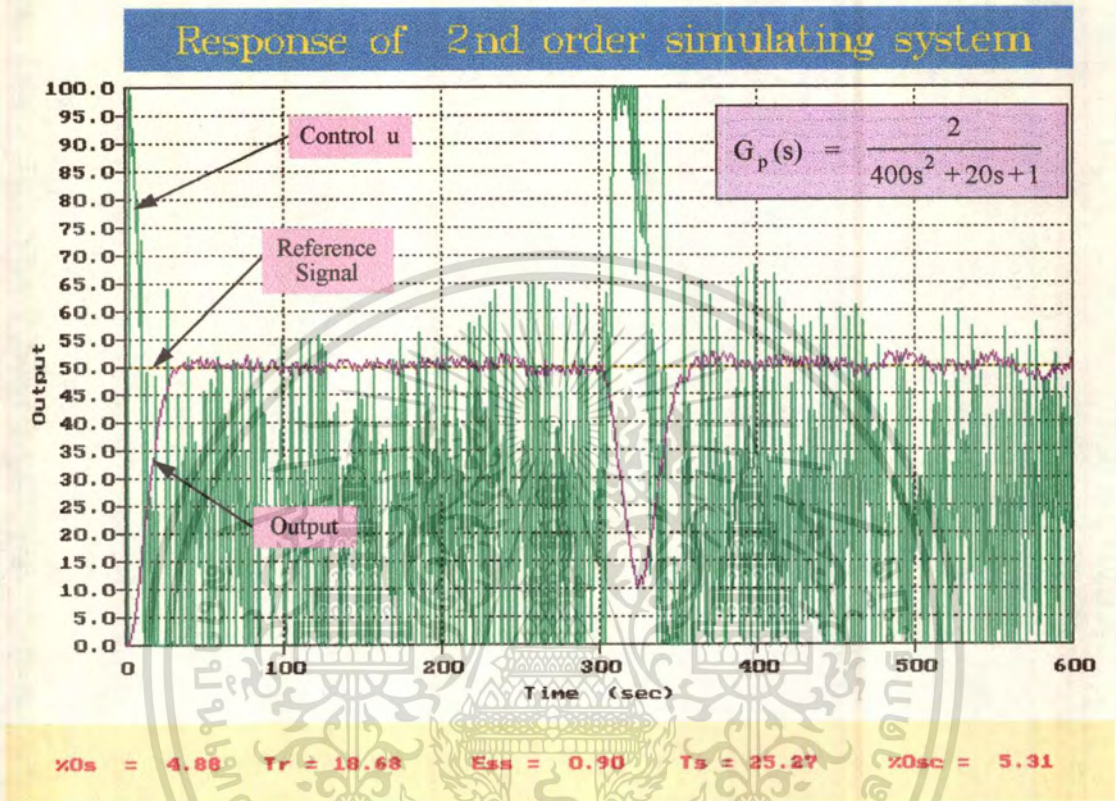
11) เปลี่ยนค่าความถี่ธรรมชาติของกระบวนการเป็น 0.05 เรเดียนต่อวินาที ได้ค่าฟังก์ชัน ถ่ายโอนของกระบวนการที่ต้องการควบคุมดังนี้

$$G_p(s) = \frac{2}{400s^2 + 20s + 1}$$

12) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-6 ผลตอบสนองของระบบควบคุม แสดงได้ดังภาพที่ 35

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 35



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม ในการควบคุมกระบวนการอันดับสองที่มีค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน $G_p(s) = \frac{2}{400s^2 + 20s + 1}$ เมื่อกำหนดขนาดของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50% สัญญาณนอยส์แบบสุ่ม ขนาด 5% ของสัญญาณอ้างอิง และจำลองการรบกวนจากภายนอกเป็น สัญญาณพัลส์ ความกว้าง 20 วินาที ขนาด 100 % ของสัญญาณควบคุมสูงสุด เฟสตรงข้าม กับสัญญาณควบคุม ที่เวลา $t = 300$ วินาที

- 12) สรุปค่าสมรรถนะของระบบควบคุม เมื่อทำการควบคุมกระบวนการอันดับสองที่มีค่า พารามิเตอร์ต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8

แสดงค่าสมรรถนะของระบบควบคุม
ในการควบคุมกระบวนการอันดับสองที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กัน

System Performance of 2nd Order Simulating System					
Plant Transfer Function	Os (%)	Tr (sec)	Ts (sec)	Ess (%)	Osc (%)
$G_p(s) = \frac{1}{2500s^2 + 100s + 1}$	7.57	63.74	117.58	0.37	2.56
$G_p(s) = \frac{2}{2500s^2 + 100s + 1}$	6.35	46.15	96.76	-1.34	2.44
$G_p(s) = \frac{2}{2500s^2 + 50s + 1}$	11.60	52.75	120.88	-2.09	2.63
$G_p(s) = \frac{2}{400s^2 + 20s + 1}$	4.88	18.68	25.27	0.90	5.31

ตารางที่ 8 แสดงว่าค่าสมรรถนะของระบบควบคุม ในการควบคุมกระบวนการอันดับสอง ไม่ดีเท่ากับในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง มีค่าโอเวอร์ชูตสูงกว่า (Os ประมาณ 5-12%) เอาต์พุตของระบบลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงได้ (Tr และ Ts น้อย) มีการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิงน้อยมาก (Osc น้อยกว่า 5% ยกเว้นกรณีสุดท้าย 5.31%) และแทบจะไม่มีค่าผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Ess น้อยกว่า $\pm 3\%$)

การควบคุมกระบวนการในเวลาจริง

ในการควบคุมกระบวนการในเวลาจริง จะใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (CPU 486DX2 66 MHz RAM 8 MB) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม ซึ่งทำการเชื่อมต่อกับกระบวนการ โดยใช้การ์ด PCL-812 และ PCL-726 ของบริษัท Advantech จำกัด ทำหน้าที่เป็น A/D และ D/A

การทดลองจะแบ่งเป็น 3 ตอน ตามกระบวนการที่ใช้ คือกระบวนการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว และกรณีสองถัง ในการทดลองแต่ละตอนจะทดสอบเพื่อหาผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตขนาด 25, 30, 35, 40, 45, 50% และหาผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการที่ให้เอาต์พุตเท่ากับ 50% เพื่อใช้เป็นเส้นโค้งปฏิกิริยา (reaction curve) สำหรับใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีการของ Ziegler-Nichols ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมในการควบคุมกระบวนการ เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่าง ๆ กัน และทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมในการปรับตัวเมื่อมีการรบกวนจากภายนอก และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมพีซีที่นำเสนอกับการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID ดังแสดงต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ

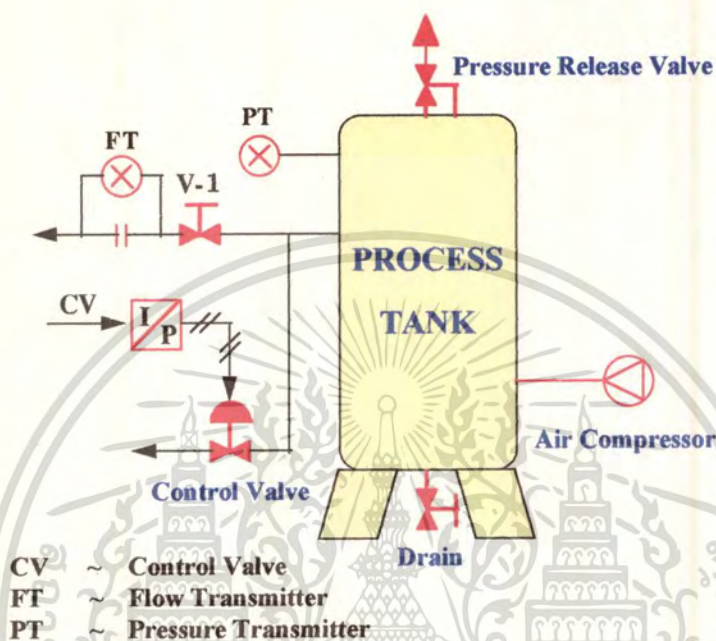
การทดลองนี้ จะใช้กระบวนการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 36



แสดงกระบวนการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของกระบวนการ ซึ่งแสดงในภาพที่ 37 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

ภาพที่ 37

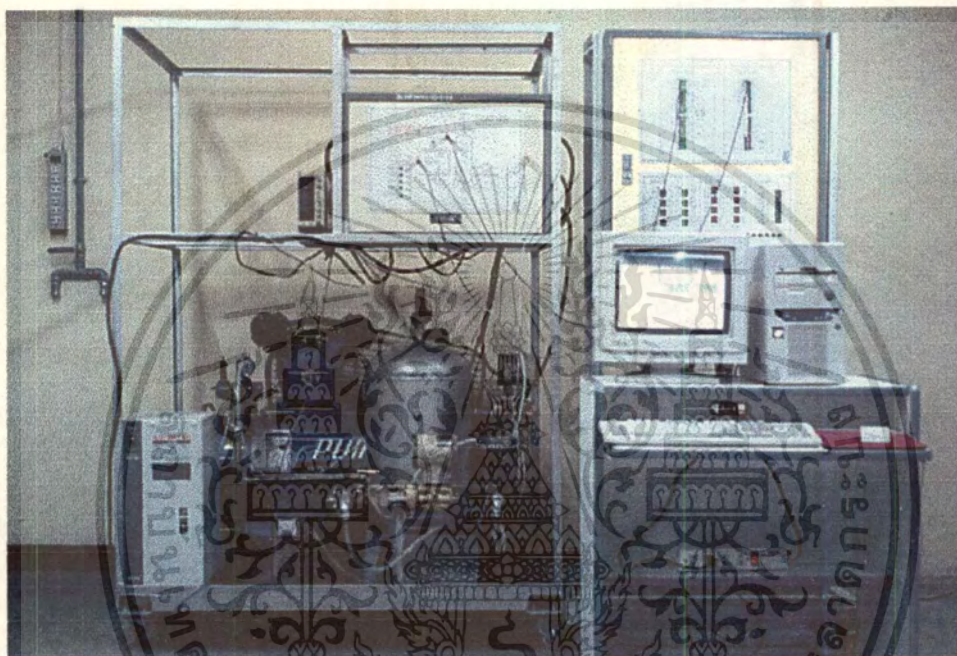


แสดงโครงสร้างของกระบวนการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ

การทำงานของกระบวนการควบคุมความดันของอากาศภายในถังกระบวนการ เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายอากาศเข้าภายในถังกระบวนการ ตลอดระยะเวลาในการควบคุม ในการควบคุม PT จะทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดความดันของอากาศภายในถัง และแปลงค่าความดันที่วัดได้เป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA ซึ่งสัญญาณกระแสไฟฟ้านี้จะถูกแปลงเป็นศักดาไฟฟ้า 1-5 V โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม 1% และจะถูกป้อนเป็นอินพุตของการ์ด PCL-812 ซึ่งทำหน้าที่เป็น A/D ขนาด 12 บิต เพื่อเป็นสัญญาณป้อนกลับให้ตัวควบคุม ทำให้ได้ค่าอินพุตของตัวควบคุมเป็นค่าดิจิทัลที่อยู่ในช่วง 2457-4095 และตัวควบคุมจะสร้างสัญญาณควบคุมเป็นค่าดิจิทัลที่อยู่ในช่วง 0-4095 จ่ายเป็นอินพุตให้กับการ์ด PCL-726 ซึ่งทำหน้าที่เป็น D/A ขนาด 12 บิต เพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA สำหรับจ่ายเป็นอินพุตให้กับตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นความดัน (I/P) เพื่อไปควบคุมวาล์วควบคุม (Control Valve) ซึ่งทำหน้าที่ในการเปิดให้อากาศภายในถังระบายออกสู่ภายนอก ในการสร้างสัญญาณรบกวนจากภายนอก จะใช้วิธีการเปิดวาล์ว V-1 เพื่อรบกวนการทำงานของระบบ (วาล์ว Drain จะใช้เปิดเพื่อระบายอากาศภายในถังออกสู่ภายนอก และ Pressure Release Valve ทำหน้าที่เป็นวาล์วรักษาความปลอดภัย โดยจะเปิดออก เมื่อความดันภายในถังสูงเกินกว่า 6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้อัตโนมัติ) นอกจากนี้ยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพแสดงการควบคุมความดันของอากาศภายในถังกระบวนการด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงในภาพที่ 38

ภาพที่ 38

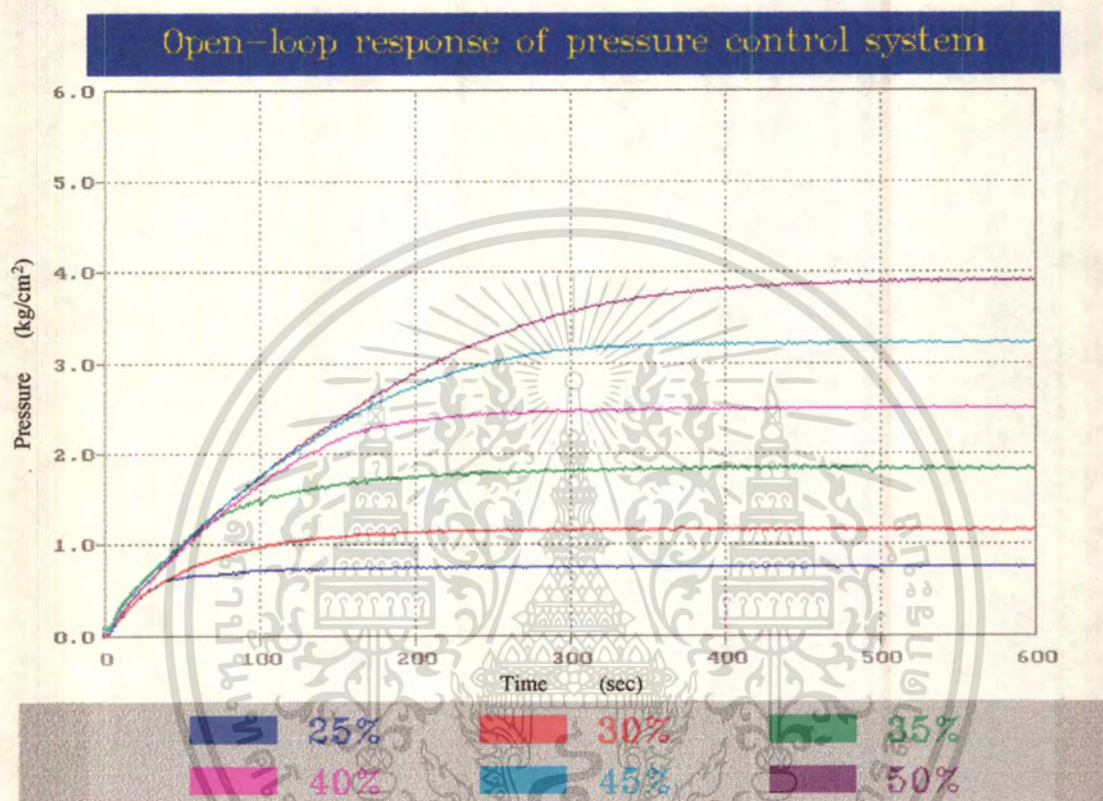


แสดงการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

ทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ควบคุมกระบวนการแบบลูเปิด โดยเปิดวาล์วควบคุม CV 25, 30, 35, 40, 45 และ 50% ผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการแสดงในภาพที่ 39

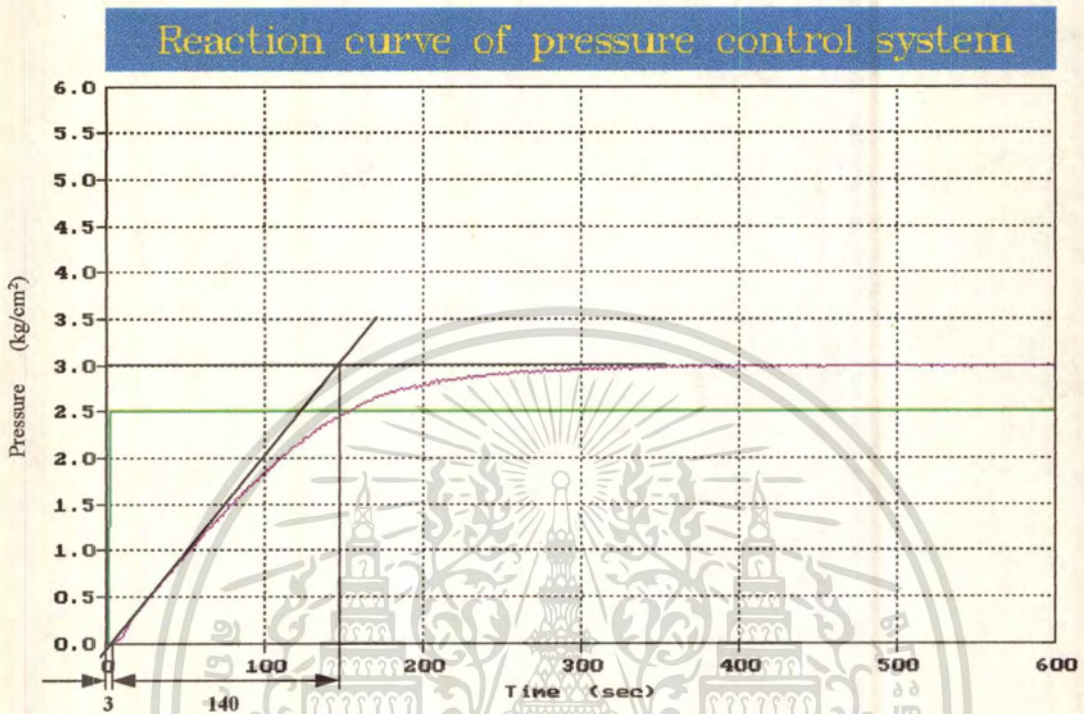
ภาพที่ 39



แสดงผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการเมื่อเปิดวาล์วควบคุม CV 25, 30, 35, 40, 45 และ 50%

- 2) หาผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการที่ให้เอาต์พุตเท่ากับ 50% เพื่อใช้เป็นเส้นโค้งปฏิกิริยา ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ผลตอบสนองของกระบวนการแสดงดังภาพที่ 40

ภาพที่ 40



แสดงเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการเมื่อเปิดวาล์วควบคุม CV 42.17 % ความดันของอากาศในถังที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

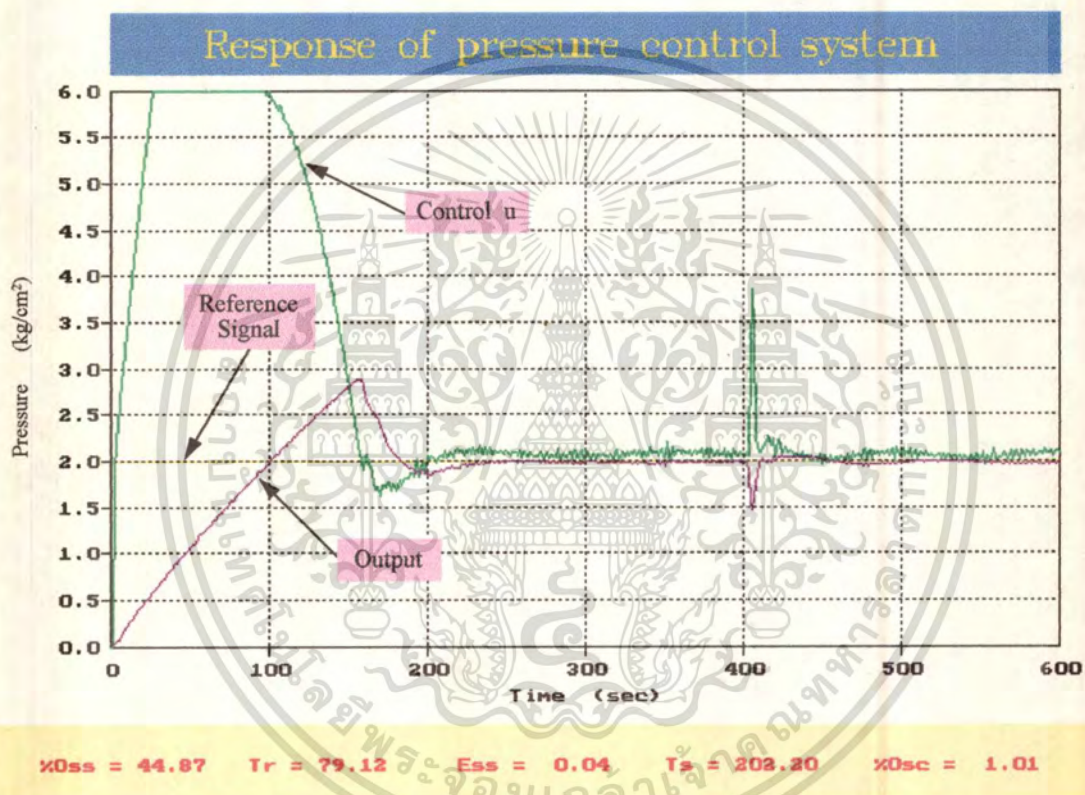
3) คำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} K_p &= 1.2 \cdot 140 / 3 = 56 \\ T_i &= 2 \cdot 3 = 6 \text{ วินาที} \\ T_d &= 0.5 \cdot 3 = 1.5 \text{ วินาที} \end{aligned}$$

4) ทดลองใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่คำนวณได้ ทำการควบคุมกระบวนการ โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และทำการรบกวนการทำงานของระบบ โดยการเปิดวาล์ว V-1 เป็นเวลา 5 วินาที ที่เวลา $t = 400$ วินาที

- 5) ปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3 เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบควบคุม จนกระทั่งได้ผลตอบสนองของระบบควบคุมในการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID แสดงดังภาพที่ 41

ภาพที่ 41



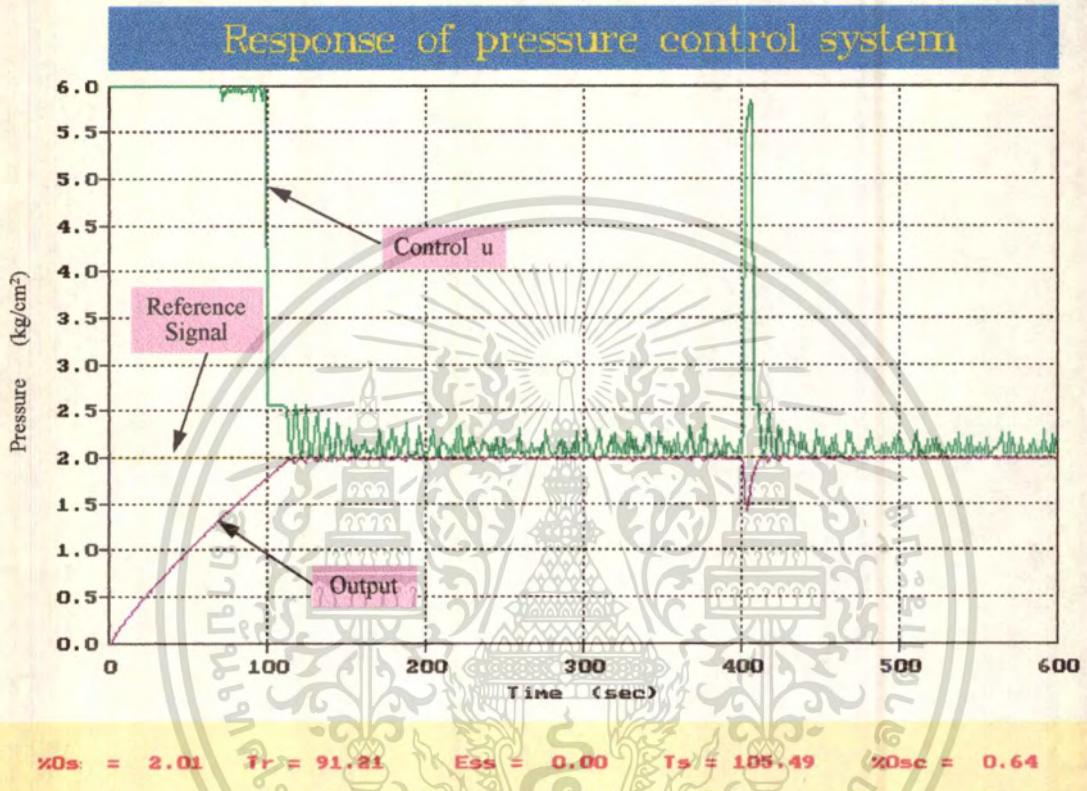
แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ ด้วยตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีการรบกวนโดยเปิดวาล์ว V-1 เป็นเวลา 5 วินาที ที่เวลา $t = 400$ วินาที

- 6) ทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุม และประสิทธิภาพในการปรับตัวของตัวควบคุมพีซี โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และทำการรบกวนการทำงานของระบบ โดยการเปิดวาล์ว V-1 เป็นเวลา 5 วินาที ที่เวลา $t = 400$ วินาที

ผลตอบสนองของระบบควบคุมแสดงดังภาพที่ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

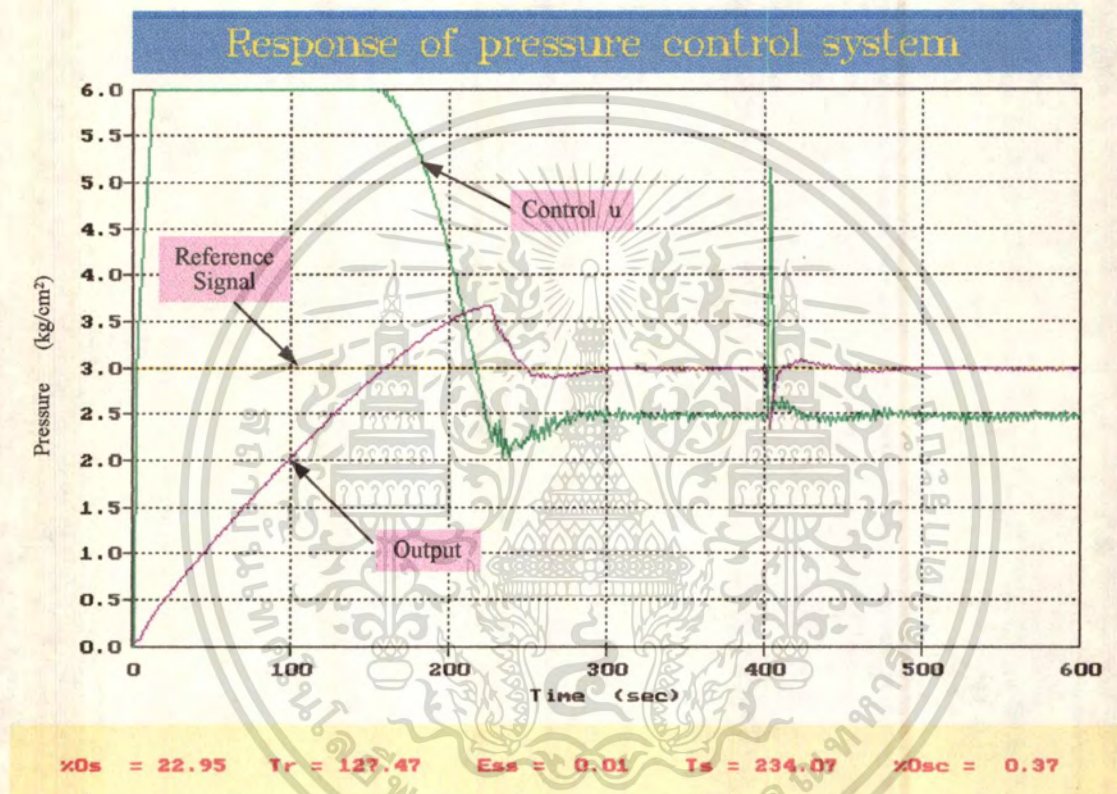
ภาพที่ 42



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีการรบกวนโดยเปิดวาล์ว V-1 เป็นเวลา 5 วินาที ที่เวลา $t = 400$ วินาที

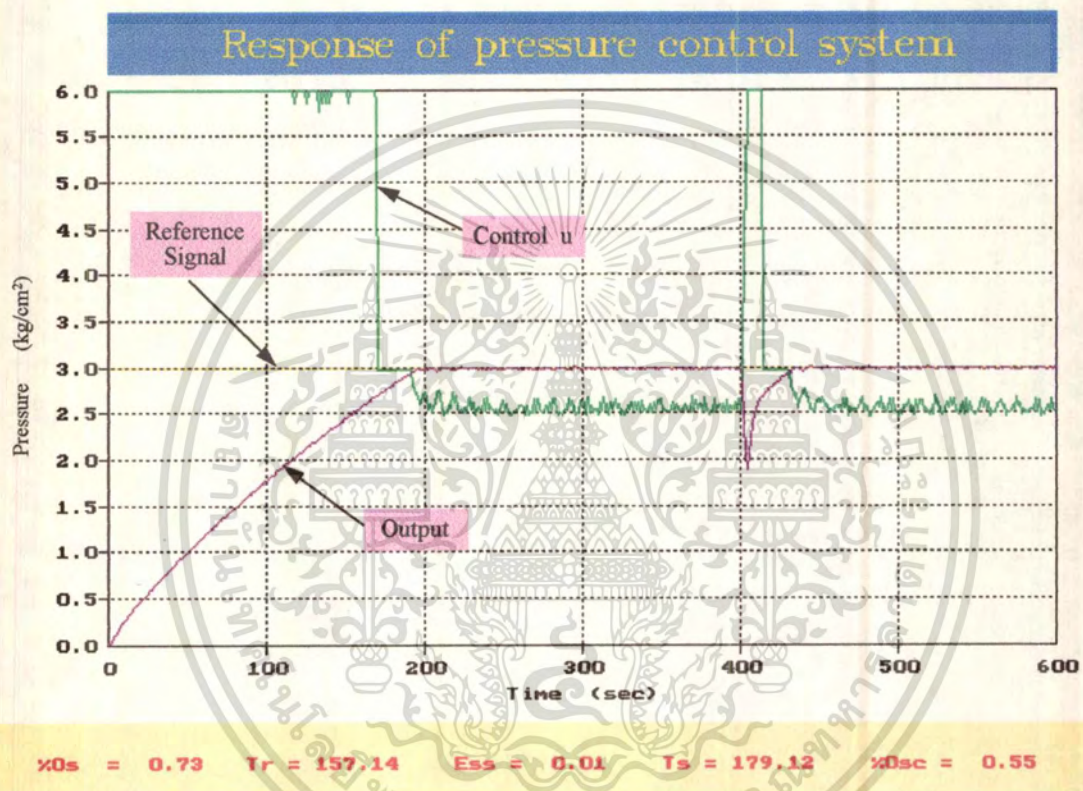
- 7) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4-6 โดยเปลี่ยนค่าสัญญาณอ้างอิงเป็น 3 และ 4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลตอบสนองของระบบควบคุมในแต่ละกรณี แสดงดังภาพที่ 43-46 ตามลำดับ

ภาพที่ 43



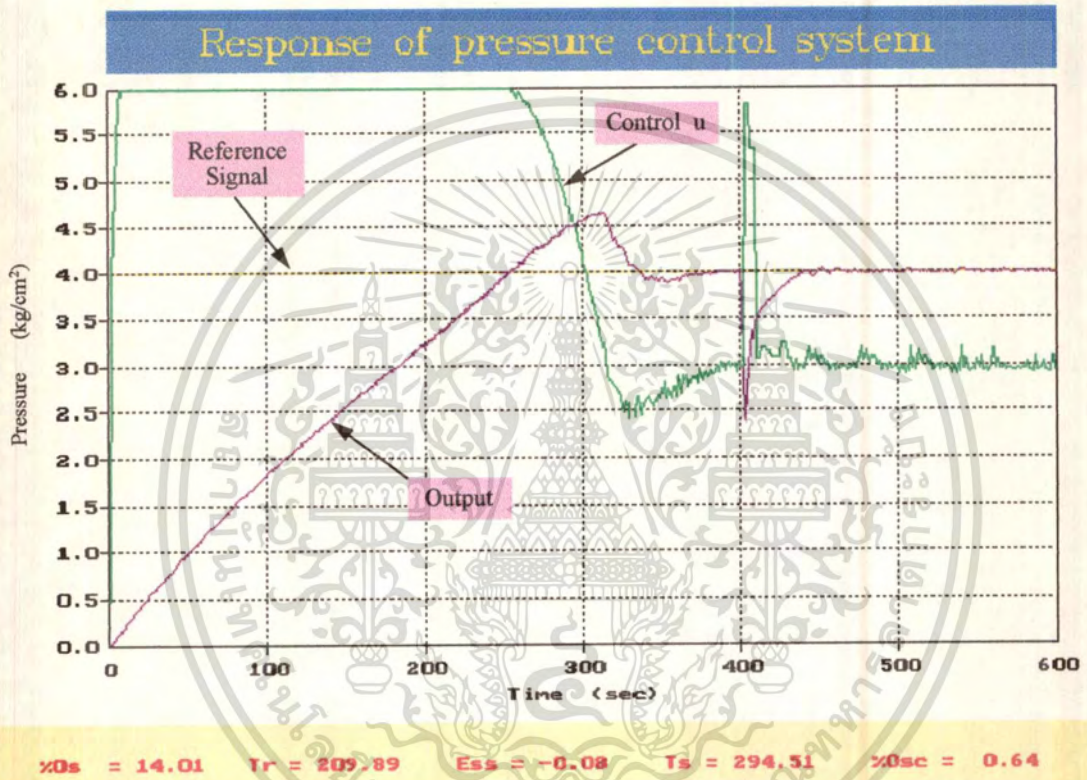
แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ ด้วยตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีการรบกวนโดยเปิดวาล์ว V-1 เป็นเวลา 5 วินาที ที่เวลา $t = 400$ วินาที

ภาพที่ 44



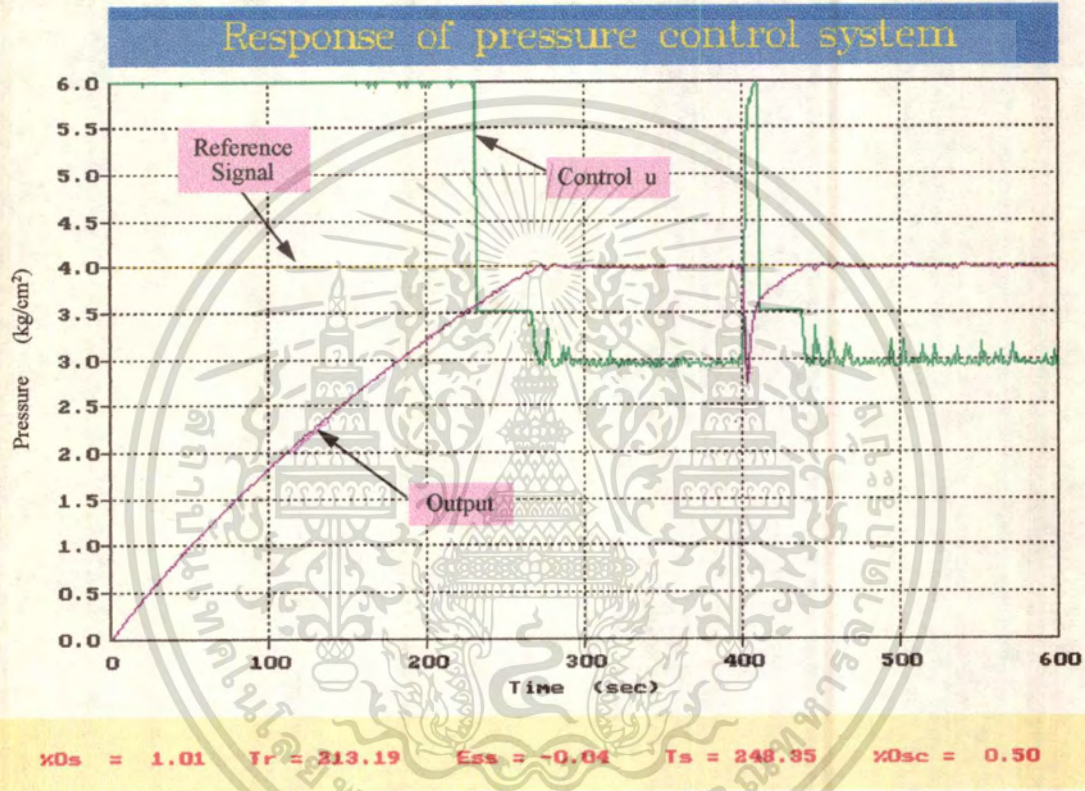
แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีการรบกวนโดยเปิดวาล์ว V-1 เป็นเวลา 5 วินาที ที่เวลา $t = 400$ วินาที

ภาพที่ 45



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ ด้วยตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีการรบกวนโดยเปิดวาล์ว V-1 เป็นเวลา 5 วินาที ที่เวลา $t = 400$ วินาที

ภาพที่ 46



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีการรบกวนโดยเปิดวาล์ว V-1 เป็นเวลา 5 วินาที ที่เวลา $t = 400$ วินาที

- 8) เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุม PID กับระบบพีชซี ในการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9

แสดงค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PID กับระบบควบคุมพีชซี
ในการควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ
เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่าง ๆ กัน

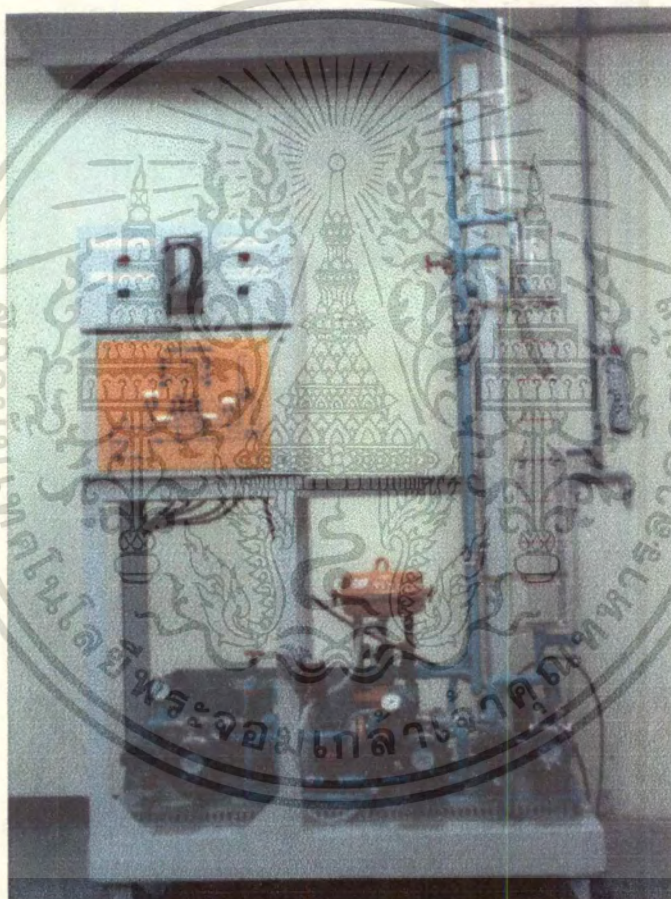
System Performance of Pressure Control System						
Reference (kg/cm ²)	Controller Type	Os (%)	Tr (sec)	Ts (sec)	Ess (%)	Osc (%)
2	PID	44.87	79.12	202.20	0.04	1.01
2	SOFLIC	2.01	91.21	105.49	0.00	0.64
3	PID	22.95	127.47	234.07	0.01	0.37
3	SOFLIC	0.73	157.14	179.12	0.01	0.55
4	PID	14.01	209.89	294.51	-0.08	0.64
4	SOFLIC	1.01	213.19	248.35	-0.04	0.50

ตารางที่ 9 แสดงว่าสมรรถนะที่สภาวะทรานเซียนท์ของระบบควบคุม PID มีค่าโอเวอร์ชูตสูงกว่าของระบบควบคุมพีชซีมาก (Os ของระบบควบคุม PID มากกว่า 10% ในขณะที่ Os ของระบบควบคุมพีชซีประมาณ 2%) แต่เอาต์พุตของระบบควบคุม PID ลู่เข้าหาค่าอ้างอิงได้เร็วกว่า (Tr น้อยกว่า ยกเว้นกรณีค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เมื่อพิจารณาสมรรถนะที่สภาวะคงตัว เอาต์พุตของระบบควบคุมพีชซีจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่า (Ts น้อยกว่า) ในขณะที่ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวและค่าการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิงของระบบควบคุมทั้งสองกรณีมีค่าน้อยมาก (Ess และ Osc น้อยกว่า $\pm 2\%$)

ตอนที่ 2 การควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีถังเดียว

การทดลองตอนที่ 2 และตอนที่ 3 จะใช้กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 47

ภาพที่ 47

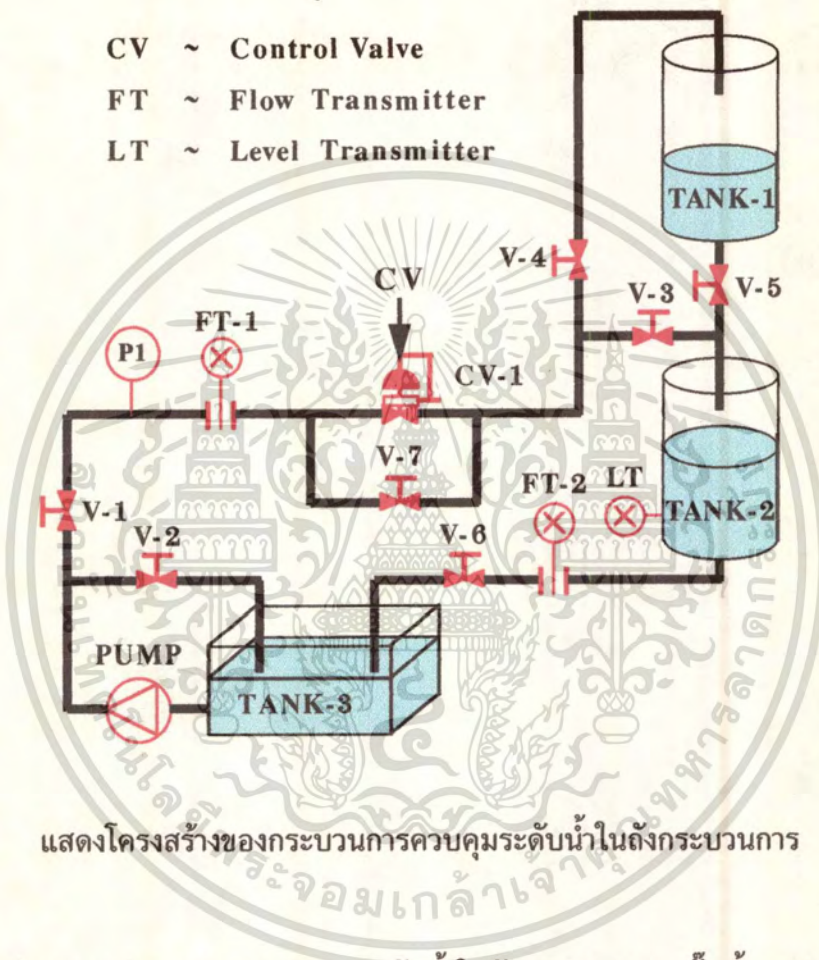


แสดงกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของกระบวนการ แสดงในภาพที่ 48 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

ภาพที่ 48

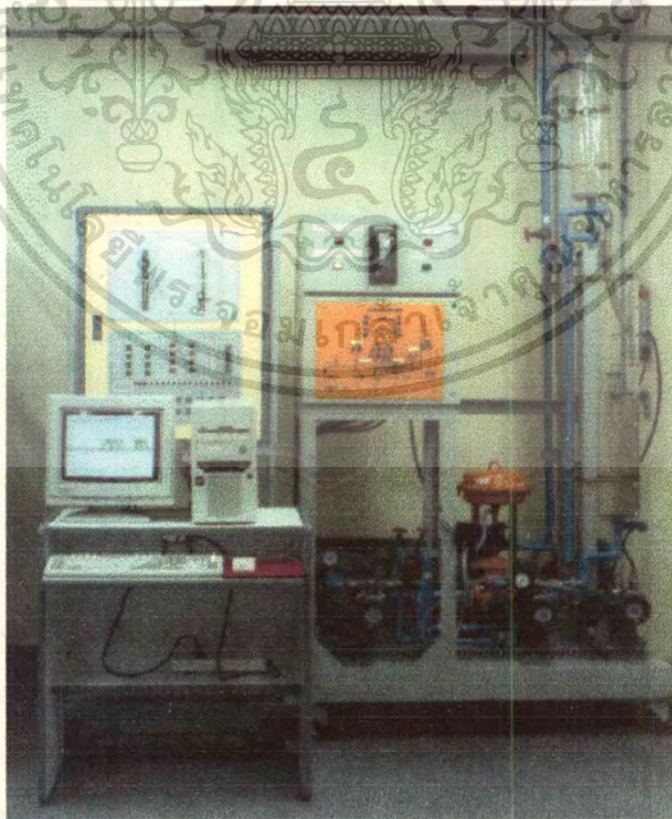


การทำงานของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ บีมน้ำ (PUMP) จะทำหน้าที่สูบน้ำจาก TANK-3 ขึ้นไปตามท่อ ตลอดระยะเวลาในการควบคุม น้ำที่ถูกสูบจะผ่านวาล์ว V-1 (ซึ่งเปิดตลอดเวลาที่ควบคุม) มายังวาล์วควบคุม CV-1 ซึ่งต่อขนานกันอยู่กับวาล์ว V-7 (วาล์ว V-7 ใช้ในการควบคุมแบบ manual ในการทดลองนี้จะปิดตลอดเวลา) โดยมีวาล์ว V-2 ทำหน้าที่เป็นวาล์วบายพาส เพื่อให้ น้ำไหลย้อนกลับมาที่ TANK-3 เมื่อวาล์วควบคุมปิด (ในการทดลองจะเปิดวาล์ว V-2 ให้แรงดันด้านหน้าของวาล์วควบคุม CV-1 ขณะที่ปิดวาล์วมีค่าเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ในกรณีที่ต้องการใช้ถังกระบวนการถังเดียว (TANK-2) จะเปิดวาล์ว V-3 และปิดวาล์ว V-4 กับ V-5 เพื่อให้ น้ำที่ไหลมาจากวาล์วควบคุม CV-1 ผ่านวาล์ว V-3 เข้าไปใน TANK-2 และน้ำที่อยู่ใน TANK-2 จะไหลผ่านวาล์ว V-6 (ซึ่งเปิดตลอดเวลาที่ควบคุม) กลับไปที่ TANK-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการควบคุม จะใช้ LT ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดระดับของน้ำในถัง TANK-2 และแปลงค่าระดับน้ำที่วัดได้เป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA ซึ่งสัญญาณกระแสไฟฟ้านี้จะถูกแปลงเป็นศักดาไฟฟ้า 1-5 V โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม 1% และจะถูกป้อนเป็นอินพุตของการ์ด PCL-812 ซึ่งทำหน้าที่เป็น A/D ขนาด 12 บิต เพื่อเป็นสัญญาณป้อนกลับให้กับตัวควบคุม ทำให้ได้ค่าอินพุตของตัวควบคุมเป็นค่าดิจิทัลที่อยู่ในช่วง 2457-4095 และตัวควบคุมจะสร้างสัญญาณควบคุมเป็นค่าดิจิทัลที่อยู่ในช่วง 0-4095 จ่ายเป็นอินพุตให้กับการ์ด PCL-726 ซึ่งทำหน้าที่เป็น D/A ขนาด 12 บิต เพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA จ่ายให้กับตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นความดัน (I/P) เพื่อควบคุมวาล์วควบคุม CV-1 ซึ่งจะเปิดให้หน้าที่ถูกสูบขึ้นมาสามารถไหลเข้าไปในถังกระบวนการ TANK-2 ในการสร้างสัญญาณรบกวนจากภายนอก จะใช้วิธีการปิด PUMP และการเติมน้ำเข้าในถังกระบวนการ TANK-2 เพื่อรบกวนการทำงานของระบบ

รูปภาพแสดงการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงดังในภาพที่ 49

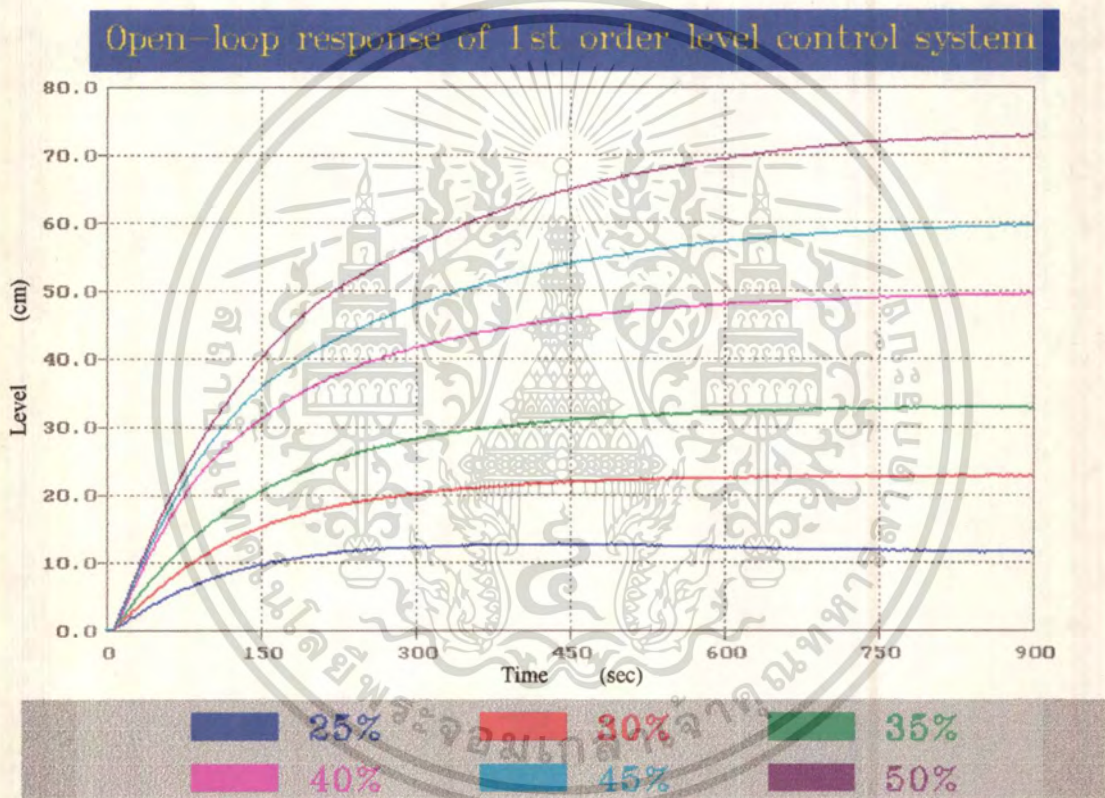


เอกสารนี้เป็นเอกสารแสดงการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ควบคุมกระบวนการแบบรูปเปิด โดยเปิดวาล์วควบคุม CV 25, 30, 35, 40, 45 และ 50% ผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการแสดงในภาพที่ 50

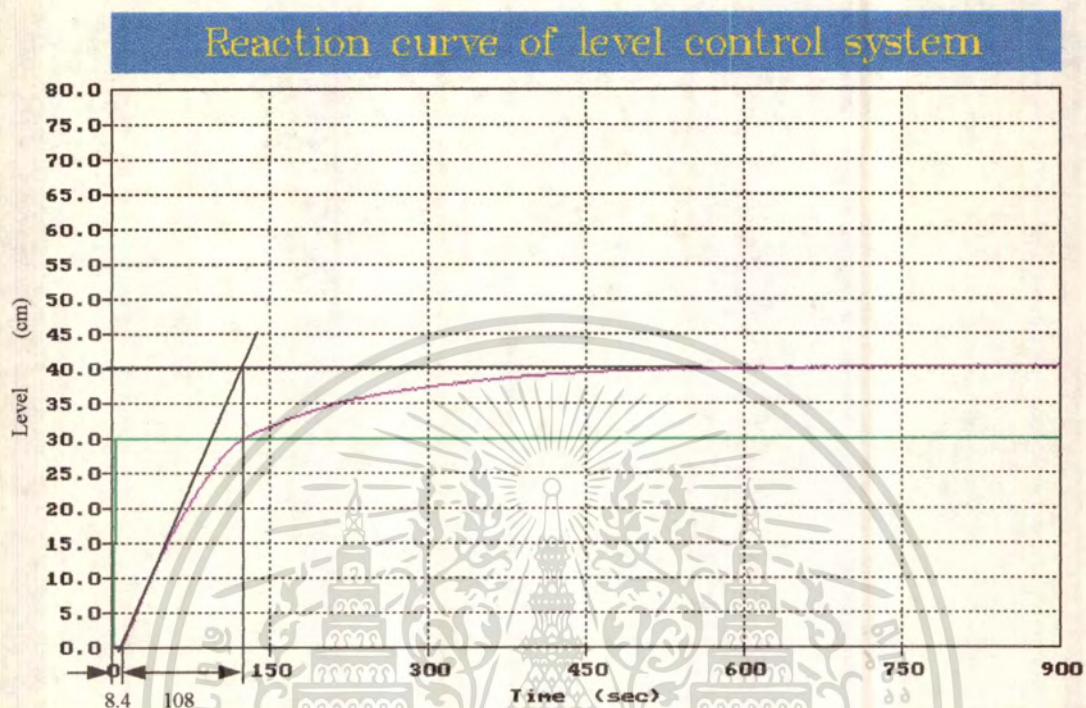
ภาพที่ 50



แสดงผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีถึงเดียว เมื่อเปิดวาล์วควบคุม CV 25, 30, 35, 40, 45 และ 50%

- หาผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการที่ให้เอาต์พุตเท่ากับ 50% เพื่อใช้เป็นเส้นโค้งปฏิกิริยา ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ผลตอบสนองของกระบวนการแสดงดังภาพที่ 51

ภาพที่ 51



แสดงเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีถังเดียว เมื่อเปิดวาล์วควบคุม CV 37.5% ระดับน้ำในถังกระบวนการที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 40 เซนติเมตร

3) คำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ได้ดังนี้

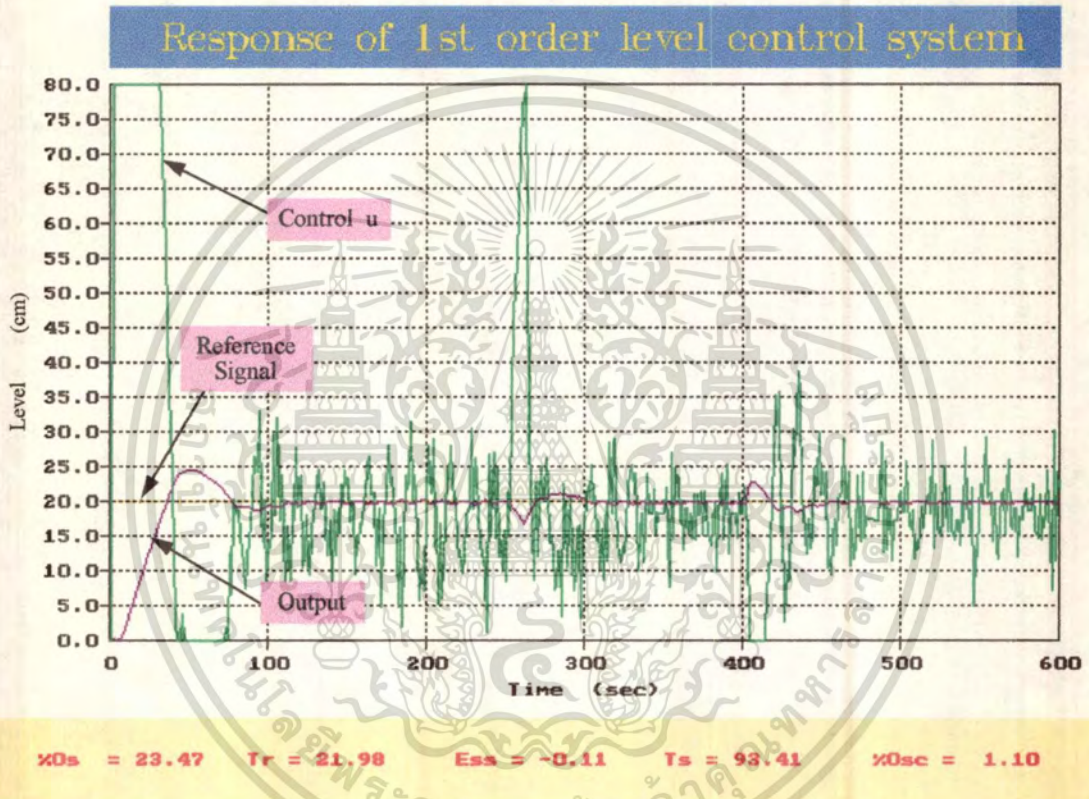
$$\begin{aligned}
 K_p &= 1.2 \cdot 108 / 8.4 = 15.4 \\
 T_i &= 2 \cdot 8.4 = 16.8 \text{ วินาที} \\
 T_d &= 0.5 \cdot 8.4 = 4.2 \text{ วินาที}
 \end{aligned}$$

4) ทดลองใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่คำนวณได้ ทำการควบคุมกระบวนการ โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 20 เซนติเมตร และทำการรบกวนการทำงานขอระบบ โดยการปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 250$ วินาที และเติมน้ำจำนวน 1 ชัน ลงในถังกระบวนการ TANK-2 ที่เวลา $t = 400$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3 เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบควบคุม จนกระทั่งได้ผลตอบสนองของระบบควบคุมในการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID แสดงดังภาพที่ 52

ภาพที่ 52

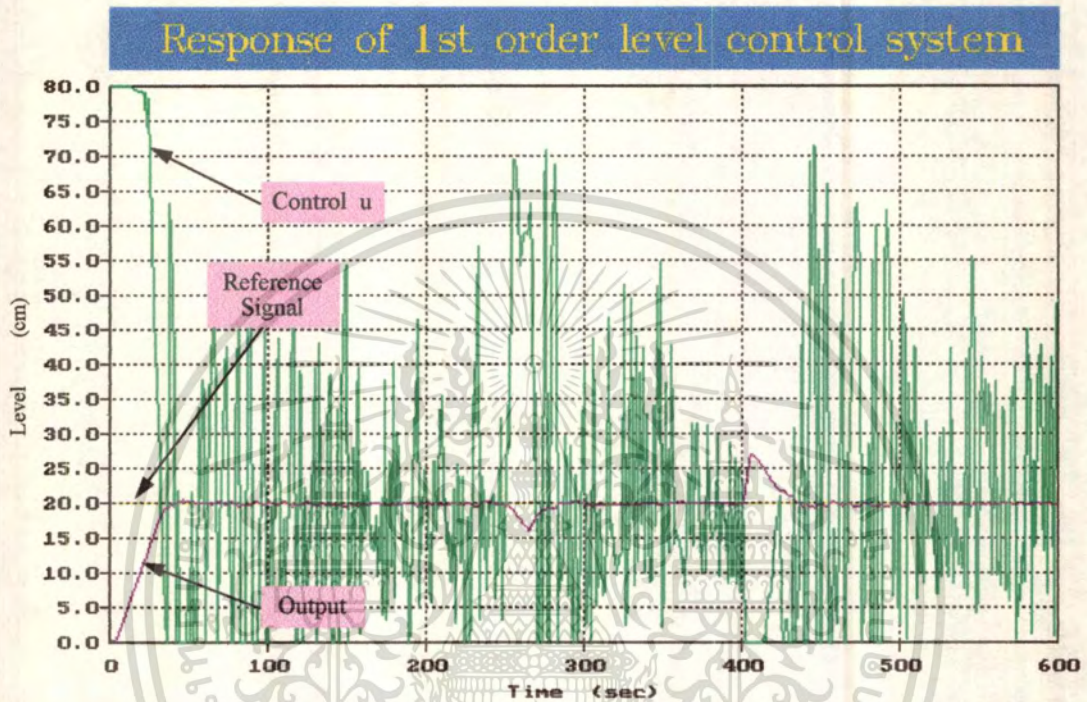


แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถึงเดียว ด้วยตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 20 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 250$ วินาที และเติมน้ำ 1 ชั้น ลงใน TANK-2 ที่เวลา $t = 400$ วินาที

- 6) ทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุม และประสิทธิภาพในการปรับตัวของตัวควบคุมพีซีซี โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 20 เซนติเมตร และทำการรบกวนการทำงานของระบบ โดยการปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 250$ วินาที และเติมน้ำจำนวน 1 ชั้น ลงในถังกระบวนการ TANK-2 ที่เวลา $t = 400$ วินาที ผลตอบสนองของระบบควบคุมพีซีซีแสดงได้ดังภาพที่ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 53

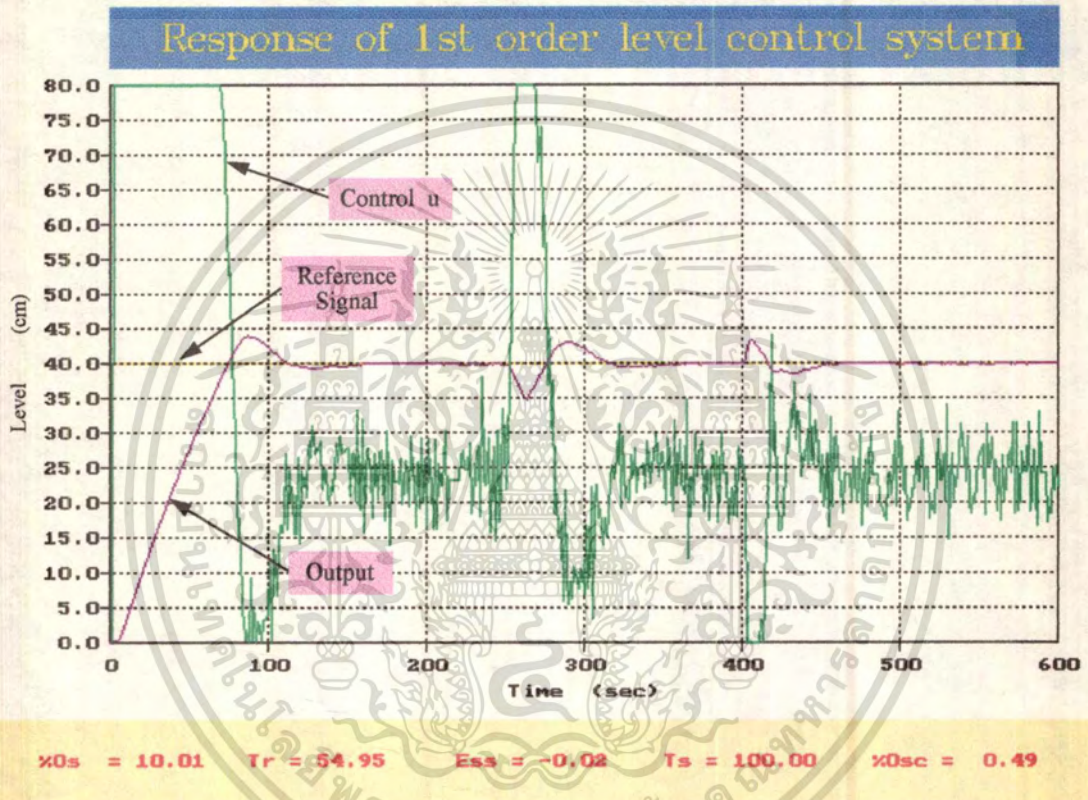


$xOs = 2.69$ $Tr = 25.27$ $Ess = 0.03$ $Ts = 33.97$ $xOsc = 1.10$

แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 20 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 250$ วินาที และเติมน้ำ 1 ชั้น ลงใน TANK-2 ที่เวลา $t = 400$ วินาที

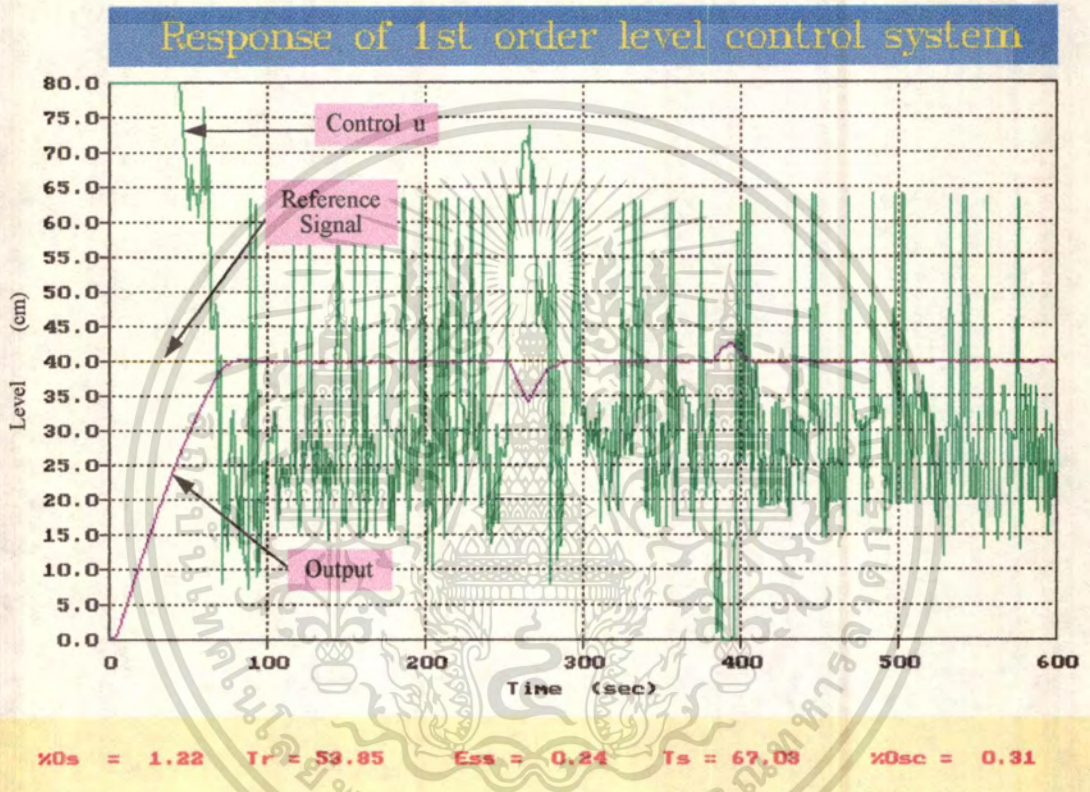
- 7) ทำการทดลองซ้ำ ตามข้อ 4-6 โดยเปลี่ยนค่าสัญญาณอ้างอิงเป็น 40 และ 60 เซนติเมตร ผลตอบสนองของระบบควบคุมในแต่ละกรณี แสดงดังภาพที่ 54-57 ตามลำดับ

ภาพที่ 54



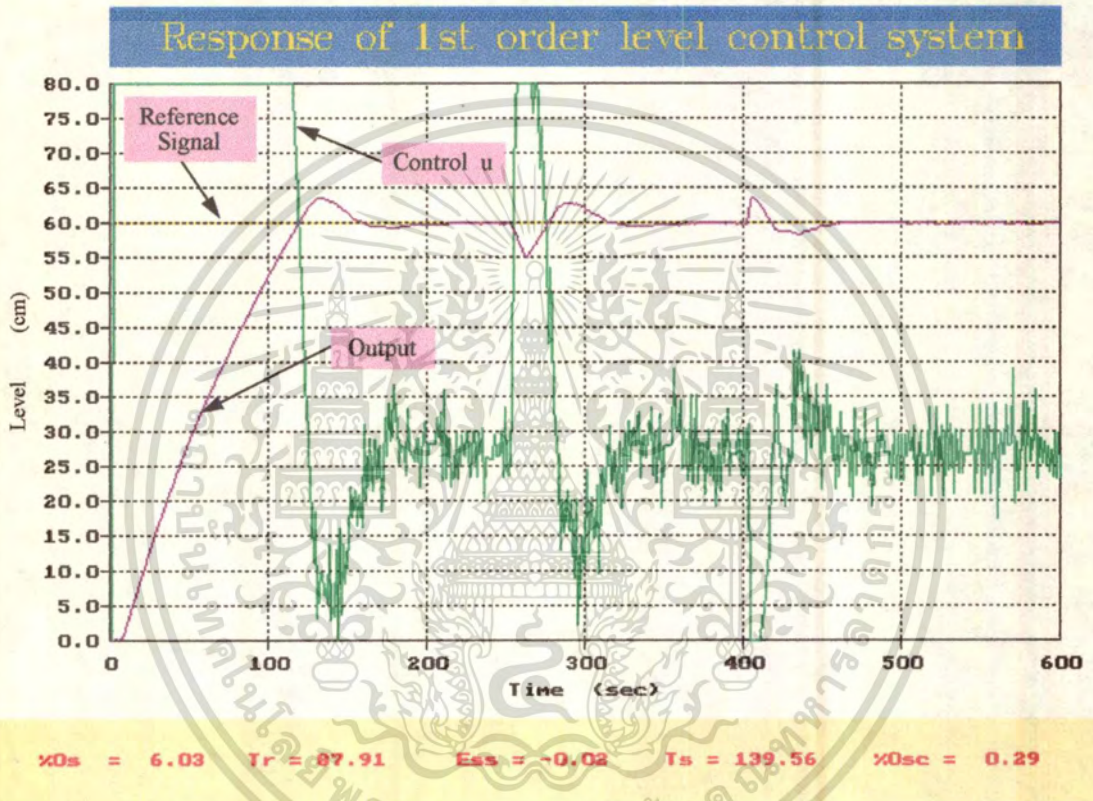
แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว ด้วยตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 40 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 250$ วินาที และเติมน้ำ 1 ชั้น ลงใน TANK-2 ที่เวลา $t = 400$ วินาที

