บทที่ 6

บทสรุป

การจำลองถังปฏิกรณ์เคมีแบบกะที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน

จากการศึกษาพฤติกรรมทางพลวัตของถังปฏิกรณ์เคมีแบบกะที่มีปฏิกิริยาเคมีชนิดคายความร้อนของ Pulley ที่ Cott และ Macchato(1989) ใช้ทดสอบระบบควบคุมเจเนริกโมเดลในการจำลองกระบวนการในระบบวงเปิด (ไม่มีระบบควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกริยา) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความร้อนในถังปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงในรูปเอ็กซ์โปเนนเชี่ยล ทำให้ความร้อนที่เกิดในถังปฏิกรณ์มีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เชิงเส้นสูง และจากการจำลองในระบบวงปิด (มีระบบควบคุมเจเนริกโมเดล) พบว่าการตั้งอุณหภูมิอ้างอิงในถังปฏิกรณ์ไว้ที่ 95 C และให้เกิดปฏิกิริยา 120 นาที จะทำให้สามารถผลิตสาร C ที่มีสาร D ปนอยู่น้อย แต่การควบคุมในสภาวะดังกล่าวต้องการระบบควบคุมที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังสูง จึงมีการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟและระบบควบคุมเจเนริกโมเดลที่ใช้แบบจำลองของกระบวนหาตัวแปรปรับสำหรับควบคุมพฤติกรรมเชิงพลวัตของกระบวนการ

การจำลองการประมาณค่าความร้อนในถังด้วยอัลกอริธึมของคาลมาน

การควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์แบบกะ ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์เป็นค่าตัวแปรที่สำคัญต่อการควบคุมอุณหภูมิที่ไม่สามารถวัดค่าได้ จึงมีความจำเป็นต้องประมาณค่าดังกล่าวโดยใช้ตัวกรองคาลมานและตัวกรองเอ็กซ์โปเนนเชี่ยล จากผลการประมาณค่าความร้อนที่เกิดในถังปฏิกิริยาพบว่าการลดค่าความแปรปรวนร่วมของตัวกรองคาลมานจะให้ค่าความแปรปรวนร่วมลดลงทุก ๆ ครั้งของการประมาณ ทำให้สามารถหาค่าเกนที่ทำให้การประมาณมีมีถูกต้องมากขึ้น ในขณะที่ตัวกรองเอ็กซ์โปเนนเชี่ยลจะประมาณค่าโดยใช้ฟังก์ชั่นเอ็กซ์โปเนนเชี่ยลของค่าความร้อน ณ เวลาที่ผ่านมา ทำให้ค่าความร้อนที่ประมาณได้ช้ากว่าค่าจริง อย่างไรก็ดีระบบประมาณค่าเอ็กซโปเนนเชี่ยลยังคงเป็นระบบประมาณค่าที่ง่ายและสามารถประมาณค่าได้รวดเร็วกว่าตัวกรองคาลมานที่ต้องทำการปรับค่าความแปรปรวน ซึ่งจะใช้เวลาในการประมาณนานกว่าแต่ให้ผลที่แม่นยำกว่า

การทดสอบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับประมาณค่าคาลมาน

การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟและระบบควบคุมเจเนริกโมเดลที่อาศัยแบบจำลองช่วยในการควบคุมพฤติกรรมเชิงพลวัตของอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์แบบกะที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน โดยมีตัวกรองคาลมานประมาณค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ จากการทดสอบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟเปรียบเทียบกับระบบควบคุมเจเนริกโมเดลพบว่า ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟใช้แบบจำลองในการหาค่าตัวแปรปรับล่วงหน้า 10 ค่า เพื่อให้อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์เข้าสู่ 95 C ทำให้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟจะกำหนดอุณหภูมิในถังแจ็คเก็ตเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์สูงกว่าอุณหภูมิที่กำหนดได้ราบรื่น (Smooth) ตลอดช่วงของการควบคุม 10 ครั้ง ในขณะที่อัลกอริธึมของระบบควบคุมเจเนริกโมเดลจะใช้แบบจำลองในการหาตัวแปรปรับ ณ เวลาควบคุมเพียงค่าเดียว อย่างไรก็ตามการที่ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟอาศัยเทคนิคออพติไมซ์ช่วยในการควบคุมทำให้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟทำงานช้ากว่าระบบควบคุมเจเนริกโมเดลที่มีอัลกอริธึมไม่ซับซ้อนและใช้เวลาน้อยกว่า

การทดสอบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟในกรณีที่ความผิดพลาดของแบบจำลอง

ความผิดพลาดที่ใช้ทดสอบระบบควบคุมเป็นความผิดพลาดที่ทำให้ความร้อนที่เกิดในถังปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าระดับปกติและมีผลทำให้ระบบควบคุมไม่สามารถควบคุมให้เข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ในช่วงที่เกิดปฏิกิริยา จากผลการทดสอบระบบควบคุมทั้งสองสามารถควบคุมกระบวนการในกรณีการเพิ่มขึ้นของมวลภายในถังปฏิกรณ์ อัตราการเกิดปฏิกิริยา และค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาได้สูง 20% 40% และ 30% ตามลำดับ และสามารถควบคุมในกรณีการลดลงของค่าการถ่ายเทความร้อนถึง 30 % เหตุที่ระบบควบคุมทั้งสองไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในถังเมื่อมวลรวมในระบบมากกว่า 20 % เป็นผลจากตัวกรองคาลมานประมาณค่าความร้อนได้น้อยกว่าความเป็นจริงทำให้ระบบควบคุมปรับอุณหภูมิในถังแจ็คเก็ตสูงกว่าที่ควรเป็น ในขณะที่กรณีการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ตัวกรองคาลมานประมาณค่าความร้อนได้สูงกว่าค่าจริงทำให้ระบบควบคุมปรับอุณหภูมิในถังแจ็คเก็ตต่ำกว่าที่ควรเป็นทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงกว่า 95 C ได้ และในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาจะพบว่าค่าตัวแปรทั้งสองมีผลต่อการประมาณของตัวกรองคาลมานเนื่องจากค่าตัวแปรทั้งสองมีผลต่อความร้อนที่เกิดในถังปฏิกรณ์ในแบบจำลองของตัวกรองคาลมานซึ่งกำหนดค่าความแปรปรวนในการประมาณไว้สูงทำให้ระบบประมาณยังสามารถประมาณได้แม้ค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลง

6.1 บทสรุป

1. ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟมีอัลกอริธึมของการออพติไมซ์ฟังก์ชั่นเป้าหมายภายใต้แบบจำลองของกระบวนการ เพื่อหาตัวแปรปรับที่เหมาะสมกับกระบวนการจริงล่วงหน้าจำนวน 10 ครั้ง โดยการปรับเปลี่ยนเมตริกซ์น้ำหนัก (P_k) ซึ่งการหาค่าเกนในการควบคุมล่วงหน้านี้จะทำให้ระบบควบคุมสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตที่รุนแรง และปรับทิศทางการควบคุมให้ค่าตัวแปรควบคุมเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ จากการทดสอบพบว่าระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมอุณหภูมิถังปฏิกรณ์แบบกะที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนได้ทั้งในกรณีปกติและเกิดความผิดพลาดของค่าคงที่ในกระบวนการเทียบเท่ากับระบบควบคุมเจเนริกโมเดล

2. ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟเป็นระบบที่อาศัยการทำออพติไมซ์ฟังก์ชั่นเป้าหมายทำให้สามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชั่นเป้าหมายเพื่อให้ระบบควบคุมมีความเสถียร และเพิ่มขอบเขตของการควบคุมในรูปสมการและอสมการเพื่อให้ระบบควบคุมสามารถคำนวณตัวแปรปรับที่อยู่ในขอบเขตภายในลูปคำนวณโดยไม่ต้องอาศัยขอบเขตของตัวควบคุมระดับล่าง ซึ่งการเพิ่มความซับซ้อนให้กับระบบควบคุมและเป็นที่มาของความต้องการอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ความรู้ชั้นสูงและเวลาในการหาค่าตัวแปรปรับจะเพิ่มขึ้น

3. ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟกับระบบควบคุมเจเนริกโมเดลเป็นระบบควบคุมที่อาศัยแบบจำลองช่วยในการควบคุม แต่มีอัลกอริธึมที่แตกต่างกันและมีข้อได้เปรียบเสียเปรียบในการใช้งานต่างกันดังสรุปไว้ได้ตารางที่ 6.1 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและเลือกใช้ระบบควบคุมตามความจำเป็นในการใช้งาน เช่น ในกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน มีตัวแปรที่สำคัญต่อการควบคุมไม่มากระบบควบคุมเจเนริกโมเดลสามารถใช้งานได้สะดวกกว่า แต่ในกรณีที่ควบคุมหลายตัวแปรในกระบวนการที่ซับซ้อน ซึ่งเหมาะกับการใช้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟมากกว่า เป็นต้น

ตารางที่ 6.1 ตารางเปรียบเทียบอัลกอริธึมของระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟกับระบบควบคุมเจเนริกโมเดล

หัวข้อ	ระบบควบคุมเจเนริกโมเดล	ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ
1. การใช้แบบจำลอง	แบบจำลองที่เกี่ยวกับตัวแปรปรับและตัวแปรวัด	แบบจำลองของกระบวนการ
2. แบบจำลอง	แบบจำลองเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น	แบบจำลองเชิงเส้น * และไม่เชิงเส้น
3. คำนวณตัวแปรปรับ	ได้จากการแทนในสมการแบบจำลอง	ได้จากการออพติไมซ์ฟังก์ชั่นเป้าหมาย
4. การจูน	ปรับค่าเกน K1 และ K2	ปรับน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรที่เมตริกซ์น้ำหนัก Qc และ Rc กำหนดตัวแปรปรับ M ครั้งล่วงหน้า คำนวณผลตอบสนองกระบวนการ P ครั้ง ปรับฟังก์ชั่นเป้าหมาย
5. ค่าเกนในการควบคุม	มีค่าคงที่	เปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องจากเป็นฟังก์ชั่นของเมตริกซ์น้ำหนัก P_k
6. ระบบประมาณค่า	จำเป็นสำหรับประมาณตัวแปรที่วัดค่าไม่ได้ เพื่อใช้แทนในสมการของระบบควบคุม	จำเป็นสำหรับประมาณค่าตัวแปรที่วัดค่าไม่ได้ เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการทำออพติไมเซชั่น
7. ขอบเขตตัวแปรปรับ	นอกลูปควบคุม	นอกลูป*/ในลูปควบคุม
8. ตัวแปรปรับ	ตัวแปรเดียว	ตัวแปรเดียวและหลายตัวแปร
9. ความซับซ้อนของระบบควบคุม	ง่ายต่อความเข้าใจ	ใช้ความรู้ขั้นสูง
10. เวลาในการคำนวณค่าตัวแปรปรับพร้อมการประมาณค่า *	Real Time = 0-0.05 วินาที *	Real Time = 0.06-0.11 วินาที *

* สำหรับงานวิจัยนี้

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษานี้เป็นการจำลองกระบวนการโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และด้วยข้อกำหนดของแบบจำลองจึงทำให้กระบวนการที่ใช้ไม่สามารถแทนถังปฏิกรณ์จริงได้ จึงควรมีการประยุกต์ใช้กับกระบวนการจริงในอุตสาหกรรม

2. แบบจำลองของกระบวนการที่ใช้ในระบบควบคุมเป็นแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อนทำให้การควบคุมไม่ครอบคลุมพฤติกรรมเชิงพลวัตของกระบวนทั้งหมด จึงควรมีการใช้แบบจำลองที่ซับซ้อนมากขึ้นในการควบคุม รวมถึงการควบคุมหลายตัวแปรควบคุม

3. ระบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ในการศึกษานี้ อัลกอริธึมของระบบควบคุมไม่สามารถหาตัวแปรปรับให้อยู่ในขอบเขตได้ จึงควรมีการปรับปรุงอัลกอริธึมที่สามารถหาตัวแปรปรับที่ควบคุมกระบวนการให้อยู่ในขอบเขตของตัวแปรปรับ ขอบเขตของตัวแปรวัด

4. โปรแกรมที่เขียนบน MATLAB เป็นเพียงโปรแกรมสำหรับการสาธิต ยังไม่สามารถเชื่อมต่อกับกระบวนการจริงได้ จึงควรมีการปรับปรุงให้ระบบควบคุมสามารถเชื่อมต่อกับกระบวนการจริง เพื่อทดสอบการควบคุมแบบออนไลน์