การประยุกต์การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟกับการผสมของเหลว

นางสาวสุรินทร์ทิพย์ ถาวรทวีวงษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-434-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16883986

Application of Model Predictive Control to Liquid Mixing

Ms. Surintip Thaworntaweewong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-434-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟกับการผสมของเหลว
โดย	นางสาวสุรินทร์ทิพย์ ถาวรทวีวงษ์
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

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

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... กรรมการ
(นางสาวเสาวพรรณ สุพุทธิธาดา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุรินทร์ทิพย์ ถาวรทวีวงษ์ : การประยุกต์การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟกับการผสมของเหลว (APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE TO LIQUID MIXING), อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.มนตรี วงศ์ศรี, 111 หน้า . ISBN 974-632-434-9

วิทยานิพนธ์นี้ ศึกษาการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟหรือการควบคุมแบบไดนามิกแมทริกซ์ ซึ่งมีพื้นฐานของโมเดลแบบคอนโวลูชันดีสครีต อิมพลีเม็นท์บนเครื่องพีซีด้วยภาษาซี โดยนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการผสมของเหลว ประกอบด้วย 2 อินพุท คือ น้ำร้อนและน้ำเย็น และ 2 เอาท์พุท คือ ระดับและอุณหภูมิของของเหลวในถัง ประเมินสมรรถนะของตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีสำหรับระบบลูพเดี่ยว (ระดับหรืออุณหภูมิ) และระบบลูพหมู่ (ระดับและอุณหภูมิ) พบว่า มี 9 กรณีที่ตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี ในขณะที่อีก 3 กรณีให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ ยังได้ทำการตรวจสอบความรอบัสต์ของตัวควบคุมแบบโมเดล พรีดิกทีฟ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C316677 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: MULTIVARIABLE CONTROL/ MODEL PREDICTIVE CONTROL/ DYNAMIC MATRIX CONTROL/ LIQUID MIXING CONTROL
SURINTIP THAWORNTAWEEWONG : APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL TO LIQUID MIXING, THESIS ADVISOR : DR.MONTREE WONGSRI, D.Sc, 111 pp. ISBN 974-632-434-9

A Model Predictive Control or Dynamic Matrix Control based on discrete convolution model for the process has been studied and implemented on a PC using C language. It is applied to a liquid mixing system which has two inputs : hot and cold waters and two outputs : tank level and liquid temperature. The performance of the model predictive controller is elvaluated and compared to a PID control system of single (level or temperature) and multiloop (both level and temperature). The model predictive controller performs better than the PID controller in 9 out of 12 cases and the 3 cases give similar results. The robustness of the model predictive controller has been also verified.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และแนวความคิดต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล คุณเสาวพรรณ สุพุทธิธาดา ผู้จัดการส่วนควบคุมกระบวนการผลิต บริษัท ปิโตรเคมีแห่งชาติ จำกัด(มหาชน) และ ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณอาจารย์เสถียรพงศ์ หุยะนันท์ มหาวิทยาลัยมหานคร สำหรับคำแนะนำ และความช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์การอินเตอร์เฟสระบบควบคุม

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างมาก

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และคุณยายซึ่งเป็นแรงใจให้กับผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญตาราง ..... ง

สารบัญภาพ ..... จ

สัญลักษณ์ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 บทนำทั่วไป 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย 4

1.4 เนื้อหาวิทยานิพนธ์ 5

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 การพัฒนาเชิงอุตสาหกรรม 8

2.2 งานวิจัยในเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้อง 10

บทที่ 3 ทฤษฎี 12

3.1 แนวคิดของการควบคุมแบบโมเดลทำนาย 12

3.2 โมเดลตัวควบคุมดีเอ็มซี 15

3.3 การแก้ปัญหาการควบคุมระบบเอสไอเอสโอด้วยดีเอ็มซี 25

3.4 การนำดีเอ็มซีประยุกต์ใช้กับระบบเอ็มไอเอ็มโอ 29

3.5 การควบคุมระบบถังผสมของของเหลว 33

บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย 36

4.1 อุปกรณ์ 36

4.2 ขั้นตอนการทดลอง 39

บทที่ 5 ผลการทดลอง วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง 48

5.1 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง 48

5.2 สรุปผล 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....84
รายการอ้างอิง.....85
ภาคผนวก..... 88
ประวัติผู้เขียน 111

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 5.1 ผลการหาค่าการตอบสนองของเอาท์พุทต่ออินพุท 53
ตารางที่ 5.2 ผลของการปรับจำนวนช่วงเวลาการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุทต่อตัวควบคุม
ดีเอ็มซี 55
ตารางที่ 5.3 ผลของการปรับจำนวนช่วงเวลาของตัวแปรปรับต่อตัวควบคุมดีเอ็มซี 56
ตารางที่ 5.4 ผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเซ็ทพอยท์..... 58
ตารางที่ 5.5 ผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน 59
ตารางที่ 5.6 ผลการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
ของระดับของเหลว..... 65
ตารางที่ 5.7 ผลการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
ของอุณหภูมิ 66
ตารางที่ 5.8 ผลการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอต่อการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน 66
ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบความรอบัสต์ต่อการเปลี่ยนแปลงของจุดปฏิบัติการ
ของตัวควบคุมดีเอ็มซี..... 76
ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบความรอบัสต์ต่อความผิดพลาดของโมเดลของตัวควบคุม
ดีเอ็มซีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พของค่าเซ็ทพอยท์..... 76
ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบความรอบัสต์ต่อความผิดพลาดของโมเดลของตัวควบคุม
ดีเอ็มซีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน..... 77

สารบัญภาพ

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของมูฟวิ่งฮอไรซัน 13
รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างสัญญาณดีสครีตไทม์ 15
รูปที่ 3.3 แสดงสัญญาณตอบสนองต่อสเต็พของอินพุทต่อเอาท์พุท 18
รูปที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติการซ้อนทับของระบบเชิงเส้น 21
รูปที่ 3.5 แสดงอัลกอริธึมในการสร้างตัวควบคุมดีเอ็มซี 26
รูปที่ 3.6 ระบบถังผสมของเหลวและการควบคุม 34
รูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์และระบบถังผสมที่ใช้ในการทดลอง 38
รูปที่ 5.1 ลักษณะการทดสอบการตอบสนองต่อสเต็พของอัตราการไหลของน้ำเย็น
ต่อระดับของเหลว 49
รูปที่ 5.2 ลักษณะการทดสอบการตอบสนองต่อสเต็พของอัตราการไหลของน้ำเย็น
ต่ออุณหภูมิ 49
รูปที่ 5.3 ลักษณะการทดสอบการตอบสนองต่อสเต็พของอัตราการไหลของน้ำร้อน
ต่อระดับของเหลว 50
รูปที่ 5.4 ลักษณะการทดสอบการตอบสนองต่อสเต็พของอัตราการไหลของน้ำร้อน
ต่ออุณหภูมิ 50
รูปที่ 5.5 สัญญาณการตอบสนองต่อสเต็พของอัตราการไหลของน้ำเย็นต่อระดับของเหลว 51
รูปที่ 5.6 สัญญาณการตอบสนองต่อสเต็พของอัตราการไหลของน้ำเย็นต่ออุณหภูมิ 51
รูปที่ 5.7 สัญญาณตอบสนองต่อสเต็พของอัตราการไหลของน้ำร้อนต่อระดับของเหลว 52
รูปที่ 5.8 สัญญาณตอบสนองต่อสเต็พของอัตราการไหลของน้ำร้อนต่ออุณหภูมิ 52
รูปที่ 5.9 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนช่วงเวลาการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท
ต่อประสิทธิภาพการควบคุมของตัวควบคุมดีเอ็มซี 55
รูปที่ 5.10 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนช่วงเวลาของตัวแปรปรับ
ต่อประสิทธิภาพการควบคุมของตัวควบคุมดีเอ็มซี 57
รูปที่ 5.11 แสดงตัวอย่างผลของค่าแฟกเตอร์น้ำหนักต่อตัวควบคุมดีเอ็มซี 57

รูปที่ 5.12 แสดงการเปลี่ยนระดับของของเหลวระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พของค่าเซ็ทพอยท์ เมื่อควบคุมระดับ
ของของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำเย็น 60
รูปที่ 5.13 แสดงการเปลี่ยนระดับของของเหลวระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พของค่าเซ็ทพอยท์ เมื่อควบคุมระดับ
ของของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำร้อน 61
รูปที่ 5.14 แสดงการเปลี่ยนระดับของของเหลวระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งรบกวน เมื่อควบคุมระดับของของเหลว
ด้วยอัตราการไหลของน้ำเย็น 62
รูปที่ 5.15 แสดงการเปลี่ยนระดับของของเหลวระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งรบกวน เมื่อควบคุมระดับของของเหลว
ด้วยอัตราการไหลของน้ำร้อน 63
รูปที่ 5.16 แสดงการเปลี่ยนระดับของของเหลวระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พของค่าเซ็ทพอยท์ระดับของเหลว
สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ 68
รูปที่ 5.17 แสดงการเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พของค่าเซ็ทพอยท์ของระดับของเหลว
สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ 69
รูปที่ 5.18 แสดงการเปลี่ยนระดับของของเหลวระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พของค่าเซ็ทพอยท์ของอุณหภูมิ
สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ 70
รูปที่ 5.19 แสดงการเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พของค่าเซ็ทพอยท์ของอุณหภูมิ
สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ 71
รูปที่ 5.20 แสดงการเปลี่ยนระดับของของเหลวระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งรบกวน สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ 72
รูปที่ 5.21 แสดงการเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างการควบคุมอัตโนมัติ
และมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งรบกวน สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ 73

รูปที่ 5.22 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมดีเอ็มซี
ที่เซ็ทพอยท์ 150 มม. 78
รูปที่ 5.23 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมดีเอ็มซี
ที่เซ็ทพอยท์ 200 มม. 79
รูปที่ 5.24 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมดีเอ็มซี
ที่เซ็ทพอยท์ 250 มม. 80
รูปที่ 5.25 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมดีเอ็มซี เมื่อมีค่าความผิดพลาด
ของไดนามิกแมทริกซ์ และมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พของค่าเซ็ทพอยท์..... 81
รูปที่ 5.26 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมดีเอ็มซี เมื่อมีค่าความผิดพลาด
ของไดนามิกแมทริกซ์ และมีการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน..... 82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สัญญลักษณ์

X	=	สัญญาณตัวแปรเอาท์พุท
I	=	สัญญาณตัวแปรอินพุท
a	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผันระหว่างอินพุทและเอาท์พุท
A	=	แมทริกซ์ของ a
J	=	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์
NP	=	จำนวนช่วงเวลาของการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท
NC	=	จำนวนช่วงเวลาการปรับตัวแปรปรับ
w	=	แฟกเตอร์น้ำหนัก
e	=	ค่าความคลาดเคลื่อน
λ	=	ค่าอะเรย์เกนสัมพันธ์
Kp	=	ค่าเกนของกระบวนการ
τ	=	ค่าคงที่เวลาของกระบวนการ
T_d	=	ค่าเดดไทม์
K_C	=	ค่าคงที่สัดส่วน
T_I	=	ค่าคงที่เวลาอินทีกรัล
T_D	=	ค่าคงที่เวลาอนุพันธ์
Δt	=	คาบการเก็บตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University