

วิธีการและเทคนิคในการออกแบบระบบควบคุมหลายตัวแปรแบบคาสเคด

นาย ชูเกียรติ ชำคง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-373-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MULTIVARIABLE CASCADE CONTROL DESIGN PROCEDURE AND TECHNIQUE

Chukeit Chumkong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University


Academic Year 1998

ISBN 974-332-373-2


หัวข้อวิทยานิพนธ์      วิธีการและเทคนิคในการออกแบบระบบควบคุมหลายตัวแปรแบบคาสเคด  
โดย                              นาย ชูเกียรติ ช่าง  
ภาควิชา                              วิศวกรรมเคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา              อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี

---

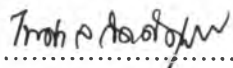
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
.....คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัณณ์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

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

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติสุกกร)

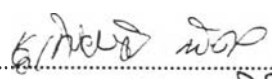
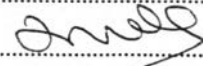

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชชัย ชรินพานิชกุล)

ชูเกียรติ ชำคอง: วิธีการและเทคนิคในการออกแบบระบบควบคุมหลายตัวแปรแบบคาสเคด  
(MULTIVARIABLE CASCADE CONTROL DESIGN PROCEDURE AND TECHNIQUE)  
อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.มนตรี วงศ์ศรี : 110 หน้า.ISBN 974-332-373-2.

การควบคุมแบบคาสเคดหลายตัวแปร (เอ็มซีซี) เป็นวิธีการควบคุมที่พลิกแพลง ในการจัดการกับตัวแปรควบคุมที่มีเงื่อนไข ลูฟในของคาสเคดเป็นตัวควบคุมแบบโอเอ็มซีหลายตัวแปรซึ่งปรับปรุงไปเป็นโมเดลสเตทพีดแบ็ก เพื่อป้องกันการอึดตัวของตัวแปรปรับ ลูฟนอกจะปรับเซ็ทพอยท์ของตัวแปรมีเงื่อนไข ได้มีการตัดแปลงตัวควบคุม (เอ็มซีซี) เดิม โดยการใช้ตัวทำนายของสมิทเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของตัวควบคุม (เอ็มซีซี) แบบดั้งเดิม

กระบวนการที่นำมาสาธิตกับตัวควบคุมได้แก่ 1.) ระบบหนึ่งอินพุทหลายเอาต์พุทแบบ (2×1)  
2.) ระบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทแบบ (2×2) สมรรถนะของตัวควบคุม (เอ็มซีซี) เดิมและตัวควบคุม (เอ็มซีซี) ที่ดัดแปลงนั้นเหมือนกัน แต่ตัวควบคุมอย่างหลังนั้นจะมีสมรรถนะที่ดีกว่าเล็กน้อย ในแง่ของ ไอเออี และโอเวอร์ชูตในงานวิจัยนี้ ยังได้ศึกษาการใช้ (เอ็มซีซี) กับระบบระบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทแบบ (3×3) อีกด้วยและแสดงให้เห็นได้ว่าสมรรถนะของระบบควบคุม(เอ็มซีซี) ดีกว่าระบบควบคุมแบบ พีไอดี

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี .....  
ปีการศึกษา ..... 2541 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  .....

## C817458 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING  
KEY WORD: MULTIVARIABLE CASCADE CONTROL

CHUKEIT CHUMKONG: MULTIVARIABLE CASCADE CONTROL DESIGN  
PROCEDURE AND TECHNIQUE. THESIS ADVISOR:  
MONTREE WONGSRI, Ph.D. 110 pp. ISBN 974-332-373-2

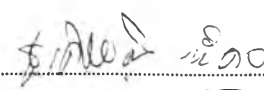
Multivarible cascade control (MCC) is a control strategy to treat output constrains. The inner loop of the cascade is multivariable IMC controller imprement in a model state feed back form to accommodate control action saturation. The Outer loop adjusts the setpoint of the constrained variable. The MCC is modified using a Smith Predictor to improve the performance of the original MCC.

The process to demonstrate the MCC and the modified MCC are 1.) MISO (2x1), 2.) MIMO (2x2) system. The performance of the MCC and the modified MCC are similar, but the Ratter has a slightly better performance in term of IAE and overshoot. In this thesis the MCC system is extended to test a MIMO (3x3) system. It shows that the performance of the MCC system is better the PID system.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับความช่วยเหลือหลาย ๆ ด้าน และคำแนะนำในการพัฒนางานวิจัยด้วยดี มาตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ประธานกรรมการ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติสุขกรและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ สำหรับกำลังใจที่ให้มา และความช่วยเหลือหลายๆ ด้าน  
ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และพี่น้องในครอบครัวทุกคนที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฒ

### บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	3
1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	3

### บทที่ 2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....5

### บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน (transferfunction).....	8
3.2 ไทม์ดีเลย์ (TimeDelay).....	9
3.3 ความไม่แน่นอนของแบบจำลอง (Model-inherent uncertainty).....	10
3.4 บล็อกไดอะแกรม (Blockdiagram).....	11
3.5 ระบบตัวแปรเข้าและตัวแปรออกเพียงตัวเดียว.....	12
3.6 ระบบตัวแปรเข้าและตัวแปรออกหลายตัว.....	12
3.7 อินเตอร์แอคชัน (Interaction).....	13
3.8 คีคัพเปอร์ (Decoupler).....	14
3.9 การควบคุมโอเวอร์ไรด์ (Override control).....	15
3.10 การควบคุมแบบคาสเคด (cascade).....	17

3.11 ระบบการควบคุมโมเดลภายใน (IMC control system).....	19
3.11.1 การควบคุมโมเดลภายในที่มีองศาความอิสระเท่ากับ 1 .....	20
3.11.2 การควบคุมโมเดลภายในที่มีองศาความอิสระเท่ากับ 2 .....	22
3.11.3 การเปลี่ยนตัวควบคุม IMC เป็นตัวควบคุม PID .....	24
3.12 ตัวทำนายสมิท หรือการชดเชยไทม์ดีเลย์.....	25
3.12.1 การเปรียบเทียบตัวทำนายสมิท กับ ตัวควบคุมภายใน.....	27
3.13 การควบคุมระบบหลายตัวแปรแบบคาสเคด.....	28
3.13.1 การเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดหลายตัวแปรและแบบโอเวอร์ไรด์.....	29
บทที่ 4 วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบคาสเคดหลายตัวแปร	
4.1 ระบบ (2x1) (one-input two-output).....	32
4.2 ระบบ (2x2) (two-input two-output).....	37
4.3 วิธีการจูนตัวควบคุม (control tuning).....	47
4.3.1 วิธีการลองผิดลองถูก (Tiral and error).....	47
4.3.2 วิธี Ciancone corelation.....	48
4.3.3 โปรแกรม IMCTUNE.....	49
บทที่ 5 สาธิตการใช้ตัวควบคุมแบบคาสเคดหลายตัวแปรกับหอกลับ	
5.1 ตัวอย่างที่ 1.....	52
5.2 ตัวอย่างที่ 2.....	61
5.4 ความทนทาน (Robusness) ของตัวควบคุมคาสเคดหลายตัวแปร.....	69
5.5 การนำตัวควบคุมแบบคาสเคดหลายตัวแปรไปใช้กับระบบ (3x3).....	73
5.5.1 ตัวอย่างระบบ (3x3).....	76
บทที่ 6 การสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
6.1 การสรุปผลการทดลอง.....	84
6.1.1 การใช้ตัวควบคุมคาสเคดแบบหลายตัวแปรกับระบบ (2x1).....	84
6.1.2 การใช้ตัวควบคุมคาสเคดแบบหลายตัวแปรกับระบบ (2x1).....	84



หน้า

6.1.3 การทดสอบตัวควบคุมคาสเคดแบบ (2x2) ที่ออกแบบมาใหม่.....	84
6.1.4 การนำตัวควบคุมคาสเคดหลายตัวแปรไปใช้กับระบบหอกลับ.....	85
6.1.5 การศึกษาเกี่ยวกับความทนทานของตัวควบคุมคาสเคดหลายตัวแปร.....	85
6.1.6 การนำตัวควบคุมคาสเคดหลายตัวแปรไปใช้กับระบบ(3x3).....	86
6.2 การวิจารณ์ผลการทดลอง.....	86
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	86
เอกสารอ้างอิง.....	87

#### ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การใช้ SIMULINK Toolbox.....	89
ประวัติผู้เขียน.....	99

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 โครงสร้างบล็อกไดอะแกรม.....	11
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมจากสมการ(3.10).....	11
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของระบบ SISO.....	12
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของระบบ (2x1).....	12
รูปที่ 3.5 โครงสร้างของระบบ (2x2).....	13
รูปที่ 3.6 โครงสร้างของระบบ (2x2) ที่มีอินเตอร์แอกชัน.....	13
รูปที่ 3.7 โครงสร้างของระบบ (2x2) ที่มีการใส่ คีคัพเปอร์.....	14
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบ โอเวอร์ไรด์.....	16
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบคาสเคด.....	17
รูปที่ 3.10 ระบบการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์.....	18
รูปที่ 3.11 โครงสร้างของ โมเดลภายในที่มีองศาความอิสระเท่ากับ 1.....	20
รูปที่ 3.12 โครงสร้างของ โมเดลภายในที่มีองศาความอิสระเท่ากับ 2.....	22
รูปที่ 3.13 โครงสร้างของ PID ที่มาจากโมเดลภายในที่มีองศาความอิสระเท่ากับ 2.....	24
รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของตัวทำนายของสมิท (smith predictor).....	26
รูปที่ 3.15 โครงสร้างแบบใหม่ของระบบ คาสเคดหลายตัวแปร.....	29
รูปที่ 3.16 การควบคุมแบบ IMC โอเวอร์ไรด์.....	30
รูปที่ 3.17 โครงสร้างของการควบคุมแบบคาสเคดแบบใหม่.....	31
รูปที่ 4.1 การควบคุมแบบ IMC โอเวอร์ไรด์.....	33
รูปที่ 4.2 โครงสร้างของการควบคุมแบบคาสเคดที่ได้จากรูป 4.1 .....	34
รูปที่ 4.3 โครงสร้างภายหลังจากการทำตัวทำนายของสมิท (Smith predictor).....	35
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการควบคุมแบบ โอเวอร์ไรด์.....	36
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการควบคุมแบบคาสเคดหลายตัวแปร.....	36
รูปที่ 4.6 บล็อกไดอะแกรมของ IMC ในรูปเมทริกซ์.....	37
รูปที่ 4.7 แสดงแบบจำลองของ stste feedback ตัวควบคุมแบบหลายตัวแปรแบบIMC.....	38
รูปที่ 4.8 แบบจำลองของ stste feedback ของตัวควบคุมที่ได้จากรูปที่ 4.7.....	39
รูปที่ 4.9 แบบจำลองของ stste feedback ของตัวควบคุมที่ได้ตัวทำนายสมิทแล้ว.....	40
รูปที่ 4.10 ส่วนประกอบของสมิทเมทริกซ์ (Smith matrix).....	41

รูปที่ 4.11 ผลที่ได้จากการให้เซตพอยท์ $y_1 = 1, y_2 = 0$ .....	45
รูปที่ 4.12 ผลที่ได้จากการให้เซตพอยท์ $y_1 = 0, y_2 = 1$ .....	45
รูปที่ 4.13 ผลที่ได้จากการให้เซตพอยท์ $y_1 = 1, y_2 = 2$ .....	46
รูปที่ 4.14 ผลที่ได้จากการให้เซตพอยท์ $y_1 = 1, y_2 = 1$ .....	46
รูปที่ 4.15 การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหาค่า $\tau_r$ .....	50
รูปที่ 4.16 การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในทดสอบค่า $\tau_r$ จากขั้นต้นแรก.....	51
รูปที่ 5.1 แสดงส่วนประกอบของหอกลับ.....	53
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม ไอเอ็มซีหลายตัวแปร.....	56
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม คาสเคดหลายตัวแปร.....	56
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม แบบป้อนกลับพีไอดี ที่มีอินพุตเดียวและเอาต์พุตเดียว (SISO-PID).....	57
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม แบบป้อนกลับพีไอดี ที่มีอินพุตหลายตัวและเอาต์พุตหลายตัว (MIMO-PID).....	57
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม คาสเคดหลายตัวแปร.....	59
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม ไอเอ็มซีหลายตัวแปร.....	59
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม แบบป้อนกลับพีไอดี ที่มีอินพุตหลายตัวและเอาต์พุตหลายตัว (MIMO-PID).....	60
รูปที่ 5.9 แสดงส่วนประกอบของหอกลับ Wood and Berry.....	61
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม พีไอดี ที่มีอินพุตหลายตัวและเอาต์พุตหลายตัว (MIMO-PID).....	64
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม พีไอดี ที่มีอินพุตเดียวและเอาต์พุตเดียว (SISO-PID).....	64
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม คาสเคดหลายตัวแปร.....	65
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม ไอเอ็มซีหลายตัวแปร.....	65
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม ไอเอ็มซีหลายตัวแปร.....	67
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม พีไอดี ที่มีอินพุตหลายตัวและเอาต์พุตหลายตัว (MIMO-PID).....	67
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงผลการควบคุมของตัวควบคุม คาสเคดหลายตัวแปร.....	68

รูปที่ 5.17 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบเมื่อ พารามิเตอร์ไม่มีความคลาดเคลื่อนและ มีความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ของตัวควบคุมแบบไอเอ็มซีหลายตัวแปร.....	70
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบเมื่อ พารามิเตอร์ไม่มีความคลาดเคลื่อนและ มีความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ของตัวควบคุมแบบคาสเคดหลายตัวแปร.....	70
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบเมื่อ พารามิเตอร์ไม่มีความคลาดเคลื่อนและ มีความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ของตัวควบคุมแบบไอเอ็มซีหลายตัวแปร.....	72
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบเมื่อ พารามิเตอร์ไม่มีความคลาดเคลื่อนและ มีความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ของตัวควบคุมแบบคาสเคดหลายตัวแปร.....	72
รูปที่ 5.21 ผลการควบคุมของตัวควบคุม พีไอดีเมื่อเซ็ทพอยท์เท่ากับ $[1\ 0\ 0]^T$ .....	78
รูปที่ 5.22 ผลการควบคุมของตัวควบคุม พีไอดีเมื่อเซ็ทพอยท์เท่ากับ $[0\ 1\ 0]^T$ .....	79
รูปที่ 5.23 ผลการควบคุมของตัวควบคุม พีไอดีเมื่อเซ็ทพอยท์เท่ากับ $[0\ 0\ 1]^T$ .....	79
รูปที่ 5.24 ผลการควบคุมของตัวควบคุม พีไอดีเมื่อเซ็ทพอยท์เท่ากับ $[1\ 1\ 1]^T$ .....	80
รูปที่ 5.25 ผลการควบคุมของตัวควบคุม แบบคาสเคดหลายตัวแปรเมื่อ เซ็ทพอยท์เท่ากับ $[1\ 0\ 0]^T$ .....	81
รูปที่ 5.26 ผลการควบคุมของตัวควบคุม แบบคาสเคดหลายตัวแปรเมื่อ เซ็ทพอยท์เท่ากับ $[0\ 1\ 0]^T$ .....	81
รูปที่ 5.27 ผลการควบคุมของตัวควบคุม แบบคาสเคดหลายตัวแปรเมื่อ เซ็ทพอยท์เท่ากับ $[0\ 0\ 1]^T$ .....	82
รูปที่ 5.28 ผลการควบคุมของตัวควบคุม แบบคาสเคดหลายตัวแปรเมื่อ เซ็ทพอยท์เท่ากับ $[1\ 1\ 1]^T$ .....	82

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเกินของตัวควบคุมและค่าคงที่เวลาอินทิกรัล ( $K_c, T_i$ ) ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับพีไอดีที่มีอินพุตเดียวและเอาต์พุตเดียว.....	55
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเกินของตัวควบคุมและค่าคงที่เวลาอินทิกรัล ( $K_c, T_i$ ) ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับพีไอดีที่มีอินพุตหลายตัวและเอาต์พุตหลายตัว.....	55
ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า ไอเออี (IAE) ของตัวควบคุมแต่ละชนิด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์ $X_D = 0.005, X_B = 0$ .....	58
ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า ไอเออี (IAE) ของตัวควบคุมแต่ละชนิด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด $X_f = -0.04$ .....	61
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าเกินของตัวควบคุมและค่าคงที่เวลาอินทิกรัล ( $K_c, T_i$ ) ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับพีไอดีที่มีอินพุตเดียวและเอาต์พุตเดียว.....	63
ตารางที่ 5.6 แสดงค่าเกินของตัวควบคุมและค่าคงที่เวลาอินทิกรัล ( $K_c, T_i$ ) ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับพีไอดีที่มีอินพุตหลายตัวและเอาต์พุตหลายตัว.....	63
ตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่า ไอเออี (IAE) ของตัวควบคุมแต่ละชนิด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์ $y_1 = 1, y_2 = 2$ .....	66
ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า ไอเออี (IAE) ของตัวควบคุมแต่ละชนิด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด $L(s) = 0.5$ .....	69
ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า ไอเออี (IAE) เมื่อพารามิเตอร์ของแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อน 5, 10, 20, 30 เปอร์เซ็นต์ของตัวควบคุมคาสเคดหลายตัวแปร.....	69
ตารางที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า ไอเออี (IAE) เมื่อพารามิเตอร์ของแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อน 5, 10, 20, 30 เปอร์เซ็นต์ของตัวควบคุมคาสเคดหลายตัวแปร.....	71
ตารางที่ 5.11 แสดงค่า ไอเออี (IAE) ของตัวควบคุมทั้งสองเมื่อเซ็ทพอยท์เท่ากับ $[1 \ 1 \ 1]^T$ .....	83