บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 ผลการจำลองแบบจำลองของกระบวนการ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์ของการโพลิเมอร์แบบอีมัลชันในกลุ่มของอะคริริคอิมัลชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันเป็นแบบลูกโซ่หรือการรวมตัว กลไกของการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบฟรีแรดดิกัลและสามารถวิเคราะห์แบบจำลองกระบวนการได้ ในรูปของสมการอนุรักษ์มวลสารและสมการอนุรักษ์พลังงานทั้งของเครื่องปฏิกรณ์และของแจ็คเก็ตได้ โดยจากการจำลองในลูฟเปิดคือไม่มีระบบการควบคุม พบว่าเมื่อเริ่มการควบคุมจะมีการเริ่มป้อนโมโนเมอร์พร้อมกับการถ่ายเทความร้อนจากแจ็คเก็ตทันที ทำให้ไม่ตรงกับที่ต้องการคือให้เริ่มป้อนโมโนเมอร์เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อยู่ที่อุณหภูมิเซ็ตพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้ในการผลิตอาจเกิดปัญหาขึ้นได้เนื่องจากการที่โมโนเมอร์ถูกป้อนลงในเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งไม่ใช่อุณหภูมิที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ ส่งผลทำให้คุณสมบัติของโพลิเมอร์ที่ได้ไม่ตรงกับที่ต้องการ

กระบวนการผลิตโพลิเมอร์แบบอีมัลชันในกลุ่มของอะคริลิคอีมัลชัน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีจากการผลิตจริงกับผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีจากการจำลองกระบวนการ พบว่าผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีที่จำลองได้ใกล้เคียงกับผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีจากการผลิตจริง นั่นแสดงว่าแบบจำลองกระบวนการที่จำลองขึ้นใช้ในงานวิจัยนี้ถูกต้องและสามารถใช้ได้ โดยจากผลการตอบสนองจากการผลิตจริงพบว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ไม่สามารถควบคุมให้อยู่ในค่าเซ็ตพอยต์ที่ต้องการ กล่าวคือค่าอุณหภูมิไม่นิ่งมีการแกว่งตลอดเวลา

6.2 ผลการควบคุมแบบจีเอ็มซีและการประมาณค่าความร้อนออนไลน์

การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์ของการโพลิเมอร์แบบอีมัลชันในกลุ่มของอะคริริคอิมัลชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์ โดยใช้การควบคุมแบบจีเอ็มซี

ร่วมกับการประมาณค่าความร้อนออนไลน์ทั้งในกรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติและในกรณีที่สภาวะการดำเนินการผิดพลาด เช่น การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และอัตราการป้อนโมโนเมอร์ และได้ทำการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมแบบจีเอ็มซีเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอดี โดยสังเกตจากผลการตอบสนองของอุณหภูมิ ทั้งการโอเวอร์ชูตของอุณหภูมิ การเข้าสู่อุณหภูมิเซ็ตพอยต์ และค่าคลาดเคลื่อนทั้งค่าไอเออีและค่าไอเอสอี

การควบคุมแบบจีเอ็มซีร่วมกับการประมาณค่าความร้อนออนไลน์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีการเปลี่ยนแปลง จะมีการคำนวณค่าตัวแปรปรับคืออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในแจ็คเก็ต เพื่อใช้ควบคุมตัวแปรควบคุมคืออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้เข้าสู่ค่าเซ็ตพอยต์ที่ต้องการได้เป็นอย่างดี

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมแบบจีเอ็มซีกับการควบคุมแบบพีไอดีพบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้สมรรถนะของการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี ทั้งในกรณีที่การดำเนินการปกติและในกรณีที่การความผิดพลาด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ในกรณีที่การดำเนินการปกติ การควบคุมแบบจีเอ็มซีสามารถให้ผลการตอบสนองของอุณหภูมิได้เป็นอย่างดีและดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งสังเกตุจาก

- โอเวอร์ชูตของอุณหภูมิของการควบคุมแบบจีเอ็มซีน้อยกว่าการควบคุมแบบพีไอดีและลูฟเปิด
- ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่วัดได้จากผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีต่ำกว่าการควบคุมแบบพีไอดีและลูฟเปิด โดยค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบจีเอ็มซีในรูปของเปอร์เซนต์ได้ดังนี้

	%Dif (IAE)	%Dif (ISE)
Open Loop	47.69	51.68
PID Controller	1.65	0.148

- การควบคุมแบบจีเอ็มซีพบว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์จะลู่เข้าสู่ค่าเซ็ตพอยต์เร็วกว่าการควบคุมแบบพีไอดีและลูฟเปิด โดยเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเซ็ตพอยต์ได้ตามที่กำหนด คือประมาณ 20 นาที นั่นแสดงว่าค่า K_1 และ K_2 ที่ใช้สำหรับการจูนสำหรับการควบคุมแบบจีเอ็มซีถูกต้อง

- จากค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาและค่าความร้อนที่เกิดจากการประมาณค่าความร้อนออนไลน์มีค่าใกล้เคียงกันมาก นั่นแสดงว่าการประมาณค่าความร้อนออนไลน์สามารถใช้สำหรับการควบคุมแบบจีเอ็มซีในสภาวะการดำเนินการปกติได้

แต่ในกรณีที่สภาวะการดำเนินการมีความผิดพลาด เช่นการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน หรือทั้งสองตัวรวมกัน และการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์

กรณีมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีเช่นเดิม โดยสังเกตุจาก

- โอเวอร์ชูตของอุณหภูมิของการควบคุมแบบจีเอ็มซีน้อยกว่าการควบคุมแบบพีไอดี
- ค่าไอเออีที่ได้จากผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีต่ำกว่า
- การควบคุมแบบจีเอ็มซีพบว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์จะลู่เข้าสู่ค่าเซ็ตพอยต์เร็วกว่าการควบคุมแบบพีไอดี
- เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่าค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงด้วย กล่าวคือเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลงด้วย ในทางตรงกันข้าม เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้น แต่การประมาณค่าความร้อนออนไลน์ สามารถประมาณค่าความร้อนได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง นั่นแสดงว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยา การประมาณค่าความร้อนออนไลน์สามารถใช้งานได้เสมอ

กรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน การควบคุมแบบจีเอ็มซีให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีเช่นเดิม ส่วนสมรรถนะของตัวประมาณค่าความร้อนออนไลน์ที่ใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาพบว่า

- เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง ค่าความร้อนที่ประมาณได้จะเบี่ยงเบนจากค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจริงมาก นั่นแสดงว่าเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนแปลง การประมาณค่าความร้อนออนไลน์ไม่สามารถประมาณค่าความร้อนได้อย่างถูกต้อง

กรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์พบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีเช่นเดิม ส่วนสมรรถนะของตัวประมาณค่าความร้อนออนไลน์ที่ใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาพบว่า

- เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์ พบว่าค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงด้วย กล่าวคือเมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลงด้วย ในทางตรงกันข้าม เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้น แต่การประมาณค่าความร้อนออนไลน์ สามารถประมาณค่าความร้อนได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง นั่นแสดงว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

สรุป

- การควบคุมแบบจีเอ็มซีมีสมรรถนะที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี
- การประมาณค่าความร้อนออนไลน์สามารถประมาณค่าความร้อนได้ใกล้เคียงกับความร้อนที่เกิดขึ้น ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์ ส่วนในกรณีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดการเปลี่ยนแปลงการประมาณค่าความร้อนออนไลน์ไม่สามารถใช้งานได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. กระบวนการผลิตจริงไม่มีการวัดอุณหภูมิของน้ำในแจ็คเก็ต โดยมีการใช้วาล์วควบคุมเพื่อควบคุมการเปิด-ปิดระบบน้ำหล่อเย็น-น้ำร้อนเท่านั้น ดังนั้นในการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบจีเอ็มซีต้องมีการเพิ่มการอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในแจ็คเก็ต

2. กระบวนการผลิตจริง ในช่วงแรกที่มีการให้ความร้อนจะไม่มีการควบคุมเวลาในการให้ความร้อน โดยพบว่าเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนสูงมาก ควรควบคุมเวลาในการให้ความร้อนซึ่งการควบคุมแบบจีเอ็มซีสามารถควบคุมได้

3. ควรศึกษาการประมาณค่าความร้อนชนิดอื่น ๆ ที่เหมาะสมกับกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งการประมาณค่าความร้อนออนไลน์ไม่สามารถใช้งานได้

4. ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการโพลิเมอร์แบบอีมัลชันในกลุ่มของอะคริลิคอีมัลชันเฉพาะที่โมโนเมอร์เป็นเมทิลเมททาริเลตเท่านั้น ซึ่งในการผลิตบางครั้งจะเป็นโคโพลิเมอร์คืออาจประกอบด้วยเมทิลเมททาริเลตและนอร์มอล-บิวทิลอะคริเลต ดังนั้นควรมีการศึกษาในกรณีที่เป็นโคโพลิเมอร์เพิ่มเติม

5. ในการจำลองกระบวนการภายใต้การควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ซึ่งเป็นการสาธิตเท่านั้น ดังนั้นควรปรับปรุงให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมกระบวนการจริง