

การวิเคราะห์ระบบควบคุมแบบภาคตัด

นาย วัลลภ แยมเหมือน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-632-944-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Cascade Control System Analysis

Mr. Wallop Yammeuan



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

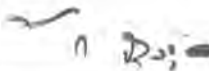
1996

ISBN 974-632-944-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ระบบควบคุมแบบคาสเคด
โดย นาย วัลลภ เข้มหมื่นอน
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นายภูวคต ธรรมธิติกุล

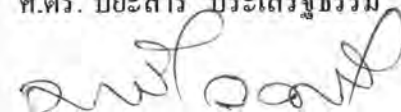


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รศ.ดร. สันติ จงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศ.ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. มนตรี วงศ์ศรี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นายภูวคต ธรรมธิติกุล)


..... กรรมการ
(รศ.ดร. อูรา ปานเจริญ)



วัลลภ เข้มเหมือน : การวิเคราะห์ระบบควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control System Analysis)

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี, 123 หน้า. ISBN 974-632-944-8

จากการศึกษารวม 10 กรณี โดยการทำการเลียนแบบการควบคุมและการศึกษาวิเคราะห์การควบคุมแบบคาสเคดจำนวน 185 กระบวนการ ซึ่งกระบวนการควบคุมทั้งกระบวนการแรกและกระบวนการที่สองจะประเมินแบบจำลองให้เป็นแบบจำลองอันดับหนึ่งที่มีเดดไทม์ ค่าของเดดไทม์และเวลาของกระบวนการในการทำการเลียนแบบในแต่ละครั้งจะถูกเปลี่ยนแปลงค่าออกไปให้มีค่าต่างๆ กัน ในกรณีที่เดดไทม์ของลูฟในมีค่าน้อย การควบคุมแบบคาสเคดจะแสดงให้เห็นว่า สามารถควบคุมกระบวนการได้ดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิมเป็นอย่างมาก แต่การควบคุมทั้งสองแบบนี้จะไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเดดไทม์ในกระบวนการที่สองมีค่ามาก การเพิ่มขึ้นของเดดไทม์ในลูฟนอกจะไม่สร้างความแตกต่างกันมากนักในการเปรียบเทียบกันระหว่างการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม จากการศึกษาสรุปว่า ควรนำการควบคุมแบบคาสเคดมาใช้เป็นอย่างยิ่งเมื่อสัดส่วนเดดไทม์ (อัตราส่วนระหว่างเดดไทม์ต่อผลรวมของเดดไทม์และเวลาของกระบวนการ) มีค่าน้อยกว่า 0.325 ในขณะที่อาจจะใช้การควบคุมแบบคาสเคดตามความจำเป็นเมื่อสัดส่วนเดดไทม์มีค่ามากกว่า 0.325 และควรทำการทดสอบผลการควบคุมโดยการทำการเลียนแบบ เพื่อสรุปผลในแต่ละกรณีๆ ไป

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา ..วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2538.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

C416814 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
 KEY WORD : CASCADE CONTROL / COMPUTER SIMULATION /
 FEEDBACK CONTROL.
 WALLOP YAMMEUAN : CASCADE CONTROL SYSTEM ANALYSIS.
 THESIS ADVISOR : MONTREE WONGSRI, Ph.D. 123 pp. ISBN
 974-632-944-8

Ten case studies with 185 simulation runs of a cascade control system, whose primary and secondary processes are approximated by first order plus dead time models, were conducted and analyzed. Dead time and process time of both outer and inner loop were varied in each simulation. In the case of the dead time of the inner loop being small, the cascade control system performs better than the conventional feedback control system; and the performance of these two systems do not differ much when the dead time of the secondary loop is large. Increasing the dead time of the outer loop does not make much difference in the control performances compared between the cascade and the conventional feedback control systems. Cascade control is highly recommended when dead time fraction (a ratio of dead time to the sum of dead time and process time) is less than 0.325. A cascade control system may be used, if necessary, when the ratio is higher than 0.325 and a simulation test run to evaluate control performance for the case at hand should be done.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต
 สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2538..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งจากคณาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ศ.ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม รศ.ดร. อูรา ปานเจริญ ดร. มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี และ คุณภูวคล ชรรมธิติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมจากบริษัท น้ำมันคาลเท็กซ์ (ไทย) จำกัด ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ เกี่ยวกับการศึกษาวิจัยนี้มาโดยตลอด นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับความร่วมมือและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากหน่วยงานต่างๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนทั้งทางด้านเงินทุนในการเรียนและการศึกษาวิจัย การสนับสนุนทางด้านข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในด้านการวิจัย และความร่วมมือในการประสานงานด้านต่างๆ ซึ่งได้แก่หน่วยงานดังต่อไปนี้

1. บริษัท น้ำมันคาลเท็กซ์ (ไทย) จำกัด
2. การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
3. บริษัท ชัชมนปิโตรเคมี ไทย จำกัด
4. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านดังที่กล่าวมาแล้วมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ



	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ความสำคัญและประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	5
1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์	6
บทที่ 2 ผลงานที่เกี่ยวข้องและหลักการทำงาน	
2.1 คำนำ	8
2.2 ผลงานการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบที่ผ่านมา.....	8
2.3 หลักการทำงานของระบบควบคุม.....	11

2.3.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	11
ก. นิยามและบล็อกไดอะแกรมพื้นฐาน	11
ข. สมการการควบคุมแบบลูฟปิด	13
ค. เสถียรภาพของการควบคุมแบบลูฟปิด	13
ง. ตัวอย่างการควบคุมแบบป้อนกลับ	14
จ. ข้อดีข้อเสียของการควบคุมแบบป้อนกลับ	15
ฉ. หมวดการทำงานของตัวควบคุม	16
2.3.2 หลักการทำงานของระบบควบคุมแบบคาสเคด	17
ก. โครงสร้างการควบคุมแบบคาสเคด	18
ข. สมการการควบคุมแบบลูฟเปิด	19
ค. หน้าที่การทำงานของลูฟใน	20
ง. ข้อดีและข้อเสียของการควบคุมแบบคาสเคด	21
จ. การจูนการควบคุมแบบคาสเคด	22
ฉ. การควบคุมแบบคาสเคดในโรงงานอุตสาหกรรม	24
2.3.4 การจูนตัวควบคุม	25
ก. แนวทางเสนอแนะในการเลือกหมวดควบคุม	26
ข. การกำหนดตัวควบคุม	27
ค. การจูนตัวควบคุมแบบลองผิดลองถูก	29
ง. การจูนโดยวิธีไอทีเออีต่ำสุด	31
2.3.5 การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบควบคุม	33

บทที่ 3 โปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม Matlab

3.1	คำนำ	36
3.2	คุณลักษณะของโปรแกรม Matlab.....	37
3.2.1	การคำนวณเกี่ยวกับเมทริกซ์.....	37
3.2.2	การคำนวณโพลีโนเมียล.....	37
3.2.3	การจัดการเกี่ยวกับเวกเตอร์	37
3.2.4	การจัดการเกี่ยวกับการแสดงผลกราฟ.....	38
3.3	โปรแกรม Simulink.....	38
3.3.1	ความสามารถของโปรแกรม Simulink.....	39
3.4	เครื่องมือในการวิเคราะห์อื่นๆ	42
3.5	ตัวอย่างการใช้งาน	43

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1	คำนำ	48
4.2	วิธีการทดลอง.....	49
4.2.1	การสร้างแบบจำลอง.....	49
4.2.2	การกำหนดค่าตัวแปร.....	50
4.2.3	การจูนตัวควบคุม.....	51
4.2.4	การเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	51
4.3	ผลการทดลอง	52
4.3.1	ผลการศึกษากรณีที่ 1.....	52

4.3.2 ผลการศึกษากรณีที่ 2.....	53
4.3.3 ผลการศึกษากรณีที่ 3.....	53
4.3.4 ผลการศึกษากรณีที่ 4.....	54
4.3.5 ผลการศึกษากรณีที่ 5.....	57
4.3.6 ผลการศึกษากรณีที่ 6.....	59
4.3.7 ผลการศึกษากรณีที่ 7.....	60
4.3.8 ผลการศึกษากรณีที่ 8.....	61
4.3.9 ผลการศึกษากรณีที่ 9.....	63
4.3.10 ผลการศึกษากรณีที่ 10.....	65
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
5.1 คำนำ.....	66
5.2 บทสรุปผลการวิจัย.....	66
5.2.1 โปรแกรมในการศึกษา.....	67
5.2.2 หมวดการควบคุมกระบวนการ.....	67
5.2.3 ไดนามิคของการควบคุม.....	69
5.2.4 การเปรียบเทียบผลตัวแปรอิสระ.....	70
5.2.5 การตัดสินใจเลือกระบบการควบคุม.....	71
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย.....	74
5.3.1 ลักษณะของโปรแกรม.....	74
5.3.2 การแสดงผลทางด้านกราฟ.....	74

5.4 ข้อเสนอแนะในการทำการทดลองครั้งต่อไป.....	79
5.4.1 การปรับปรุงโปรแกรม	79
5.4.2 การปรับปรุงแบบจำลอง	79
5.4.3 การจัดฝึกอบรม.....	80
5.4.4 งานวิจัยด้านอื่นๆ	80
5.4.5 โปรแกรมวิเคราะห์อื่นๆ.....	80
เอกสารอ้างอิง	82
ภาคผนวก	84
7.1 ภาคผนวกที่ 1.....	85
7.2 ภาคผนวกที่ 2.....	96
ประวัติผู้เขียน	123

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่าตัวควบคุมโดยวิธีการไอทีเออีในแบบจำลองอันดับหนึ่งมีเดคไทย	32
ตารางที่ 7.2.1 เปรียบเทียบวิธีการจูนการควบคุมแบบป้อนกลับ	97
ตารางที่ 7.2.2 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ	108
ตารางที่ 7.2.3 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ	110
ตารางที่ 7.2.4 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ	112
ตารางที่ 7.2.5 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ	114
ตารางที่ 7.2.6 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ	116
ตารางที่ 7.2.7 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ	118
ตารางที่ 7.2.8 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ	120
ตารางที่ 7.2.9 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ	122

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	12
รูปที่ 2.2 แสดงการควบคุมอุณหภูมิในถังกวนให้ความร้อน	15
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมแบบคาสเคด.....	19
รูปที่ 2.4 a,b การควบคุมระดับก้นหอกลั่น โดยการควบคุมแบบป้อนกลับและแบบคาสเคด.....	24
รูปที่ 2.5 การควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์โดยการควบคุมแบบคาสเคด	25
รูปที่ 2.6 การควบคุมอุณหภูมิก๊าซที่ใช้ในการไล่ความชื้นในหอคูดซับ โดยการควบคุมแบบคาสเคด	25
รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองการควบคุมโดยใช้โปรแกรม Simulink	44
รูปที่ 3.2 แสดงผลการควบคุมจากการทำเลียนแบบโดยโปรแกรม Simulink	44
รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองการควบคุมด้วยวิธีการต่างๆ	46
รูปที่ 3.4 แสดงผลการควบคุมจากการทำเลียนแบบโดยโปรแกรม Simulink	47
รูปที่ 4.1 แบบจำลองการควบคุมแบบคาสเคด	49
รูปที่ 4.2 แบบจำลองการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	50
รูปที่ 4.3 a,b กราฟเปรียบเทียบผลการจูน โดยไอทีเออีกรณีเปลี่ยนเซตพอยท์	56
รูปที่ 4.4 ผลการควบคุมเปรียบเทียบเมื่อดูพในของการควบคุมแบบคาสเคดควบคุมแบบพี.....	58
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อ T_2 ลดลงเหลือ 5 วินาที.....	60

รูปที่ 4.6	กราฟเปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อ τ_2 เพิ่มขึ้นเป็น 15 วินาที.....	61
รูปที่ 4.7	กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดเมื่อเซตพอยท์ลูปนอกเปลี่ยนแปลง.....	63
รูปที่ 4.8	กราฟเปรียบเทียบการควบคุมเมื่อ โหลดลูปนอกเปลี่ยนแปลง.....	64
รูปที่ 5.1	กราฟเปรียบเทียบไดนามิกระหว่างลูปในและลูปนอก.....	70
รูปที่ 5.2	กราฟแสดงแนวโน้มการเลือกระบบควบคุมเมื่อลูปในเร็วกว่าลูปนอก.....	75
รูปที่ 5.3	กราฟแสดงแนวโน้มการเลือกระบบควบคุมเมื่อลูปในเร็วเท่ากับลูปนอก.....	76
รูปที่ 5.4	กราฟแสดงแนวโน้มการเลือกระบบควบคุมเมื่อลูปในช้ากว่าลูปนอก.....	77
รูปที่ 5.5	กราฟแสดงแนวโน้มการเลือกระบบควบคุม.....	78
รูปที่ 7.2.1	กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลียนแบบ โดยวิธีไดนามิกเชิงเส้น.....	98
รูปที่ 7.2.2	กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลียนแบบ โดยวิธีของเกียร์.....	99
รูปที่ 7.2.3	กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลียนแบบ โดยวิธีทำนายค่าและแก้ค่าของอดัมส์.....	100
รูปที่ 7.2.4	กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลียนแบบ โดยวิธีริงจ์-กัตตา อันดับที่ 3.....	101
รูปที่ 7.2.5	กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลียนแบบ โดยวิธีริงจ์-กัตตา-เฟลเบอร์ก อันดับที่ 5.....	102
รูปที่ 7.2.6	กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับ ในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ.....	103

รูปที่ 7.2.7	กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับ ในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ.....	104
รูปที่ 7.2.8	กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับ ในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ.....	105
รูปที่ 7.2.9	กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับ ในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ.....	106
รูปที่ 7.2.10	กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับ ในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ.....	107
รูปที่ 7.2.11	การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับ เมื่อจูนลูฟในด้วย ไอทีเออีกรณีเกิดการเปลี่ยนเซตพอยท์.....	109
รูปที่ 7.2.12	การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับ เมื่อจูนลูฟในด้วย ไอทีเออีกรณีเกิดการเปลี่ยน โหลด	111
รูปที่ 7.2.13	การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับ เมื่อจูนลูฟในมีการควบคุมด้วยพี.....	113
รูปที่ 7.2.14	การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับ เมื่อจูนลูฟในลดเวลาของกระบวนการเหลือ 5 วินาที	115
รูปที่ 7.2.15	การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับ เมื่อจูนลูฟในเพิ่มเวลาของกระบวนการเป็น 15 วินาที.....	117
รูปที่ 7.2.16	การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเซตพอยท์ที่ลูฟนอก	119

รูปที่ 7.2.17 การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับ

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่ดูพนอก 121