บทที่ 1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

บทนี้กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัย, วัตถุประสงค์ของงานวิจัย, ขอบเขตของงานวิจัย, ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย, ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำงานวิจัยและเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เนื่องจากปัญหาหลักในการควบคุมกระบวนการคือ การที่กระบวนการทางเคมีส่วนใหญ่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงและมักแสดงพฤติกรรมของลูพเปิดที่ซับซ้อน (complex openloop behavior) เช่น กระบวนการที่มีความหลากหลายของตัวแปรอินพุทตัวแปรเอาท์พุท (input output multiplicity), กระบวนการที่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ (strong parametric sensitivity), กระบวนการที่มีหลายสภาวะคงตัว (multiple steady state) และกระบวนการที่มีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก (nonlinear oscillation) เป็นต้น พฤติกรรมดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาในการควบคุมอย่างมากโดยส่งผลให้การควบคุมทำได้ยาก และถึงแม้ว่าเครื่องควบคุมแบบเชิงเส้น(linear controller) ซึ่งได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายก็ยังมีข้อจำกัดมากมายสำหรับกระบวนการที่มีพฤติกรรมดังกล่าว เท่าที่ผ่านมาการใช้เทคนิคการควบคุมแบบเชิงเส้นแบบธรรมดาเช่นเทคนิคการควบคุมแบบพีไอดีนั้นค่อนข้างจำกัดสำหรับกระบวนการทางเคมีที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง (Chang และ Chen, 1984) เช่นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนนั้นส่วนใหญ่มีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นสูงการรบกวนระบบเพียงเล็กน้อยส่งผลให้ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีความซับซ้อนดังกล่าว นอกจากนี้กระบวนการที่ควบคุมยังมีขอบเขตจำกัด (constraints) อย่างมากของการดำเนินงานภายใต้เงื่อนไขที่

เหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์, ความปลอดภัย อีกทั้งคุณภาพที่ได้มาตรฐาน ดังนั้นจึงมีความต้องการระบบการควบคุมที่มีประสิทธิภาพและความทนทานที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

จากการศึกษาค้นคว้าที่ผ่านมาพบว่าการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (Model Predictive Control, MPC) ได้รับการยอมรับว่าเป็นการควบคุมกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูง ได้มีการศึกษาค้นคว้าและนำไปใช้ควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรมทางเคมีอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันเราสามารถพบการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ มากมาย รวมถึงอุตสาหกรรมเคมีต่าง ๆ , อาหาร, รถยนต์, การบิน, การผสมโลหะ, การผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ, การผลิตพลังงาน, การกลั่นแยกทางปิโตรเคมี ฯลฯ เป็นต้น

บทบาทที่สำคัญอย่างมากของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่นำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมคือความสามารถในการควบคุม

- กระบวนการที่มีพฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก
- กระบวนการที่มีจำนวนตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุมจำนวนมาก
- กระบวนการที่มีขอบเขตจำกัดทั้งบนตัวแปรปรับ, ตัวแปรควบคุม, ตัวแปรสเตต
- กระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ, การเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์

เนื่องจากการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟเป็นการควบคุมโดยอาศัยแบบจำลองซึ่งสามารถครอบคลุมข้อมูลต่าง ๆ ของกระบวนการที่จะทำการควบคุมได้ ดังนั้นปัญหาต่าง ๆ ของการควบคุมสามารถรวมไว้ในอัลกอริธึมสำหรับการควบคุม ซึ่งจะสามารถรับประกันเสถียรภาพของระบบได้ตราบเท่าที่แบบจำลองของกระบวนการสามารถที่จะเป็นตัวแทนของระบบได้อย่างถูกต้องหรือมีความน่าเชื่อถือ

งานวิจัยนี้จึงเริ่มขึ้นเพื่อทำการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับการประมาณค่าตัวแปรสเตตและพารามิเตอร์ (state and parameter estimation) ในรูปแบบของคาลมานฟิลเตอร์ (Kalman filter) ในการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้ (reversible exothermic reaction) ของ Economou (1986) และเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible exothermic reaction) ของ Uppal (1974) ซึ่งเหตุผลในการเลือกกระบวนการทั้งสองนี้ เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์

เคมีถังกวนแบบต่อเนื่อง (CSTR) เป็นเครื่องปฏิกรณ์เคมีที่ใช้กันมากในกระบวนการอุตสาหกรรม เนื่องจากมีขอบเขตการใช้งานกว้างขวางมากและสามารถเปลี่ยนเงื่อนไขของการทำปฏิกิริยาได้อย่างกว้างขวาง และเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องมีปัญหาต่าง ๆ ในการดำเนินการควบคุมที่น่าสนใจโดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนนั้นส่วนใหญ่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงและมักแสดงพฤติกรรมที่ซับซ้อนของลูพเปิด เช่นการที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์อย่างมาก, การที่ระบบมีหลายสภาวะคงตัวและมีสภาวะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพและการที่ระบบมีการแกว่งเนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยากในการออกแบบการควบคุม จึงเหมาะสมที่จะนำไปทดสอบระบบการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่สร้างขึ้น

ในการจำลองการควบคุมได้ทำการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์ โดยแบบจำลองของเครื่องควบคุมที่ใช้อยู่ในรูปแบบของสมการสเตตสเปซ (state space)ซึ่งสามารถทำการคำนวณและปรับปรุงสมรรถนะของการควบคุมได้ง่ายและสามารถใช้ร่วมกับการประมาณค่าตัวแปรสเตตและพารามิเตอร์แบบคาลมานฟิลเตอร์เพื่อช่วยในการประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมให้ถูกต้องใกล้เคียงกับแบบจำลองของกระบวนการจริงมากที่สุด และช่วยให้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะ (performance) และความทนทาน (robustness) ของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟกับการควบคุมแบบพีไอดีทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ และการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุมเพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะและความทนทานที่ดีกว่าของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาและสร้างระบบการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในรูปแบบของสมการสเตต-สเปซร่วมกับการประมาณค่าตัวแปรสเตตและพารามิเตอร์บนโปรแกรมสำเร็จรูปแม็ทแลบ ในการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้ และแบบผันกลับไม่ได้ที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง

2. ทดสอบสมรรถนะและความทนทานของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นภายในเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องโดยเปรียบเทียบผลการควบคุมกับระบบการควบคุมแบบ พีไอดี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้และแบบผันกลับไม่ได้บนโปรแกรมสำเร็จรูปแม็ทแลบ

2. สร้างระบบการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ในการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นภายในเครื่องปฏิกรณ์บนโปรแกรมสำเร็จรูปแม็ทแลบ

3. ทดสอบการทำงานของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟทั้งสมรรถนะและความทนทานในการควบคุมสำหรับกรณีต่าง ๆ เช่นการควบคุมในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ, การเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และการควบคุมในกรณีที่มีความผิดพลาดของแบบจำลองหรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในช่วงเวลาที่ผ่านมา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ และการประมาณค่าตัวแปรสเตตและพารามิเตอร์ รวมทั้งศึกษาการประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมที่ผ่านมา โดยค้นคว้าจากวารสารงานวิจัยที่ได้มีผู้เสนอมาแล้วเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและตัวประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์สำหรับควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงให้มีประสิทธิภาพและความทนทาน

2. ศึกษาการใช้งานและการเขียนโปรแกรมแม็ทแลบ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรมแม็ทแล็บ โดยค้นคว้าจากหนังสือคู่มือการใช้โปรแกรมแม็ทแลบ เนื่องจากโปรแกรมแม็ทแลบเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง สามารถแสดงผลแบบกราฟิกได้ อีกทั้งการเขียนโปรแกรมสามารถทำได้ง่าย จึงเหมาะที่จะใช้ในการออกแบบการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับตัวประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์ โดยแบ่งงานในขั้นตอนนี้เป็น 4 ส่วนคือ

ก. เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ของกระบวนการที่ทำการควบคุม
ข. เขียนโปรแกรมการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
ค. เขียนโปรแกรมการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมคาลมานฟิลเตอร์
ง. เขียนโปรแกรมการควบคุมแบบพีไอดีเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

3. การจำลองการควบคุมและเก็บข้อมูลจากการจำลอง

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการทดสอบความสามารถของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ออกแบบขึ้นทั้งในด้านสมรรถนะและความทนทาน สำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม เปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอดี

4. วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการควบคุมโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอดี โดยพิจารณาจากผลการตอบสนองของกระบวนการและค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด

5. จัดทำวิทยานิพนธ์เป็นรูปเล่มฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ในการควบคุมกระบวนการที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงซึ่งเป็นปัญหาหลักในการควบคุมกระบวนการเนื่องจากการควบคุมแบบดั้งเดิมที่อาศัยเครื่องควบคุมแบบเชิงเส้นใช้ควบคุมไม่ได้ผลดี

2. การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์มีประสิทธิภาพสูง สามารถควบคุมกระบวนการที่มีความไม่แน่นอนของแบบจำลองและพารามิเตอร์ต่าง ๆ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของงานวิจัยนี้ประกอบด้วยเนื้อหาต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 7 บท ซึ่งประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัย, วัตถุประสงค์ของงานวิจัย, ขอบเขตการวิจัย, ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย, ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และเนื้อหาวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงผลงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งแบ่งเป็นผลงานทางด้านการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในกระบวนการอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ผลงานทางด้านการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบต่าง ๆ ในการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่อง ผลงานทางด้านการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่อง และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคาลมานฟิลเตอร์

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟซึ่งอธิบายถึง ข้อดีและข้อจำกัดรวมถึงสิ่งที่ต้องการสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ, โครงสร้างของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ, หลักการพื้นฐานของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและรูปแบบของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ในงานวิจัย

บทที่ 4 กล่าวถึงทฤษฎีของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับการประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์ซึ่งได้อธิบายถึงข้อดี, ข้อจำกัดและสิ่งที่ต้องการสำหรับการประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์, การนำใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับการประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์และทฤษฎีของคาลมานฟิลเตอร์

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ในการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นภายในเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้ โดยกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ใช้ในการจำลอง, การจำลอง, ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผลการจำลอง ในการทดสอบสมรรถนะและความทนทานของการควบคุมในกรณีที่มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองของเครื่องควบคุม และ แบบจำลองของกระบวนการ (plant/model-mismatch) เปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอดีทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม

บทที่ 6 กล่าวถึงผลการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับการประมาณค่าตัวสเตตและพารามิเตอร์ในรูปแบบของคาลมานฟิลเตอร์ สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ซึ่งแสดงพฤติกรรมของลูพเปิดที่ซับซ้อนในกรณีศึกษา 3 กรณี คือ ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์อย่างมาก, ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีหลายสภาวะคงตัว และมีสภาวะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ และระบบแสดงพฤติกรรมที่มีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก โดยกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รวมถึงค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ใช้ในการทดลองสำหรับกรณีต่างๆ การจำลอง, ผลการจำลอง ผลการทดสอบสมรรถนะและความทนทานของการควบคุมในกรณีที่มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมและแบบจำลองของกระบวนการเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอดีทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบแบบและในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม

บทที่ 7 เป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองรวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

และบทสุดท้ายเป็นภาคผนวกซึ่งกล่าวถึงโปรแกรมแม็ทแลบ, การแก้สมการคณิตศาสตร์โดยวิธีเชิงตัวเลข (numerical method), ตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบพีไอดีและเกณฑ์ในการตัดสินสมรรถนะของระบบควบคุม, การประมาณเชิงเส้นของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น, ความควบคุมได้, ความสังเกตได้และเสถียรภาพของระบบ, การทำให้ระบบอยู่ในรูปของตัวแปรไร้หน่วย, กราฟแสดงผลการจำลอง และตัวอย่างของโค้ดโปรแกรมที่สำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย