บทที่ 6
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลตอบของการควบคุมที่ดีในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ตัวควบคุมจะพยายามรักษาให้ค่าตัวแปรกระบวนการมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายอยู่เสมอ ในกรณีที่เกิดการรบกวนต่อระบบหรือกระบวนการเกิดขึ้น หรือมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจะทำให้ตัวแปรปรับของกระบวนการ มีค่าต่างจากค่าเป้าหมายไปขณะหนึ่ง ตัวควบคุมจะพยายามควบคุมให้ตัวแปรปรับกระบวนการมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายนี้ ในที่สุด ลักษณะการนำค่าตัวแปรปรับของกระบวนการให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายจะแตกต่างกันตามคุณสมบัติของระบบควบคุม บางระบบควบคุมอาจควบคุมให้ตัวแปรกระบวนการส่งเข้าหาค่าเป้าหมายได้เร็ว แต่บางระบบอาจทำได้ดีกว่า เราสามารถทดสอบความสามารถของระบบควบคุมนี้โดยดูที่ผลตอบของการควบคุม

เมื่อพิจารณาผลตอบของการควบคุมชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ จึงกล่าวได้ว่าระบบการควบคุมที่ดี จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- มีเสถียรภาพ ไม่เกิดการแกว่ง เมื่อถูกกระตุ้น
- ตอบรับการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย หรือ สิ่งรบกวนได้รวดเร็ว
- ไม่เกิดออฟเซ็ท

ความยากง่ายในการควบคุมของกระบวนการคือขนาดของ เดดไทม์ แต่กระบวนการดีเพลกมาเตอร์ที่หาแบบจำลองได้นี้ มีขนาดของเดดไทม์ ไม่มากจนเกินไปที่จะทำให้การออกแบบการควบคุมเกิดขึ้นได้ยาก

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี นั้น ถ้าเราลองแปรค่า สัดส่วน, อินทีกรัล และดีไรเวทีฟ จะมีผลต่อผลตอบของระบบควบคุมดังนี้

- ผลของ การกระทำการแบบสัดส่วน เมื่อลดค่า Kc เพิ่มขึ้นทำให้อัตราขยายสูงขึ้น จะมีผลทำให้ ออฟเซ็ทลดลง, คาบของการแกว่งเล็กลง, อัตราส่วนของช่วงกว้าง, การแกว่งเพิ่มขึ้นและ ระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

- ผลของการกระทำการแบบอินทีกรัล เมื่อทำให้ค่าสัดส่วนและ ดีไรเวทีฟคงที่แล้ว ลองลดค่าอินทีกรัลจะมีผลทำให้ออฟเซ็ทหายไป, ผลตอบจะเร็วขึ้น, อัตราส่วนของช่วงกว้างการแกว่งเพิ่มขึ้น ระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

- ผลของการกระทำการแบบดีไรเวทีฟ เมื่อให้ค่าสัดส่วน และ อินทีกรัลคงที่แล้วลองเพิ่มเวลาของดีไรเวทีฟให้เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ อัตราส่วนของช่วงกว้างการแกว่งลดลง, ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น, คาบของการแกว่งสั้นลง การที่เราปรับค่าดีไรเวทีฟให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากก็จริงแต่ก็มีจุดอ่อนตรงตอบรับต่อสัญญาณรบกวนได้ง่าย ทำให้ผลตอบของระบบไวเกินไปดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ระบบควบคุมที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติคือ มีเสถียรภาพ, ผลตอบเร็วและไม่เกิดออฟเซ็ท เกณฑ์ในการวัดที่ใช้ตัดสินคุณภาพการควบคุม มีดังนี้

ก. อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่ง (Damping ratio criterion)

ข. พื้นที่การควบคุมน้อยที่สุด (Minimum control area criterion)

ค. ความสูงของโอเวอร์ชูทแรก (Overshoot amplitude criterion)

ง. ผลตอบต่อสิ่งรบกวน (Minimum disturbance criterion)

จ. ผลตอบเชิงความถี่ของระบบ (Frequency response criterion)

ในการควบคุมกระบวนการเกณฑ์อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่ง (ข้อ ก.) เป็นที่นิยมใช้มากสุด เพราะสามารถวัดผลได้ง่าย การควบคุมที่ดีจะให้อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่ง 35 % หรือ 1 ต่อ 4

จากหลักเกณฑ์การพิจารณาตัวควบคุมที่ดีเราสามารถเปรียบเทียบแบบจำลองกระบวนการในแต่ละชนิดของตัวควบคุมได้ดังนี้

ตารางที่ 6.1 แสดลข้อมูลการเปรียบเทียบ เกณฑ์ในการวัดที่ใช้ตัดสินคุณภาพการควบคุมจากการทดลองของแบบจำลองกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบโหลดเปลี่ยน

ชนิดของตัวควบคุม	ความสูงของโอเวอร์ชูตแรก	ITAE	ออฟเซ็ต	เวลาที่การเปลี่ยนแปลงเข้สู่ค่าเป้าหมาย
พี	1.5	∞	1.45	60
พี อาย	1.5	2000	0.01	140
พี อาย ดี	1.25	980	0.0	130
มีโอเวอร์ชูตบ้าง	1.2	710	0.02	60
ไม่มีโอเวอร์ชูต	1.4	1150	0.0	120

ตารางที่ 6.2 แสดลข้อมูลการเปรียบเทียบ เกณฑ์ในการวัดที่ใช้ตัดสินคุณภาพการควบคุมจากการทดลองของแบบจำลองกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเซ็ตพอยท์เปลี่ยน

ชนิดของตัวควบคุม	ความสูงของโอเวอร์ชูตแรก	ITAE	ออฟเซ็ต	เวลาที่การเปลี่ยนแปลงเข้สู่ค่าเป้าหมาย
พี	2.5	∞	2.25	60
พี อาย	2.5	1800	0	150
พี อาย ดี	2.5	920	0.05	100
มีโอเวอร์ชูตบ้าง	2.3	780	0.0	60
ไม่มีโอเวอร์ชูต	2.3	1200	0.0	120

ตารางที่ 6.3 แสดลข้อมูลการเปรียบเทียบ เกณฑ์ในการวัดที่ใช้ตัดสินคุณภาพการควบคุมจากการทดลองของแบบจำลองกระบวนการอันดับสองที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบโหลดเปลี่ยน

ชนิดของตัวควบคุม	ความสูงของโอเวอร์ชูตแรก	ITAE	ออฟเซ็ต	เวลาที่การเปลี่ยนแปลงเข้สู่ค่าเป้าหมาย	ชนิดของแบบจำลอง
พี	1.8	∞	0.75	75	สมิธ
	2	∞	1	75	แฮริออท
พี อาย	2	3250	0.1	160	สมิธ
	1.8	2750	0.1	160	แฮริออท
พี อาย ดี	1.7	1600	0.1	125	สมิธ
	1.5	1300	0.1	125	แฮริออท
มีโอเวอร์ชูตบ้าง	1.3	1400	0.1	100	สมิธ
	1.4	1180	0.1	100	แฮริออท
ไม่มีโอเวอร์ชูต	1.5	2200	0	150	สมิธ
	1.6	1800	0	150	แฮริออท

ตารางที่ 6.4 แสดลข้อมูลการเปรียบเทียบ เกณฑ์ในการวัดที่ใช้ตัดสินคุณภาพการควบคุมจากการทดลองของแบบจำลองกระบวนการอันดับสองที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเซ็ตพอยท์เปลี่ยน

ชนิดของตัวควบคุม	ความสูงของโอเวอร์ชูตแรก	ITAE	ออฟเซ็ต	เวลาที่การเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ค่าเป้าหมาย	ชนิดของแบบจำลอง
พี	2.7	∞	2.5	70	สมิธ
	2.8	∞	2.7	70	แฮริออท
พี อาย	2.8	3000	0	150	สมิธ
	2.9	2600	0	150	แฮริออท
พี อาย ดี	2.6	1500	0.1	100	สมิธ
	2.6	1210	0.1	100	แฮริออท
มีโอเวอร์ชูตบ้าง	2.4	1400	0	100	สมิธ
	2.4	1100	0	100	แฮริออท
ไม่มีโอเวอร์ชูต	2.5	2250	0	150	สมิธ
	2.5	1800	0	150	แฮริออท

6.2 ปัญหาและความยากลำบากในการทำการทดลอง

สำหรับการทำการทดลองหาแบบจำลองกระบวนการโดยวิธีเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการในการเก็บข้อมูลจากดีเพลกมาเตอร์ สามารถทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับ (น้ำหล่อเย็นดีเพลกมาเตอร์) เป็นสเต็พแบบลดลงได้เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พเพิ่มขึ้นได้ เนื่องมาจาก ในขณะที่รอให้ระบบอยู่ในสถานะคงตัวอันแรก (ที่อุณหภูมิต่ำ) จะเกิดการเดือดกระแทกอย่างรุน

แรงในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (เกิด Water Hammer) และการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับแบบสเต็พไม่สามารถทำในช่วงการเปลี่ยนแปลงแคบได้ เนื่องจากจะไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองของระบบอย่างชัดเจน ในที่นี้เลือกช่วงการทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับแบบสเต็พในช่วงประมาณ

30-80% (ความแตกต่างของตัวแปรปรับประมาณ 50 %)

ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละครั้งสามารถทำการทดลองได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น เนื่องจากการรอให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแรกจะใช้เวลานาน และในการทำการผลิตบางครั้งไม่สามารถทำให้ระบบอยู่ในสถานะคงตัวได้ อีกประการหนึ่ง เมื่อทำการปรับตัวแปรปรับแบบสเต็พ ช่วงนี้จะมีการสูญเสียสาร B มาก จึงทำให้ไม่สามารถรอให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวที่สองได้นานเพียงพอ

ในการทำการทดลองจำนวนมาก (ประมาณ 20 - 30 ครั้ง) ได้กราฟการตอบสนองที่ดีและใกล้กันเพียง 8 ครั้งเท่านั้น ที่เหลืออื่นๆ กราฟมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในคนละทิศ คนละทาง สาเหตุอาจมาจากมีสิ่งรบกวนจากตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่สนใจขณะทำการทดลองอยู่

สำหรับการทำการทดลองหาแบบจำลองของโหลดโดยวิธีทางสถิติ วิธีการนี้ทำการทดลองค่อนข้างง่ายกว่าในการที่จะรอให้ระบบเข้สู่สถานะคงตัวแรก แต่ในการปรับการรบกวนขาเข้าของระบบ (คือเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าของดีเพลกมาเตอร์) ค่อนข้างยากเนื่องจากเป็นเพราะระบบของกระบวนการเอง ถ้าเราปรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาเข้าของดีเพลกมาเตอร์ มากเกินไปจะทำให้การตอบสนองของดีเพเพลกมาเตอร์ขาออกเกินสเกล เพราะว่าเมื่อปรับอุณหภูมิขาเข้าเพียงเล็กน้อยส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของดีเพลกมาเตอร์ขาออกมีขนาดใหญ่

6.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ส่งผลให้ได้ประสบการณ์ในการออกแบบระบบการควบคุม เพื่อจะนำไปใช้ควบคุมระบบจริง

1. สรุปวิธีการระบุกระบวนการได้ผลดังนี้

- หาแบบจำลองของโหลดโดยวิธีทางสถิติโดยการวัดตัวแปรขาเข้าและตัวแปรขาออก (อุณหภูมิของดีเฟลกมาเตอร์) และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณโดยวิธีทางสถิติตามที่กล่าวไว้แล้ว การใช้วิธีนี้มีความยืดหยุ่นกว่า และไม่จำกัดชนิดของการรบกวนตัวแปรปรับ และไม่ต้องรอให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวอันใหม่

- หาแบบจำลองของกระบวนการโดยวิธีเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ วิธีนี้ต้องใช้การรบกวนระบบโดยการปรับตัวแปรปรับ (น้ำเย็นขาเข้าดีเฟลกมาเตอร์) แบบสเต็พเท่านั้น และอินพุทแบบสเต็พจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด ในระหว่างการทดลองถ้ามีการรบกวนบ้างอาจทำให้ข้อมูลที่บันทึกใช้ไม่ได้ เมื่อทำการรบกวนระบบแล้วจะต้องบันทึกค่าการตอบสนองตั้งแต่สถานะคงตัวแรกจนเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สถานะคงตัวใหม่ แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบกระบวนการอันดับหนึ่งและกระบวนการอันดับสองที่มีองค์ประกอบของเดดไทม์อยู่ด้วย

2. ใช้แบบจำลองกระบวนการอันดับหนึ่งเป็นแบบจำลองของกระบวนการควบคุมดีเฟลกมาเตอร์ ตัวควบคุมที่ควรเลือกใช้มากที่สุดคือ ตัวควบคุม พี อาย ดี แบบมีโอเวอร์ชูตบ้าง เนื่องจากลักษณะของการตอบสนองทำให้เกิดโอเวอร์ชูตต่ำที่สุด, มีความผิดพลาดสะสมต่ำสุดและใช้เวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวควบคุมอื่นๆ ผลการตอบสนองดังกล่าวแสดงได้จากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรโหลดและค่าเป้าหมายแบบสเต็พ

3. เมื่อเราพิจารณาลักษณะของการตอบสนองโดยการกระทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับ (น้ำหล่อเย็นดีเฟลกมาเตอร์) และบันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงพบว่ามีการตอบสนองคล้ายกระบวนการอันดับสองมากกว่ากระบวนการอันดับหนึ่ง ดังนั้นแบบจำลองของกระบวนการที่ควรเลือกใช้คือ กระบวนการอันดับสองที่มีองค์ประกอบของเดดไทม์อยู่ด้วย

6.4 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง และสรุปการทดลองของวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สามารถนำไปกำหนดหรือชี้ได้ว่า เมื่อติดตั้งระบบการควบคุมอัตโนมัติจริง ๆ แล้ว จะสามารถประหยัดเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์และประหยัดเงินในการสูญเสียวัตถุดิบ A ได้อย่างไรบ้าง

จากสมการเคมีของการผลิต ผลิตภัณฑ์ดังที่กล่าว

$$A + B \longrightarrow C + D$$

สาร A มีจุดเดือด 132 °ซ

สาร B มีจุดเดือด 320 °ซ

สาร C มีจุดเดือด 100 °ซ

สาร D มีจุดเดือดมากกว่า 320 °ซ

1. ถ้าเราระบุแบบจำลองของกระบวนการ และเลือกใช้ตัวควบคุมได้ดีและถูกต้อง จะสามารถทำให้สาร C ระเหยและกลั่นตัวออกนอกระบบ (ถังปฏิกรณ์) ได้ดี จะส่งผลให้ปฏิกิริยาเดินไปข้างหน้าได้ดี ซึ่งผิดกับการปรับโดยวิธีการปรับแบบแมนวลจะต้องอาศัยความชำนาญของพนักงานเป็นเกณฑ์ ในบางครั้งพนักงานอาจปรับตัวแปรปรับ (น้ำหล่อเย็นดีเฟลกมาเตอร์) มากเกินไป จะส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลง

2. ในช่วงต่อไปถ้าเราทำการทดลองปรับตัวแปรปรับให้อุณหภูมิขาออกของดีเฟลกมาเตอร์อยู่ในค่าต่างๆ ในช่วง 95 - 110 °ซ และเก็บตัวอย่างของเหลวที่กลั่นได้จากดีเฟลกมาเตอร์มาวัดองค์ประกอบของการเจือปนของสาร A ในสาร C เราก็จะได้ความสัมพันธ์ของอัตราการสูญเสียของสาร A เทียบกับอุณหภูมิขาออกของไอสารที่ตำแหน่งยอดหอของดีเฟลกมาเตอร์ จากข้อมูลของการควบคุมการผลิตแบบแมนวลซึ่งบันทึกไว้ในรูปความสัมพันธ์ของอุณหภูมิขาออกกับเวลา และเรานำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มาแปลงเป็นองค์ประกอบของสาร A เมื่อนำมาเขียนกราฟ จะได้ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของสาร A กับเวลา จากข้อมูลดังกล่าวเราจะพบว่าคุณภาพของการควบคุมไม่ดี ข้อมูลมีการแกว่งมากทำให้ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างจากค่าเป้าหมายมาก แต่เมื่อเราใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติข้อมูลมีการแกว่งน้อยกว่าทำให้ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างจากค่าเป้าหมายน้อยกว่า เมื่อเรานำค่าเฉลี่ยจากจากการควบคุมแบบแมนวลมาลบออกด้วยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการควบคุมแบบอัตโนมัติ เราก็จะได้ความแตกต่างของปริมาณการใช้สาร A ที่ใช้ในการผลิตแต่ละครั้ง ซึ่งได้จากการติดตั้งเครื่องควบคุมแบบอัตโนมัติ จากการกระทำการดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบได้ว่าการควบคุมอัตโนมัติจะสามารถทำให้ประหยัดเงินในการเดินกระบวนการผลิตมากขึ้น