บทที่ 6

วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้เป็นการวิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบแบบฟัซซีที่ระบุได้ในแต่ละกรณีศึกษา และตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลเทียบกับตัวควบคุมพีไอ ตัวควบคุมแบบกำหนดเกนต่างๆ กัน และตัวควบคุมฟัซซีลอจิกในแบบงานวิจัยของนฤพนธ์ สุดท้ายเป็นการกล่าวถึงข้อเสนอแนะ

6.1 วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย

ผลการวิเคราะห์และสรุปผลในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 หัวข้อดังนี้

(ก) แบบจำลองฟัซซีในแต่ละกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการระบุหาแบบจำลองฟัซซีของระบบถังทรงกลม ซึ่งมีคุณลักษณ์ไม่เชิงเส้นโดยมีค่าเกนเปลี่ยนไปตามจุดปฏิบัติการ การระบุหาแบบจำลองกระทำโดยใช้ข้อมูลอินพุท-เอาท์พุทของกระบวนการ ร่วมกับวิธีการคลัสเตอริงและวิธีกำลังสองน้อยที่สุด แบบจำลองที่ระบุได้เป็นแบบจำลองฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno การทดสอบแบ่งเป็น 4 กรณีศึกษา ผลการระบุหาและการทดสอบแบบจำลองของแต่ละกรณีศึกษาสรุปได้ดังตารางที่ 6.1 การวิเคราะห์แบบจำลองฟัซซีที่ระบุได้ในแต่ละกรณีศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. พิจารณากรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เป็นการศึกษาลักษณะของข้อมูลอินพุท-เอาท์พุทที่มีผลต่อโครงสร้างและความถูกต้องของแบบจำลองฟัซซี โครงสร้างของแบบจำลองฟัซซีที่ระบุได้ประกอบด้วยจำนวนกฎฟัซซีเท่ากับ 9 กฎ และ 10 กฎ สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่ง

ประกอบด้วยจำนวนกฎฟัซซีเท่ากับ 9 กฎ และ 10 กฎ สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งใช้หลักการตัดสินโดยพิจารณาค่าเกณฑ์ S(c) นั้นคือเป็นจำนวนกฎที่ให้ค่าเกณฑ์ S(c) มีค่าต่ำสุด พบว่ากรณีศึกษาที่ 2 ให้แบบจำลองฟัซซีที่สามารถทำนายค่าเอาท์พุทของกระบวนการได้ดีกว่ากรณีศึกษาที่ 1 (พิจารณาจากค่า RMS) เมื่อพิจารณาดูจากรูปที่ 4.7 พบว่าแบบจำลองฟัซซีของกรณีศึกษาที่ 1 สามารถทำนายค่าเอาท์พุทได้ดีในบางช่วง แต่แบบจำลองของกรณีศึกษาที่ 2 ให้ผลการทำนายที่ดีกว่า (RMS มีค่าน้อยกว่า) ทั้งกรณีที่อินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นหรือแบบสุ่ม สรุปคือข้อมูลที่ใช้ในการระบุหาแบบจำลองฟัซซีควรเป็นข้อมูลที่ครอบคลุมทุกช่วงของปริภูมิที่ศึกษา ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลที่ใช้ในการระบุหาแบบจำลองฟัซซีของกรณีศึกษาที่ 2 เป็นข้อมูลในการศึกษากรณีศึกษาที่ 3 และ 4

2. สำหรับการศึกษาอิทธิพลของจำนวนกลุ่มที่ผลต่อสมรรถนะของแบบจำลองฟัซซี กระทำโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าของจำนวนกลุ่มเป็น 5, 10 และ 15 สำหรับกรณีศึกษาที่ 3, 2 และ 4 ตามลำดับ พบว่าค่า RMS มีค่าลดลงเมื่อจำนวนกลุ่มมากขึ้นเกือบทุกกรณีของการทดสอบ ยกเว้นการทดสอบแบบที่ 2 ของกรณีศึกษาที่ 2 และ 4 พบว่าค่า RMS มีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนกลุ่มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พิจารณาจากรูปที่ 4.26 พบว่าค่าความผิดพลาดมีค่ามากเมื่อทำการทดสอบที่ช่วงล่างของถังทรงกลม ดังนั้นจึงเลือกแบบจำลองที่ 2 ซึ่งมีจำนวนกฎเท่ากับ 10 กฎสำหรับใช้ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดล เนื่องจากมีจำนวนกฎน้อยกว่าของกรณีศึกษาที่ 4 และยังสามารถทำนายค่าได้เกือบทุกช่วงของการทดสอบ

3. อัลกอริธึมของการออกแบบจำลองฟัซซีจากข้อมูลอินพุท-เอาท์พุท โดยใช้วิธีการคลัสเตอริงที่เสนอในงานวิจัยนี้ สามารถระบุหาแบบจำลองของกระบวนได้ และให้แบบจำลองฟัซซีที่มีความถูกต้องและเหมาะสม

ตารางที่ 6.1 สรุปค่า RMS ของการทดสอบแบบจำลองฟัซซีในแต่ละกรณีศึกษา

การทดสอบ	กรณีศึกษา (IAE x 10^{-3})			
	1 (9 กฎ)	2 (10 กฎ)	3 (5 กฎ)	4 (15 กฎ)
1. อินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น	0.6148	0.0420	0.4873	0.0278
2. อินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลง	9.0000	0.2030	1.2000	0.3032
3. อินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม	0.9856	0.0662	0.9307	0.0939

(ข) ตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดล

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลสำหรับงานวิจัยนี้กระทำโดยใช้แบบจำลองฟัซซีที่ระบุหาได้จากกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ถูกต้องและเหมาะสม อัลกอริธึมของการออกแบบกระทำโดยการผกผันแบบจำลองฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno โครงสร้างของการควบคุมคล้ายกับการควบคุมแบบใช้โมเดลภายใน พารามิเตอร์ในการปรับจูนของการควบคุมแบบใช้โมเดลเป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองโดยวิธีลองผิดลองถูกเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ การทดสอบตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลทำโดยการเปรียบเทียบกับตัวควบคุม 3 ชนิดคือ ตัวควบคุมพีไอ ตัวควบคุมแบบกำหนดเกนต่างๆ กัน และตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบโดยใช้โครงสร้างในแบบงานวิจัยของนฤพนธ์ โดยทำการศึกษาผลการตอบสนองของกระบวนการต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเป้าหมายแบบขั้น การเปลี่ยนแปลงตัวรบกวนต่อการเปลี่ยนย่านปฏิบัติการ และเมื่อพารามิเตอร์ของกระบวนการมีค่าผิดพลาดไปจากเดิม ผลการทดสอบสรุปดังได้ดังตารางที่ 6.2-6.3 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลสามารถให้ผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเป้าหมายที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับตัวควบคุมเปรียบเทียบและมีความสามารถในการติดตาม (Tracking) เมื่อค่าเป้าหมายมีการเปลี่ยนแปลง พบว่าช่วงเวลาขาขึ้นมีค่าต่ำกว่าและช่วงเวลาของการเข้าสู่สมดุลมีค่าเร็วกว่าเช่นกัน โดยที่เกิดโอเวอร์ชูทน้อยมากและให้ค่าอินทีกรัลความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุด

2. ตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลสามารถเข้าสู่สมดุลได้เร็วที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน ซึ่งให้ค่าผลรวมของค่าอินทีกกรัลความผิดพลาดสมบูรณ์น้อยที่สุด รองลงมาคือตัวควบคุมแบบกำหนดเกนต่างๆ กัน ตัวควบคุมพีไอ และตัวควบคุมฟัซซีลอจิก (นฤพนธ์) ตามลำดับ สรุปได้ว่าตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลมีความทนทานต่อตัวรบกวนมากกว่าตัวควบคุมเปรียบเทียบ

3. ผลการทดสอบตัวคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลต่อการเปลี่ยนย่านการปฏิบัติการไปที่ย่านที่มีความไม่เชิงเส้นสูง พบว่าตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลยังคงให้ค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดน้อยที่สุด รองลงมาคือตัวควบคุมฟัซซีลอจิก (นฤพนธ์) ตัวควบคุมแบบกำหนดเกนต่างๆ กัน และตัวควบคุมพีไอตามลำดับ

4. ผลการทดสอบความทนทานเมื่อค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการผิดพลาดไปจากเดิม +30% และ-30% พบว่าตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลยังคงสามารถควบคุมระบบได้ และยังให้ค่าความผิดพลาดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวควบคุมพีไอ ตัวควบคุมแบบกำหนดค่าเกนต่าง ๆ กัน และตัวควบคุมฟัซซีลอจิก (นฤพนธ์)

5. เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลกับตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบโครงสร้างโดยนฤพนธ์ พบว่าตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลสามารถออกแบบได้ง่ายกว่าโดยใช้การผกผันแบบจำลองฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno ซึ่งมีจำนวนกฎฟัซซีของแบบ

จำลองฟัซซีที่ระบุหาได้มีจำนวนกฎเท่ากับ 10 กฎ ซึ่งให้จำนวนกฎที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบโดยนฤพนธ์ (57 กฎ) ดังนั้นจึงสามารถลดเวลาในการประมวลผลลงได้

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย ตัวแปรรบกวน และย่านปฏิบัติการ

ตัวควบคุม	ผลการทดสอบการควบคุม (IAE)			
	ค่าเป้าหมายเปลี่ยนที่จุดปฏิบัติการ50%	ย่านปฏิบัติการเปลี่ยนเป็นที่ระดับความสูง80%	ย่านปฏิบัติการเปลี่ยนเป็นที่ระดับความสูง30%	ตัวแปรรบกวนเปลี่ยนที่จุดปฏิบัติการ 50 %
พีไอ	53.2307	70.4699	50.6314	1.1359
แบบกำหนดเกนต่างๆ กัน	53.2307	65.6960	42.2838	1.1359
ฟัซซีลอจิก (นฤพนธ์)	41.5230	61.7824	32.2342	2.5646
ฟัซซีลอจิกแบบใช้โมเดล	30.0017	49.7215	22.0804	0.6360

ตารางที่ 6.3 เปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อพารามิเตอร์ของกระบวนการผิดพลาด

ตัวควบคุม	ผลการทดสอบการควบคุม (IAE)		
	-30%	0%	+30%
พีไอ	51.9471	53.2307	74.1713
แบบกำหนดเกนต่างๆ กัน	51.9471	53.2307	74.1713
ฟัซซีลอจิก (นฤพนธ์)	38.3894	41.5230	65.7187
ฟัซซีลอจิกแบบใช้โมเดล	27.6285	30.0017	54.5588

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมขั้นต่อไปของการระบุหาแบบจำลองฟัซซีด้วยข้อมูลอินพุท-เอาท์พุทคือ แบบจำลองฟัซซีที่ระบุได้นี้ไม่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซีเซตในส่วนเงื่อนไข ดังนั้นควรมีการประยุกต์ใช้วิธีการหรือเทคนิคการปรับค่าฟังก์ชันสมาชิกในส่วนเงื่อนไข เช่นอาจประยุกต์ใช้วิธีการออปติไมเซชันเพื่อปรับค่าละเอียดอีกครั้งหนึ่ง

2. อัลกอริธึมการระบุหาแบบจำลองฟัซซีที่เสนอในงานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ใช้กับระบบหลายตัวแปรอินพุทได้ แต่ควรทำการประยุกต์ใช้เทคนิคในการกำหนดตัวแปรในส่วนเงื่อนไขของกฎเพื่อช่วยลดจำนวนของตัวแปรที่เกินความจำเป็นและยังช่วยลดเวลาในการประมวลผลด้วย