บทที่ 1

บทนำ

1.1 มูลเหตุจูงใจและที่มาของงานวิจัย

ช่วงเวลาที่ผ่านมางานวิจัยทางด้านการควบคุมกระบวนการมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เทคนิคการควบคุมแบบใหม่ถูกคิดค้นและปรับปรุงขึ้นมาทดแทนการควบคุมแบบดั้งเดิม เพื่อผลการควบคุมที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ในขณะที่การศึกษากระบวนการของระบบทางอุตสาหกรรมเคมีก็มีมาอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกันนี้ ทำให้เกิดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่างๆขึ้นมากมาย ด้วยความพรั่งพร้อมของแบบจำลองที่มีอยู่และความสามารถในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ในยุคปัจจุบันซึ่งมีความเร็วสูงขึ้นทำให้การควบคุมที่อาศัยแบบจำลองของระบบหรือที่เรียกว่าการควบคุมฐานแบบจำลอง (Model-Based Control) นั้นมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมา การควบคุมที่อาศัยแบบจำลองของระบบนี้นับว่าเป็นการควบคุมที่ให้ความสัมพันธ์ที่ถูกต้องที่สุดระหว่างตัวแปรควบคุมและตัวแปรปรับ นั่นหมายถึงย่อมทราบว่าจะต้องทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรปรับอย่างไรถึงจะเหมาะสมเพื่อที่จะควบคุมตัวแปรควบคุมให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการ

ในความเป็นจริงแล้วเทคนิคการควบคุมที่อาศัยแบบจำลองเป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว ตัวอย่างเช่นการควบคุมแบบพีไอหรือพีไอดีที่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสามารถคำนวณออกมาโดยใช้แบบจำลองของกระบวนและผลตอบสนองที่ต้องการ ซึ่งลักษณะการออกแบบตัวควบคุมดังกล่าวเป็นรู้จักกันในชื่อของ ไดเรกซินเธซิสคอลโทรล (Direct Synthesis Control) โดย Ogunnaike และ Ray (1994) ได้แบ่งลักษณะของตัวควบคุมที่อาศัยแบบจำลองเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกได้แก่กลุ่มไดเรกซินเธซิส (Direct Synthesis Approaches) ซึ่งหลักในการกำหนดค่าตัวแปรปรับในกลุ่มนี้จะเป็นไปในแนวทางที่ทำให้ลักษณะผลตอบสนองของตัวแปรควบคุมมีลักษณะทิศทางเหมือนกับที่กำหนดไว้โดยอาศัยแบบจำลองกระบวนการเป็นเครื่องมือในการคำนวณโดยตรง ซึ่งลักษณะการควบคุมในกลุ่มนี้ได้แก่การควบคุมแบบพี, พีไอ หรือ พีไอดีที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมด้วยวิธีไดเรกซินเทซิส, การควบคุมแบบอินเทอร์นอลโมเดล (Internal Model Control,

IMC) โดย Garcia และ Morari (1982) และ การควบคุมแบบเจนเนริกโมเดล (Generic Model Control, GMC) โดย Lee และSullivan (1988) เป็นต้น อีกกลุ่มหนึ่งของตัวควบคุมที่อาศัยแบบจำลองได้แก่กลุ่มที่อาศัยการออฟติไมซ์ (Optimization Approaches)โดยหลักในการกำหนดค่าตัวแปรปรับในกลุ่มนี้เป็นไปในแนวทางที่ทำให้ได้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) ตามต้องการซึ่งจะเกี่ยวกับการทำให้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าน้อยที่สุดก็ได้ และอาจจะเพื่อให้ได้ลักษณะผลตอบสนองของตัวแปรควบคุมในทิศทางที่ต้องการเหมือนในกลุ่มแรกด้วย ลักษณะการควบคุมในกลุ่มหลังนี้ได้แก่การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (Model Predictive Control, MPC) นั่นเอง

การควบคุมแบบพีไอหรือพีไอดีที่ออกแบบด้วยวิธีไดเรกซินเธซิสนี้ถึงแม้จะมีความง่ายในลักษณะโครงสร้างตัวควบคุมแต่วิธีการดังกล่าวจะใช้ได้ดีในกรณีที่ระบบที่ต้องการควบคุมมีลักษณะเป็นระบบเชิงเส้นเท่านั้น เมื่อนำไปใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะให้ผลการควบคุมได้ไม่ดี เช่นเดียวกับการควบคุมแบบป้อนกลับสเตท (State Feedback Control, SFC) ที่อ้างถึงโดยไพศาล (2542) จะใช้แบบจำลองเชิงเส้นในการคำนวณค่าการควบคุม ซึ่งถ้าแบบจำลองของกระบวนการเป็นแบบไม่เชิงเส้น จะต้องทำการประมาณให้เป็นเชิงเส้นเสียก่อนจึงจะสามารถประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเอสเอฟซีได้ ส่วนในกรณีของตัวควบคุมไอเอ็มซีนั้นยังเป็นลักษณะของตัวควบคุมเชิงเส้นแต่มีการชดเชยความผิดพลาดของระบบในกรณีที่มีตัวแปรรบกวนที่ไม่สามารถวัดค่าได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมีส่วนใหญ่นั้นมีลักษณะของกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมที่ไม่เป็นเชิงเส้นจึงดูจะเหมาะสมกว่า ซึ่งจีเอ็มซีและเอ็มพีซีที่ได้กล่าวถึงในตอนต้นนั้นถือได้ว่าเป็นเทคนิคการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น

เอ็มพีซีในยุคแรกเช่นการควบคุมแบบไดนามิกเมตริกซ์ (Dynamic Matric Control, DMC) โดย Culter และ Ramaker (1979) ยังใช้แบบจำลองเชิงเส้นในการควบคุมอยู่ แต่เอ็มพีซีในยุคหลังมีการพัฒนามาใช้แบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้นดังเช่น Qin (1997) พัฒนาเอ็มพีซีแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Model Predictive Control, NMPC) โดยสามารถควบคุมโดยใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ได้มากกว่าหนึ่งฟังก์ชั่นซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้การคำนวณหาค่าตัวแปรปรับที่เหมาะสมทำได้ยากมีความซับซ้อนสูง อาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ค่อนข้างมากและใช้เวลาในการคำนวณค่าการควบคุมมาก ในขณะที่จีเอ็มซีเป็นลักษณะการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นที่ง่ายไม่ซับซ้อนและสามารถประยุกต์ใช้กับกระบวนการต่างๆได้มากมายเช่นนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องทำให้กลายเป็นไอ โดย Newell และคณะ (1989), การควบคุมหอกลั่นโดย Rani และ Gangiah (1991) และการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์โดย Cott และ Macchietto (1989) ซึ่งผลการควบคุมของการใช้ตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีเป็นที่น่าพอใจมาก ข้อดีของการควบคุมแบบจีเอ็มซีก็คือ

สามารถประยุกต์ใช้กับกระบวนการที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงได้ดีและสามารถใช้แบบจำลองแบบไม่เชิงเส้นในตัวควบคุมแบบนี้ได้โดยตรงเพื่อที่จะกำหนดผลตอบสนองที่ต้องการ นอกจากนี้แล้วยังมีตัวควบคุมอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นตัวควบคุมที่อาศัยแบบจำลองนั่นคือการควบคุมแบบโกลบอลีลิเนียไรซิ่ง (Globally Linearizing Control, GLC) ซึ่งถูกนำเสนอโดย Kravaris และ Chung (1987) เป็นเทคนิคการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นที่อาศัยการทรานสฟอร์มระบบไม่เชิงเส้นให้มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุมในรูปที่ง่ายขึ้นซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณค่าการควบคุมได้ง่าย ซึ่งลักษณะโครงสร้างของจีเอ็มซีและจีแอลซีนั้นสามารถจัดให้อยู่ในรูปเดียวกันได้เมื่อระบบที่ต้องการควบคุมมีค่าระดับสัมพัทธ์เป็นหนึ่ง (Relative Degree One) ซึ่ง Barolo (1994) ทำการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมของทั้งจีเอ็มซีและจีแอลซีอย่างเหมาะสมจะทำให้ได้ลักษณะผลตอบสนองที่ดีเยี่ยมของตัวแปรควบคุมเหมือนกัน

จากที่กล่าวมาในข้างต้นพบว่าทั้งจีเอ็มซีและจีแอลซีต่างก็เป็นตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นที่อาศัยแบบจำลองของระบบในการควบคุมที่มีความไม่ซับซ้อนแต่ให้สมรรถนะที่ดีในการควบคุม อย่างไรก็ตามจากลักษณะโครงสร้างอันจำกัดของตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีทำให้สามารถใช้ได้กับระบบที่มีระดับสัมพัทธ์เป็นหนึ่งเท่านั้น จึงนับว่าเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของตัวควบคุมชนิดนี้ ในขณะที่จีแอลซีนั้นสามารถขยายขอบเขตการใช้งานได้กับระบบที่มีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่าหนึ่งแต่ถึงตัวควบคุมแบบจีแอลซีจะมีขอบเขตการใช้งานที่กว้างกว่าก็ตาม ในกรณีที่ใช้ควบคุมระบบที่มีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่าหนึ่งนั้นผู้ออกแบบตัวควบคุมจะต้องพบกับความยุ่งยากในการคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์ และการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ดังนั้นเพื่อที่จะรวมทั้งความง่ายของการออกแบบตัวควบคุมและความต้องการขอบเขตการใช้งานที่กว้างไว้ด้วยกันนี้จึงเกิดความพยายามที่จะประยุกต์ตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีให้สามารถใช้งานกับระบบที่มีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่าหนึ่งได้ด้วย

ระบบที่มีค่าระดับสัมพัทธ์หนึ่งคือระบบที่ตัวแปรปรับมีผลกับการเปลี่ยนแปลงตัวแปรควบคุมได้โดยตรง แต่ถ้าระบบที่ต้องการควบคุมมีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่านั้นก็แสดงว่าตัวแปรปรับไม่ได้มีผลกับการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรควบคุมโดยตรง เมื่อเป็นดังนี้แล้วการควบคุมระบบดังกล่าวจึงทำได้ยากกว่าซึ่งการควบคุมแบบพีไอหรือพีไอดีธรรมดาจะให้ผลการควบคุมได้ไม่ดี ในส่วนของจีเอ็มซีที่ประยุกต์ใช้กับระบบที่มีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่าหนึ่งนี้จะใช้การคำนวณค่าเป้าหมายของตัวแปรสเตทซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรควบคุมแล้วทำการควบคุมค่าตัวแปรสเตทนั้นเสมือนเป็นตัวแปรควบคุมของระบบซึ่งเรียกว่าตัวแปรควบคุมภายใน (Internal Controlled Variable) เพื่อให้ยังคงสามารถใช้กฎการควบคุมของตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีได้เมื่อระบบนั้นมีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่าหนึ่ง ในขณะที่กระบวนการที่นำมาทดสอบเป็นการควบคุมความเข้มข้นของ

สารภายในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาชนิดคายความร้อนซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณีคือ เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนต่อเนื่องที่ปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับไม่ได้ และเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนต่อเนื่องที่ปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับได้ โดยต่างก็มีค่าระดับสัมพัทธ์เป็นสอง ดังนั้นจีเอ็มซีที่มีการควบคุมตัวแปรควบคุมภายในจึงถูกนำมาใช้ทดสอบสมรรถนะและความทนทานในการควบคุมระบบดังกล่าว พร้อมกันนี้ผลการควบคุมที่ได้จากตัวควบคุมแบบจีแอลซี และตัวควบคุมแบบพีไอได้ถูกนำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีให้สามารถใช้ควบคุมระบบที่มีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่าหนึ่งได้
2. เพื่อศึกษาการนำตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีมาใช้ควบคุมความเข้มข้นของสารในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาแบบคายความร้อนอันดับหนึ่งทั้งในกรณีที่ปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับได้และในกรณีที่ปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับไม่ได้
3. เพื่อเปรียบเทียบผลการควบคุมความเข้มข้นระหว่างการควบคุมแบบจีเอ็มซี, การควบคุมแบบจีแอลซี, การควบคุมแบบพีไอและการควบคุมแบบพีไอร่วมกับจีเอ็มซี ในกรณีที่มีตัวแปรรบกวนระบบ
4. เพื่อเปรียบเทียบผลการควบคุมความเข้มข้นระหว่างการควบคุมแบบจีเอ็มซี, การควบคุมแบบจีแอลซี, การควบคุมแบบพีไอและการควบคุมแบบพีไอร่วมกับจีเอ็มซี ในกรณีที่มีความแตกต่างกันของแบบจำลองกระบวนการกับกระบวนการจริง
5. เพื่อศึกษาการใช้โรบัสท์จีเอ็มซีและจีเอ็มซีร่วมกับตัวกรองคาลมานในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีความแตกต่างกันของแบบจำลองกระบวนการกับกระบวนการจริง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ระบบที่ใช้ศึกษาคือระบบการควบคุมความเข้มข้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาชนิดคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้และผันกลับได้อันดับหนึ่ง
2. การศึกษาการเพิ่มความทนทานให้กับตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีนั้นจะใช้ลักษณะพิเศษในการเพิ่มความทนทานให้กับตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีหรือที่เรียกว่าโรบัสเจนเนริกโมเดลคอนโทรล (Robust Generic Model Control, RGMC) และการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่มีการใช้ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยจะใช้คาลมานฟิลเตอร์เป็นตัวประมาณค่าพารามิเตอร์
3. ตัวควบคุมที่ใช้เปรียบเทียบสมรรถนะกับตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีคือตัวควบคุมแบบจีแอลซี, ตัวควบคุมแบบพีไอและตัวควบคุมแบบพีไอร่วมกับจีเอ็มซี
4. โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลการควบคุมจากแบบจำลองคือโปรแกรมแมทแล็ป

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแบบจีเอ็มซี
2. ปรับปรุงตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีให้สามารถประยุกต์ใช้กับระบบที่มีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่าหนึ่งได้ โดยที่ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีควบคุมตัวแปรสเตทที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรควบคุมที่แท้จริง (ตัวแปรควบคุมภายใน)
3. ศึกษาระบบที่ต้องการนำมาทดสอบตัวควบคุม โดยที่ระบบดังกล่าวคือระบบของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้และผันกลับได้
4. ศึกษาการควบคุมแบบจีแอลซีเพื่อใช้เปรียบเทียบสมรรถนะกับการควบคุมแบบจีเอ็มซี เนื่องจากการควบคุมทั้งสองแบบมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกัน อีกทั้งการควบคุมแบบจีแอลซีนั้นสามารถใช้ควบคุมระบบที่มีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่าหนึ่งได้อยู่แล้ว จึงเป็นการเหมาะสมที่จะนำการควบคุมชนิดนี้มาเปรียบเทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่ใช้วิธีควบคุมตัวแปรควบคุมภายใน
5. ศึกษาการใช้ตัวกรองคาลมานเพื่อใช้เป็นตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ในการเพิ่มความทนทานให้กับตัวควบคุมแบบจีเอ็มซี
6. เขียนโปรแกรมบนโปรแกรมแมทแล็ปเพื่อจำลองลักษณะของกระบวนการที่ต้องการศึกษาและจำลองผลการควบคุมกระบวนการดังกล่าว

7. เปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุมความเข้มข้นระหว่างตัวควบคุมแบบจีเอ็มซี, ตัวควบคุมแบบจีแอลซี, ตัวควบคุมแบบพีไอและตัวควบคุมแบบพีไอร่วมกับจีเอ็มซีในกรณีที่มีตัวแปรรบกวนระบบ
8. ทดสอบผลการควบคุมความเข้มข้นระหว่างตัวควบคุมแบบจีเอ็มซี, ตัวควบคุมแบบจีแอลซี, ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีไอร่วมกับจีเอ็มซี, ตัวควบคุมแบบอาร์จีเอ็มซีและตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีที่มีการใช้ตัวกรองคาลมานเป็นตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ในกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ใช้กับกระบวนการจริง
9. สรุปและวิเคราะห์ผลงานวิจัย
10. จัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเพิ่มขอบเขตการใช้งานให้กับตัวควบคุมแบบจีเอ็มซี โดยสามารถประยุกต์ใช้จีเอ็มซีกับกระบวนการที่มีค่าระดับสัมพัทธ์มากกว่าหนึ่งได้
2. สามารถประยุกต์ใช้จีเอ็มซีเพื่อควบคุมความเข้มข้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนเคมีต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาแบบคายความร้อนอันดับหนึ่งทั้งในกรณีที่ปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับได้และผันกลับไม่ได้
3. สามารถประยุกต์ใช้อาร์จีเอ็มซีและจีเอ็มซีร่วมกับตัวกรองคาลมานเพื่อควบคุมความเข้มข้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนเคมีต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาแบบคายความร้อนอันดับหนึ่งทั้งในกรณีที่ปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับได้และผันกลับไม่ได้ในกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ใช้กับกระบวนการจริง