บทที่ 6

บทสรุป

ผลการจำลองเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์แบบแบตช์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน

จากการศึกษาพฤติกรรมทางพลวัตของเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์แบบแบตช์ที่มีปฏิกิริยาเคมีชนิดคายความร้อนของบทความ Kim (1991) ในการจำลองกระบวนการในระบบลูปเปิด (ไม่มีระบบควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความร้อนในเครื่องปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงในรูปเอกซ์โพเนนเชียล ทำให้ทราบว่าความร้อนที่เกิดในเครื่องปฏิกรณ์นี้มีความไม่เชิงเส้นสูง และจากการจำลองในระบบลูปปิดพบว่าจุดประสงค์เพื่อควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ที่ค่าอ้างอิงคือที่ 65 เซลเซียส และเมื่อให้ความร้อน แก่เครื่องปฏิกรณ์ สารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยา ถ้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ จะทำให้ได้ผลิตพอลิเมอร์เกิดขึ้นเป็นปริมาณมาก แต่การควบคุมในสภาวะดังกล่าวไม่สามารถทำได้ที่ 65 เซลเซียส ทำให้ผลิตพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาไม่ได้สมบัติของพอลิเมอร์ผลิตภัณฑ์ จึงต้องการระบบควบคุมที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องสูง และระบบควบคุมที่มีแบบจำลองของกระบวนการสามารถหาตัวแปรปรับที่ควบคุมพฤติกรรมเชิงพลวัตของกระบวนการได้

ผลการจำลองการประมาณค่าความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยอัลกอริธึมของคาลมาน

ระบบควบคุมที่อาศัยแบบจำลองกระบวนการในรูปแบบสเตทสเปซ การประยุกต์ใช้จำเป็นต้องทราบตัวแปรสเตททุกตัว ในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอร์แบบแบตช์ ในงานวิจัยนี้จากสมการดุลพลังงานรอบเครื่องปฏิกรณ์เคมี ตัวแปรบางค่าที่ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง แต่มีผลต่อการออกแบบการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์แบบแบตช์ ได้แก่ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์เคมี ในกระบวนการที่ศึกษานี้ จะประมาณค่าความร้อนที่เกิดในเครื่องปฏิกรณ์เคมี โดยการใช้ตัวกรองเอกซ์โพเนนเชียลและตัวกรองคาลมาน พบว่าการลดค่าความแปรปรวนร่วมของตัวกรองคาลมานจะทำให้ได้ค่าความแปรปรวนร่วมมีค่าน้อยที่สุดทุกๆ ครั้งของการประมาณ ทำให้สามารถหาเกนที่ทำให้การประมาณมีความแปรปรวนน้อยที่สุดหรือมีถูกต้องที่สุดที่เวลาที่ทำการประมาณได้ดี ในขณะที่ตัวกรองเอกซ์โพเนนเชียลจะ

ประมาณค่าโดยใช้ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลของค่าความร้อน ณ เวลาที่ผ่านมา ทำให้ค่าความร้อนที่ประมาณได้ช้ากว่าค่าจริง อย่างไรก็ดีระบบประมาณค่าเอกซ์โพเนนเชียลยังคงเป็นระบบประมาณค่าที่ง่ายและสามารถประมาณค่าได้รวดเร็วกว่าตัวกรองคาลมานที่ต้องทำการปรับค่าความแปรปรวน ซึ่งจะใช้เวลาในการประมาณนานกว่าแต่ให้ผลที่แม่นยำกว่า (Cott และ Macchietto, 1989)

การทดสอบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับประมาณค่าคาลมาน

ผลการจำลองเพื่อการทดสอบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟเปรียบเทียบกับระบบควบคุมเจเนริกโมเดล ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่ใช้ค่าความร้อนที่เกิดในเครื่องปฏิกรณ์ในการคำนวณหาค่าตัวแปรปรับทำให้ระบบควบคุมทั้งสองสามารถควบคุมอุณหภูมิเข้าสู่ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ได้ทัน และจากอัลกอริธึมของระบบควบคุมเจเนริกโมเดลจะใช้แบบจำลองในการหาตัวแปรปรับ ณ เวลาควบคุมเพียงค่าเดียวในขณะที่ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟใช้แบบจำลองในการหาค่าตัวแปรปรับล่วงหน้า N_m สเต็ป เพื่อให้อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่ 65 เซลเซียส ทำให้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟจะกำหนดอุณหภูมิในเครื่องแจ็คเก็ตเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์เคมีสูงกว่าอุณหภูมิที่กำหนดได้ดี ตลอดช่วงของการควบคุม N_m สเต็ป

อย่างไรก็ตามการที่ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟอาศัยเทคนิคออพติไมซ์ช่วยในการควบคุมทำให้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟทำงานช้ากว่าระบบควบคุมเจเนริกโมเดลที่มีอัลกอริธึมไม่ซับซ้อนและคำนวณตัวแปรปรับได้เร็วกว่า

การทดสอบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟในกรณีที่ความผิดพลาดของแบบจำลอง

ความผิดพลาดที่ใช้ทดสอบระบบควบคุมและมีผลที่ทำให้ระบบควบคุมไม่สามารถควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาในกรณีปกติคือ ความผิดพลาดที่ทำให้ความร้อนที่เกิดในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าระดับปกติที่ระบบควบคุมจะสามารถควบคุมได้ ในขณะที่ระบบประมาณค่าประมาณค่าความร้อนได้ต่ำกว่าค่าจริง ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดสอบในการผิดพลาดของค่าความเข้มข้นของโมโนเมอร์สารตั้งต้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำให้ระบบควบคุมทั้งสองไม่สามารถควบคุมเมื่อความเข้มข้นของโมโนเมอร์สารตั้งต้นในระบบมากกว่า 10 % ได้ และในกรณีการผิดพลาดของค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลงทำให้อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้นมากกว่าปกติ แต่เนื่องจากระบบประมาณค่าประมาณค่าความร้อนได้สูงกว่าค่าจริง

ทำให้ระบบควบคุมที่ใช้ความความร้อนจากระบบประมาณยังสามารถควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ได้

การทดสอบการควบคุมในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาทำให้ระบบควบคุมเจเนริกโมเดลจะพบว่าค่าตัวแปรทั้งสองไม่มีผลต่อการประมาณของตัวกรองคาลมานเนื่องจากค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาและค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาในแบบจำลองของตัวกรองคาลมานมีผลต่อความร้อนที่เกิดในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีความแปรปรวนสูงทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองมีผลกระทบต่อการประมาณค่าน้อยมาก

ระบบการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับการประมาณค่าด้วยคาลมานฟิลเตอร์ ยังสามารถทำการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ได้ เนื่องจากระบบประมาณค่าประมาณค่าความร้อนได้ดีอยู่ ระบบควบคุมเจเนริกโมเดลจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีตราบเท่าที่ตัวกรองคาลมานยังประมาณค่าได้ถูกต้อง ในกรณีระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟพบว่านอกจากระบบควบคุมจะขึ้นกับการประมาณค่าของตัวกรองคาลมานแล้ว ระบบควบคุมสามารถปรับความสำคัญของตัวแปรสเตทให้มีผลต่อการควบคุมและทำการหาค่าตัวแปรปรับที่เหมาะสม ทำให้มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนแบบจำลองเพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการจริง และการที่ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟทำการคำนวณตัวแปรปรับล่วงหน้า N_m ค่า ทำให้ระบบควบคุมสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรง และปรับทิศทางการควบคุมให้ค่าตัวแปรควบคุมเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟเป็นระบบที่อาศัยการทำออพติไมซ์ฟังก์ชันเป้าหมายบนขอบเขตของกระบวนการ ทำให้สามารถทำให้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟสามารถเพิ่มขอบเขตไม่ว่าจะเป็นสมการหรืออสมการ และปรับเปลี่ยนฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อให้ระบบควบคุมมีความเสถียรและมั่นใจว่าค่าตัวแปรควบคุมจะเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้แน่นอน ซึ่งการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันเป้าหมายดังกล่าวย่อมหมายถึงการเพิ่มความซับซ้อนให้กับระบบควบคุมซึ่งเป็นที่มาของความต้องการอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ความรู้ชั้นสูง และที่สำคัญคือเวลาในการหาค่าตัวแปรปรับจะเพิ่มขึ้น

6.1 บทสรุป

1. ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์แบบแบตช์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน ทั้งในกรณีปกติและเกิดความผิดพลาดของค่าคงที่ในกระบวนการ กรณีเมื่อมีการรบกวนสัญญาณการวัด โดยสามารถควบคุมกระบวนการในกรณีการเพิ่มขึ้นของความ

เข้มข้นของโมโนเมอร์เริ่มต้น อัตราการสิ้นสุดปฏิกิริยา การลดลงของค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาได้สูง 10% 20% 20 %และ 10% ตามลำดับ เนื่องจากระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟใช้แบบจำลองของกระบวนการ ตัวกรองคาลมานประมาณค่าตัวแปรสเตทที่วัดค่าไม่ได้ และใช้การทำออพติไมซ์บนฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อหาค่าตัวแปรปรับล่วงหน้า N_m ค่าที่เหมาะสม บนการคำนวณ N_p ค่า

2. เปรียบเทียบอัลกอริธึมของระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟกับระบบควบคุมเจเนริกโมเดลได้ตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตารางเปรียบเทียบอัลกอริธึมของระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟกับระบบควบคุมเจเนริกโมเดล

หัวข้อ	ระบบควบคุมเจเนริกโมเดล	ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ
ค่าตัวแปรปรับ	คำนวณจากสมการโดยตรงจากแบบจำลอง	คำนวณจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการทำออพติไมซ์เพื่อหาที่เหมาสม
พารามิเตอร์การจูน	ξ และ τ	ปรับเมตริกซ์น้ำหนัก Qc และ Rc กำหนดตัวแปรปรับN_mครั้งล่วงหน้า คำนวณผลตอบสนองกระบวนการ N_p ครั้ง
ค่าเกนในการควบคุม	มีค่าคงที่	เปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องจากเป็นฟังก์ชันของเมตริกซ์น้ำหนัก P_k
ขอบเขตตัวแปรปรับ	อยู่นอกระบบควบคุม	สามารถเพิ่มขอบเขตในฟังก์ชันเป้าหมาย
ตัวแปรปรับ	ตัวแปรเดียว	ตัวแปรเดียวและหลายตัวแปร
ตัวแปรวัด	ตัวแปรเดียวและหลายตัวแปร	ตัวแปรเดียวและหลายตัวแปร
เวลาในการคำนวณค่าตัวแปรปรับพร้อมการประมาณค่า *	5-10 นาที*	30-40 นาทีสำหรับ pentium II 200 MHz* 10-20 นาที สำหรับ pentium III 600 MHz
การประยุกต์ใช้ระบบควบคุม	สามารถปรับเปลี่ยนแบบจำลอง	สามารถปรับเปลี่ยนได้ทั้งแบบจำลองและปรับเปลี่ยนฟังก์ชันเป้าหมาย

*สำหรับในงานวิจัยนี้ทำการจำลอง 100 นาที

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษานี้เป็นการจำลองกระบวนการโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และด้วยข้อกำหนดของแบบจำลองจึงทำให้กระบวนการที่ใช้ไม่สามารถแทนเครื่องปฏิกรณ์จริงได้ จึงควรมีการประยุกต์ใช้กับกระบวนการจริงในอุตสาหกรรม

2. โปรแกรมที่เขียนบน MATLAB เป็นเพียงโปรแกรมสำหรับการสาธิต ยังไม่สามารถเชื่อมต่อกับกระบวนการจริงได้ จึงควรมีการปรับปรุงให้ระบบควบคุมสามารถเชื่อมต่อกับกระบวนการจริง เพื่อทดสอบการควบคุมแบบออนไลน์