ภาพที่ 55



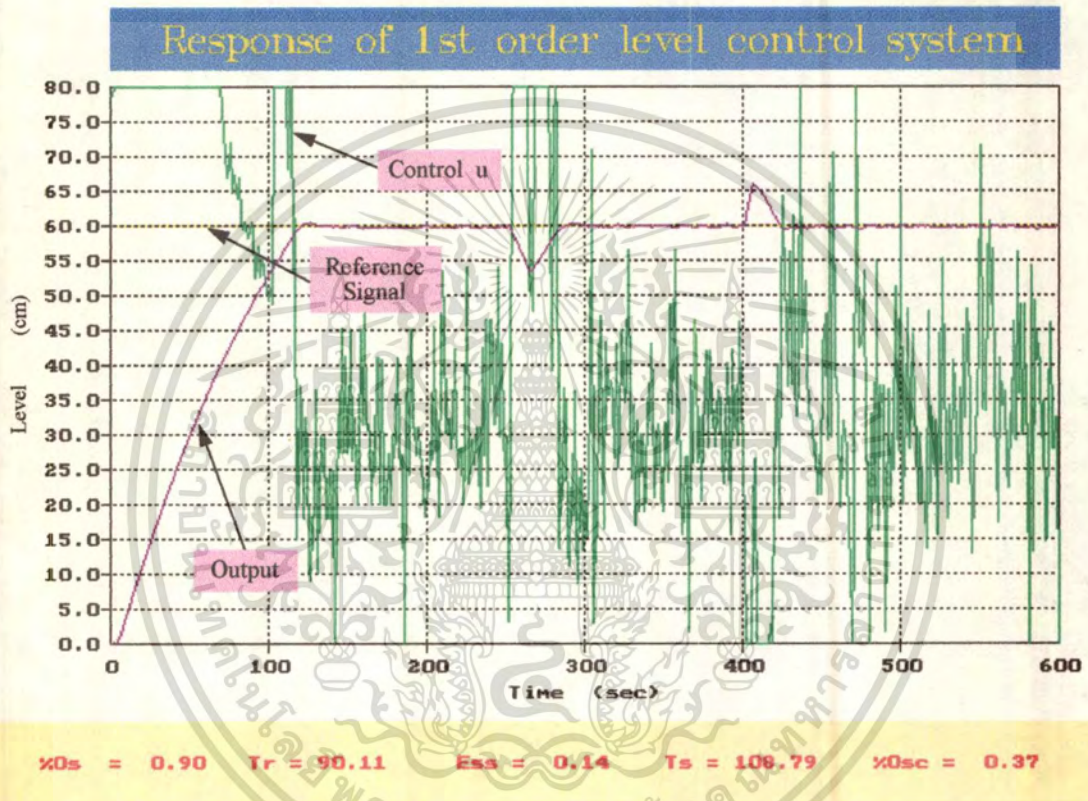
แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 40 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 250$ วินาที และเติมน้ำ 1 ชั้น ลงใน TANK-2 ที่เวลา $t = 400$ วินาที

ภาพที่ 56



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว ด้วยตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 60 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 250$ วินาที และเติมน้ำ 1 ชั้น ลงใน TANK-2 ที่เวลา $t = 400$ วินาที

ภาพที่ 57



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 60 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 250$ วินาที และเติมน้ำ 1 ชั้น ลงใน TANK-2 ที่เวลา $t = 400$ วินาที

- 8) เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุม PID กับระบบฟuzzy ในการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีดังกล่าว เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่างๆ กัน ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10

แสดงค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PID กับระบบควบคุมฟuzzy
ในการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีดังกล่าว
เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่างๆ กัน

System Performance of 1st Order Level Control System						
Reference (cm)	Controller Type	Os (%)	Tr (sec)	Ts (sec)	Ess (%)	Osc (%)
20	PID	23.47	21.98	93.41	-0.11	1.10
20	SOFLIC	2.69	25.27	32.97	0.03	1.10
40	PID	10.01	54.95	100.00	-0.02	0.49
40	SOFLIC	1.22	53.85	67.03	0.24	0.31
60	PID	6.03	87.91	139.56	-0.02	0.29
60	SOFLIC	0.90	91.11	108.79	0.14	0.37

ตารางที่ 10 แสดงว่าสมรรถนะที่สภาวะทรานเซียนท์ของระบบควบคุม PID มีโอเวอร์ชูตสูงกว่าของระบบควบคุมฟuzzy มาก (Os ของระบบควบคุม PID ประมาณ 5-25% ในขณะที่ Os ของระบบควบคุมฟuzzy น้อยกว่า 3%) แต่เอาต์พุตของระบบควบคุม PID ลู่เข้าหาค่าอ้างอิงได้เร็วกว่าเล็กน้อย (Tr น้อยกว่า ยกเว้นกรณีค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 40 เซนติเมตร) เมื่อพิจารณาสมรรถนะที่สภาวะคงตัว เอาต์พุตของระบบควบคุมฟuzzy จะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่าระบบควบคุม PID มาก (Ts น้อยกว่า) ขณะที่ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวและค่าการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิงของระบบควบคุมทั้งสองกรณีมีค่าน้อยมาก (Ess และ Osc น้อยกว่า $\pm 2\%$)

ตอนที่ 3 การควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีสองถัง

ในการทดลองนี้ จะใช้กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการในภาพที่ 47 ซึ่งมีโครงสร้างของกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 48 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

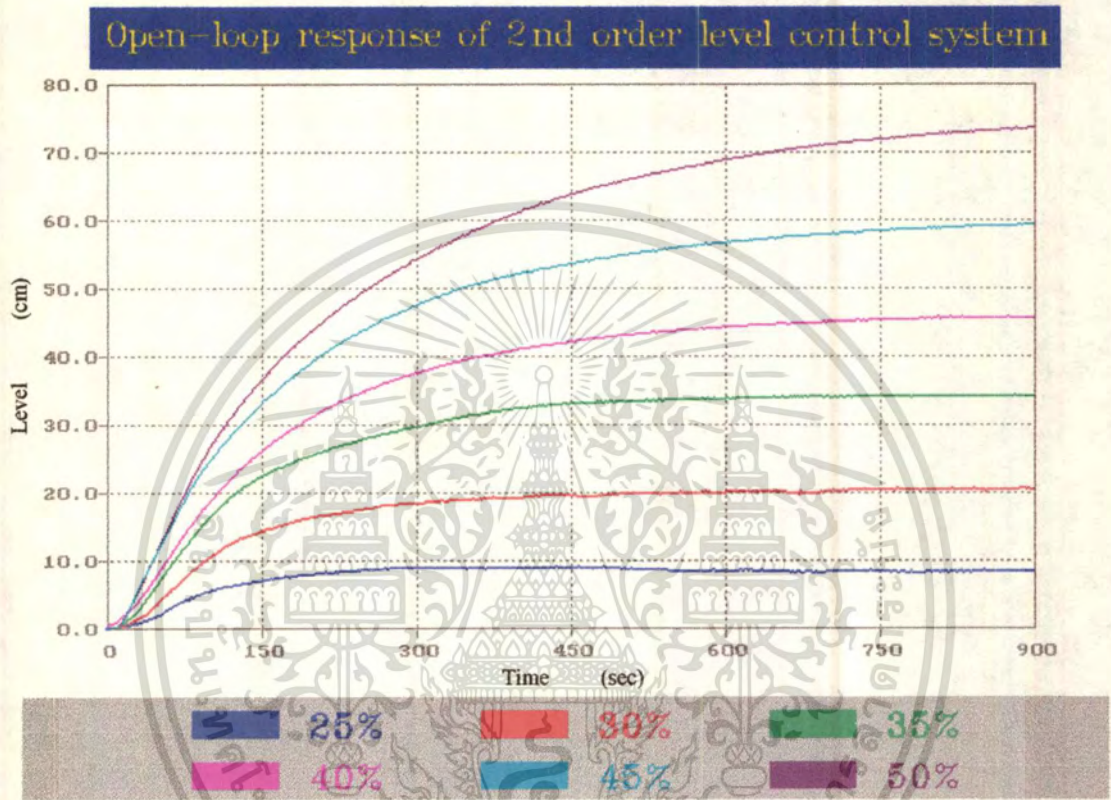
การทำงานของกระบวนการ PUMP จะทำหน้าที่สูบน้ำจาก TANK-3 ขึ้นไปตามท่อตลอดระยะเวลาในการควบคุม น้ำที่ถูกสูบจะผ่านวาล์ว V-1 มายังวาล์วควบคุม CV-1 โดยมีวาล์ว V-2 ทำหน้าที่เป็นวาล์วบายพาส (ในการทดลองนี้ จะเปิดวาล์ว V-2 ให้แรงดันด้านหน้าของวาล์วควบคุม CV-1 ในขณะที่ปิดวาล์วมีค่าเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ในการทดลองนี้ต้องการใช้ถังกระบวนการ 2 ถัง (TANK-1 และ TANK-2) จึงเปิดวาล์ว V-4 กับ V-5 และปิดวาล์ว V-3 เพื่อให้ น้ำที่ไหลมาจากวาล์วควบคุม CV-1 ผ่านวาล์ว V-4 ไหลเข้าไปใน TANK-1 น้ำที่อยู่ใน TANK-1 จะไหลผ่านวาล์ว V-5 มาที่ TANK-2 และน้ำใน TANK-2 จะไหลผ่านวาล์ว V-6 กลับไปที่ TANK-3

ในการควบคุมกระบวนการกรณีสองถัง จะเหมือนกับในกรณีถังเดียว แต่ น้ำที่ไหลมาจาก TANK-3 ผ่านวาล์วควบคุม CV-1 จะไหลผ่านวาล์ว V-4 เข้าไปในถังกระบวนการ TANK-1 แล้วน้ำจาก TANK-1 จึงจะไหลผ่านวาล์ว V-5 มาที่ TANK-2 ในการสร้างสัญญาณรบกวนจากภายนอก จะใช้วิธีปิด PUMP เพื่อรบกวนการทำงานของระบบ

ทำการทดลองตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ควบคุมกระบวนการแบบรูปเปิด โดยเปิดวาล์วควบคุม CV 25, 30, 35, 40, 45 และ 50% ผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการแสดงในภาพที่ 58

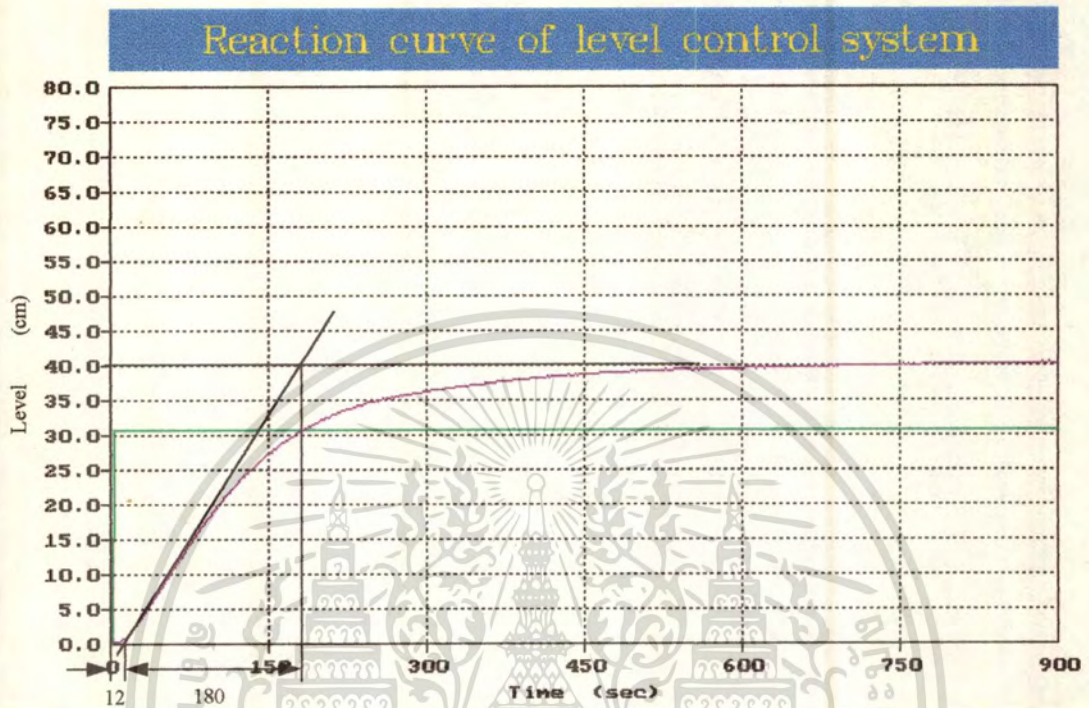
ภาพที่ 58



แสดงผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณี
สองถัง เมื่อเปิดวาล์วควบคุม CV 25, 30, 35, 40, 45 และ 50%

- 2) หาผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการที่ให้เอาต์พุตเท่ากับ 50% เพื่อใช้เป็นเส้นโค้ง
ปฏิกิริยา ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของZiegler-Nichols
ผลตอบสนองของกระบวนการแสดงดังภาพที่ 59

ภาพที่ 59



แสดงเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีสองถัง เมื่อเปิดวาล์วควบคุม CV 38.5% ระดับน้ำในถังกระบวนการที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 40 เซนติเมตร

3) คำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ได้ดังนี้

$$K_p = 1.2 \cdot 180 / 12 = 18$$

$$T_i = 2 \cdot 12 = 24 \text{ วินาที}$$

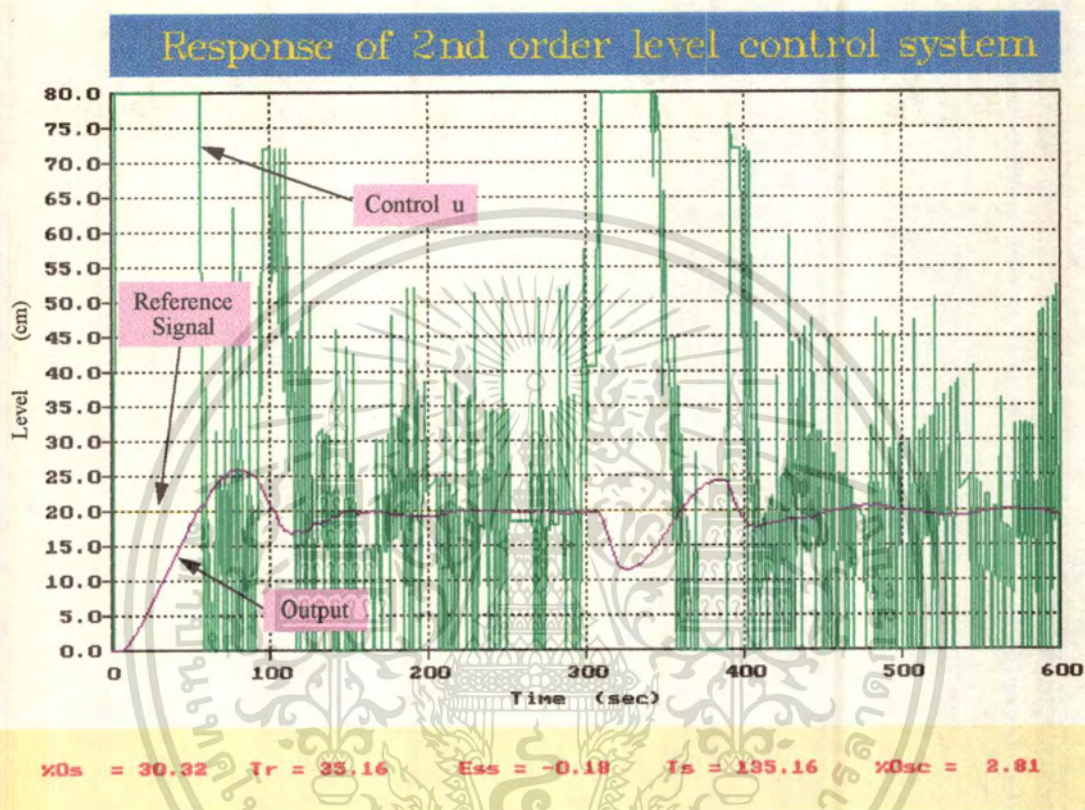
$$T_d = 0.5 \cdot 12 = 6 \text{ วินาที}$$

4) ทดลองใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่คำนวณได้ ทำการควบคุมกระบวนการ โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 20 เซนติเมตร และทำการรบกวนการทำงานของระบบ โดยการปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 300$ วินาที

5) ปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3 เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบควบคุม จนกระทั่งได้ผลตอบสนองของระบบควบคุมในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

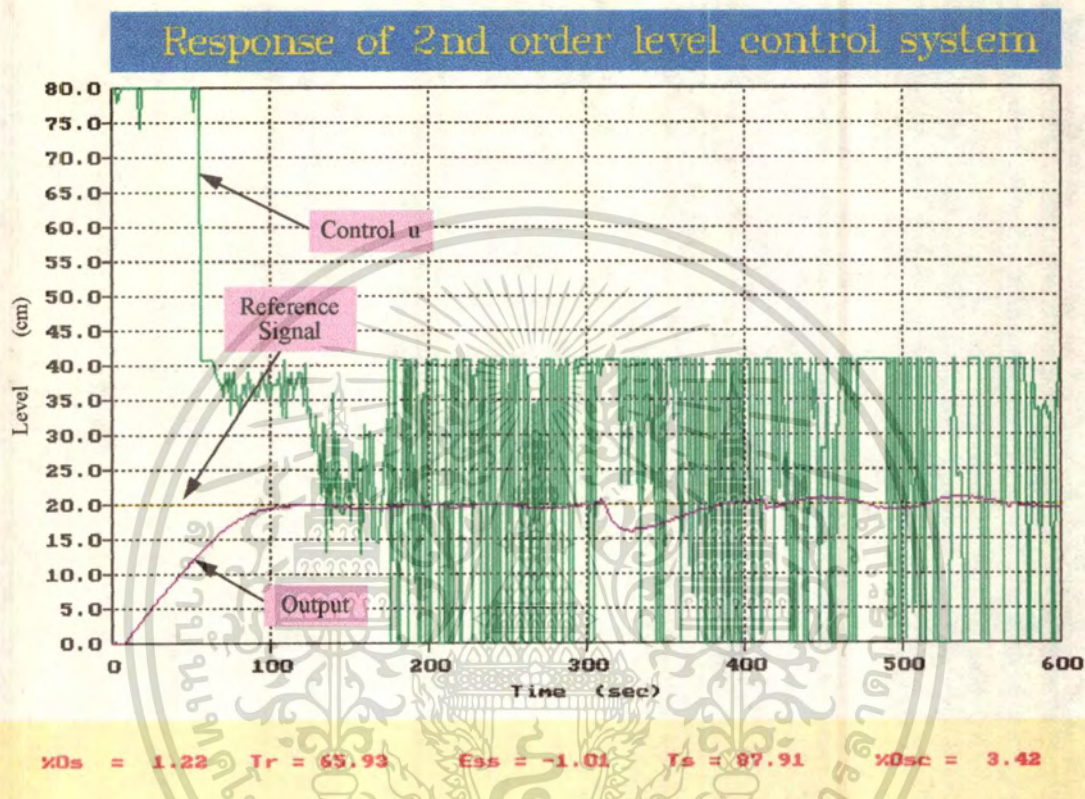
ภาพที่ 60



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 20 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 300$ วินาที

- 6) ทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุม และประสิทธิภาพในการปรับตัวของตัวควบคุมพีซี โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 20 เซนติเมตร และทำการรบกวนการทำงานของระบบ โดยการปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 300$ วินาที ผลตอบสนองของระบบควบคุมพีซี แสดงได้ดังภาพที่ 61

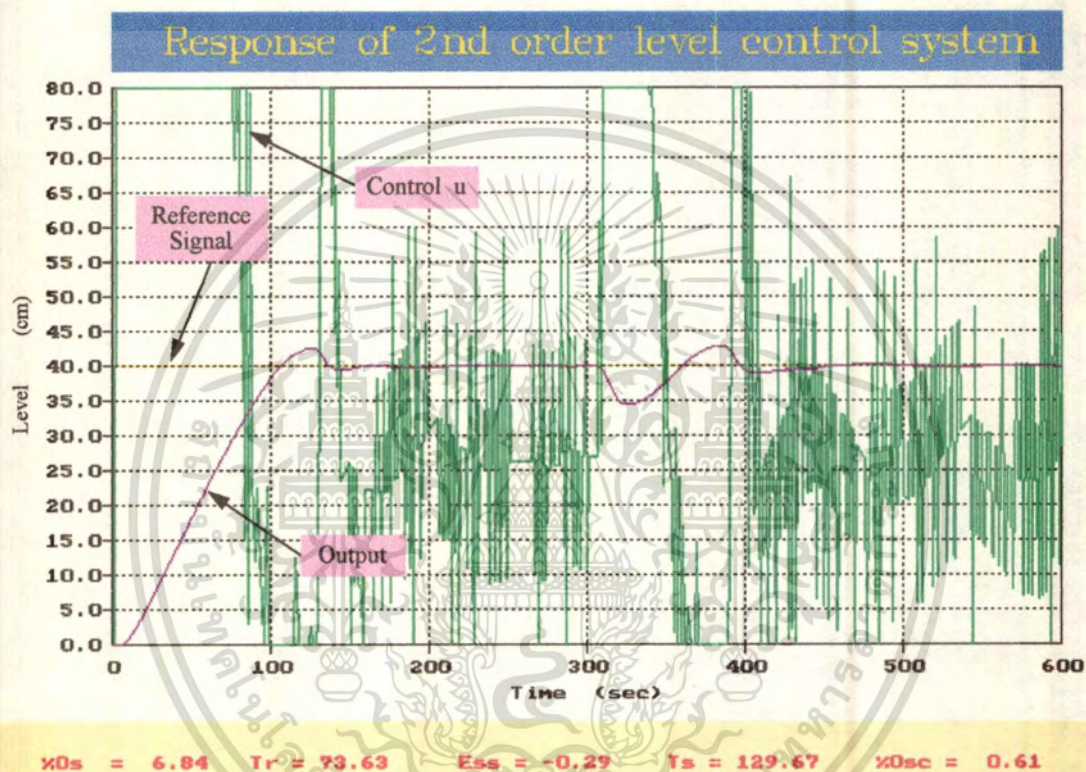
ภาพที่ 61



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 20 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 300$ วินาที

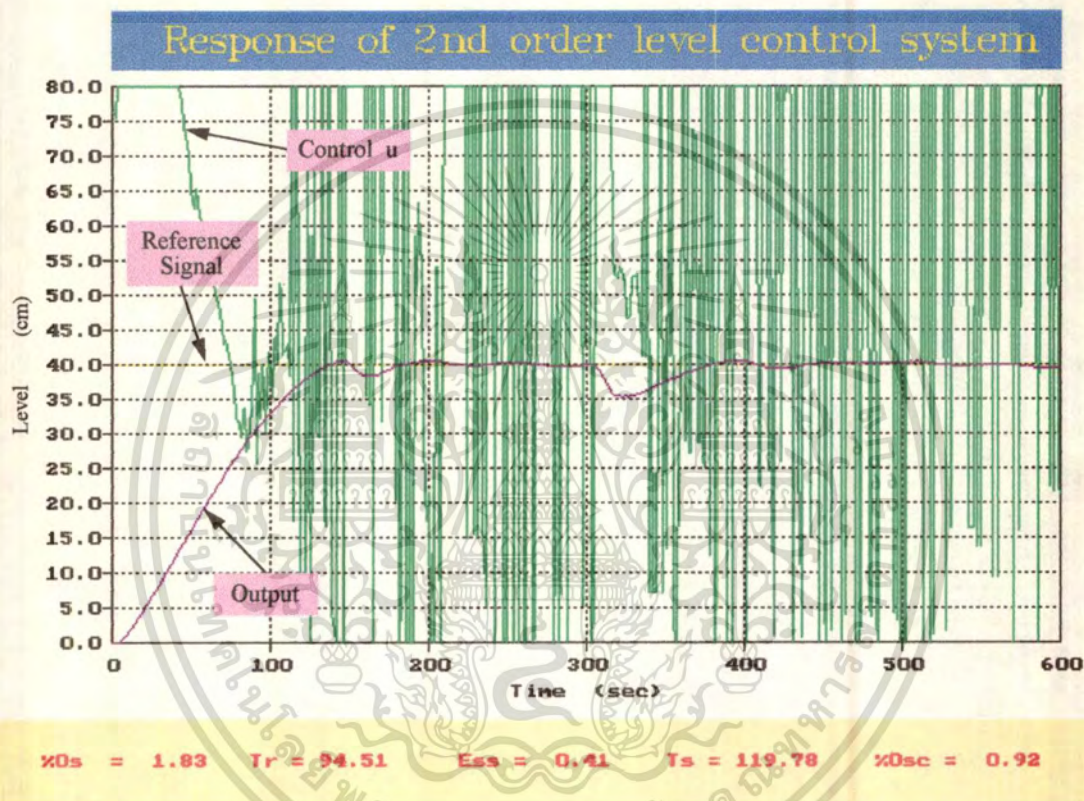
- 7) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4-6 โดยเปลี่ยนค่าสัญญาณอ้างอิงเป็น 40 และ 60 เซนติเมตร ผลตอบสนองของระบบควบคุมในแต่ละกรณี แสดงดังภาพที่ 62-65 ตามลำดับ

ภาพที่ 62



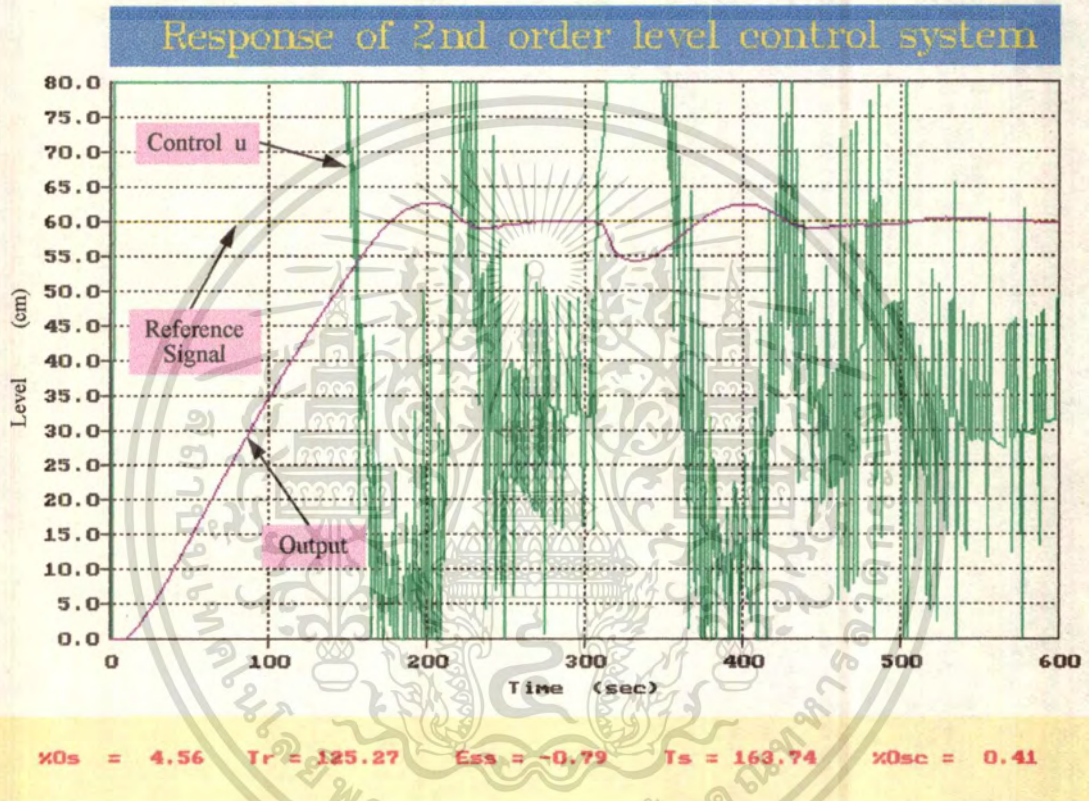
แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 40 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 300$ วินาที

ภาพที่ 63



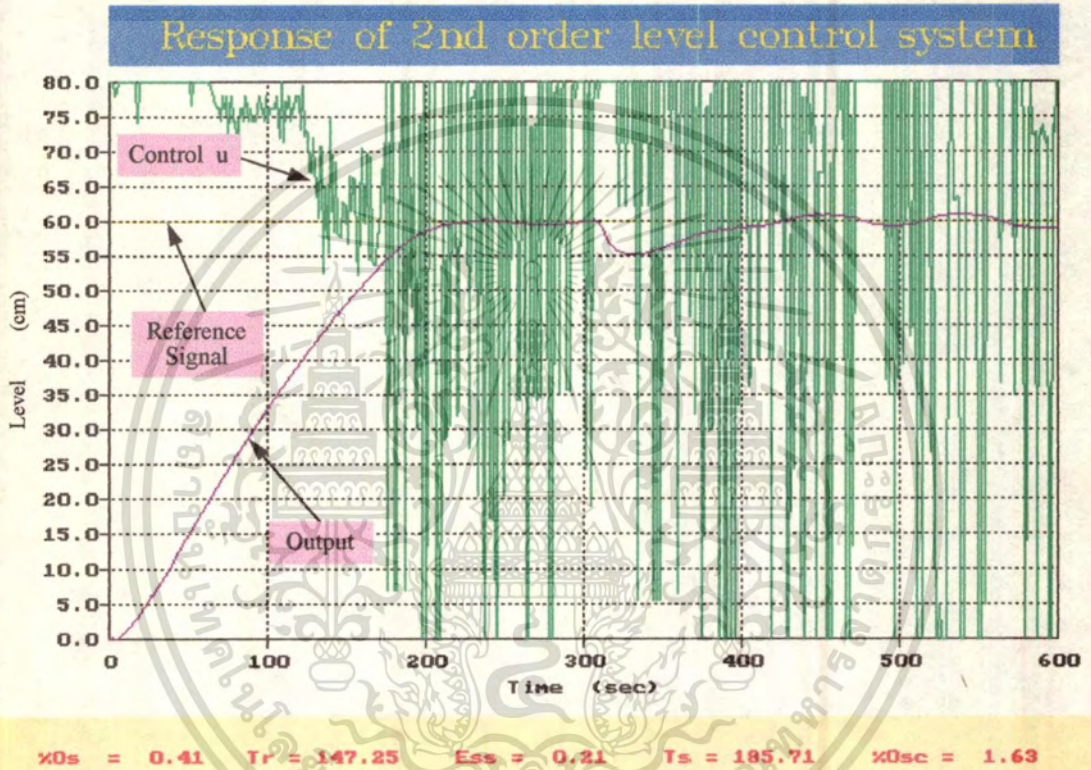
แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 40 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 300$ วินาที

ภาพที่ 64



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 60 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 300$ วินาที

ภาพที่ 65



แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 60 เซนติเมตร และมีการรบกวน โดยปิด PUMP เป็นเวลา 10 วินาที ที่เวลา $t = 300$ วินาที

- 8) เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุม PID กับระบบฟuzzy ในการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีสองถัง เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่างๆ กัน ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11

แสดงค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PID กับระบบควบคุมฟuzzy
ในการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีสองถัง
เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่างๆ กัน

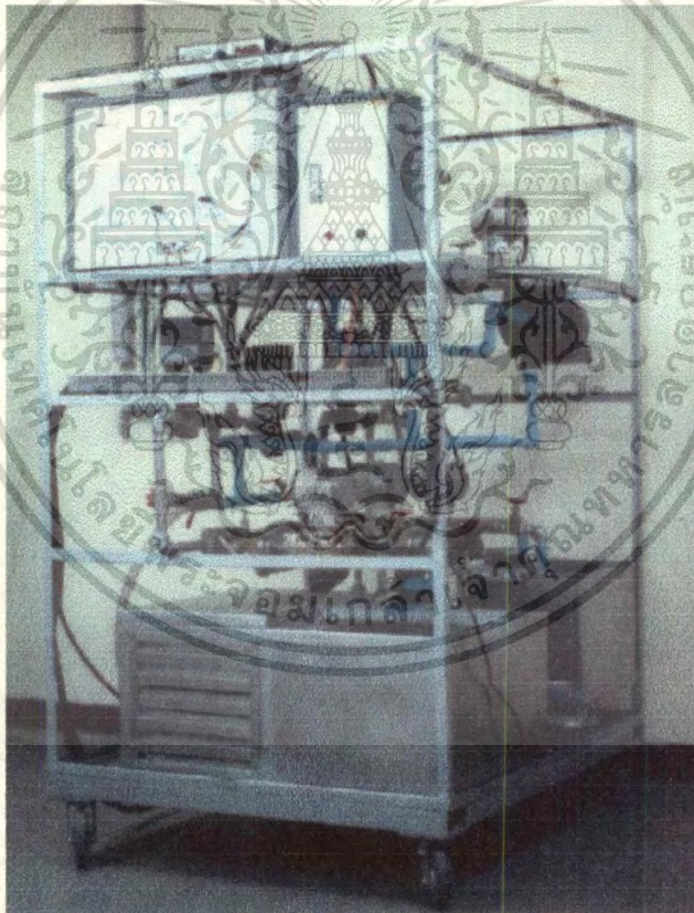
System Performance of 2nd Order Level Control System						
Reference (cm)	Controller Type	Os (%)	Tr (sec)	Ts (sec)	Ess (%)	Osc (%)
20	PID	30.32	35.16	135.16	-0.18	2.81
20	SOFLIC	1.22	65.93	87.91	-1.01	3.42
40	PID	6.84	73.63	129.67	-0.29	0.61
40	SOFLIC	1.83	94.51	119.78	0.41	0.92
60	PID	4.56	125.27	163.74	-0.79	0.41
60	SOFLIC	0.41	147.25	185.71	0.21	1.63

ตารางที่ 11 แสดงว่าสมรรถนะที่สภาวะทรานเซียนท์ของระบบควบคุม PID มีโอเวอร์ชูตสูงกว่าของระบบควบคุมฟuzzy (Os ของระบบควบคุม PID ประมาณ 5-30% ในขณะที่ Os ของระบบควบคุมฟuzzy น้อยกว่า 2%) แต่เอาต์พุตของระบบควบคุม PID ลู่เข้าหาค่าอ้างอิงได้เร็วกว่า (Tr น้อยกว่า) เมื่อพิจารณาสมรรถนะที่สภาวะคงตัว เอาต์พุตของระบบควบคุมฟuzzy ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวของระบบควบคุมทั้งสองมีค่าน้อยมาก (Ess น้อยกว่า $\pm 2\%$) และมีการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิงเล็กน้อย (Osc น้อยกว่า $\pm 5\%$)

การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมในการควบคุมกระบวนการหลายอินพุตหลายเอาต์พุต

ในการทดลองนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมที่สร้างขึ้น ทำการควบคุมกระบวนการ
ถึงผสมถ่ายเทความร้อน ในภาพที่ 66

ภาพที่ 66

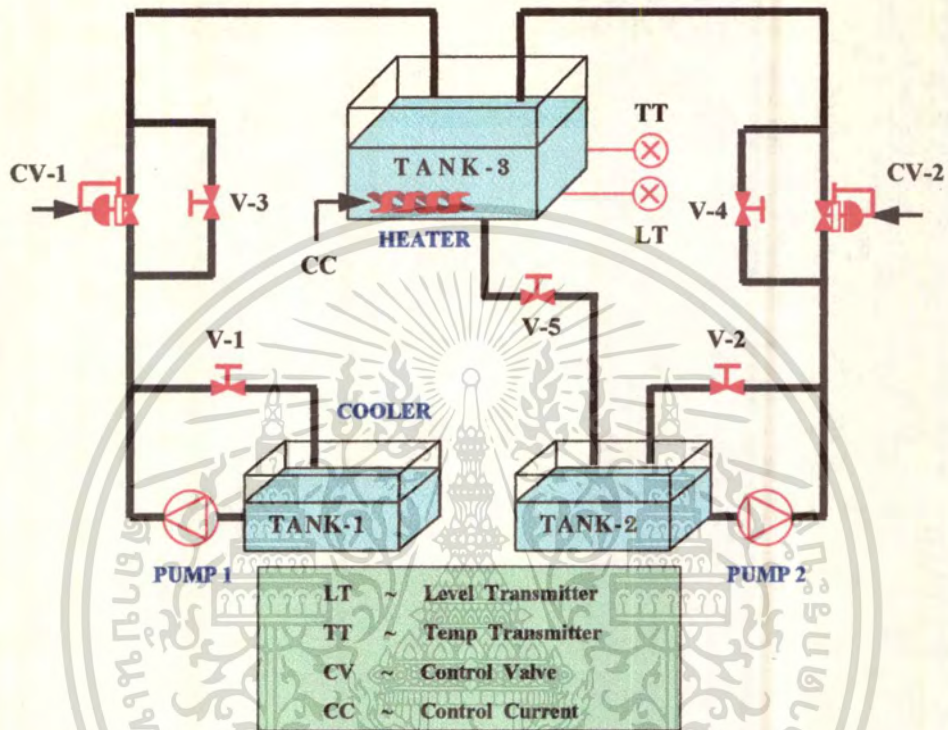


แสดงกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อนที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 67 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

ภาพที่ 67



แสดงโครงสร้างของกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อน

การทำงานของกระบวนการนี้ จะเป็นการผสมน้ำเย็นจาก TANK-1 ซึ่งเป็นถังน้ำที่ภายในมีเครื่องทำความเย็น กับน้ำที่อุณหภูมิห้องจาก TANK-2 ภายในถังกระบวนการ TANK-3 โดยที่น้ำเย็นจาก TANK-1 จะถูก PUMP 1 สูบขึ้นไปตามท่อ (ตลอดระยะเวลาในการควบคุม) ผ่านมาที่วาล์วควบคุม CV-1 ซึ่งต่อขนานกับวาล์ว V-3 (วาล์ว V-3 ใช้ในการควบคุมแบบ manual ในการทดลองนี้จะปิดตลอดเวลา) โดยมีวาล์ว V-1 ทำหน้าที่เป็นวาล์วบายพาส (ให้น้ำไหลย้อนกลับมาที่ TANK-1 ขณะที่วาล์วควบคุม CV-1 ปิด) น้ำเย็นที่ไหลผ่านมาจากวาล์วควบคุม CV-1 จะเข้าไปผสมกับน้ำในถังกระบวนการ TANK-3 และน้ำที่อุณหภูมิห้องจาก TANK-2 จะถูก PUMP 2 สูบขึ้นไปตามท่อ (ตลอดระยะเวลาการควบคุม) ผ่านมาที่วาล์วควบคุม CV-2 ซึ่งต่อขนานกับวาล์ว V-4 (วาล์ว V-4 ใช้ในการควบคุมแบบ manual ในการทดลองนี้จะปิดตลอดเวลา) โดยมีวาล์ว V-2 ทำหน้าที่เป็นวาล์วบายพาส (ให้น้ำไหลย้อนกลับมาที่ TANK-2 ขณะที่วาล์วควบคุม CV-2 ปิด) น้ำที่ไหลผ่านมาจากวาล์วควบคุม CV-2 จะไหลเข้าไปผสมกับน้ำในถังกระบวนการ TANK-3 นอกจากนี้ ภายในถังกระบวนการ TANK-3 มีเครื่องทำความร้อน (HEATER) ที่สามารถควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับน้ำภายในถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ และน้ำในถังกระบวนการ TANK-3 จะไหลผ่านวาล์ว V-5 (ซึ่งเปิดตลอดเวลาที่ควบคุม) กลับไปที่ TANK-2

ในการควบคุมกระบวนการถึงผลถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีสองเอาต์พุต คือระดับน้ำและอุณหภูมิของน้ำภายในถังกระบวนการ TANK-3 และมีอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (final control element) 3 อุปกรณ์ คือ CV-1, CV-2 และ HEATER จากคุณสมบัติของกระบวนการ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำภายในถังกระบวนการ จะมีผลต่อความร้อนที่ต้องจ่ายให้กับระบบในการรักษาให้อุณหภูมิมีค่าคงที่ ในขณะที่เดียวกัน การลดอุณหภูมิของน้ำ โดยการเติมน้ำเย็นเข้าผสมในถังกระบวนการ ก็จะมีผลต่อระดับน้ำในถังกระบวนการเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการควบคุมกระบวนการนี้ จะมีการเกิดกิริยาระหว่างการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ควบคุม ในการทดลองจะทำการควบคุมกระบวนการ โดยแบ่งอุปกรณ์ควบคุมดังนี้

ในการควบคุมระดับน้ำ จะใช้ LT ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดระดับน้ำภายในถังกระบวนการ TANK-3 และแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA ซึ่งค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้านี้ จะถูกแปลงเป็นศักดาไฟฟ้า 1-5 V โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม 1% และถูกป้อนเป็นอินพุตของการ์ด PCL-812 เพื่อเป็นสัญญาณป้อนกลับให้กับตัวควบคุมในช่องควบคุมที่ 1 ทำให้ได้ค่าอินพุตของตัวควบคุมเป็นค่าดิจิทัลที่อยู่ในช่วง 2457-4095 ตัวควบคุมในช่องควบคุมที่ 1 จะสร้างสัญญาณควบคุมเป็นค่าดิจิทัลในช่วง 0-4095 จ่ายเป็นอินพุตให้กับการ์ด PCL-726 เพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA สำหรับควบคุมวาล์วควบคุม CV-2 ซึ่งจะเปิดให้น้ำที่ถูกสูบขึ้นมาจาก TANK-2 สามารถไหลเข้าไปในถังกระบวนการ TANK-3

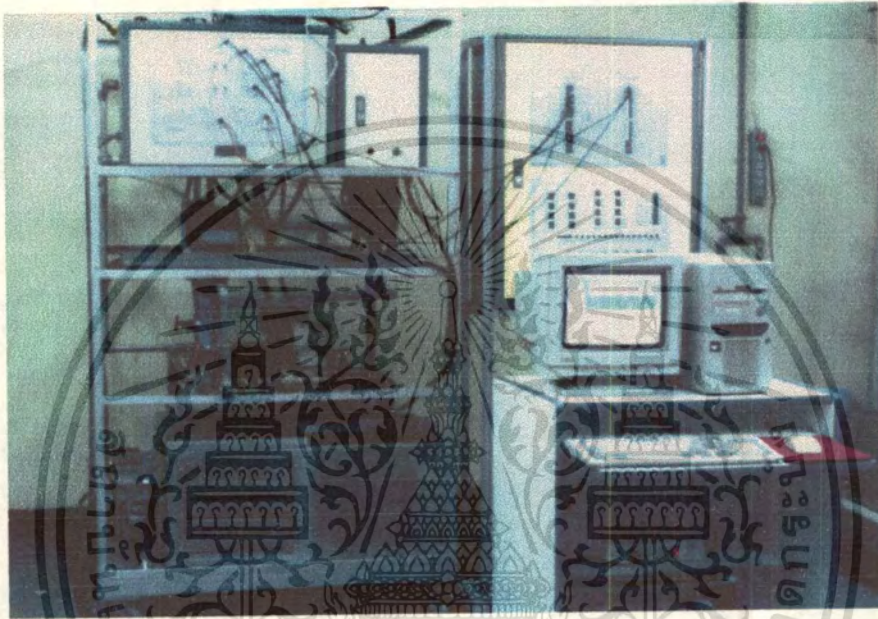
ในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำภายในถังกระบวนการ จะทำการควบคุมอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย 2 ตัว คือ การควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องทำความร้อน และการควบคุมวาล์วควบคุม CV-1 เพื่อเปิดให้น้ำเย็นจาก TANK-1 เข้าไปผสมในถังกระบวนการ TANK-3 ในการควบคุมจะใช้ TT เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำในถังกระบวนการ TANK-3 และแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA ซึ่งค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้านี้ จะถูกแปลงเป็นศักดาไฟฟ้า 1-5 V โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม 1% และถูกป้อนเป็นอินพุตของการ์ด PCL-812 เพื่อเป็นสัญญาณป้อนกลับให้ตัวควบคุมในช่องควบคุมที่ 2 และ 3 ทำให้ได้ค่าอินพุตของตัวควบคุมเป็นค่าดิจิทัลที่อยู่ในช่วง 2457-4095 ตัวควบคุมในช่องควบคุมที่ 2 จะสร้างสัญญาณควบคุมเป็นค่าดิจิทัลในช่วง 0-4095 จ่ายเป็นอินพุตให้กับการ์ด PCL-726 เพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA สำหรับควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องทำความร้อน และตัวควบคุมในช่องควบคุมที่ 3 จะสร้างสัญญาณควบคุมเป็นค่าดิจิทัลในช่วง 0-4095 จ่ายเป็นสัญญาณอินพุตให้กับ PCL-726 เพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA สำหรับควบคุมวาล์วควบคุม CV-1 ซึ่งจะเปิดให้น้ำเย็นที่ถูกสูบขึ้นมาจาก TANK-1 ไหลเข้าไปผสมในถังกระบวนการ TANK-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

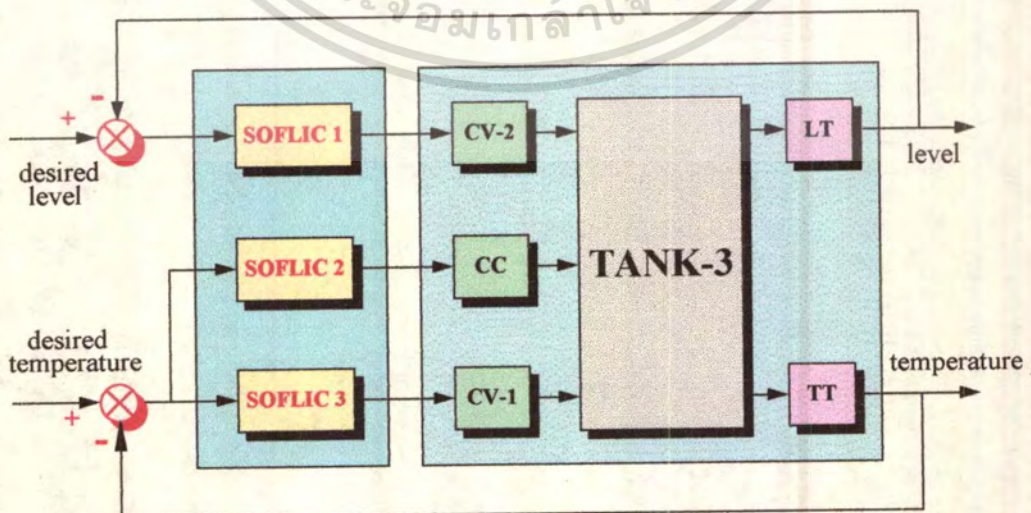
รูปภาพแสดงการควบคุมกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อนด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และแผนภาพแสดงการแบ่งรูปการควบคุมในการควบคุมกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อน แสดงดังภาพที่ 68 และภาพที่ 69 ตามลำดับ

ภาพที่ 68



แสดงการควบคุมกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อน ด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

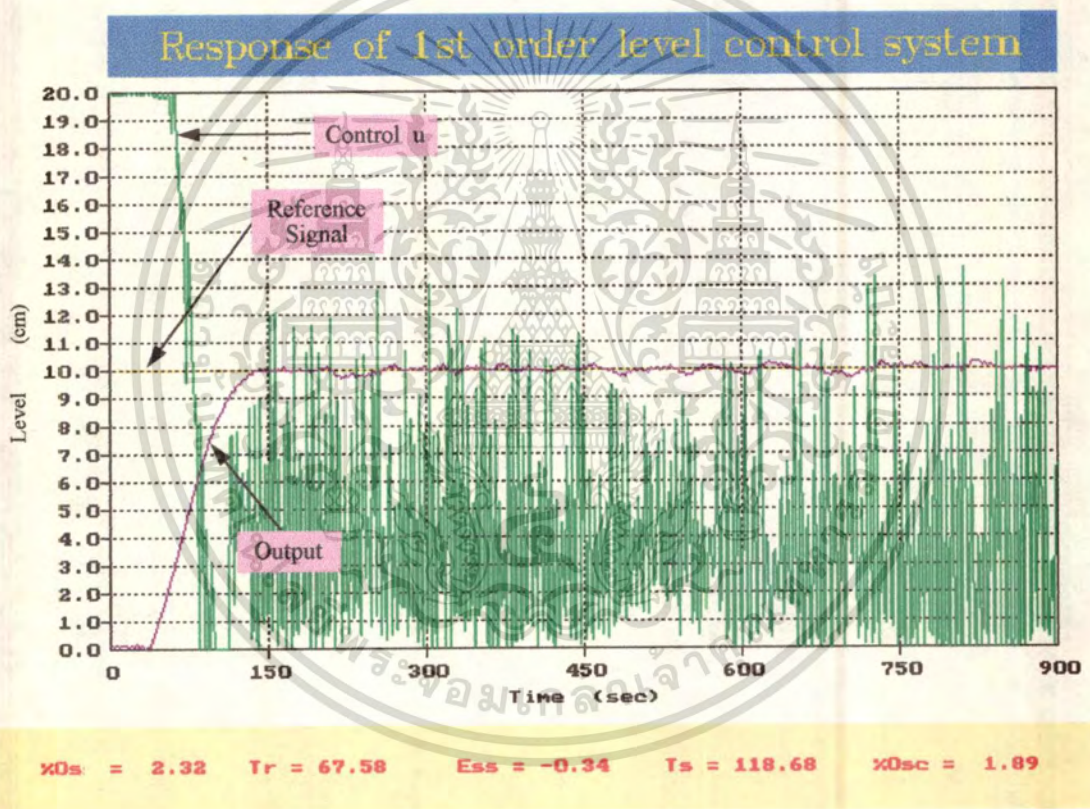
ภาพที่ 69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการจัดพิมพ์และแจกจ่ายฟรีโดยไม่หวังกำไร
แสดงแผนภาพแสดงการแบ่งรูปในการควบคุมกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อน ด้านการคำนวณ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการควบคุมกระบวนการถังผสมถ่ายเทความร้อน โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงของระดับน้ำเท่ากับ 10 เซนติเมตร และอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ผลตอบสนองของระบบควบคุมในแต่ละรูป แสดงดังภาพที่ 70-72 ตามลำดับ

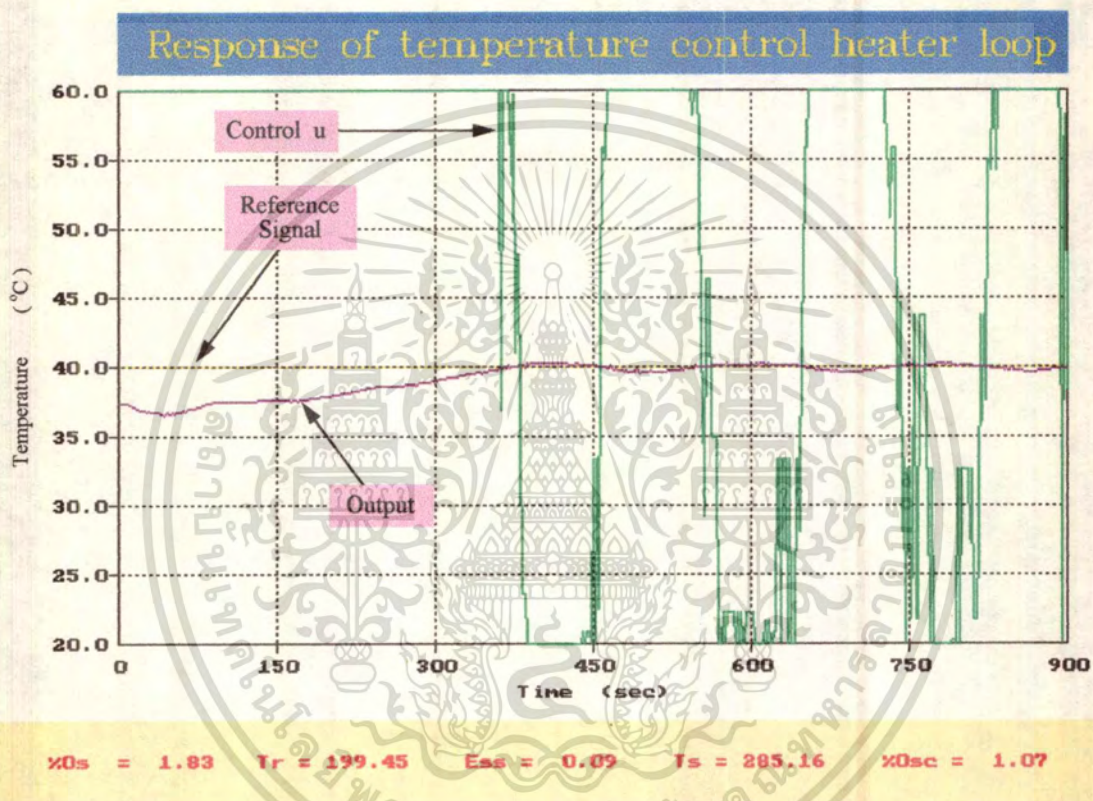
ภาพที่ 70



แสดงผลตอบสนองของการควบคุมระดับน้ำ
อุณหภูมิห้อง (CV-2) ด้วยตัวควบคุม SOFLIC
เซนติเมตร

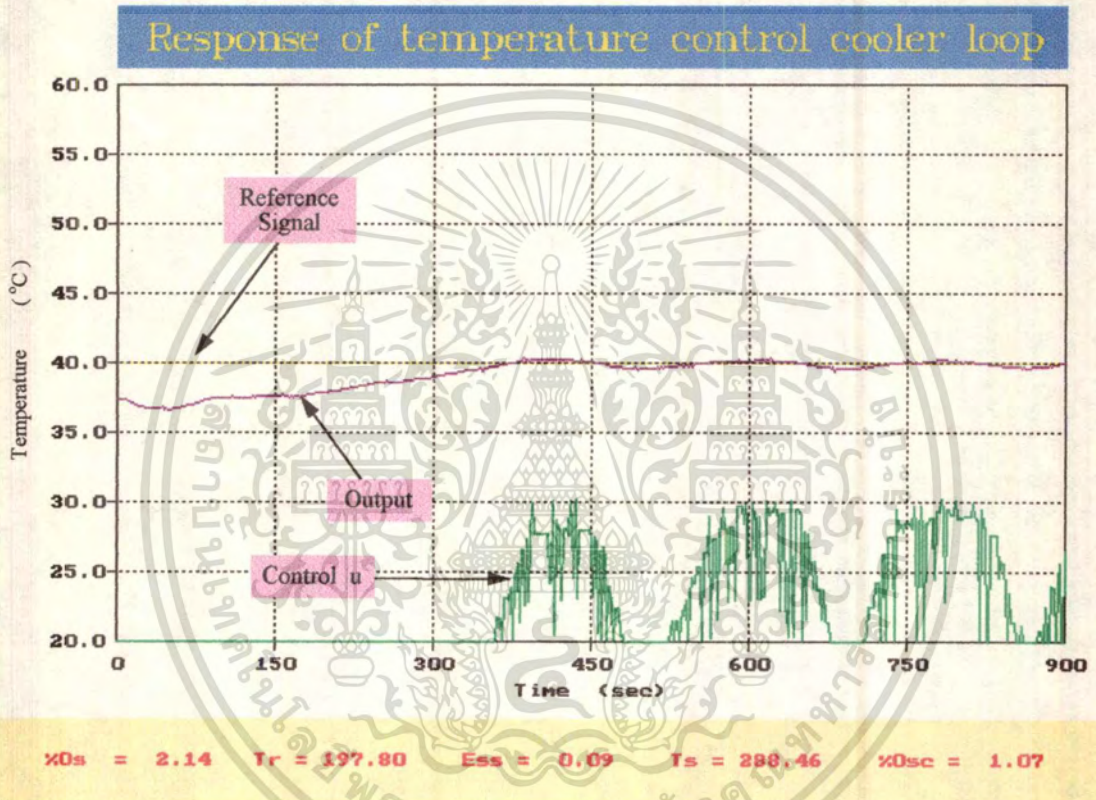
โดยควบคุมการเปิดวาล์วทางเข้าของน้ำที่
เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 10

ภาพที่ 71



แสดงผลตอบสนองของรูปการควบคุมอุณหภูมิของน้ำภายในถังกระบวนการ โดยควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องทำความร้อน (CC) ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 72



แสดงผลตอบสนองของลูปการควบคุมอุณหภูมิของน้ำภายในถังกระบวนการ โดยควบคุมการเปิดวาล์วทางเข้าของน้ำเย็น (CV-1) ด้วยตัวควบคุม SOFLIC เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส

สรุปค่าสมรรถนะของระบบควบคุมกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อน ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12

แสดงค่าสมรรถนะของระบบควบคุมกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อน

System Performance of Level & Temperature Control System						
Control Loop	Control Element	Os (%)	Tr (sec)	Ts (sec)	Ess (%)	Osc (%)
Level	CV-2	2.32	67.58	118.68	-0.34	1.89
Temperature	HEATER	1.83	199.45	285.16	-0.39	3.05
Temperature	CV-1	2.14	197.80	288.46	0.09	1.07

ตารางที่ 12 แสดงว่าสมรรถนะของระบบควบคุมมีโอเวอร์ชูตต่ำ (Os น้อยกว่า 3%) และผลตอบสนองของลูปรการควบคุมอุณหภูมิของน้ำช้ากว่าการควบคุมระดับน้ำ (Tr และ Ts มากกว่า) เมื่อพิจารณาสมรรถนะที่สภาวะคงตัว มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิงเล็กน้อย (Ess น้อยกว่า $\pm 1\%$ และ Osc น้อยกว่า 5%)

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 1 การจำลองระบบควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าตัวควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ กันได้ (ค่าสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงในตารางที่ 7) ดังนี้ ค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมสามารถเข้าสู่ค่าอ้างอิงได้เร็ว ไม่มีโอเวอร์ชูต ไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และไม่มีการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิง (ค่า Os, Ess และ Osc ที่วัดได้ในตารางเกิดจากการจำลองสัญญาณนอยส์) นอกจากนี้ ตัวควบคุมยังสามารถปรับตัว เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการจำลองการรบกวนจากภายนอกได้ (ดังแสดงในภาพที่ 29-31 ที่เวลา $t = 300$ วินาที) โดยค่าเอาต์พุตของระบบจะเข้าสู่ค่าอ้างอิงอย่างรวดเร็ว ไม่เกิดการแกว่งของเอาต์พุต และไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว ตัวควบคุมสามารถเรียนรู้และหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมได้ โดยที่จำนวนครั้งที่ใช้ในการเรียนรู้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกระบวนการ และในการควบคุมกระบวนการอันดับสอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะตีพิมพ์หรือในรูปแบบอื่นใด ห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค่าสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงในตารางที่ 8) พบว่า ผลตอบสนองของระบบควบคุมลู่เข้าช้ากว่า มีโอเวอร์ชูตเล็กน้อย ไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และไม่มีการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิง- และตัวควบคุมสามารถปรับตัว เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการจำลองการรบกวนจากภายนอกได้ (ดังแสดงในภาพที่ 32-35 ที่เวลา $t = 300$ วินาที) แต่ค่าเอาต์พุตของระบบจะลู่เข้าช้ากว่าในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง และมีการแกว่งของเอาต์พุตเล็กน้อย แต่ไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว นอกจากนี้ยังพบว่า ในการเรียนรู้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมกระบวนการอันดับสอง จะใช้จำนวนครั้งในการเรียนรู้มากกว่าการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง

จากการทดลองที่ 2 การควบคุมกระบวนการในเวลาจริง พบว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการควบคุมความดันของอากาศภายในถังกระบวนการ และกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดียวได้ (ค่าสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงในตารางที่ 9 และ 10) โดยที่ค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงได้เร็ว ไม่มีโอเวอร์ชูต ไม่เกิดค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และมีการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิงน้อยมาก นอกจากนี้ ตัวควบคุมยังสามารถปรับตัวเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนจากภายนอก (ดังแสดงในภาพที่ 42, 44, 46 ที่เวลา $t = 400$ วินาที และ ภาพที่ 53, 55, 57 ที่เวลา $t = 250$ และ 400 วินาที) โดยค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงได้เร็ว ไม่มีค่าโอเวอร์ชูต และมีการแกว่งของเอาต์พุตน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมพีซี กับการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID (ดังตารางที่ 9 และ 10) พบว่า การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID ทำให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมมีโอเวอร์ชูตสูงกว่าการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซีมาก แต่จะมีค่าเวลาไรชไทม์น้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะที่สภาวะคงตัว จะเห็นว่าระบบควบคุมพีซีจะเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วกว่า (พิจารณาจากค่าเวลาเซตตลิ่งไทม์) และทั้งระบบควบคุมพีซี และ PID ต่างก็ไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และมีการแกว่งของเอาต์พุตน้อยมาก ในส่วนของผลตอบสนองต่อการรบกวนจากภายนอก ตัวควบคุมทั้งสองต่างก็สามารถลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนจากภายนอกได้ดี โดยที่ผลตอบสนองของระบบควบคุมพีซีจะลู่เข้าเร็วกว่า PID เล็กน้อย (พิจารณาจากกราฟในภาพที่ 41-46 และ ภาพที่ 52-57) นอกจากนี้ ในการทดลองยังพบว่า ตัวควบคุมพีซีสามารถเรียนรู้และหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมได้ด้วยตนเอง โดยใช้จำนวนครั้งในการเรียนรู้ประมาณ 4-5 ครั้ง แต่ในการควบคุมด้วยตัวควบคุม PID ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากวิธีของ Ziegler-Nichols ได้สมรรถนะของระบบควบคุมไม่ดีเท่าที่ควร จึงต้องทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลายครั้ง ในการควบคุมกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีสองถัง ปรากฏว่าผลตอบสนองของระบบไม่ดีเท่ากับกรณีดังเดียว (ค่าสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงในตารางที่ 11) ค่าเอาต์พุตของระบบจะลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงช้า และมีการแกว่งของเอาต์พุต ตัวควบคุมจะสามารถปรับตัวเมื่อมีการรบกวน

เอกลักษณณ์เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภายนอก เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนจากภายนอก (ดังแสดงในภาพที่ 61, 63 และ 65 ที่เวลา $t = 300$ วินาที) ค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมจะลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิง โดยไม่มีโอเวอร์ชูต แต่มีการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิงเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบควบคุมพีซีกับระบบควบคุม PID (ดังตารางที่ 11) พบว่า ในการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID จะทำให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมมีค่าโอเวอร์ชูตสูงกว่า การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซีมาก แต่มีค่าเวลาไรซ์ไทม์น้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะที่สภาวะคงตัว จะเห็นว่าระบบควบคุมพีซีเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่า (พิจารณาจากค่าเวลาเซตตลิ่งไทม์) และทั้งระบบควบคุมพีซี และ PID ต่างก็ไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และมีการแกว่งของเอาต์พุตเล็กน้อย ในส่วนของผลตอบสนองต่อการรบกวนจากภายนอก (พิจารณาจากกราฟในภาพที่ 60-65) ตัวควบคุมทั้งสองต่างก็สามารถลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนจากภายนอกได้ดี โดยที่ผลตอบสนองของระบบควบคุม PID จะลู่เข้าเร็วกว่าระบบควบคุมพีซี แต่จะเกิดโอเวอร์ชูตในขณะที่ระบบควบคุมพีซีไม่เกิด และในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม จากการทดลองพบว่า ถ้าตัวควบคุมพีซีไม่สามารถควบคุมให้ระบบมีสมรรถนะตามที่ต้องการได้ จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการเรียนรู้ จึงต้องใช้จำนวนครั้งในการเรียนรู้มาก และในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ก็พบปัญหาเช่นเดียวกับในการควบคุมกระบวนการควบคุมความดันของอากาศ และกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถึงเดี่ยว

จากการทดลองที่ 3 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมที่สร้างขึ้นในการควบคุมกระบวนการถึงผสมถ่ายเทความร้อน พบว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการได้ (ผลตอบสนองของระบบควบคุม แสดงในภาพที่ 70-72 และค่าสมรรถนะของระบบควบคุม สรุปได้ดังตารางที่ 12) คือ ค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมสามารถลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงได้เร็ว มีโอเวอร์ชูตน้อย ไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และมีการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิงเล็กน้อย ตัวควบคุมสามารถลดผลกระทบจากการเกิดกิริยาระหว่างกันของกระบวนการในแต่ละลูปได้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมพีชซีแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง และสร้างโปรแกรมบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมตัวควบคุมที่นำเสนอมีคุณสมบัติเด่นคือสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยตนเอง โดยเรียนรู้จากผลการควบคุม และสามารถปรับตัวขณะทำการควบคุม เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนจากภายนอก หรือจากสัญญาณนอยส์ นอกจากนี้ ยังได้ทำการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานเป็นตัวควบคุมแบบหลายช่องควบคุม โดยใช้เทคนิคการแบ่งเวลาในการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวควบคุมกระบวนการได้หลายกระบวนการในเวลาเดียวกัน

ในการออกแบบตัวควบคุมนี้ จะแบ่งการทำงานของตัวควบคุมออกเป็น 2 ระดับ คือระดับพื้นฐานและระดับการปรับแต่งพารามิเตอร์ การออกแบบโครงสร้างระดับพื้นฐานได้ใช้หลักการของตัวควบคุมแบบ hybrid-nested มาแก้ปัญหาเรื่องการแกว่งของเอาต์พุตรอบสัญญาณอ้างอิง โดยแบ่งระดับการควบคุมออกเป็นระดับหยาบและระดับละเอียด การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุม ได้เลือกโครงสร้างของตัวควบคุมพีชซีแบบ PD เพื่อใช้ควบคุมระดับหยาบ และได้เลือกโครงสร้างของตัวควบคุมพีชซีแบบ PD ต่อขนานกับตัวควบคุมแบบ P ที่มีค่าเกนเท่ากับส่วนกลับของค่าเกนที่สภาวะคงตัวของกระบวนการสำหรับควบคุมระดับละเอียด เพื่อทำการแก้ไขค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวของระบบ และการออกแบบโครงสร้างระดับการปรับแต่งพารามิเตอร์จะแบ่งออกเป็น 2 หน่วย คือหน่วยปรับแต่งกฎการควบคุมโดยใช้สมรรถนะระยะสั้นของระบบ และหน่วยปรับแต่งค่าเกนของตัวควบคุมโดยใช้สมรรถนะระยะยาวของระบบ

จากการทดลอง ซึ่งทำการจำลองระบบควบคุมทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าตัวควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งและอันดับสองที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ กันได้ ระบบควบคุมมีความคงทนต่อสัญญาณนอยส์และการรบกวนจากภายนอก และตัวควบคุมสามารถเรียนรู้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยจำนวนครั้งที่ใช้เรียนรู้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแต่ละกระบวนการ และเมื่อทำการทดลองโดยใช้ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นทำการควบคุมกระบวนการในเวลาจริง พบว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการควบคุมความดันของอากาศภายในถังกระบวนการ และกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ กรณีดังกล่าวได้ดี และสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้จำนวนครั้งในการเรียนรู้ประมาณการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-5 ครั้ง นอกจากนี้ ยังสามารถปรับตัวเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนจากภายนอกได้ และเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมพีซีกับระบบควบคุม PID พบว่า ผลตอบสนองที่สภาวะทรานเซียนท์ของระบบควบคุม PID มีโอเวอร์ชูตสูงกว่าระบบควบคุมพีซีมาก แต่มีค่าเวลาไรส์ไทม์น้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะที่สภาวะคงตัว ระบบควบคุมพีซีจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่า โดยที่ทั้งระบบควบคุมพีซี และ PID ต่างก็ไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และมีการแกว่งของเอาต์พุตน้อยมาก ในส่วนผลตอบสนองต่อการรบกวนจากภายนอก ผลตอบสนองของระบบควบคุมพีซีจะลู่เข้าเร็วกว่า PID เล็กน้อย และในการควบคุมกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีสองถัง พบว่า สมรรถนะของระบบควบคุมไม่ดีเท่ากับกรณีเดี่ยวคือใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนาน และมีการแกว่งของเอาต์พุตเมื่อมีการรบกวนจากภายนอก และจะต้องใช้จำนวนครั้งในการเรียนรู้มากกว่า เนื่องจากเกิดการผิดพลาดในการเรียนรู้ และเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมพีซีกับระบบควบคุม PID พบว่า ผลตอบสนองที่สภาวะทรานเซียนท์ของระบบควบคุม PID มีโอเวอร์ชูตสูงกว่าระบบควบคุมพีซีมาก แต่จะมีค่าเวลาไรส์ไทม์น้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะที่สภาวะคงตัว ระบบควบคุมพีซีจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่า และเมื่อมีการรบกวนจากภายนอก ระบบควบคุม PID จะลู่เข้าเร็วกว่า แต่จะมีโอเวอร์ชูต นอกจากนี้ ข้อดีของตัวควบคุมพีซี คือสามารถเรียนรู้ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมด้วยตนเอง ในขณะที่การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ต้องใช้วิธีการทดลองผิดลองถูกโดยใช้ประสบการณ์ และในการประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมที่สร้างขึ้นในการควบคุมกระบวนการถึงผลมถ้ายเหตุความรื้อน พบว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการได้ดี และสามารถลดผลกระทบจากการเกิดกิริยาระหว่างกันของกระบวนการในแต่ละลูปได้

ปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้ จะอยู่ในส่วนของโครงสร้างในการปรับแต่งค่าเกนของตัวควบคุม เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ ออกแบบตัวควบคุมให้ปรับแต่งค่าเกนของตัวควบคุม โดยใช้สมรรถนะระยะยาวของระบบ ซึ่งจะถูกวัดค่าได้ก็ต่อเมื่อสิ้นสุดการควบคุมแต่ละครั้ง ดังนั้น การปรับแต่งค่าเกนของตัวควบคุมจึงไม่สามารถทำได้ในขณะที่ทำการควบคุม ซึ่งจะทำให้สมรรถนะของระบบควบคุมไม่ดีในการควบคุมครั้งแรกๆ จึงต้องทำการทดลองหลายๆ ครั้ง เพื่อให้ตัวควบคุมได้เรียนรู้และหาค่าเกนที่เหมาะสม จำนวนครั้งในการเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าเกนที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแต่ละกระบวนการ และจากการทดลองพบว่า การเรียนรู้ของตัวควบคุม บางครั้ง จะเกิดการผิดพลาด เนื่องจากตัวควบคุมไม่สามารถควบคุมกระบวนการให้ได้สมรรถนะของระบบตามที่ต้องการ มีผลทำให้สมรรถนะของระบบควบคุมด้อยกว่าในการควบคุมครั้งก่อน แต่เมื่อทำการควบคุมต่อไป พบว่าตัวควบคุมจะพยายามปรับตัวเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอีกครั้ง ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ โดยกำหนดสมรรถนะของระบบควบคุมที่ต้องการให้อยู่ในขอบเขตความสามารถของระบบควบคุมที่จะทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง คือการพัฒนาโครงสร้างระดับการสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ ให้สามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ทุกตัวของตัวควบคุมในขณะที่ทำการควบคุม ในการเลือกค่าสมรรถนะของระบบเพื่อใช้เป็นค่าดัชนีที่ใช้ในการปรับแต่ง ควรใช้ค่าสมรรถนะระยะสั้นที่สามารถวัดได้ในทุกคาบเวลาของการสุ่มสัญญาณ แนวทางการพัฒนา คือการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวของตัวควบคุมที่ต้องการปรับแต่งกับค่าสมรรถนะของระบบควบคุมที่จะใช้เป็นค่าดัชนีในการปรับแต่ง วิธีการที่น่าสนใจ คือหลักการของตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับตัวทางอ้อม (indirect adaptive fuzzy controller) ซึ่งตัวควบคุมนี้จะเรียนรู้และสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์แบบฟัซซี (fuzzy model) ของกระบวนการ เพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุตและเอาต์พุตของกระบวนการ แล้วจึงใช้ค่าโมเดลทางคณิตศาสตร์แบบฟัซซีนี้เป็นค่าดัชนีที่ใช้ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม การทำงานของตัวควบคุมนี้ จะเรียนรู้และปรับแต่งโมเดลของกระบวนการ และค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในทุกคาบเวลาของการสุ่มสัญญาณ ตลอดเวลาที่ทำการควบคุม ทำให้ตัวควบคุมสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ได้ โดยไม่ต้องรอให้สิ้นสุดการควบคุมแต่ละครั้ง นอกจากนี้ คุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับตัวทางอ้อม คือสามารถใช้หลักการควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า (predictive control) เพื่อทำการควบคุมกระบวนการที่มีเวลาไร้ผลตอบสนองมากได้

บรรณานุกรม

- [1] L.A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information & Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [2] L.A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes," *IEEE Trans. Syst., Man & Ccbem.*, vol. SMC-3, pp. 28-44, 1973.
- [3] E.H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," *Proc. IEEE*, vol. 121, No12, pp. 1585-1588, 1974.
- [4] P.J. King and E.H.Mamdani, "The application of fuzzy control systems to industrial processes," *Automatica*, vol. 13, pp. 235-242, 1977.
- [5] E.H. Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 26, pp. 1182-1191, 1977.
- [6] ธิดาพร พิทักษ์พรพันธุ์, จงกล งามวิวิทย์, เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์ และ สมพร ชาญประจักษ์วัณิช, "ผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมแบบฟัซซี่" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่16 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน้า 566-570 พ.ศ. 2536
- [7] ธิดาพร พิทักษ์พรพันธุ์, จงกล งามวิวิทย์, Noriyuki Komine และ Michihiko Iida, "ตัวควบคุมฟัซซี่แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง" วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 หน้า 42-48 เดือนมิถุนายน 2538
- [8] Y.F. Li and C.C. Lau, "Development of fuzzy algorithms for servo systems," *IEEE Control Systems Mag.*, pp. 65-71, 1989.
- [9] D.P. Kwok, D. Tam, C.K. Li, and P. Wang, "Linguistic PID controllers," *Proc. 11th IFAC World Congress, Tallin, USSR*, pp. 192-197, 1990.
- [10] D.P. Kwok, D. Tam and C.K. Li, "Analysis and design of fuzzy PID control systems," *Proc. IEE 'Control 91' conference, Heriot Watt Univ., Edinberg*, 1991.
- [11] C.J. Harris, C.G.Moore, and M. Brown, "Intelligent Control : Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets," *World Scientific Series in Robotics and Automated Systems*, vol. 6, pp. 1-253, 1993.
- [12] H.J. Zimmermann, "Fuzzy set theory and its applications," *Kluwer Academic Publishers*, 1991.
- [13] Jun Yan, Michael Ryan, and James Power, "Using fuzzy logic : Towards intelligent systems," *Prentice Hall*, 1994.

- [14] S.G. Tzafestas and A.N. Venetsanopoulos, "Fuzzy reasoning in information, decision and control systems," Kluwer Academic Publishers, pp. 165-197, 1994.
- [15] Witold Pedrycz, "Fuzzy Control and Fuzzy Systems," Research Studies Press Ltd., John Wiley&Sons Inc., 1989.
- [16] Katsuhiko Okata, "Modern Control Engineering : second edition," Prentice-Hall International, Inc., 1990
- [17] Li-Xin Wang, "Adaptive Fuzzy Systems and Control : Design and Stability Analysis," Prentice-Hall International, Inc., 1994.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

**ตัวอย่างการคำนวณค่าสัญญาณควบคุม
และการปรับแต่งกฎการควบคุม
ในแต่ละคาบเวลาของการสุ่มสัญญาณ
ของตัวควบคุมที่นำเสนอ**

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณค่าสัญญาณควบคุม
และการปรับแต่งกฎการควบคุม
ในแต่ละคาบเวลาของการสุ่มสัญญาณของตัวควบคุมที่นำเสนอ

การคำนวณค่าสัญญาณควบคุมและการปรับแต่งกฎการควบคุมของตัวควบคุมพีชชีที่นำเสนอ จะกระทำในทุกคาบเวลาของการสุ่มสัญญาณ โดยขั้นตอนในการคำนวณสามารถแสดงด้วยตัวอย่างของการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการดังต่อไปนี้

กำหนดคุณสมบัติของ Level Transmitter (LT) ที่ใช้ในการทดลองดังนี้

- ค่าอินพุตสูงสุดของ LT เท่ากับ 80 เซนติเมตรน้ำ ซึ่งจะให้เอาต์พุตเป็นกระแสไฟฟ้า 20 mA
- ค่าอินพุตต่ำสุดของ LT เท่ากับ 0 เซนติเมตรน้ำ ซึ่งจะให้เอาต์พุตเป็นกระแสไฟฟ้า 4 mA

เมื่อแปลงสัญญาณเอาต์พุตของ LT เป็นศักดาไฟฟ้า โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม จะได้ว่า ค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 5 โวลต์ และ ค่าศักดาไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 1 โวลต์

ในการรับค่าสัญญาณป้อนกลับจะใช้การ์ด PCL-812 ทำหน้าที่เป็น A/D ขนาด 12 บิต โดยที่การทำงานของวงจร A/D ภายในการ์ด PCL-812 มีคุณสมบัติดังนี้

- ค่าอินพุตสูงสุดของ A/D เท่ากับ 5 โวลต์ ซึ่งจะให้เอาต์พุตเป็นค่าดิจิทัลเท่ากับ 4095
- ค่าอินพุตต่ำสุดของ A/D เท่ากับ -5 โวลต์ ซึ่งจะให้เอาต์พุตเป็นค่าดิจิทัลเท่ากับ 0

ดังนั้น เมื่อป้อนศักดาไฟฟ้าที่ได้จากเอาต์พุตของ LT เป็นอินพุตให้กับการ์ด PCL-812 จะได้ว่า ค่าอินพุตสูงสุดของตัวควบคุมเท่ากับ 4095 และ ค่าอินพุตต่ำสุดของตัวควบคุมเท่ากับ 2457

การส่งค่าสัญญาณควบคุมเพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย จะใช้การ์ด PCL-726 ทำหน้าที่เป็น D/A ขนาด 12 บิต โดยที่การทำงานของวงจร D/A ภายในการ์ด PCL-726 มีคุณสมบัติดังนี้

- ค่าอินพุตสูงสุดของ D/A เป็นค่าดิจิทัลเท่ากับ 4095 ซึ่งให้เอาต์พุตเป็นกระแสไฟฟ้า 20 mA
- ค่าอินพุตต่ำสุดของ D/A เป็นค่าดิจิทัลเท่ากับ 0 ซึ่งให้เอาต์พุตเป็นกระแสไฟฟ้า 4 mA

1. แปลงค่าสัญญาณอ้างอิงเป็นค่าดิจิทัล ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

สมมติให้ ค่าสัญญาณอ้างอิงของระดับน้ำที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 40 เซนติเมตร

$$\text{จะได้ว่า } REF = \left\{ \left[\frac{(40-0)}{(80-0)} \right] \times (4095-2457) \right\} + 2457 = 3276$$

โดยที่ REF คือ ค่าดิจิทัลของสัญญาณอ้างอิง

2. คำนวณหาค่าตัวแปรอินพุต e ของตัวควบคุม จากผลต่างของค่าสัญญาณอ้างอิงกับค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมซึ่งเป็นสัญญาณป้อนกลับจาก Transmitter โดยใช้สมการที่ (3.1) ดังต่อไปนี้

$$e(nT) = REF - y(nT)$$

โดยที่ $e(nT)$ คือ ค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา nT

$y(nT)$ คือ ค่าสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตของ A/D ที่เวลา nT

สมมติให้ ค่าสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตของ A/D ที่เวลา nT เท่ากับ 2468

$$\text{จะได้ว่า } e(nT) = 3276 - 2468 = 808$$

3. คำนวณหาค่าตัวแปรอินพุต Δe ของตัวควบคุม ได้จากผลต่างของค่าผิดพลาดที่เวลาปัจจุบันกับค่าผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณในครั้งก่อนหน้า โดยใช้สมการที่ (3.2) ดังต่อไปนี้

$$\Delta e(nT) = e(nT) - e(nT-T)$$

โดยที่ $\Delta e(nT)$ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา nT

$e(nT-T)$ คือ ค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา $nT-T$

สมมติให้ ค่าผิดพลาดของระบบซึ่งคำนวณได้จากข้อ 2 ที่เวลา $nT-T$ เท่ากับ 819

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ 808 - 819 ก็จะเป็นค่า -111 เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปรียบเทียบค่าผิดพลาดของระบบควบคุมกับค่าขอบเขตในควบคุมระดับเอียง เพื่อเลือกระดับการควบคุม

กำหนดให้ ค่าขอบเขตในการควบคุมระดับเอียงเท่ากับ 10% ของค่าสัญญาณอ้างอิง ทำการแปลงเป็นค่าดิจิทัลได้ดังนี้

$$\text{BOUND} = \pm \left\{ \left[\frac{((0.1 \times 40) - 0)}{(80 - 0)} \right] \times (4095 - 2457) \right\} = \pm 82$$

โดยที่ BOUND คือ ค่าดิจิทัลของขอบเขตในการควบคุมระดับเอียง

เนื่องจาก ค่าของ $e(nT)$ ไม่อยู่ภายในขอบเขตของ BOUND
ดังนั้น จึงใช้ตัวควบคุมระดับหยาบ

5. ทำการนอมอลไลซ์ ตัวแปรอินพุต e และ Δe โดยใช้สมการที่ (3.3) ดังต่อไปนี้

$$e_{\text{norm}}(nT) = \frac{808}{1638} = 0.493$$

$$\Delta e_{\text{norm}}(nT) = \frac{-11}{1638} = -0.0067$$

6. นำค่าที่ได้จากการนอมอลไลซ์มาคูณกับค่าเกนแล้วทำการควอนไทซ์ให้เป็นจำนวนเต็มในช่วง ± 300 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สมมติให้ ค่าเกนของตัวแปร e ที่ใช้ในการควบคุมระดับหยาบเท่ากับ 10
ค่าเกนของตัวแปร Δe ที่ใช้ในการควบคุมระดับหยาบเท่ากับ 10

จะได้ว่า $e_{\text{quan}}(nT) = 10 \times 0.493 \times 300 = 1479$

$e_{\text{quan}}(nT) > 300$ ดังนั้น $e_{\text{quan}}(nT) = 300$

และ $\Delta e_{\text{quan}}(nT) = 10 \times (-0.0067) \times 300 = -20$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำค่า $e_{\text{quan}}(nT)$ และ $\Delta e_{\text{quan}}(nT)$ ที่คำนวณได้ มาทำการฟัซซีฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีซิงเกิลตัน ได้ดังนี้

$$S(E) = \{ 300 \} \quad , \quad \mu_E(e) = \begin{cases} 1 & ; e = 300 \\ 0 & ; e \neq 300 \end{cases}$$

$$S(\Delta E) = \{ -20 \} \quad , \quad \mu_{\Delta E}(\Delta e) = \begin{cases} 1 & ; \Delta e = -20 \\ 0 & ; \Delta e \neq -20 \end{cases}$$

โดยที่ E คือ ฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต e
 ΔE คือ ฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต Δe
 $S(E)$ คือ ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต E
 $S(\Delta E)$ คือ ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต ΔE
 $\mu_E(e)$ คือ ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร e ในฟัซซีเซต E
 $\mu_{\Delta E}(\Delta e)$ คือ ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร Δe ในฟัซซีเซต ΔE

8. ทำการอินเฟอเรนซ์ค่าฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต E และ ΔE เพื่อหาค่าฟัซซีเซตของตัวแปรเอาต์พุต U โดยใช้วิธี CRI ของ Zadeh ดังแสดงในภาพที่ 73

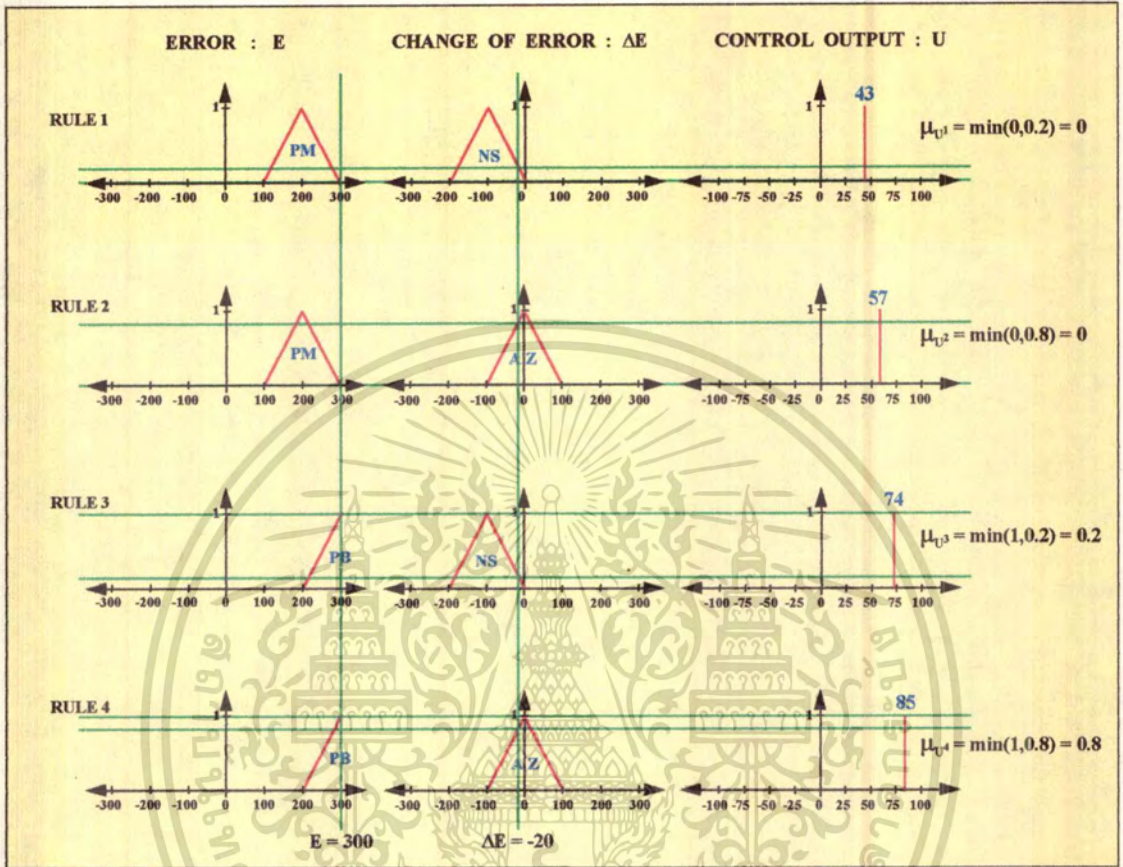
สมมติให้ ฐานกฎการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซีที่ใช้ในการควบคุมระดับหยاب ที่เวลา nT แสดงได้ด้วยตารางที่ 13

ตารางที่ 13

แสดงตัวอย่างฐานกฎการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซีที่ใช้ในการควบคุมระดับหยاب ที่เวลา nT

$\Delta E \backslash E$	NB	NM	NS	AZ	PS	PM	PB
NB	-100	-100	-75	-36	-5	20	37
NM	-100	-86	-43	-21	11	36	42
NS	-75	-52	-31	-15	22	42	58
AZ	-30	-11	-5	5	35	60	87
PS	-15	2	15	38	71	78	100
PM	5	20	43	57	86	95	100
PB	20	36	74	85	92	100	100

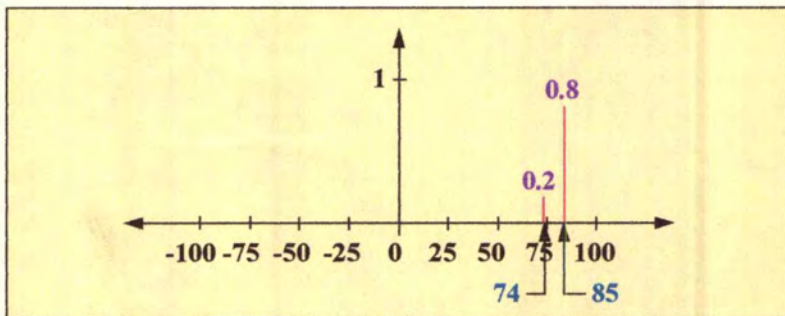
ภาพที่ 73



แสดงการอินเฟอเรนซ์ตัวแปรอินพุต E และ ΔE ซึ่งเป็นฟัซซีซิงเกิลตัน โดยใช้ฐานกฎการควบคุมในตารางที่ 13

จะได้ว่า ฟัซซีเซตของตัวแปรเอาต์พุต U สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 74

ภาพที่ 74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีที่ใช้เฉพาะที่ออกหรือตีพิมพ์เท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงฟัซซีเซตของตัวแปรเอาต์พุต U
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทำการตีพีชซีพีเคชันค่าพีชซีเซตของตัวแปรเอาต์พุต U ในภาพที่ 74 โดยใช้วิธี FM ดังสมการที่ (2.83) ได้ดังนี้

$$u = \frac{(43 \times 0) + (57 \times 0) + (74 \times 0.2) + (85 \times 0.8)}{0 + 0 + 0.2 + 0.8} = 82.8$$

10. ทำการดีนอมอลไลซ์ค่าตัวแปรเอาต์พุต u ให้เป็นค่าดิจิทัลในช่วง 0-4095 โดยใช้สมการที่ (3.4) ได้ดังต่อไปนี้

$$u_{\text{denorm}} = \frac{82.8 \times 4095}{100} = 3391$$

โดยที่ u_{denorm} คือ ค่าดีนอมอลไลซ์ของตัวแปรเอาต์พุต u

11. ส่งค่าตัวแปรเอาต์พุต u_{denorm} ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 10 เป็นสัญญาณอินพุตให้กับ D/A เพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าสำหรับควบคุมวาล์วควบคุม CV

12. คำนวณค่าสมรรถนะระยะสั้นของระบบควบคุม โดยใช้สมการที่ (3.17)

$$\text{จะได้ว่า } \text{SPM}(nT) = \frac{(10 \times 808) + (10 \times (-11))}{1638} = 4.87 \approx 5$$

13. ทำการปรับแต่งฐานกฎการควบคุม โดยใช้สมการที่ (3.18) ดังต่อไปนี้

$$R((n+1)T) = \{ R(nT) \cap (-R'(nT-mT)) \} \cup R''(nT-mT)$$

โดยที่ nT คือ เวลาที่สถานะปัจจุบัน

mT คือ เวลาในการชดเชยช่วงเวลาไร้ผลตอบสนองของกระบวนการ

$R((n+1)T)$ คือ กฎที่ทำการปรับแต่งแล้ว

$R'(nT-mT)$ คือ กฎที่ใช้ในการควบคุมที่เวลา $nT - mT$

$R''(nT-mT)$ คือ กฎที่ได้จากการปรับปรุงส่วนผลของ $R'(nT-mT)$

- กำหนดให้ ค่าเวลาในการชดเชยช่วงเวลาที่ไผลตอบสนองของกระบวนการ $nT = T$
 สมมติให้ ค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา $nT-T$ เท่ากับ 819
 และ ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา $nT-T$ เท่ากับ -13

จะได้ว่า ค่าฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต E และ ΔE ที่เวลา $nT-T$ ซึ่งคำนวณได้จากวิธีการ
 ในข้อ 5-7 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$S(E) = \{ 300 \}, \quad \mu_E(e) = \begin{cases} 1 & ; e = 300 \\ 0 & ; e \neq 300 \end{cases}$$

$$S(\Delta E) = \{ -24 \}, \quad \mu_{\Delta E}(\Delta e) = \begin{cases} 1 & ; \Delta e = -24 \\ 0 & ; \Delta e \neq -24 \end{cases}$$

ดังนั้นกฎการควบคุมและค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตที่อยู่ในส่วนผล
 ของแต่ละกฎที่ถูกใช้ในการควบคุมที่เวลา $nT-T$ สามารถแสดงดังนี้

$$\text{RULE 1 : IF (E is PM) AND (} \Delta E \text{ is NS) THEN U is 43}$$

$$\mu_{U^1} = \min(0, 0.24) = 0$$

$$\text{RULE 2 : IF (E is PM) AND (} \Delta E \text{ is AZ) THEN U is 57}$$

$$\mu_{U^2} = \min(0, 0.76) = 0$$

$$\text{RULE 3 : IF (E is PB) AND (} \Delta E \text{ is NS) THEN U is 74}$$

$$\mu_{U^3} = \min(1, 0.24) = 0.24$$

$$\text{RULE 4 : IF (E is PB) AND (} \Delta E \text{ is AZ) THEN U is 85}$$

$$\mu_{U^4} = \min(1, 0.76) = 0.76$$

14. ทำการปรับแต่งส่วนผลของกฎการควบคุมที่ใช้ที่เวลา $nT-T$ โดยใช้สมการที่ (3.20)
 และสมการที่ (3.21) ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{RULE 1 : IF (E is PM) AND (} \Delta E \text{ is NS)}$$

$$\text{THEN } NU \text{ is (} 43 + (5 \times 0) \text{) } = 43$$

$$\text{RULE 2 : IF (E is PM) AND (} \Delta E \text{ is AZ)}$$

เอกสสารนี้เป็นเอกสสารที่สงวนไว้ THEN NU is ($57 + (5 \times 0)$) = 57 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RULE 3 : IF (E is PB) AND (ΔE is NS)
 THEN U is ($74 + (5 \times 0.24)$) = 75

RULE 4 : IF (E is PB) AND (ΔE is AZ)
 THEN U is ($85 + (5 \times 0.76)$) = 89
 $\mu_U = \min(1, 0.24) = 0.76$

ดังนั้น จะได้ฐานกฎการควบคุมที่ได้จากการปรับแต่งกฎการควบคุมที่เวลา nT ดังแสดง
 ในตารางที่ 14

ตารางที่ 14

แสดงตัวอย่างฐานกฎการควบคุมของตัวควบคุมพีซีซีที่ได้จาก
 การปรับแต่งกฎการควบคุมระดับหยาบ ที่เวลา nT

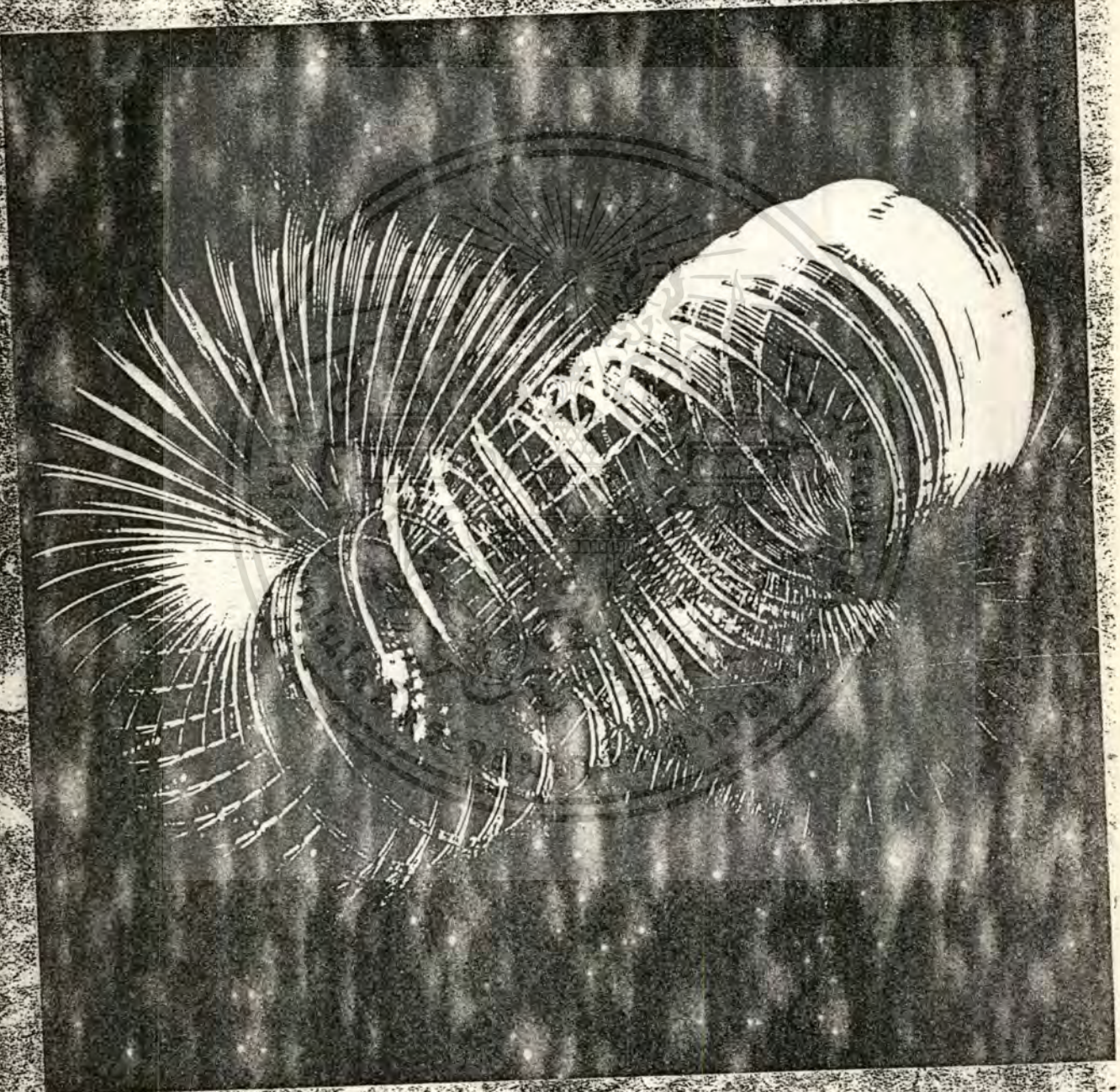
ΔE \ E	NB	NM	NS	AZ	PS	PM	PB
NB	-100	-100	-75	-36	-5	20	37
NM	-100	-86	-43	-21	11	36	42
NS	-75	-52	-31	-15	22	42	58
AZ	-30	-11	-5	5	35	60	87
PS	-15	2	15	38	71	78	100
PM	5	20	43	57	86	95	100
PB	20	36	75	89	92	100	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการ
ทางวิศวกรรมไฟฟ้า
ครั้งที่ 16



ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
25-26 พฤศจิกายน 2536

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16

The 16th Conference of Electrical Engineering



ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16

The 16th Conference of Electrical Engineering



ผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมแบบฟัซซี่

The Influence of Changing Membership Function of The Fuzzy Controller

จิตพร ทิทัศน์พันธ์ * สมพร ราชประจักษ์ฉวี ** เสกสรร เกียรติสุโขทัย ** ศศ.ดร.จงกล งามวิทย์ ***

บทคัดย่อ - บทความนี้ นำเสนอแนวทางในการหาฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ (Fuzzy Controller) โดยการปรับความกว้างฐานของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function) ของฟัซซี่เซตที่เป็นรูปสามเหลี่ยม (Trapezoidal Shapes) ในบทความนี้จะเป็นการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่เพื่อทำการควบคุมระบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยลูกบอลกลิ้งอยู่บนไม้คานและควบคุมให้ลูกบอลหยุดนิ่งอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของไม้คาน ในการทดลองได้ใช้สมการการทำงานของระบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงผลการควบคุมด้วยรูปภาพกราฟิกซึ่งแสดงการเคลื่อนที่ของลูกบอลบนไม้คาน และกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งลูกบอลกับเวลา จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า

- ในกรณีที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีฐานกว้างน้อย อัตราแห่งลูกบอลออกจากจุดกึ่งกลางมาก ลูกบอลจะใช้เวลาในการเข้าสู่จุดกึ่งกลางน้อยที่สุด แต่อัตราของลูกบอลที่จุดกึ่งกลาง ระบบจะใช้เวลาในการเข้าสู่ภาวะสมดุลนานและมีค่าผิดพลาดมาก และมีโอเวอร์ชูต (Overshoot) มากกว่ากรณีอื่น ๆ
- ในกรณีที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีฐานกว้างปานกลาง อัตราแห่งลูกบอลออกจากจุดกึ่งกลางมาก ลูกบอลจะใช้เวลาในการเข้าสู่จุดกึ่งกลางมากกว่าในกรณีที่ฐานกว้างน้อย แต่อัตราของลูกบอลที่จุดกึ่งกลาง ระบบจะใช้เวลาในการเข้าสู่ภาวะสมดุล รวมทั้งมีค่าผิดพลาด และมีโอเวอร์ชูตน้อยกว่ากรณีอื่น ๆ
- ในกรณีที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีฐานกว้างมาก ระบบจะใช้เวลาในการเข้าสู่ภาวะสมดุลนาน และมีค่าผิดพลาดมากที่สุด และมีโอเวอร์ชูตน้อยและผลการควบคุมที่เรียบที่สุด

Abstract - This paper investigates how to define the most proper membership function of the fuzzy set for a fuzzy controller by adjusting the based-width of the trapezoidal shapes . The paper proposes a fuzzy controller for controlling the stop- position of the ball at the middle of the bar. The system is simulated by the graphic animation displaying the movement of the ball along the bar and by the response curves indicating the position of the ball with respect to time. The simulated results are

- In the case of the based-width is small, if the ball is far from the middle of the bar , the settling time is the smallest among the three cases. But if the ball is near the middle, the settling time is larger than the second case while the overshoot and error are larger than the others.
- In the case of the based-width is medium, if the ball is far from the middle of the bar, the settling time is a little larger than the first case. But if the ball is near the middle, the settling time,error and overshoot are the smallest among the three cases.
- In the case of the based-width is large, the settling time and error are more than the other cases , but the overshoot is smaller and the curve is smoother.

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการควบคุมแบบฟัซซี่กำลังเป็นที่สนใจอย่างกว้างขวางทั้งในวงการศึกษาและอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากข้อได้เปรียบหลายประการในการใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่คือ

1. สามารถออกแบบตัวควบคุมได้โดยไม่ต้องรู้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบ

* นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ** นักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2532-2536 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ***อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่จะทำการควบคุม

2. เหมาะสำหรับระบบที่มีตัวแปรที่คลุมเครือ ไม่สามารถหาค่าที่แน่นอน ซึ่งความคลุมเครือนี้จะถูกแทนด้วยค่าที่ริความเป็นสมาชิกในนิยามฟัซซี่

3. เหมาะสำหรับระบบที่มีหลายอินพุตหรือเอาต์พุต เนื่องจากฟัซซี่จะช่วยลดความยุ่งยากของสมการทางคณิตศาสตร์ โดยแทนด้วยกฎในรูปแบบ IF-THEN_ ซึ่งเป็นรูปแบบที่เข้าใจง่าย

ในการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่มีข้อจำกัดหลายอย่าง ซึ่งอยู่ในระหว่างการพัฒนาและวิจัย เช่น เสนอวิธีการของระบบที่ทำการออกแบบ แนวทางการตั้งกฎแนวทางการกำหนดนิยามและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต

บทความนี้เป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่ในเรื่องการหาฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่เหมาะสม โดยการจำลองระบบเพื่อทำการควบคุมลูกบอลให้หยุดนิ่งที่จุดกึ่งกลาง ไม้คาน

2. หลักการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่

การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่ (1) ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดนิยามของอินพุตและเอาต์พุตในรูปฟัซซี่เซต ซึ่งจะถูกนิยามโดยฟังก์ชันการเป็นสมาชิกในระบบที่ทำการควบคุมเอาต์พุตให้มีค่าตามฟังก์ชันการอินพุตจะอยู่ในรูปแบบของ Error (Ei) และ Change of error (DEi) เอาต์พุตจะอยู่ในรูปสัญญาณที่จะนำไปใช้ในการควบคุม Control output (Ui) การนิยามฟัซซี่เซตมักนิยามให้อยู่ในรูปแบบ

- LN : Large Negative
- SN : Small Negative
- ZE : Zero Equal
- SP : Small Positive
- NP : Large Positive

ซึ่งอาจจะมีจำนวนมากหรือน้อยกว่านี้ได้ ขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการควบคุมที่ต้องการ

2. แทนความรู้และประสบการณ์ในการควบคุม ด้วยกฎในรูปความสัมพันธ์แบบฟัซซี่ (Fuzzy Relation)

$$R_1 : \text{if } (E_1 \text{ and } DE_1) \text{ then } U_1$$

$$R_2 : \text{if } (E_2 \text{ and } DE_2) \text{ then } U_2$$

$$\vdots$$

$$R_N : \text{if } (E_N \text{ and } DE_N) \text{ then } U_N$$

สามารถเขียนในรูปรวมได้ดังนี้

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_N = \bigcup_{i=1}^N (E_i \times DE_i \times U_i)$$

จะได้ว่า

$$R(e_1, de_1, u_1) = \max_{1 \leq i \leq N} [E_i(e_1) \wedge DE_i(de_1) \wedge U_i(u_1)]$$

3. หาค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Control output โดยใช้ Compositional rule of Inference

$$U(u_2) = \bigvee [B(e_1) \wedge DE(e_1) \wedge R(e_1, de_1, u_1)] ; e \in E, de \in DE$$

4. ทำการ Defuzzification เพื่อหาค่า Control output ที่แท้จริง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ในที่นี้ขอกล่าวอย่างไว้ 2 วิธีดังนี้

- 4.1 Max-procedure เลือกค่า Control output ที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุด เขียนในรูปสมการดังนี้

$$U(u_0) = \max U(u)$$

ถ้ามีค่า Control output ที่มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงที่สุดหลายค่า อาจเลือกค่าใดก็ได้หรือจะทำการเฉลี่ยค่าดังกล่าว

$$z_0 = \frac{\int_{-1}^1 z_1/r}{\int_{-1}^1 1/r}; z_1 \text{ คือค่าแทนที่มีค่าฟังก์ชันการนับสมาชิกสูงสุด}$$

4.2 Centre of gravity procedure หากค่า Control output จากจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วงตั้งสมการ

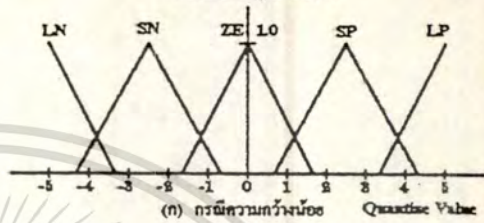
$$z_0 = \frac{\int z U(z) dz}{\int U(z) dz}$$

5. ทำการคอนโวลิวชันทุกเป็นช่วง ๆ แล้วทำการคำนวณหา Control output ที่อินพุตแต่ละค่า นำไปเก็บไว้ในรูปตาราง เพื่อที่ไว้ในกระบวนการควบคุมจริงเราจะไว้วิธีเปิดตารางนำค่า Control output ไปใช้ได้เลยไม่ต้องวนวนในการคำนวณ

(ก) กรณีความกว้างมาก

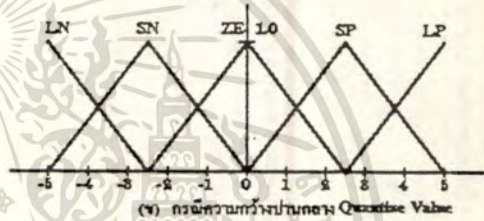
	Quantize_Value_of_Error										
Fuzzy_Set	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
LN	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SN	0.5	0.7	0.9	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
ZE	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0
SP	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9	0.7	0.5
LP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
UV	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Membership Function



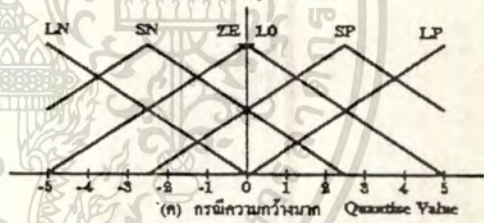
(ก) กรณีความกว้างน้อย

Membership Function



(ข) กรณีความกว้างปานกลาง

Membership Function



(ค) กรณีความกว้างมาก

3. การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีในระบบจำลองการควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกบอลที่อยู่นิ่ง

3.1 ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบจำลองและตัวควบคุมแบบฟัซซี [3]

1. ลานยาว 50 ซม. ที่จุดกึ่งกลางมีการขจัดเป็นศูนย์ วัดไปด้านซ้าย การขจัดเป็นลบ ด้านขวาการขจัดเป็นบวก
2. การเคลื่อนที่ของลูกบอลไปทางซ้ายมีความเร็วเป็นลบ ไปทางขวามีความเร็วเป็นบวก
3. ผิวสัมผัสระหว่างลานกับลูกบอลมีความเสียดสูงมากจนไม่มีการไถล การเคลื่อนที่เกิดจากการถ่วงเท่านั้น
4. Control output จะเป็นการบอกมุมในการถองของปาลองทางด้านขวา ถองเป็นบวก ถองเป็นลบ
5. ตัวควบคุมจะนำค่าการขจัด (Error) และความเร็วของลูกบอล (Change of Error) เป็นอินพุตในการประมวลผลเพื่อหาค่ามุมที่จะถองลาน (Control output)
6. การควบคุมจะทำการดุ่มค่าอินพุต ทุก ๆ ช่วงเวลา และทำการควบคุมจนกว่าจะทำการดุ่มค่าครั้งต่อไป
7. ลานไม่สามารถออกคนมุมที่คือการได้ ทันทีที่บี Control output แต่จะค่อย ๆ ออกมาจน -15 ถึง 15 องศา ก่อนที่จะทำการดุ่มค่าครั้งต่อไป

3.2 การกำหนดอินพุตและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต

ในที่นี้จะนิยามฟัซซีเซตของ Error, Change of Error, Control output เป็น LN SN ZE SP LP UV การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยให้ความกว้างของฐานสามเหลี่ยมต่างกัน 3 ระดับ คือ น้อย ปานกลาง มาก เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการควบคุมในแต่ละกรณี ในตารางที่ 1ก-1ค และ รูปที่ 1ก-1ค แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Error และตารางที่ 2ก-2ค และ รูปที่ 2ก-2ค แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Change of Error และ Control output

ตารางที่ 1 ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Error

(ก) กรณีความกว้างน้อย

	Quantize_Value_of_Error										
Fuzzy_Set	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
LN	1.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SN	0.0	0.1	0.7	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
SP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	0.7	0.1	0.0
LP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.0	0.0
UV	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

(ข) กรณีความกว้างปานกลาง

	Quantize_Value_of_Error										
Fuzzy_Set	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
LN	1.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SN	0.2	0.6	0.8	0.8	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZE	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.0	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0
SP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.8	0.8	0.4	0.2
LP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.0	0.0
UV	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

ตารางที่ 2 ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Change of Error และ Control output

(ก) กรณีความกว้างน้อย

	Quantize_Value_of_Change_of_Error												
Fuzzy_Set	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
LN	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SN	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0
LP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0
UV	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

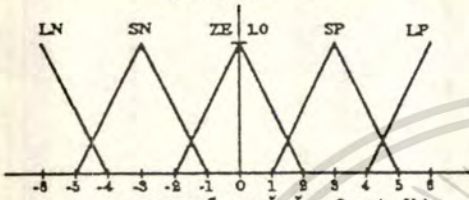
(ข) กรณีความกว้างปานกลาง

	Quantize_Value_of_Control_Output													
Fuzzy_Set	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
LN	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SN	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ZE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
SP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	
LP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	
UV	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

(ก) กรณีความกว้างมาก

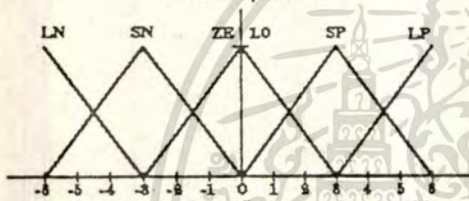
	Quantize_Value_of_Control_Output												
Fuzzy_Set	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6		
LN	1.0	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SN	0.5	0.7	0.8	1.0	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
ZE	0.0	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0.0
SP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	0.8	0.7	0.5
LP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0
UV	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Membership Function



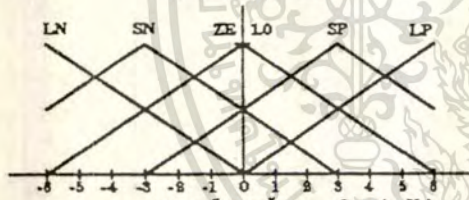
(ก) กรณีความกว้างน้อย

Membership Function



(ข) กรณีความกว้างปานกลาง

Membership Function



(ค) กรณีความกว้างมาก

รูปที่ 2 กราฟฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Change of Error และ Control output

3.3 การตั้งกฎที่ใช้ในการควบคุม

ได้มีการศึกษานโยบายการตั้งกฎสำหรับระบบที่ต้องการควบคุมให้เอาต์พุตมีค่าคงที่ตามที่กำหนด โดยเน้นให้กฎการควบคุมเป็นเชิงเส้น จำนวนกฎจะขึ้นอยู่กับความละเอียดในการกำหนดจำนวนที่ชี้ชัดได้กฎในการควบคุมดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 กฎที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิห้องหนึ่งที่ตั้งค่าไว้ที่อุณหภูมิคงที่

RULE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ERROR	LN	SN	SN	SN	SN	ZE	ZE	ZE	SP	SP	SP	SP	LP
CHANGE OF ERROR	UV	SN	ZE	SP	LP	SN	ZE	SP	LN	SN	ZE	SP	UV
CONTROL OUTPUT	LP	SP	SP	SN	LN	SP	ZE	SN	LP	SP	SN	SN	LN

กฎค่า ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ถ้าอุณหภูมิอยู่ห่างจนวนมาก ไม่ว่าจะมีความเร็วเท่าใด แล้วจึงลดอุณหภูมิ
2. ถ้าอุณหภูมิอยู่ห่างจนวนน้อย และมีความเร็วไปทางจนวนน้อย แล้วจึงลดอุณหภูมิ
3. ถ้าอุณหภูมิอยู่ห่างจนวนน้อย และหยุดนิ่ง แล้วจึงลดอุณหภูมิ
4. ถ้าอุณหภูมิอยู่ห่างจนวนน้อย แต่มีความเร็วไปทางจนวนน้อย แล้วจึงลดอุณหภูมิ
5. ถ้าอุณหภูมิอยู่ห่างจนวนน้อย แต่มีความเร็วไปทางจนวนมาก แล้วจึงลดอุณหภูมิ
6. ถ้าอุณหภูมิอยู่ที่จุดกึ่งกลาง แต่มีความเร็วไปทางจนวนน้อย แล้วจึงลดอุณหภูมิ
7. ถ้าอุณหภูมิอยู่ที่จุดกึ่งกลาง และหยุดนิ่ง แล้วทำให้คงอุณหภูมิในระดับ

(8-10 เหมือนกับ 1-6 แต่เป็นการปรับจนวนเท่านั้น)

3.4 การคำนวณหา Control output ตามแนวทางที่ชี้ ได้แสดงตารางที่ 3ก-3ค ตารางที่ 3 ตาราง Control Output ที่ใช้ในการควบคุม

(ก) กรณีความกว้างน้อย

	Change of Error												
Error	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6		
-5	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67
-4	5.50	5.50	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	3.18	3.18	3.18	3.18	3.30	3.30
-3	6.00	6.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-5.50	-5.50
-2	6.00	6.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-5.50	-5.50
-1	6.00	6.00	3.00	3.00	3.00	6.60	6.60	6.60	-3.00	-3.00	-3.00	-5.50	-5.50
0	6.00	6.00	3.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0.00	-3.00	-3.00	-3.00	0.00	0.00
1	5.50	5.50	3.00	3.00	3.00	-0.60	-0.60	-0.60	-3.00	-3.00	-3.00	0.00	0.00
2	5.50	5.50	3.00	3.00	3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	0.00	0.00
3	5.50	5.50	3.00	3.00	3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	0.00	0.00
4	-3.30	-3.30	-3.18	-3.18	-3.18	-4.82	-4.82	-4.82	-4.82	-4.82	-4.82	-5.50	-5.50
5	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67	-5.67

(ข) กรณีความกว้างปานกลาง

	Change of Error												
Error	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6		
-5	5.35	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	2.47	2.47	2.57	2.03	2.03	2.96	2.96
-4	5.20	4.00	3.73	3.73	3.73	3.73	1.63	1.63	1.15	-0.29	-0.46	0.80	0.80
-3	5.00	3.35	3.21	3.20	3.21	3.21	1.09	-0.53	-0.59	-1.92	-2.41	-2.71	-2.71
-2	6.00	3.00	3.00	3.00	2.27	2.27	2.29	0.82	-0.82	-3.30	-3.30	-4.12	-4.12
-1	6.00	3.00	3.00	3.00	1.91	1.50	1.50	0.53	-0.64	-3.00	-3.33	-4.00	-3.30
0	5.00	3.35	3.21	3.00	1.14	0.29	0.00	-0.29	-1.14	-3.00	-3.21	-3.35	-3.00
1	5.20	4.00	3.73	3.00	-0.64	-0.53	-1.50	-1.91	-3.00	-3.00	-3.00	0.00	0.00
2	5.28	4.12	3.30	3.00	0.82	-0.82	-2.29	-2.27	-3.00	-3.00	-3.00	0.00	0.00
3	2.71	2.41	1.92	1.59	0.55	-1.09	-3.20	-3.21	-3.20	-3.20	-3.21	-3.35	-3.00
4	6.00	6.46	6.29	-0.15	-0.50	-1.63	-3.73	-3.73	-3.73	-3.73	-4.00	-4.00	-3.30
5	-2.96	-2.03	-2.03	-2.57	-2.47	-2.47	-4.58	-4.58	-4.58	-4.58	-4.58	-4.58	-3.35

(ค) กรณีความกว้างมาก

	Change of Error												
Error	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6		
-5	3.02	3.02	3.02	3.02	1.98	1.51	0.71	0.71	0.71	0.71	0.66	0.66	0.66
-4	2.90	2.12	2.12	2.12	1.85	1.42	0.67	0.26	0.26	0.13	-0.09	-0.09	0.87
-3	2.63	1.93	1.75	1.60	1.35	1.16	0.60	0.17	-0.81	-0.33	-0.53	-0.54	-0.52
-2	2.45	1.72	1.56	1.27	1.05	0.88	0.46	0.10	-0.30	-0.53	-1.04	-1.04	-1.04
-1	2.45	1.59	1.23	0.96	0.81	0.69	0.29	0.00	-0.30	-0.50	-1.37	-1.73	-1.76
0	2.45	1.59	1.23	0.56	0.39	0.29	0.00	-0.29	-0.39	-0.54	-1.23	-1.59	-2.45
1	1.76	1.72	1.37	0.50	0.10	0.00	-0.29	-0.69	-0.81	-0.96	-1.23	-1.59	-2.45
2	1.08	1.08	1.04	0.30	0.10	-0.10	-0.48	-0.88	-1.05	-1.27	-1.56	-1.72	-2.45
3	0.52	0.56	0.53	0.33	0.03	-0.17	-0.60	-1.16	-1.35	-1.60	-1.75	-1.93	-2.63
4	-0.07	-0.09	0.09	-0.13	-0.26	-0.26	-0.67	-1.42	-1.85	-2.12	-2.12	-2.12	-2.90
5	-0.66	-0.66	-0.66	-0.71	-0.71	-0.71	-0.71	-1.51	-1.98	-2.02	-2.02	-2.02	-2.63

3.5 การเปิดตาราง Control output [2]

เนื่องจากค่า Control output ในตารางเป็นค่าอุณหภูมิซึ่งจะทำให้เกิด Error ในการควบคุมเมื่อค่า Error และ Change of Error มีค่าน้อย เรามักเปิดตารางโดยการเทียบค่าอุณหภูมิเป็น 2 ระดับ

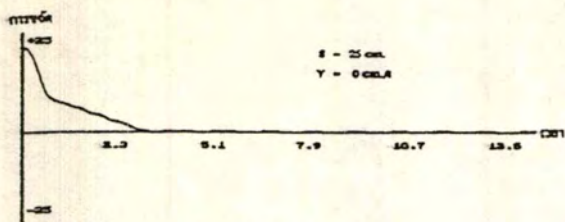
- ตารางแบบหยาบจะเทียบค่าการจจัดเท่ากับ -25 ซม. ถึง 25 ซม. และค่าอุณหภูมิเท่ากับ -30 ซม./วินาที ถึง 30 ซม./วินาที
- ตารางแบบละเอียดจะเทียบค่าการจจัดเท่ากับ -5 ซม. ถึง 5 ซม. และค่าอุณหภูมิเท่ากับ -6 ซม./วินาที ถึง 6 ซม./วินาที

4. ผลการทดลอง

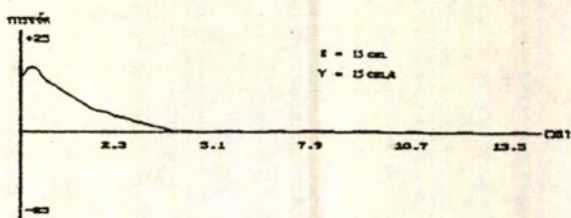
ในการทดลองเรากำหนดค่าการจจัดและความเร็วเริ่มต้นที่ค่าคง ๆ แล้วให้ตัวควบคุมระบบจนเข้าสู่สภาวะสมดุล และแสดงผลการทดลองในรูปกราฟการจจัดกับเวลา ได้แสดงรูปที่ 4-9



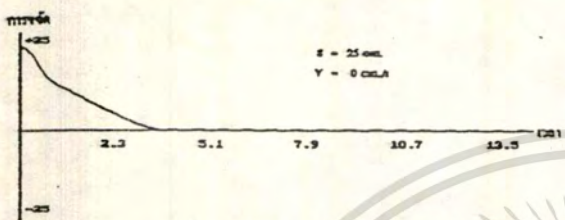
รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพกราฟที่จำลองการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิในห้อง



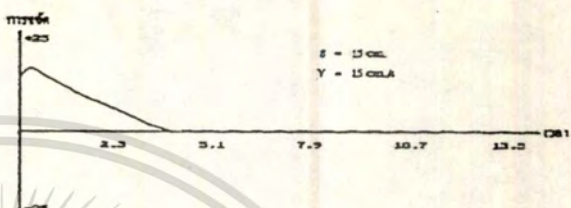
รูปที่ 4 ก กรณีความถี่น้อย



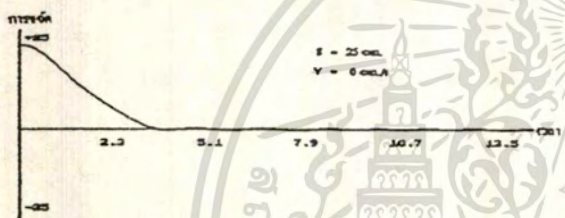
รูปที่ 6 ก กรณีความถี่น้อย



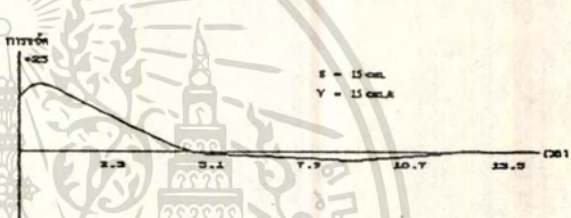
รูปที่ 4 ข กรณีความถี่ปานกลาง



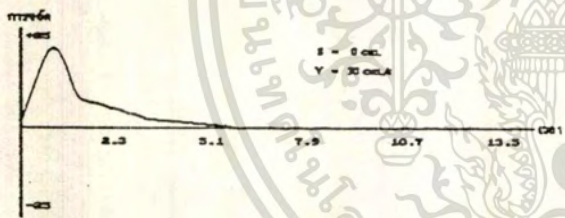
รูปที่ 6 ข กรณีความถี่ปานกลาง



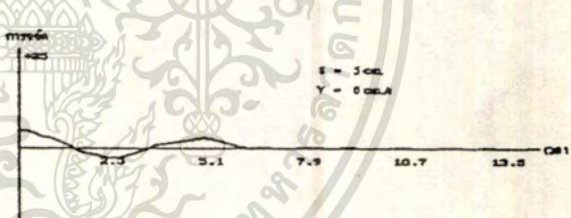
รูปที่ 4 ค กรณีความถี่มาก



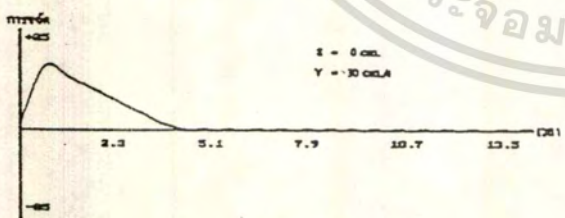
รูปที่ 6 ค กรณีความถี่มาก



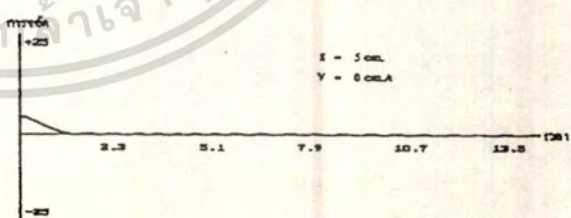
รูปที่ 5 ก กรณีความถี่น้อย



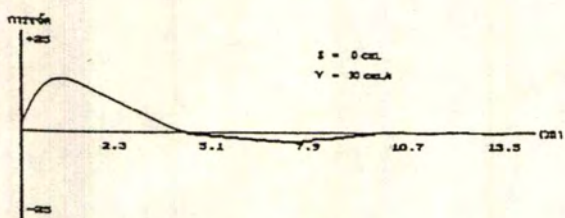
รูปที่ 7 ก กรณีความถี่น้อย



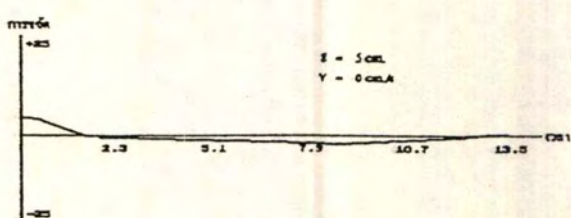
รูปที่ 5 ข กรณีความถี่ปานกลาง



รูปที่ 7 ข กรณีความถี่ปานกลาง

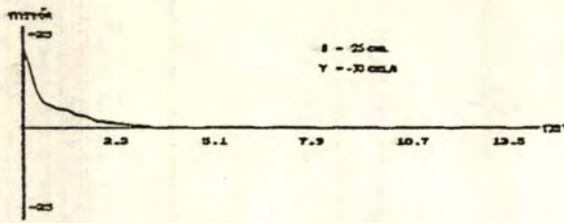


รูปที่ 5 ค กรณีความถี่มาก

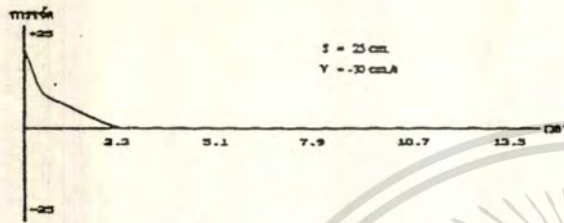


รูปที่ 7 ค กรณีความถี่มาก

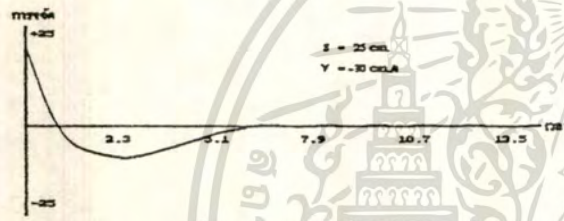
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 569
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



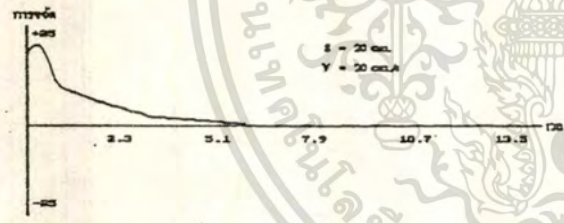
รูปที่ 8 ก กรณีความกว้างน้อย



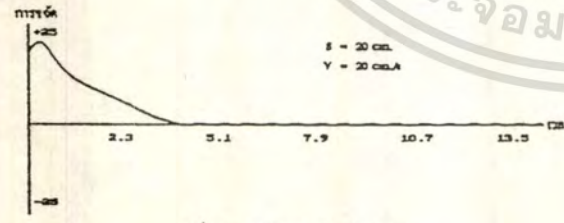
รูปที่ 8 ข กรณีความกว้างปานกลาง



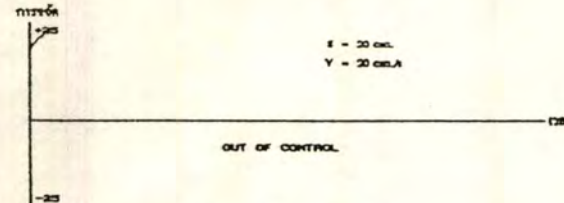
รูปที่ 8 ค กรณีความกว้างมาก



รูปที่ 9 ก กรณีความกว้างน้อย



รูปที่ 9 ข กรณีความกว้างปานกลาง



รูปที่ 9 ค กรณีความกว้างมาก

5. ผลของการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลการควบคุมในการกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกในแต่ละกรณีได้ดังนี้

- กรณีฐานตามหัวข้อมีความกว้างน้อย จากรูปที่ 4ก, 6ก, 8ก และ 9ก ที่สภาวะทรานเซียนท์ (Transient State) ช่วงแรก กราฟที่มีความกว้างมากกว่ารูปที่ 4ข, 4ค, 6ข, 6ค, 8ข, 8ค, 9ข และ 9ค แสดงว่ามีจุดยกออกห่างจากจุดศูนย์กลางมาก ๆ จุดยกจะเข้าสู่จุดกึ่งกลางเร็วกว่ากรณีอื่น ๆ และในช่วงหลังของสภาวะทรานเซียนท์ รูปที่ 4ก, 6ก, 8ก และ 9ก ความชันของกราฟจะน้อยกว่า รูปที่ 4ข, 6ข, 8ข, 9ข แสดงว่ามีจุดยกออกอยู่ใกล้จุดศูนย์กลาง การปรับค่าเข้าสู่สภาวะสมดุลจะช้ากว่าในกรณีความกว้างปานกลาง และกรณีที่เริ่มต้นจากตำแหน่งที่อยู่ใกล้จุดกึ่งกลาง (รูปที่ 7ก) จะมีค่าผิดพลาดมากกว่าเมื่อเทียบกับกรณีความกว้างปานกลาง (รูปที่ 7ข) และในกรณีที่เริ่มต้นจากจุดยกออกอยู่ใกล้จุดกึ่งกลางตามเดิมมีความเร็วสูง (รูปที่ 5ก) จะเกิดโอเวอร์ชูดสูงกว่าในกรณีความกว้างปานกลางและมาก (รูปที่ 5ข และ 5ค)

- กรณีฐานตามหัวข้อมีความกว้างปานกลาง ในช่วงที่จุดยกออกห่างจากจุดศูนย์กลางมาก จุดยกจะเข้าสู่จุดกึ่งกลางช้ากว่ากรณีความกว้างน้อย (ดูได้จากช่วงแรกของสภาวะทรานเซียนท์ ในรูปที่ 4ข, 6ข, 8ข, 9ข เปรียบเทียบกับรูปที่ 4ก, 6ก, 8ก, 9ก) แต่เมื่อจุดยกออกอยู่ใกล้จุดกึ่งกลางมากขึ้น ระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วกว่ากรณีอื่น ๆ และทำให้เกิดโอเวอร์ชูดต่ำกว่ากรณีความกว้างน้อย (ดูจากรูปที่ 5ก, 5ข และรูปที่ 6ก, 6ข) และจะทำให้เกิดค่าผิดพลาดน้อยที่สุดในทุกกรณี

- กรณีฐานตามหัวข้อมีความกว้างมาก จะได้ผลการควบคุมมีค่าผิดพลาดมากและใช้เวลานานในการเข้าสู่สภาวะสมดุลอย่างมากในทุกกรณี และมีโอเวอร์ชูด และผลการควบคุมค่อนข้างเรียบและเป็นเส้นตรง (สังเกตจากรูปที่ 4ค, 5ค, 6ค) ในรูปที่ 9ค จะไม่สามารถควบคุมจุดยกออกให้อยู่นิ่งได้ แสดงให้เห็นว่าขอบเขตในการควบคุมคือต่ำกว่ากรณีความกว้างน้อยและปานกลาง

การกำหนดความกว้างของฐานตามหัวข้อของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นการกำหนดขอบเขตของความคลุมเครือของพีซีซีที ซึ่งจะแสดงว่าค่าอินพุตหรือเอาต์พุตใด ๆ นั้นเป็นสมาชิกของพีซีซีทีหรือไม่ และมีค่าที่ทวีความเป็นสมาชิกเท่าใด ซึ่งจะมีผลต่อการควบคุมดังนี้

เมื่อความกว้างฐานตามหัวข้อของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีค่าน้อยแสดงว่าพีซีซีทีมีความคลุมเครือเล็กน้อย เหมาะกับระบบที่มีโครงสร้างค่อนข้างชัดเจน การควบคุมจะได้ผลดีมาก ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุลน้อย แต่ในระบบที่มีความคลุมเครือและต้องการผลการควบคุมอย่างละเอียด มีกำหนดให้ความกว้างของฐานตามหัวข้อน้อยเกินไป จะทำให้เกิดค่าผิดพลาดมาก เนื่องจากผลการควบคุมเกิดจากการที่ค่าอินพุตเป็นไปตามกฎการควบคุมเพียงหนึ่งหรือสองกฎเท่านั้น และมีกำหนดให้ฐานตามหัวข้อของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีความกว้างมากเกินไป จะทำให้การควบคุมผิดพลาดมากและใช้เวลานานในการเข้าสู่สภาวะสมดุลมาก เนื่องจากการควบคุมจะเกิดจากผลของกฎหลายกฎร่วมกัน ทำให้เกิดการรบกวนกันของผลการควบคุมจากกฎแต่ละกฎ

จากผลการทดลองจะได้แนวทางเพื่อการหาฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบจำต้องที่ตรงขึ้น โดยการสมมติความกว้างของฐานตามหัวข้อ แล้ววัดผลการควบคุมที่ดูว่าค่าที่สมมติขึ้นนั้นมากหรือน้อยเกินไป และทำการปรับค่าใหม่ จนกว่าจะได้ค่าความกว้างของฐานตามหัวข้อที่ทำให้เกิดผลการควบคุมที่ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Witold Pedrycz, Fuzzy Control and Fuzzy systems, John Wiley & Sons Inc-1989
2. Y.F.Li and C.C.Lan "Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems" IEEE Contr. Sys., pp. 65-71, April, 1989
3. สมพร ราชบุรุษจักรวัฒน์, เอกสาร เกียรติสุโขทัย, "Fuzzy Control", ปริชญานีพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬ. ภาควิชาเรียนที่ 2, ปีการศึกษา 2534

ลาดกระบังฉบับที่

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 12 ฉบับที่ 1

มิถุนายน 2538

- | | | |
|----|--|----|
| 1. | ความไวของตัวรับรู้แรงดันโครงสร้างแบบ MOISFET
ภควัด สวายุสุวรรณ, อัมพร โพธิ์โย, จีรวัดณ์ ปานกลาง, วิสุทธิ์ รุติรุ่งเรือง, Takeki Kurosui, สมเกียรติ ศุภเดช | 1 |
| 2. | การศึกษาคุณสมบัติโฟลด์มัลติเพล็กซ์ของชั้นพอร์ตซิลิกอน
เกียรติชัย มากเกษม, นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง, สมศักดิ์ เขียวศิริกุล, สมเกียรติ ศุภเดช | 8 |
| 3. | การออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์โดยใช้ ENIAM
ธวัชพร ผดุงผล, สุภมิตร จิตตะยโสธร | 15 |
| 4. | อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติของระบบไฟฟ้า 3 เฟส
- ศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล, จารุวัฒน์ สันตสุนธิชาติ | 24 |
| 5. | Fast Transform Techniques for RS Codes
- สมศักดิ์ ชุมช่วย | 32 |
| 6. | ตัวควบคุมพีซีแบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตัวเอง
- ธิดาทพร พิทักษ์พรหมณ์, จงกล งามวิวิทย์, Noriyuki Komine, Michihiko Iida | 42 |
| 7. | การออกแบบตัวควบคุม H_{∞} สำหรับระบบเชิงเส้น
- สุเมธ เขาวนไวย, จงกล งามวิวิทย์, Michihiko Iida | 49 |
| 8. | การประยุกต์พีซีลอจิกเพื่อหาขอบภาพ
สาธิต อินทจักร์, กิตติ โพธิ์บุษย์พัฒนกิจ | 53 |

ตัวควบคุมฟัซซี่แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง

Self-Organizing Fuzzy Logic Intelligent Controllers

ธิดาพร พิทักษ์พรพันธุ์

จงกต งามวิวิทย์

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Noriyuki Komine

Michihiko Iida

Department of Control Engineering, School of Engineering, Tokai University

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมที่สร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง โดยวิธีเรียนรู้จากผลการควบคุม และสร้างตัวควบคุมขึ้นเพื่อควบคุมกระบวนการที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์หรือไม่มีฐานความรู้ในการควบคุม ทำการทดลองโดยจำลองระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการเรียนรู้ในการหากฎการควบคุมและพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม และทดสอบประสิทธิภาพการปรับตัวของตัวควบคุม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการหรือเมื่อมีการรบกวนจากภายนอก พบว่าตัวควบคุมสามารถเรียนรู้เพื่อสร้างกฎการควบคุมและหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมด้วยตนเอง และสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้เหมาะสม เมื่อค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลงขณะที่ทำการควบคุม นอกจากนี้ ตัวควบคุมยังสามารถปรับตัวเพื่อลดผลจากการรบกวน เมื่อมีการรบกวนจากภายนอก

Abstract

This paper presents the design and implementation of self-organizing fuzzy logic intelligent controllers for controlling the unknown-parameter or no-knowledge-based plants. According to the software-simulation for testing the learning efficiency of the control rule self-organizing and controller parameter tuning and the on-line adaptation efficiency of the controller when the plant parameters have changed, or there are disturbances or noise to disturb the system, the results are shown that the controller can self organize the control rules and find the proper controller parameters for controlling the plant, and if the plant parameters have changed, the controller can make the on-line adaptation to find the proper controller parameters. If there are disturbances or noise to disturb the system, the controller can make the on-line adaptation to reduce those effects.

1. บทนำ

ตัวควบคุมฟัซซี่ที่ใช้งานในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ถูกออกแบบ

กรณีที่ไม่มีความรู้หรือประสบการณ์เกี่ยวกับระบบที่จะทำ

การควบคุม การออกแบบพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี่

เอกสาร โดยใช้ฐานความรู้หรือประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ[1] ในศึกษาจะทำได้ยาก ในปี ค.ศ. 1977 Prof. Mamdani นำเสนอคำ

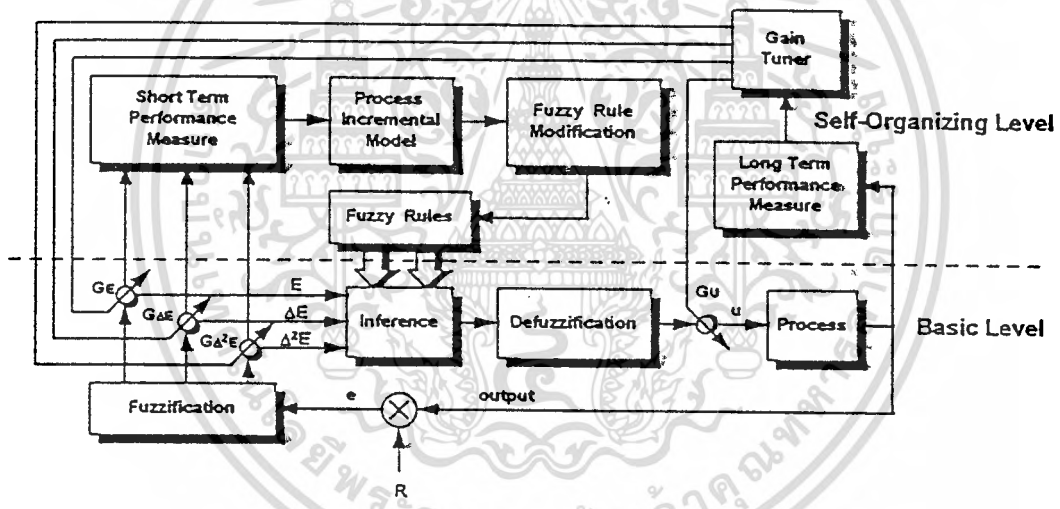
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดในการสร้างตัวควบคุมฟัซซีที่สามารถสร้างกฎการควบคุมด้วยตนเอง โดยใช้ข้อมูลจากการควบคุม (self-organization) [2] ต่อมาได้มีผู้นำเสนอวิธีการสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี โดยใช้โครงข่ายนิวรอน (neural network) [3] บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง (Self-Organizing Fuzzy Logic Intelligent Controller : SOFLIC) โดยเขียนแบบการทำงานของปฏิบัติการ ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถปรับตัวขณะควบคุม ทำให้ระบบมีความคงทน (robust) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการและการรบกวนจากภายนอก (disturbance)

การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของ SOFLIC ทำได้ 3 วิธี คือ การปรับค่าเกนของตัวควบคุม การปรับกฎการควบคุม และการปรับค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ไว้ในกฎการควบคุม ในบทความนี้ใช้วิธีการปรับกฎการควบคุม โดยใช้ฐานข้อมูลระยะสั้น และปรับค่าเกนของตัวควบคุม โดยใช้ฐานข้อมูลระยะยาว

2. โครงสร้างของตัวควบคุม SOFLIC

โครงสร้างของตัวควบคุม SOFLIC [4] ดังแสดงในรูปที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ โครงสร้างระดับพื้นฐาน (basic level) และโครงสร้างระดับการสร้างฐานความรู้และปรับแต่งพารามิเตอร์ (self-organizing level)



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงโครงสร้างของ SOFLIC

2.1 โครงสร้างระดับพื้นฐานของตัวควบคุม SOFLIC

2.1.1 Fuzzification คือกระบวนการเปลี่ยนอินพุตของตัวควบคุม ($e, \Delta E, \Delta^2 E$) ให้อยู่ในรูปตัวแปรฟัซซี ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานดังนี้

- (1) กำหนดขอบเขตของตัวแปร $E, \Delta E, \Delta^2 E$
- (2) นอร์มอลไลซ์ (normalize) และควอนไทซ์ (quantize) ตัวแปรทุกตัว ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ
- (3) นิยามฟัซซีเซต และกำหนดตำแหน่งและรูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตบนช่วงที่ต้องการสำหรับตัวแปรแต่ละตัว

2.1.2 Inference คือกระบวนการประมาณผลอินพุตที่อยู่

(รูปที่ 1) เพื่อหาเอาต์พุตในรูปตัวแปรฟัซซี

2.1.3 Defuzzification คือกระบวนการเปลี่ยนเอาต์พุตของตัวควบคุม (U) ที่อยู่ในรูปตัวแปรฟัซซี ให้เป็นค่าตัวเลขที่แน่นอน (u) สำหรับใช้ในการควบคุมจริง

2.2 โครงสร้างระดับการสร้างฐานความรู้และปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุม SOFLIC

2.2.1 การวัดสมรรถนะจากฐานข้อมูลระยะสั้น

การวัดสมรรถนะของระบบจากฐานข้อมูลระยะสั้น ทำโดยสุ่มสัญญาณเอาต์พุตของระบบตามความถี่ที่เปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ เพื่อหาค่า $E, \Delta E, \Delta^2 E$ สำหรับ

2.2.2 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของกระบวนการ

โครงสร้างของรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของกระบวนการ (Process Incremental Model : PIM) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

PIM1 : แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตแต่ละตัวว่า อินพุตใดมีผลต่อเอาต์พุตใดในอัตราส่วนเท่าใด แสดงในรูป Incremental Causal Process Model ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$P_i(nT) = J^{-1}P_o(nT) \quad (1)$$

โดยที่ P_i คือค่าเอาต์พุตของ PIM ที่บอกถึงค่าอินพุตของกระบวนการที่ต้องเปลี่ยนแปลง

P_o คือค่าเอาต์พุตของกระบวนการที่ต้องการเปลี่ยนแปลง

nT คือเวลาที่สถานะปัจจุบัน

J คือ Plant Jacobian (ปกติ J ถูกนอมอลไลซ์โดยใช้ diagonal gain matrix : G_s) จะได้ว่า

$$P_i(nT) = G_s^{-1} J^{-1} G_s P_o(nT) \quad (2)$$

หมายเหตุ ในระบบอินพุตเอาต์พุตเดียว $G_s^{-1} J^{-1} G_s = K$ เป็นค่าคงที่ สามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การวัดสมรรถนะจากฐานข้อมูลระยะสั้นโดยตรง

PIM2 : แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตในอดีตที่มีผลต่อสมรรถนะในปัจจุบัน ซึ่งจะต้องใช้ความรู้ในเรื่องเวลาไร้ผลตอบสนอง (dead time) ของกระบวนการ เพื่อเก็บข้อมูลในอดีตให้เพียงพอกับช่วงเวลาไร้ผลตอบสนอง

2.2.3 การปรับแต่งกฎการควบคุม

การปรับแต่งกฎการควบคุม จะทำการปรับแต่งตามค่าที่คำนวณได้จาก PIM1 และชดเชยผลจากเวลาไร้ผลตอบสนองตาม PIM2 ในการปรับการควบคุมเพื่อให้ผลตอบสนองลู่เข้าและมีประสิทธิภาพในการควบคุม มีกฎดังนี้

R_0 : ถ้า $E, \Delta E, \Delta^2 E$ เป็นศูนย์ ไม่ต้องทำการควบคุมใดๆ

R_1 : ถ้า $E, \Delta E, \Delta^2 E$ มีเครื่องหมายเหมือนกัน เอาต์พุต U จะต้องมีเครื่องหมายตรงข้าม

กฎ R_0 ทำเพื่อรักษาสมดุล เมื่อเอาต์พุตเป็นตามต้องการ

กฎ R_1 ทำเพื่อให้เกิดการลู่เข้าหากค่าที่ต้องการอย่างรวดเร็ว

2.2.4 การวัดสมรรถนะจากฐานข้อมูลระยะยาว

การวัดสมรรถนะจากฐานข้อมูลระยะยาว ทำโดยวัดค่า

- (1) Maximum Overshoot : Oss (2) Rise Time : Tr
 - (3) Settling Time : Ts (4) Steady State Error : Ess
- เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม

2.2.5 การกำหนดค่าเริ่มต้นและการปรับแต่งค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม

การกำหนดค่าเกณฑ์เริ่มต้นของตัวควบคุม แสดงดังสมการที่ (3)-(6)

$$G_E = \alpha q / E_{max} \quad (3)$$

$$G_{\Delta E} = \beta q / \Delta E_{max} \quad (4)$$

$$G_{\Delta^2 E} = \gamma q / \Delta^2 E_{max} \quad (5)$$

$$G_u = P_{imax} / C_{omax} \quad (6)$$

โดยที่ q คือระดับการควบคุมโคจรสูงสุด

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ คือพารามิเตอร์ในการปรับแต่งค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม

E_{max} คือค่า E สูงสุดที่ยอมรับได้

ΔE_{max} คือค่า ΔE สูงสุดที่ยอมรับได้

$\Delta^2 E_{max}$ คือค่า $\Delta^2 E$ สูงสุดที่ยอมรับได้

P_{imax} คือค่าอินพุตสูงสุดของกระบวนการ

C_{omax} คือค่าเอาต์พุตสูงสุดของตัวควบคุม

หมายเหตุ การกำหนดค่า G_u ในสมการที่ (6) ทำเพื่อให้

การส่งผ่านค่าระหว่างอินพุตของกระบวนการและเอาต์พุตของตัวควบคุมมีค่าสูงสุด

การปรับแต่งค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมมีแนวทางดังนี้

- (1) ถ้า Oss มาก ให้เพิ่มค่า $G_{\Delta E}$ และลดค่า $G_E, G_{\Delta^2 E}$
- (2) ถ้า Tr มาก ให้เพิ่มค่า G_u และลดค่า $G_{\Delta E}, G_{\Delta^2 E}$
- (3) ถ้า Ts มาก ให้เพิ่มค่า $G_{\Delta E}$ และ $G_{\Delta^2 E}$
- (4) ถ้า Ess มาก ให้เพิ่มค่า G_E และลดค่า $G_{\Delta E}$

3. การออกแบบ SOFLIC ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 การออกแบบโครงสร้างระดับพื้นฐานของ SOFLIC

- (1) กำหนดช่วงของตัวแปร $E, \Delta E, \Delta^2 E$ อยู่ในช่วง ± 1 ตัวแปร u อยู่ในช่วง ± 10

- (2) เลือกใช้วิธีการควบคุม โคจรแบบออกกรีทิม ตามสมการที่

(7)-(8) โดยใช้ระดับการควอนโตซ์ (q) = 12

$$Q = (Q / |Q|)^* \text{round} (1.3 \ln (G_x * x)) \quad (7)$$

$$\text{if } (|Q| > 12) \text{ then } Q = (Q / |Q|)^* 12 \quad (8)$$

โดยที่ Q คือค่าที่ได้จากการควอนโตซ์

G_x คือค่าแกนของตัวแปรที่ต้องการควอนโตซ์

x คือค่าตัวแปรที่ต้องการควอนโตซ์

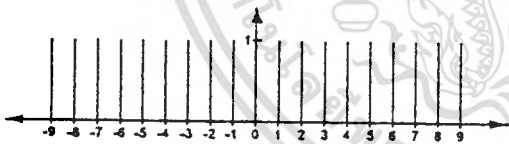
(3) นิยามฟังก์ชันเซตและกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร E, ΔE, Δ²E ให้เป็นไปตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร E, ΔE, Δ²E

- NB = Negative Big
- NM = Negative Medium
- NS = Negative Small
- NZ = Negative Zero
- AZ = Almost Zero
- PB = Positive Big
- PM = Positive Medium
- PS = Positive Small
- PZ = Positive Zero

(4) กำหนดฟังก์ชันเซตของตัวแปรเอาต์พุต (U) เป็น Fuzzy Singleton ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร U

(5) กำหนดรูปแบบของกฎการควบคุมดังนี้

$$R_j : \text{if } (E \text{ is } E_j) \text{ and } (\Delta E \text{ is } \Delta E_j) \text{ and } (\Delta^2 E \text{ is } \Delta^2 E_j) \text{ then } U \text{ is } U_j \quad (9)$$

$E_j, \Delta E_j, \Delta^2 E_j, U_j$ คือ ฟังก์ชันเซตของตัวแปร E, ΔE, Δ²E, U

(6) กำหนดวิธีในการ Inference โดยเลือกใช้วิธี Max-min Procedure แสดงดังสมการที่ (10)

$$\mu_U(u) = \bigvee_j (\mu_{E_j} \wedge \mu_{\Delta E_j} \wedge \mu_{\Delta^2 E_j}) \quad (10)$$

(7) กำหนดวิธีการ Defuzzification โดยเลือกใช้วิธี Centre of gravity แสดงดังสมการที่ (11)

$$\text{cog}(U) = \frac{\sum_{i=1}^N u_i \mu_U(u_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_U(u_i)} \quad (11)$$

3.2 การออกแบบโครงสร้างระดับการสร้างฐานความรู้และปรับแต่งพารามิเตอร์ของ SOFLIC

(1) กำหนดวิธีการวัดสมรรถนะจากฐานความรู้ระยะสั้น จากค่า E, ΔE, Δ²E ดังนี้

$$PM(nT) = E(nT) + \Delta E(nT) + \Delta^2 E(nT) \quad (12)$$

เมื่อ E, ΔE, Δ²E เป็นค่าที่ถูกควอนโตซ์ให้อยู่ในช่วง ± 12

(2) กำหนดโครงสร้าง PIM1 ของกระบวนการที่ต้องการควบคุมซึ่งมีอินพุตเอาต์พุตเดียว โดยให้ K=1 จะได้ว่า

$$P_i(nT) = K P_o(nT) \quad (13)$$

(3) กำหนดโครงสร้าง PIM2 จากค่าเวลาไร้ผลตอบสนองและเก็บข้อมูลในอดีต เพื่อหาค่าเวลาไร้ผลตอบสนอง

(4) กำหนดวิธีปรับแต่งกฎการควบคุมดังนี้

$$R((n+1)T) = R(nT) \cap R'(nT - mT) \cup R''(nT - mT) \quad (14)$$

โดยที่ nT คือเวลาที่สถานะปัจจุบัน

mT คือเวลาไร้ผลตอบสนองของกระบวนการ

$R((n+1)T)$ คือกฎที่ทำการปรับแต่งแล้ว

$R'(nT - mT)$ คือกฎที่ใช้ในการควบคุมที่เวลา nT - mT

$R''(nT - mT)$ คือกฎที่ได้จากการปรับปรุงส่วนผลของ

$R'(nT - mT)$ ตามค่า PM ที่สถานะปัจจุบัน

กำหนดให้กฎ $R'(nT - mT)$ มีรูปแบบดังนี้

$R'(nT - mT) : \text{if } (E \text{ is } E_j) \text{ and } (\Delta E \text{ is } \Delta E_j) \text{ and}$

$$(\Delta^2 E \text{ is } \Delta^2 E_j) \text{ then } U \text{ is } U_j \quad (15)$$

การหากฎ $R''(nT - mT)$ ซึ่งปรับปรุงมาจากกฎ $R'(nT - mT)$

แสดงในสมการที่ (16) - (17)

$R''(nT - mT) : \text{if } (E \text{ is } E_j) \text{ and } (\Delta E \text{ is } \Delta E_j) \text{ and}$

$$(\Delta^2 E \text{ is } \Delta^2 E_j) \text{ then } U \text{ is } NU_j \quad (16)$$

โดยที่ $NU_j = U_j + (PM(nT) * \mu_{U_j}(u))$ (17)

(5) กำหนดค่าแกนเริ่มต้นของตัวควบคุมดังสมการที่(3)-(6)

โดยให้ค่าเริ่มต้นของ $\alpha, \beta, \gamma, \delta = 1$ และกำหนด

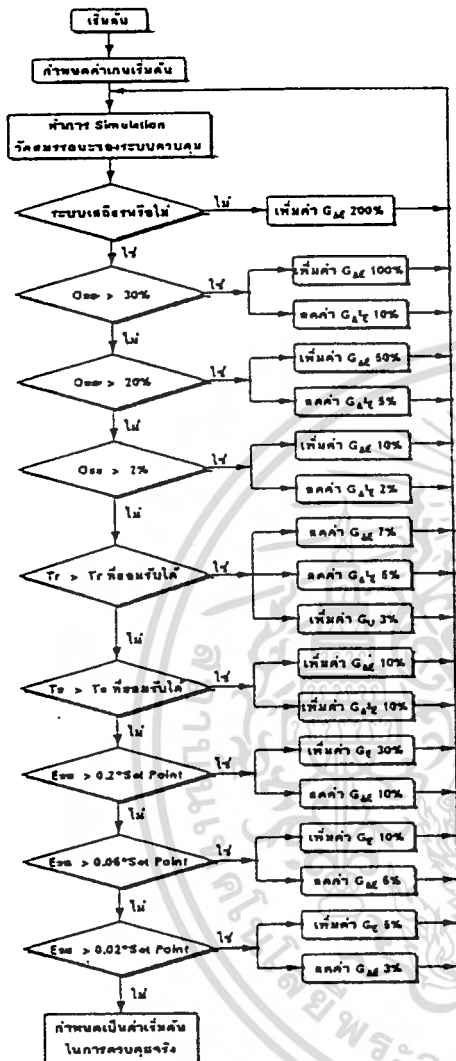
ค่า $q = 12$ และ $E_{\max}, \Delta E_{\max}, \Delta^2 E_{\max} = 0.01$

(6) ปรับแต่งค่าแกนของตัวควบคุม โดยใช้ข้อมูลการวัด

สมรรถนะจากฐานข้อมูลระยะยาว ซึ่งอยู่ในรูปของ

Oss, Ess, Tr และ Ts ขั้นตอนการปรับแต่งค่าแกนของ

ตัวควบคุมที่ชี้แสดงตามแผนภาพในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงการปรับแต่งค่าเกณฑ์ของ SOFLIC
 หมายเหตุ T_r = เวลาที่ผลตอบสนองใช้เปลี่ยนแปลงจาก 10% ถึง 90% ของเอาต์พุตที่สถานะคงตัว
 T_s = เวลาที่ผลตอบสนองเข้าสู่ช่วง $\pm 2\%$ ของเอาต์พุตที่สถานะคงตัว

ข้อกำหนดเกี่ยวกับผลตอบสนองที่ต้องการ

- (1) O_{ss} น้อยกว่า 2% ของค่าเอาต์พุตที่สถานะคงตัว
- (2) ถ้ากระบวนการเสถียร กำหนดให้ค่า T_r ที่ยอมรับได้น้อยกว่า 25% ของค่า T_r ในกรณีลูปเปิด
 ถ้ากระบวนการไม่เสถียร กำหนดให้ค่า T_r ที่ยอมรับได้น้อยกว่า 50% ของค่า T_r ในกรณีลูปเปิด
- (3) T_s ที่ยอมรับได้น้อยกว่า 2 เท่าของ T_r ที่ยอมรับได้
- (4) Ess น้อยกว่า 0.02 % ของสัญญาณอ้างอิง

กรณีตัวควบคุมไม่สามารถควบคุมให้สมรรถนะของระบบ (O_{ss} , T_r , T_s , Ess) เป็นไปตามเงื่อนไขทั้งหมดที่กำหนดการทำงานตามแผนภาพรูปที่ 4 จะวนโดยไม่สิ้นสุด ดังนั้นถ้าต้องการให้ตัวควบคุมสามารถหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมได้ ผู้ปฏิบัติการจะต้องเปลี่ยนค่า T_r และ T_s ที่ยอมรับได้

4. ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพการเรียนรู้ เพื่อหากฎการควบคุมและพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ในการควบคุมกระบวนการที่มีพารามิเตอร์ต่าง ๆ กัน

(1) เมื่อ ω_u คงที่ = 1 rad/s $\zeta = 0.5, 0, -1$ ผลการควบคุมสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุมกระบวนการอันดับสองมาตรฐานที่มีค่า ζ ต่าง ๆ กัน

SYSTEM	ζ	f_c (Hz)	PERFORMANCE CRITERIA			
			O_{ss} (%)	T_r (s)	T_s (s)	Ess
OPEN LOOP	0.5	50	16.3029	1.640	8.060	-0.002170
	0	50	99.9998	1.020	>10.00	-0.839069
	-1	50	>300.00	0.580	>10.00	INFINITY
CLOSED LOOP	0.5	50	30.9160	0.980	7.760	0.503586
	0	50	103.3861	0.720	>10.00	0.495824
	-1	50	>300.00	0.460	>10.00	INFINITY
SOFLIC	0.5	50	1.1753	0.380	0.580	-0.005145
	0	50	0.9028	0.420	0.620	0.002922
	-1	50	0.7388	0.440	0.640	0.004358

(2) เมื่อ ζ คงที่ = 0.5 $\omega_u = 1, 3, 10$ rad/s ผลการควบคุมสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุมกระบวนการอันดับสองมาตรฐานที่มีค่า ω_u ต่าง ๆ กัน

SYSTEM	ω_u (rad/s)	f_c (Hz)	PERFORMANCE CRITERIA			
			O_{ss} (%)	T_r (s)	T_s (s)	Ess
OPEN LOOP	1	50	16.3029	1.640	8.060	-0.002170
	3	100	16.3034	0.540	2.690	0.000635
	10	500	16.3029	0.164	0.806	-0.002170
CLOSED LOOP	1	50	30.9160	0.980	7.760	0.503586
	3	100	31.1292	0.320	2.590	0.500257
	10	500	30.9160	0.098	0.776	0.503586
SOFLIC	1	50	1.1753	0.380	0.580	-0.005145
	3	100	1.4544	0.170	4.090	0.011417
	10	500	0.7992	0.040	0.060	0.007520

(3) เมื่อกระบวนการไม่อยู่ในรูปแบบอันดับสองมาตรฐาน

$$G_p(s) = 1/(s^2+9)$$

$$G_p(s) = (s+1)/(s^2+s+1)$$

$$G_p(s) = (s^2+1)/(s^3+2s^2+2s+1)$$

ผลการควบคุม สรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมรรถนะในการควบคุมกระบวนการที่ไม่อยู่ในรูปแบบอันดับสองมาตรฐาน

SYSTEM	G _p (s)	f _c (Hz)	PERFORMANCE CRITERIA			
			Oss (%)	Tr (s)	Ts (s)	Ess
OPEN LOOP	1/(s ² +9)	100	29.843	0.340	>5.00	0.804479
	(s+1)/(s ² +s+1)	500	99.998	0.940	4.630	0.013354
	(s ² +1)/(s ³ +2s ² +2s+1)	500	NONE	4.110	4.790	0.000122
CLOSED LOOP	1/(s ² +9)	100	NONE	>5.00	>5.00	0.799290
	(s+1)/(s ² +s+1)	500	20.808	0.590	3.450	-0.504182
	(s ² +1)/(s ³ +2s ² +2s+1)	500	15.651	3.110	>5.00	0.421740
SOFLIC	1/(s ² +9)	100	NONE	0.340	0.540	0.001427
	(s+1)/(s ² +s+1)	500	2.1937	0.080	3.764	-0.001504
	(s ² +1)/(s ³ +2s ² +2s+1)	500	2.4722	0.088	4.434	-0.005970

ตอนที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพการปรับตัวของตัวควบคุม

เมื่อพารามิเตอร์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลง

ทดลองโดยใช้ตัวควบคุมที่ออกแบบสำหรับกระบวนการที่มี G_p(s) = 1/(s²+s+1) มาควบคุมกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์

(1) เมื่อ ζ เปลี่ยนจาก 0.5 เป็น 5, 0, -0.5 ผลการควบคุม สรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมรรถนะของระบบที่ตัวควบคุมมีการปรับค่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ζ

RUNNING ORDER	ζ	f _c (Hz)	PERFORMANCE CRITERIA			
			Oss (%)	Tr (s)	Ts (s)	Ess
FIRST RUN	5	50	0.6180	1.360	2.040	0.000425
	0	50	13.7585	0.360	0.960	-0.003883
	-0.5	50	48.2015	0.320	1.840	0.001493
SECOND RUN	5	50	0.8139	1.3320	1.980	0.004872
	0	50	11.9148	0.360	0.980	-0.000495
	-0.5	50	10.5332	0.400	1.140	-0.004260
STEADY RUN	5	50	0.7803	0.840	1.100	-0.001445
	0	50	1.5859	0.420	0.600	0.004958
	-0.5	50	0.7629	0.440	0.640	0.000561

(2) เมื่อ ω_n เปลี่ยนจาก 1 rad/s เป็น 0.5, 3, 10 rad/s

ผลการควบคุมสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สมรรถนะของระบบที่ตัวควบคุมมีการปรับค่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ω_n

RUNNING ORDER	ω _n	f _c (Hz)	PERFORMANCE CRITERIA			
			Oss (%)	Tr (s)	Ts (s)	Ess
FIRST RUN	0.3	50	19.7703	1.100	3.200	0.000001
	3	100	1.9360	0.170	2.320	0.011279
	10	500	0.9543	0.042	0.062	0.001712
SECOND RUN	0.3	50	15.2894	1.100	3.580	-0.000272
	3	50	1.9174	0.170	4.700	-0.005441
	10	50	1.9972	0.040	0.058	0.003704
STEADY RUN	0.3	50	0.6000	1.160	1.860	0.000139
	3	50	1.7888	0.150	4.770	0.000321
	10	50	0.6241	0.042	0.062	0.001578

ตอนที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพการปรับค่าของตัวควบคุม

เมื่อมีการรบกวนจากภายนอก

ทดลองกับระบบที่มี G_p(s) = 1/(s²+s+1) โดยใช้ความถี่ที่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ f_s = 50 Hz และให้สัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณ

- ขั้วบันได ขนาด 1 หน่วย
- พัลส์ขนาด 1 หน่วย ความถี่: 1 หน่วย
- ซายน์ขนาด 0.1 หน่วย ความถี่: 1 Hz

(1) เมื่อมีการรบกวนที่เอาต์พุตของระบบ ผลการควบคุม สรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สมรรถนะของระบบที่ตัวควบคุมมีการปรับค่าเมื่อมีการรบกวนเอาต์พุตระบบ

RUNNING ORDER	DISTURBANCE	PERFORMANCE CRITERIA			
		Oss (%)	Tr (s)	Ts (s)	Ess
FIRST RUN	STEP	1.2402	0.000	0.000	-0.001252
	PULSE	1.1520	0.000	1.680	0.003237
	SINE	1.2597	0.000	0.740	0.000118
SECOND RUN	STEP	1.1413	0.000	0.000	0.002235
	PULSE	5.5833	0.000	1.920	-0.003615
	SINE	1.1571	0.000	0.740	-0.004868
STEADY RUN	STEP	0.3920	0.000	0.000	0.002015
	PULSE	0.5966	0.000	1.660	0.003323
	SINE	1.0883	0.380	0.520	-0.005979

- (2) เมื่อมีการรบกวนที่ระหว่างเอาต์พุตของตัวควบคุมกับอินพุตของกระบวนการ ผลการควบคุมสรุปได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สมรรถนะของระบบที่ตัวควบคุมมีการปรับตัวเมื่อมีการรบกวนที่ระหว่างเอาต์พุตของตัวควบคุมและอินพุตของกระบวนการ

RUNNING ORDER	DISTURBANCE	PERFORMANCE CRITERIA			
		Oss (%)	Tr (s)	Ts (s)	Ess
FIRST RUN	STEP	6.1939	0.400	0.900	-0.002129
	PULSE	6.1939	0.400	0.900	0.005378
	SINE	0.5905	0.420	0.620	-0.000291
SECOND RUN	STEP	3.2763	0.420	0.720	-0.003498
	PULSE	3.2763	0.420	0.740	0.000107
	SINE	1.8154	0.400	0.580	0.001718
STEADY RUN	STEP	1.1559	0.400	0.580	0.005776
	PULSE	1.1559	0.400	0.580	-0.001842
	SINE	0.9210	0.360	0.560	-0.004453

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า

1. ตัวควบคุมที่สร้างขึ้น สามารถเรียนรู้จากผลการควบคุมโดยใช้ค่า PM ซึ่งได้จากการวัดสมรรถนะจากฐานข้อมูลระยะสั้น ดังสมการที่ (12) เพื่อสร้างกฎการควบคุมตามสมการที่ (14)-(17) และใช้ค่า Oss, Ess, Tr และ Ts ซึ่งได้จากการวัดสมรรถนะจากฐานข้อมูลระยะยาว เพื่อปรับแต่งค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม ตามแผนภาพในรูปที่ 4 จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1-3 จะเห็นได้ว่า สมรรถนะของระบบดีมาก มี Oss น้อยกว่า 2% โดยมี Tr และ Ts น้อยกว่าผลตอบสนองรูปเปิดและรูปปิดของกระบวนการ และจะมีการแกว่งน้อยๆ รอบสัญญาณอ้างอิง
2. ตัวควบคุมมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดยจะปรับแต่งกฎการควบคุมและค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมด้วยตนเองให้เหมาะสมกับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งคู่ได้จากผลการควบคุมในตารางที่ 4 - 5
3. ตัวควบคุมมีความคงทนต่อการรบกวนจากภายนอกและสามารถปรับตัวเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม โดยจะสร้างสัญญาณควบคุมหักล้างผลของการ

รบกวนนั้น จากตารางที่ 6 - 7 แสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมสามารถลดผลจากสัญญาณรบกวนที่เป็นค่าคงที่ได้ดีกว่ากรณีที่สัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณจายน์ และการรบกวนที่เอาต์พุตของระบบ จะมีผลมากกว่าการรบกวนที่เข้ามาที่เอาต์พุตของตัวควบคุมกับอินพุตของกระบวนการ

กิตติกรรมประกาศ

การนำเสนอบทความนี้ ผู้เสนอบทความได้รับทุนบัณฑิตศึกษาโครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จึงเรียนมาเพื่อขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อิศาพร พิทักษ์พรพันธุ์, สมพร ชาญประจักษ์วัฒน์, เสกสรร เกียรติสุโทบล้อ, ผศ.ดร. จงกต งามวิวิทย์, "ผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมแบบฟัซซี่", เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16, ประจำปี 2536, หน้า 566-570
- [2] E.H.Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems", IEEE Trans Computer Vol.26, 1977, pp.1182-1191
- [3] S. Nakanishi, T. Takagi, K. Uchihara, Y. Gotoh, "Self-Organizing Fuzzy Controllers by Neural Networks and Its Applications", Proceedings of the International Conference on Fuzzy Logic & Neural Networks, Iizuka, Japan, July 20-24 1990, pp.187-191
- [4] C.J. Harris, C.J. Moore & M. Brown, "INTELLIGENT CONTROL", Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets, World Scientific Series in Robotics and Automated Systems, Vol.6, 1993, pp. 90-211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการ

ทางวิศวกรรมไฟฟ้า

ครั้งที่ 18



จัดโดย - -

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหาสารคาม

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18

The 18th Conference of Electrical Engineering

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2538

สงวนลิขสิทธิ์ในประเทศไทยตาม พ.ร.บ.ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2521

โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

51 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กทม. 10530

โทร. 988-3655, 988-3666 โทรสาร 9883687

สารบัญแบบฉบับและวงเล็บ

น.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุมฟuzzy แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง

แบบ Hybrid-nested

Hybrid-nested Self-organizing Fuzzy Logic Controllers

ธิดาพร พิทักษ์พรพันธุ์ *

รศ. ดร. จงกล งามวิริทธิ์ **

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็น การนำเสนอตัวควบคุมฟuzzy แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเองแบบ hybrid-nested โดยการปรับปรุงจากโครงสร้างของตัวควบคุมฟuzzy แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง [1] สำหรับควบคุมกระบวนการจริง ในการออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอ จะทำการแบ่งระดับการควบคุมออกเป็นระดับหยาบ และ ระดับละเอียด เพื่อเพิ่มความแม่นยำของเอาต์พุตตอบสนองอ้างอิง และเปลี่ยนโครงสร้างของตัวควบคุมฟuzzy แบบ PDD² มาเป็นแบบ PD เพื่อลดเวลาและหน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผล และทำการแก้ไขค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว โดยการเพิ่มบล็อกของค่าเกณฑ์เท่ากับ ส่วนกลับของค่าเกณฑ์สภาวะคงตัวของกระบวนการ ต่อขนานกับตัวควบคุมฟuzzy แบบ PD ในส่วนของตัวควบคุมระดับละเอียด ในการทดลอง จะใช้ตัวควบคุมซึ่งสร้างด้วยซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมกระบวนการในห้องทดลอง 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมความดันของอากาศ และ กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมที่นำเสนอใหม่นี้มีสมรรถนะดีขึ้น ทั้งในด้านผลตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิง และผลตอบสนองต่อการรบกวนจากภายนอก

Abstract

This paper proposes a hybrid-nested self-organizing fuzzy logic controller, developed from the self-organizing fuzzy logic controller [1] for controlling the real plants. In this paper, the hybrid controller approach is used to increase the accuracy around the set point. The PDD fuzzy controller is changed into a PD fuzzy controller to decrease the processing time and memory requirements. The inverse proportion of the steady state gain of the process is included in parallel with a PD fuzzy controller in the fine control to correct the steady

state-error. In the experiment, the controller implemented by software on a digital computer is used on-line to control two laboratory processes, level control process and pressure control process. The results show that the performance of this scheme improves considerably, in term of set-point and load disturbance response.

1. บทนำ

แนวความคิดในการสร้างตัวควบคุมฟuzzy แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง ถูกริเริ่มและพัฒนาโดยคณะของ Professor E.H. Mamdani แห่ง London University [2] มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1977 โดยมีจุดมุ่งหมายหลัก คือ การหาวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม สำหรับควบคุมกระบวนการที่ไม่มีความรู้ หรือมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการน้อยมาก

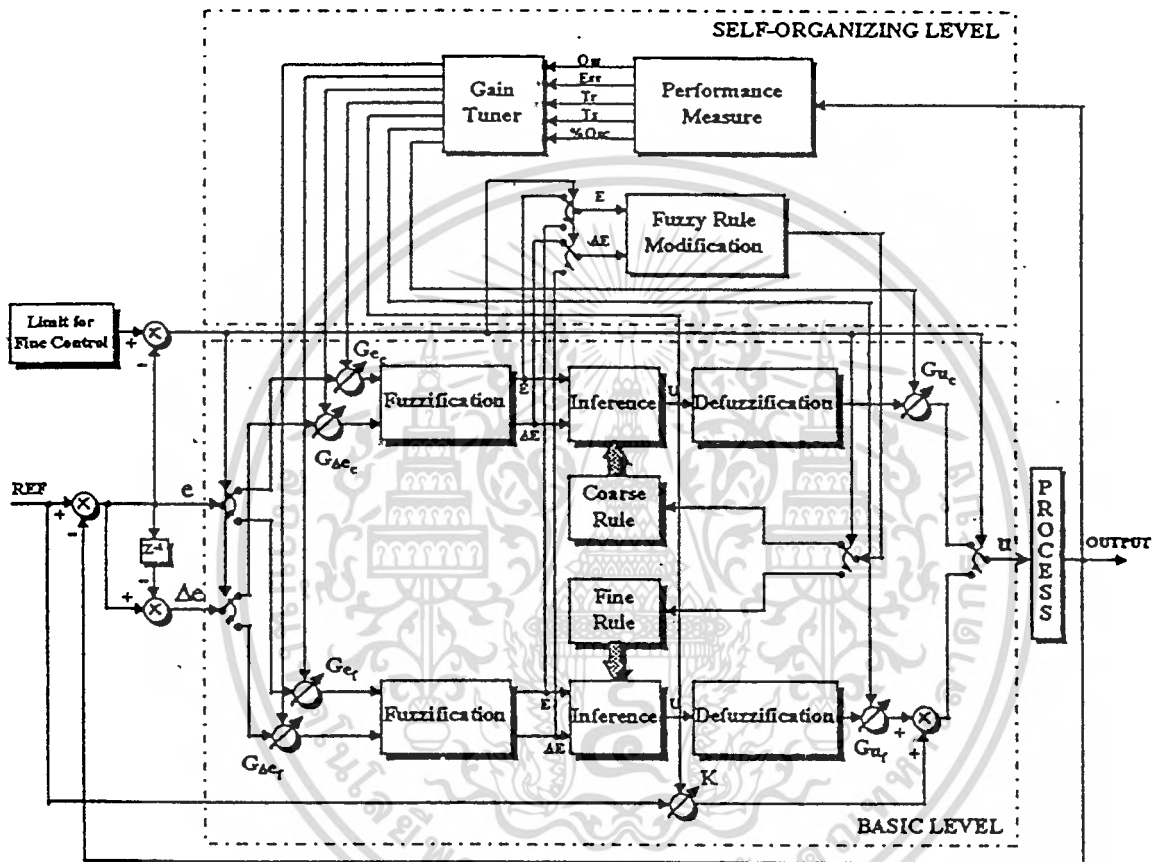
ในบทความเรื่อง “ตัวควบคุมฟuzzy แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง” [1] ผู้เขียนได้นำเสนอการออกแบบและสร้างตัวควบคุมฟuzzy แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง ซึ่งมีโครงสร้างแบบ PDD² โดยใช้การควอนไทซ์แบบลอการิทึม จากการทดลองโดยการ Simulation พบว่า ผลการควบคุมเป็นที่น่าพอใจ แต่เมื่อทำการทดลอง โดยใช้ความถี่ในการสุ่มสัญญาณน้อยลง พบว่าผลตอบสนองของระบบ จะมีการแกว่งรอบสัญญาณอ้างอิง จึงทำการปรับปรุงโครงสร้างของตัวควบคุม โดยใช้หลักการของตัวควบคุมแบบ hybrid-nested โดยแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ระดับ คือระดับหยาบและระดับละเอียด และทำการควอนไทซ์แต่ละระดับแบบเชิงเส้น เนื่องจากโครงสร้างของตัวควบคุมแบบ PDD² มี 3 อินพุต 1 เอาต์พุต เมื่อกำหนดจำนวนเทอมของตัวแปรอินพุตเท่ากับ 9 เทอม จะมีจำนวนกฎที่เป็นไปได้ทั้งหมด $9^3 = 729$ กฎ และเมื่อแบ่งการควบคุมเป็น 2 ระดับ จำนวนกฎจะเพิ่มเป็น $729 \times 2 = 1458$ กฎ ทำให้ต้องใช้หน่วยความจำมาก และเมื่อออกแบบให้การกระจายของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมของตัวแปรอินพุตให้มีการซ้อนกัน 2 เซต ทำให้การประมวลผลแต่ละครั้ง จะต้องทำการ Inference กฎการควบคุม $2^3 = 8$ กฎ ดังนั้นจึงเปลี่ยนโครงสร้างของตัวควบคุมฟuzzy เป็นแบบ PD ทำให้จำนวนกฎทั้งหมดลดลง

* นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

** อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เหลือ $2 \times 9^2 = 162$ กฎ และจำนวนกฎที่ต้องทำการ Inference ในการประมวลผลแต่ละครั้งลดลงเหลือ $2^2 = 4$ กฎ ทำให้เวลา และหน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผลลดลง แต่ในการใช้โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีแบบ PD ควบคุมกระบวนการอันดับสูง จะเกิดค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว จึงทำการแก้ไขโดยเพิ่มบล็อกของค่าเกณฑ์เท่ากับส่วนกลับของค่าเกณฑ์สภาวะคงตัวของ

กระบวนการ ขนานกับตัวควบคุมฟัซซีแบบ PD ในส่วนของการควบคุมระดับละเอียด เป็นตัวควบคุมใหม่ที่นำเสนอในบทความนี้ คือตัวควบคุมฟัซซีแบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเองแบบ hybrid-nested (Hybrid-Nested Self-Organizing Fuzzy Logic Controller : HNSOFLC) โดยมีโครงสร้างของตัวควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงโครงสร้างของตัวควบคุม HNSOFLC

2. การออกแบบ HNSOFLC ที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1 การกำหนดช่วงของการควบคุมระดับหยาบและละเอียด กำหนดให้ เมื่อค่าผิดพลาด (e) มากกว่า 10% ของสัญญาณอ้างอิง ให้ใช้การควบคุมระดับหยาบ และ เมื่อค่าผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% ของสัญญาณอ้างอิง ให้ใช้การควบคุมระดับละเอียด

2.2 การ Fuzzification

- 2.2.1 ทำการนอมอลไลซ์ตัวแปร E และ ΔE ให้อยู่ในช่วง ±1
- 2.2.2 ทำการควอนไทซ์แบบเชิงเส้น โดยใช้ระดับการควอนไทซ์ (q) = 12 ดังสมการที่ (1)

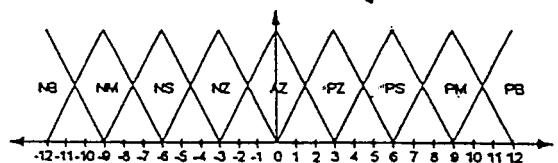
$$Q = \text{ceil}(G_x \cdot x) \quad (1)$$

ถ้า (Q > 12) แล้ว Q = 12

ถ้า (Q < -12) แล้ว Q = -12

โดยที่ Q คือค่าที่ได้จากการควอนไทซ์
x คือค่าตัวแปรที่ต้องการควอนไทซ์
ceil คือฟังก์ชันในการปัดเศษขึ้น

2.2.3 ทำการนิยามฟัซซีเซต และ กำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร E และ ΔE ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร E และ ΔE

2.3 การ Inference

เลือกใช้วิธี Max-min Procedure ดังสมการที่ (2)

$$\mu_U(u) = \bigvee_j (\mu_{E_j} \wedge \mu_{\Delta E_j}) \quad (2)$$

2.4 การ Defuzzification

เลือกใช้วิธี Centre of gravity ดังสมการที่ (3)

$$\text{cog}(U) = \frac{\sum_{i=1}^N u_i \mu_U(u_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_U(u_i)} \quad (3)$$

เมื่อ N คือระดับการคววนโดซ์ของตัวแปรเอาต์พุต(U)

2.5 รูปแบบและการปรับแต่งกฎการควบคุม

2.5.1 กำหนดรูปแบบของกฎการควบคุมดังนี้

IF (E is E_j) AND (ΔE is ΔE_j) THEN U is U_j

โดยที่ $E_j, \Delta E_j, U_j$ คือพีชี่เซตของ E, $\Delta E, U$ ตามลำดับ

2.5.2 ทำการวัดสมรรถนะจากฐานข้อมูลระยะสั้น ในรูป E, ΔE ดังสมการที่ (4)

$$PM(nT) = (G_E * E(nT)) + (G_{\Delta E} * \Delta E(nT)) \quad (4)$$

ถ้า $(PM(nT) > 12)$ แล้ว $PM(nT) = 12$

ถ้า $(PM(nT) < -12)$ แล้ว $PM(nT) = -12$

2.5.3 ทำการปรับแต่งกฎการควบคุม ดังสมการที่ (5)

$$R((n+1)T) = (R(nT) \wedge R'(nT-mT)) \cup R^*(nT-mT) \quad (5)$$

- โดยที่ nT คือ เวลาที่สถานะปัจจุบัน
- mT คือ เวลาไร้ผลตอบสนองของกระบวนการ
- $R(nT)$ คือ กฎที่ใช้ในการควบคุมที่เวลา nT
- $R((n+1)T)$ คือ กฎที่ทำการปรับแต่งแล้ว
- $R'(nT-mT)$ คือ กฎที่ใช้ในการควบคุมที่เวลา nT-mT มีรูปแบบดังสมการที่ (6)
- $R^*(nT-mT)$ คือ กฎที่ปรับปรุงส่วนผลของ $R'(nT-mT)$ ตามค่า PM ที่สถานะปัจจุบัน

$$R'(nT-mT) : \text{IF } \{ (E \text{ is } E_j) \text{ AND } (\Delta E \text{ is } \Delta E_j) \} \text{ THEN } U \text{ is } U_j \quad (6)$$

การหา $R^*(nT-mT)$ ที่ปรับปรุงจากกฎ $R'(nT-mT)$ แสดงในสมการที่ (7) - (8)

$$R^*(nT-mT) : \text{IF } \{ (E \text{ is } E_j) \text{ AND } (\Delta E \text{ is } \Delta E_j) \} \text{ THEN } U \text{ is } NU_j \quad (7)$$

$$\text{โดยที่ } NU_j = U_j + (PM(nT) \times \mu_{U_j}(u)) \quad (8)$$

2.6 การกำหนดค่าเริ่มต้นและปรับแต่งค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม

2.6.1 กำหนดค่าเกณฑ์เริ่มต้น ดังสมการที่ (9)-(15)

$$G_{E_c} = q / E_{c \max} \quad (9)$$

$$G_{\Delta E_c} = \alpha q / \Delta E_{c \max} \quad (10)$$

$$G_{U_c} = P_{i \max} / C_{o \max} \quad (11)$$

$$G_{E_f} = q / E_{f \max} \quad (12)$$

$$G_{\Delta E_f} = \beta q / \Delta E_{f \max} \quad (13)$$

$$G_{U_f} = \delta P_{i \max} / C_{o \max} \quad (14)$$

$$G_x = \gamma / K_{ss} \quad (15)$$

- โดยที่ q คือ ระดับการคววนโดซ์สูงสุด
- $\alpha, \beta, \delta, \gamma$ คือ ค่าพารามิเตอร์ในการปรับแต่งค่าเกณฑ์
- K_{ss} คือ ค่าเกณฑ์สถานะคงตัวของกระบวนการ
- $P_{i \max}$ คือ ค่าอินพุตสูงสุดของกระบวนการ
- $C_{o \max}$ คือ ค่าเอาต์พุตสูงสุดของตัวควบคุม

- $E_{c \max}, \Delta E_{c \max}$ คือ ค่า E และ ΔE สูงสุดที่ยอมรับได้ในการควบคุมระดับหยาบ
- $E_{f \max}, \Delta E_{f \max}$ คือ ค่า E และ ΔE สูงสุดที่ยอมรับได้ในการควบคุมระดับละเอียด

กำหนดค่าเกณฑ์เริ่มต้นโดยให้ $q = 12, \alpha, \beta, \delta, \gamma = 1, E_{c \max} = 0.1, E_{f \max} = 0.01, \Delta E_{c \max} = 0.1, \Delta E_{f \max} = 0.01, P_{i \max} = 4095$ และ $C_{o \max} = 20$

2.6.2 การปรับแต่งค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม โดยใช้ข้อมูลการวัดสมรรถนะจากฐานข้อมูลระยะยาว ในรูปเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชอต (Oss) ค่าผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Ess) เวลาในการตอบสนองสัญญาณ 10-90% (Tr) เวลาในการเข้าสู่สถานะคงตัว (Ts) และ เปอร์เซนต์การแกว่งรอบสัญญาณอ้างอิง (%Osc) ดังนี้

- การแก้ไขสมรรถนะที่สภาวะทรานเซียนต์ โดยการปรับค่าเกณฑ์ $G_{\Delta E_c}$ จะใช้หลักการของพีชี่ในการวัดสมรรถนะที่สภาวะทรานเซียนต์ จากค่า Oss และ Tr ดังนี้

(1) ทำการคววนโดซ์ ค่า Oss และ Tr ดังสมการที่ (16)-(17)

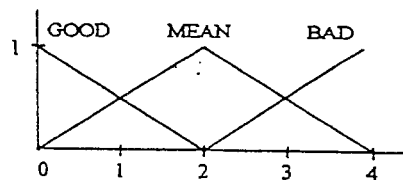
$$\text{Quantize}(Oss) = \text{ceil}((Oss-5) / 2) \quad (16)$$

ถ้า $\text{Quantize}(Oss) > 4$ แล้ว $\text{Quantize}(Oss) = 4$

$$\text{Quantize}(Tr) = \text{ceil}((Tr/Tr_o) * 5) \quad (17)$$

ถ้า $\text{Quantize}(Tr) > 4$ แล้ว $\text{Quantize}(Tr) = 4$

โดยที่ Tr_o คือ ค่า Tr ของระบบเปิดของกระบวนการ (2) กำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Oss และ Tr ดังนี้



รูปที่ 3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร Oss และ Tr

(3) กำหนดกฎสำหรับวัดสมรรถนะที่สภาวะทรานเซียนท์ ดังนี้

ตารางที่ 1 - กฎการวัดสมรรถนะที่สภาวะทรานเซียนท์

Oss \ Tr	BAD	MEAN	GOOD
BAD	0	1	3
MEAN	-1	0	2
GOOD	-2	-1	0

(4) กำหนดกฎการปรับแต่งค่าเกน $G_{\Delta EC}$ ดังสมการที่ (18)

$$G_{\Delta EC}(n+1) = G_{\Delta EC}(n) \cdot 2^{(y/3)} \quad (18)$$

โดยที่ y คือสมรรถนะที่สภาวะทรานเซียนท์ที่วัดจากกฎพีซีซี

- การแก้ไขสมรรถนะที่สภาวะคงตัว (Ess) โดยการปรับค่าเกน G_K กำหนดกฎการปรับแต่งดังสมการที่ (19)

$$\text{If } ((Ess / REF) > 1\%)$$

$$\text{Then } G_K(n+1) = G_K(n) \cdot (1 + (Ess/REF)) \quad (19)$$

- การแก้ไขสมรรถนะที่สภาวะคงตัว (%Osc) โดยการปรับค่าเกน G_{U_r} กำหนดกฎการปรับแต่งดังสมการที่ (20)

$$\text{If } (\%Osc > 2\%)$$

$$\text{Then } G_{U_r}(n+1) = G_{U_r}(n) \cdot (1 - \%Osc/100) \quad (20)$$

- การแก้ไขสมรรถนะที่สภาวะคงตัว (T_s) โดยการปรับค่าเกน $G_{\Delta E_r}$ กำหนดกฎการปรับแต่งดังสมการที่ (21)

$$\text{If } (T_s > 2 \cdot Tr)$$

$$\text{Then } G_{\Delta E_r}(n+1) = G_{\Delta E_r}(n) \cdot (1 + 0.2T_s/Tr) \quad (21)$$

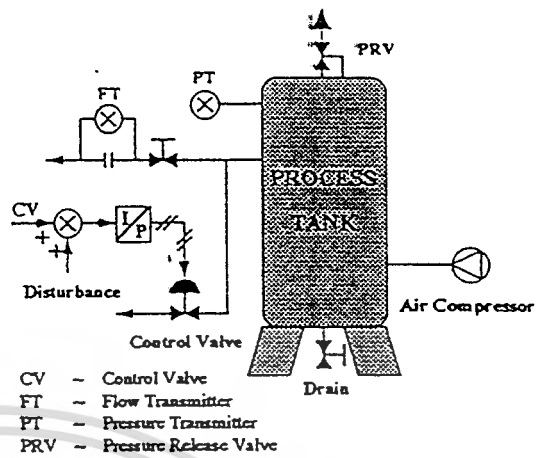
3. ผลการทดลอง

ทำการทดลอง โดยใช้ตัวควบคุม HNSOFLC ซึ่งสร้างด้วยซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ (CPU 486DX2-66 RAM 8 MB) ควบคุมกระบวนการในห้องทดลอง เปรียบเทียบกับการใช้ตัวควบคุม PID (หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้วิธีของ Ziegler-Nichols และทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้อีกครั้ง)

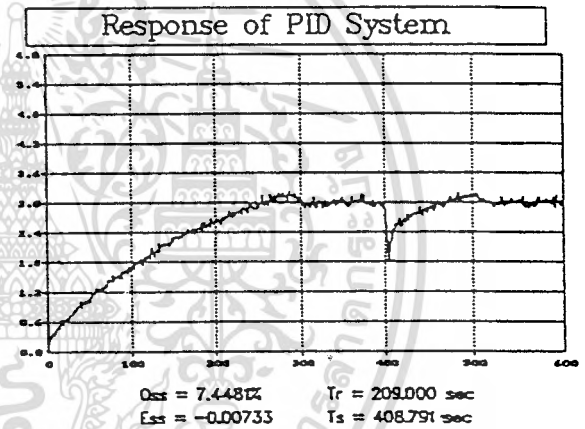
ตอนที่ 1 การควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ

ทำการทดลอง โดยใช้กระบวนการในรูปที่ 4 กำหนดให้สัญญาณอ้างอิงเท่ากับความดันของอากาศ 3 kg/cm^2 และทำการป้อนสัญญาณรบกวนจากภายนอก โดยใช้ซอฟต์แวร์ ที่เวลา $t = 400$ วินาที

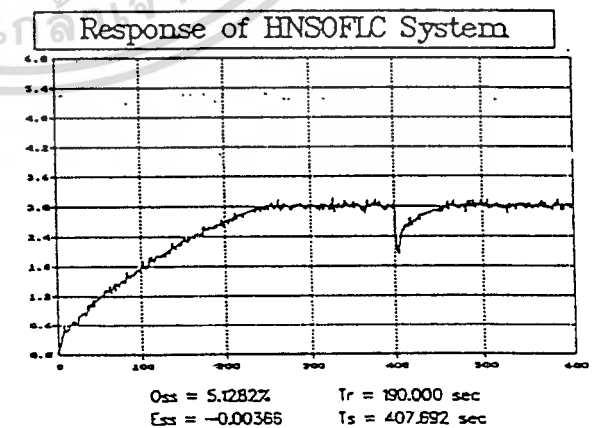
ผลการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุม PID และ HNSOFLC แสดงในรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 4 การควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ

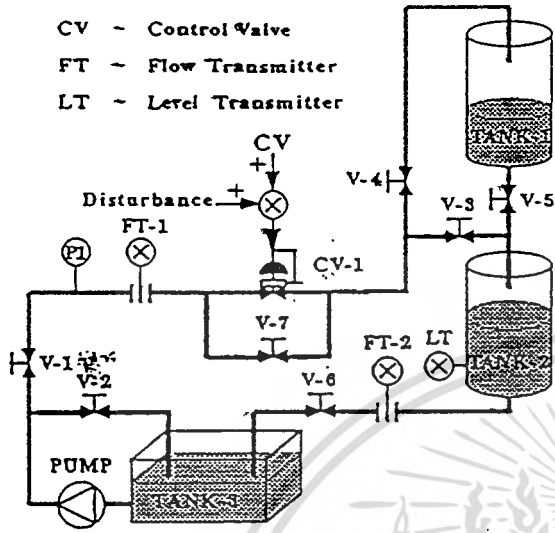


รูปที่ 5 ผลตอบสนองของระบบควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ โดยใช้ตัวควบคุม PID



รูปที่ 6 ผลตอบสนองของระบบควบคุมความดันของอากาศในถังกระบวนการ โดยใช้ตัวควบคุม HNSOFLC

ตอนที่ 2 การควบคุมระดับของน้ำในถัง



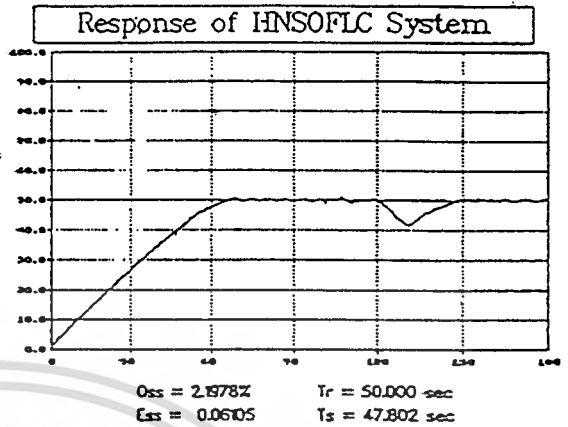
รูปที่ 7 การควบคุมระดับของน้ำ

2.1 กรณีฉิ่งเดียว (กระบวนการอันดับหนึ่ง)

- ทำการทดลอง โดยใช้กระบวนการในรูปที่ 7
- เปิดวาล์ว V-1, V-3, V-6 100%
- เปิดวาล์ว V-4, V-5, V-7 0% (ปิดวาล์ว)
- เปิดวาล์ว V-2 ให้แรงดันที่ $P_1 = 2 \text{ kg/cm}^2$

กำหนดให้สัญญาณอ้างอิงเท่ากับ ความสูงของน้ำ 40 เซนติเมตร และป้อนสัญญาณรบกวนจากภายนอก โดยใช้ซอฟต์แวร์ ที่เวลา $t = 120$ วินาที

ผลการควบคุม โดยใช้ตัวควบคุม PID และ HNSOFLC แสดงในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ



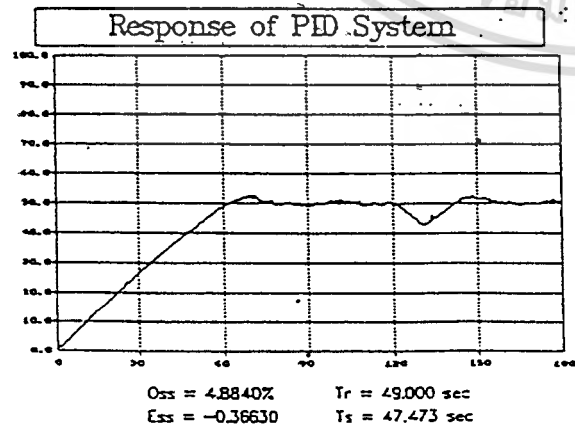
รูปที่ 9 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกรณีฉิ่งเดียว โดยใช้ตัวควบคุม HNSOFLC

2.1 กรณีสองฉิ่ง (กระบวนการอันดับสอง)

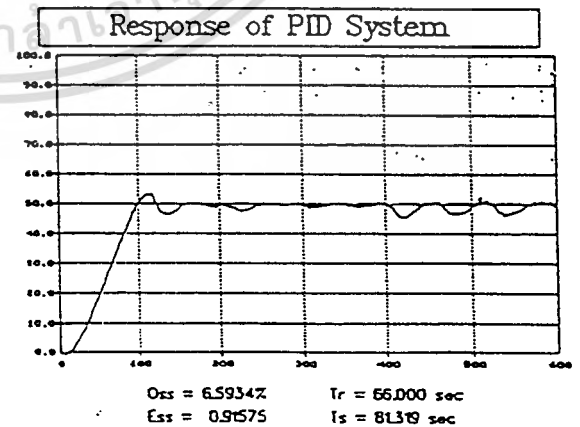
- ทำการทดลอง โดยใช้กระบวนการในรูปที่ 7
- เปิดวาล์ว V-1, V-4, V-5, V-6 100%
- เปิดวาล์ว V-3, V-7 0% (ปิดวาล์ว)
- เปิดวาล์ว V-2 ให้แรงดันที่ $P_1 = 2 \text{ kg/cm}^2$

กำหนดให้สัญญาณอ้างอิงเท่ากับ ความสูงของน้ำ 40 เซนติเมตร และป้อนสัญญาณรบกวนจากภายนอก โดยใช้ซอฟต์แวร์ ที่เวลา $t = 400$ วินาที

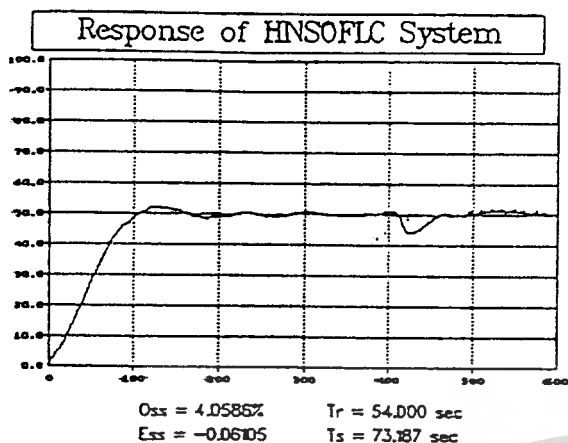
ผลการควบคุม โดยใช้ตัวควบคุม PID และ HNSOFLC แสดงในรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ



รูปที่ 8 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกรณีฉิ่งเดียว โดยใช้ตัวควบคุม PID



รูปที่ 10 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกรณี 2 ฉิ่ง โดยใช้ตัวควบคุม PID



รูปที่ 11 ผลตอบสนองของระบบควบคุม ระดับน้ำในถัง
กรณี 2 ดึง โดยใช้ตัวควบคุม HNSOFLC

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีที่นำเสนอนี้ควบคุมกระบวนการในห้องทดลอง และเปรียบเทียบกับการใช้ตัวควบคุม PID พบว่าสมรรถนะของระบบควบคุมฟัซซีดีกว่า PID ทั้งในด้านผลตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิง และผลตอบสนองต่อการรบกวนจากภายนอก โดยทำการพิจารณาผลการทดลองแต่ละกรณี ดังนี้

ในกระบวนการควบคุมความดันของอากาศในถัง พบว่าผลตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิงของระบบควบคุมฟัซซีดีกว่า PID ทั้งที่สภาวะทรานเซียนต์ และ ที่สภาวะคงตัว คือ มีการตอบสนองเร็วกว่า (ดูจากเวลา T_r และ T_s น้อยกว่า) และ ไม่มีโอเวอร์ชูต (ค่า O_{ss} ที่แสดงในกราฟ เกิดจากสัญญาณรบกวน) และ มีการแกว่งของผลตอบสนองที่สภาวะคงตัวน้อยกว่า ในการตอบสนองต่อการรบกวนจากภายนอก (ที่เวลา $t = 400$ วินาที ในกราฟ) ผลตอบสนองของระบบควบคุมฟัซซีดีกว่า คือ ฐ่เข้าเร็วกว่า และ ไม่เกิดโอเวอร์ชูต

ในกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง กรณีดังกล่าว พบว่าผลตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิงของระบบควบคุมฟัซซีดีกว่า PID เล็กน้อย คือ ไม่มีโอเวอร์ชูต และ มีการแกว่งของผลตอบสนองที่สภาวะคงตัวน้อยกว่า แต่มีการตอบสนองช้ากว่าเล็กน้อย (ดูจากค่าเวลา T_r และ T_s) และในการตอบสนองต่อการรบกวนจากภายนอก (ที่เวลา $t = 120$ วินาที ในกราฟ) ผลตอบสนองของระบบควบคุมฟัซซีฐ่เข้าช้ากว่า แต่ดีกว่าเนื่องจากไม่เกิดโอเวอร์ชูต

ในกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง กรณี 2 ดึง พบว่าผลตอบสนองของระบบควบคุมฟัซซีดีกว่า PID ในทุก ๆ ด้าน คือ มีการตอบสนองเร็วกว่า (เวลา T_r และ T_s น้อยกว่า) มีโอเวอร์ชูตต่ำกว่า และมีการแกว่งของผลตอบสนองที่สภาวะคงตัวน้อยกว่า นอกจากนี้ในการตอบสนองต่อการรบกวนจากภายนอก

(ที่เวลา $t = 400$ วินาที ในกราฟ) ผลตอบสนองจะฐ่เข้าเร็วกว่า และมีการแกว่งของผลตอบสนองน้อยกว่า

นอกจากผลการทดลอง ซึ่งยืนยันถึงสมรรถนะที่ดีขึ้นของตัวควบคุมที่นำเสนอแล้ว ข้อดีอีกประการหนึ่งของตัวควบคุมนี้คือ ความสามารถของตัวควบคุม ในการสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง จึงสามารถนำตัวควบคุมนี้ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการอื่น ๆ หรือ กระบวนการเดิมที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยตนเอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] จิตาพร พิทักษ์พรพันธุ์, จงกล จามวิวิทย์, Noriyuki Komine และ Michihiko Iida, "ตัวควบคุมฟัซซีแบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง" วิศวกรรมศาสตร์ ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 เดือน มิถุนายน 2538 หน้า 42-48
- [2] E.H. Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 26, pp. 1182-1191, 1977.
- [3] Y.F. Li and C.C. Lau, "Development of fuzzy algorithms for servo systems," *IEEE Control Systems Mag.*, pp. 65-71, 1989.
- [4] D.P. Kwok, D. Tam, C.K. Li and P. Wang, "Linguistic PID Controllers," *Proc. 11th IFAC World Congress, Tallin, USSR*, pp. 192-197, 1990.
- [5] D.P. Kwok, D. Tam, and C.K. Li, "Analysis and Design of Fuzzy PID Control Systems," *Proc. IEE 'Control 91' conference, Heriot Watt Univ., Edinburgh*, 1991.
- [6] C.J. Harris, C.J. Moore & M. Brown, "Intelligent Control : Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets," *World Scientific Series in Robotics and Automated Systems*, vol 6, pp. 90-253, 1993.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิจัย เพื่อนำเสนอบทความนี้ ผู้นำเสนอบทความได้รับทุนสนับสนุนการศึกษา โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนา สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจาก บริษัท สยามโตโยต้า อุตสาหกรรม จำกัด จึงเรียนมา เพื่อขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ประวัติผู้เขียน

นางสาว ธิดาพร พิทักษ์พรพันธุ์ เกิดเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2515 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2535 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2536 มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับ นอกจากงานวิทยานิพนธ์ จำนวน 3 เรื่อง ได้แก่ เรื่องผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ ตัวควบคุมฟัซซี่แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง และตัวควบคุมฟัซซี่แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเองแบบ Hybrid-nested ประสิทธิภาพในการทำงาน เคยเป็นอาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เมื่อปี พ.ศ. 2536-2537 ปัจจุบันเป็นอาจารย์พิเศษ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง