การระบุหากระบวนการพลวัตหลายตัวแปร

นางสาว พรวรรณ์ชะลี ทองใหญ่

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-008-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17010093

IDENTIFICATION OF A MULTIVARIABLE DYNAMIC PROCESS

MISS PORNWANCHALEE THONGYAI

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-634-008-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การระบุหากระบวนการพลวัตหลายตัวแปร
โดย	นางสาว พรวรรณ์ชะลี ทองใหญ่
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตาจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

พรวรรณ์ชะลี ทองใหญ่ : การระบุหากระบวนการพลวัตหลายตัวแปร (IDENTIFICATION OF A MULTIVARIABLE DYNAMIC PROCESS) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี, 173 หน้า. ISBN 974-634-008-5

การระบุหากระบวนการ คือการสร้างแบบจำลองของกระบวนการ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองของกระบวนการจริง PIM เป็นซอฟต์แวร์ทางกราฟฟิกสำเร็จรูป สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ถูกเขียนขึ้นโดยใช้ฟังก์ชันไฟล์ในโปรแกรมแม็ทแลบ (MATLAB) โปรแกรมนี้มี 7 โครงสร้าง ได้แก่ ARX ARMA ARMAX OE BJ และ PEM สำหรับ SISO (Single Input Single Output) และ MISO (Multiple Input Single Output) และ ARX กับ State Space สำหรับกระบวนการแบบ MIMO (Multiple Input Multiple Output) และ วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) และ วิธีไอวี (Instrumental Variable, IV) และใช้ค่าความผิดพลาดแบบ FPE (Final Prediction Error) เป็นเงื่อนไขในการยอมรับแบบจำลองของกระบวนการ การทดสอบความถูกต้องของ PIM ใช้ระบบกระบวนการกลั่นแบบ 2 อินพุท 2 เอาท์พุท และกระบวนการเครื่องเป่าผม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C416484 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: IDENTIFICATION / MODELING / PROCESS

PORNWANCHALEE THONGYAI : IDENTIFICATION OF A MULTIVARIABLE DYNAMIC PROCESS,
THESIS ADVISOR : DR. MONTREE WONGSRI, 173 pp. ISBN 974-634-008-5

Process identification is the modeling of a process from experimental data. The process identification program called PIM (Process Identification Module) which is an easy to use graphical software package is developed by using function files in MATLAB. PIM contains 7 model structures which are ARX, ARMA, ARMAX, OE, BJ and PEM for SISO and MISO processes, and ARX and State Space model for MIMO processes. The methods for parameter estimation used in the program are least square and instrumental variable (IV). The final prediction error technique is used in the model validation step. PIM is tested by identifying of a 2x2 distillation process and a hair dryer process.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและ แนะนำในการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ประธานกรรมการ ในการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความสนใจ และได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่ และน้อง ๆ ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างมาก

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา พี่ชาย และพี่สาวทุกคน ซึ่งเป็นทั้งกำลังทรัพย์ และแรงใจให้กับผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญภาพ ..... ญ
สารบัญตาราง ..... ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์ ..... ด

บทที่ 1 บทนำ
1.1 บทนำทั่วไป 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 5
1.4 ขั้นตอนของงานวิจัย 6
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 6
1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์ 7

บทที่ 2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา
2.1 บทนำ 9
2.2 ผลงานการวิจัยทางด้าน การใช้การระบุหากระบวนการต่าง 12

บทที่ 3 การระบุหากระบวนการ
3.1 บทนำ 17
3.2 ประวัติความเป็นมา 19
3.3 ลักษณะปัญหาของการระบุหากระบวนการ 21
3.4 ขั้นตอนการระบุหากระบวนการ 22
3.4.1 การวางแผนการทดลอง (experimental planning) 24

หน้า

3.4.2 การเลือกโครงสร้างแบบจำลองของกระบวนการ (Selection of model structure)....30
3.4.3 ระบบดิสครีต (Discrete Time System)....34
3.4.4 การอธิบายไดนามิกของระบบ ในลักษณะที่โครงสร้างของแบบจำลอง เป็นแบบพาราเมตริก (parametric model)....35
3.4.5 การประมาณค่าพารามิเตอร์ (parameter estimation)....53
3.4.5 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)....59
3.5 สรุปเนื้อหาในบท....61

บทที่ 4 การออกแบบ และโครงสร้างของซอฟต์แวร์ทางกราฟฟิกสำเร็จรูป PIM ในการระบุหากระบวนการ
4.1 โปรแกรมช่วยวิเคราะห์แมทแลบ (MATLAB)....62
4.1.1 การพัฒนาของแมทแลบ....63
4.1.2 การเขียนโปรแกรมด้วยคำสั่งในแมทแลบ....66
4.2 การออกแบบโครงสร้างของซอฟต์แวร์ทางกราฟฟิกสำเร็จรูป PIM....68
4.3 ขั้นตอนหลักในการใช้ ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป PIM ในการระบุหากระบวนการ....70
4.4 การเริ่มต้นในการใช้โปรแกรม PIM....70
4.5 สรุปเนื้อหาในบท....91

บทที่ 5 กรณีตัวอย่างของการใช้ซอฟต์แวร์ PIM ในการระบุหากระบวนการ
5.1 กรณีตัวอย่างที่หนึ่ง....94
5.2 กรณีตัวอย่างที่สอง....99

บทที่ 6 สรุป และ วิจารณ์ผลงานวิจัย
6.1 วิเคราะห์ผลการวิจัย....112
6.2 สรุปผลการวิจัย....116

หน้า

6.3 ข้อเสนอแนะ....120
รายการอ้างอิง....121
ภาคผนวก ก ความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวเนื่องในการระบุหากระบวนการ....126
ภาคผนวก ข โค้ดโปรแกรมที่สำคัญในการระบุหากระบวนการ....136
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง ของกรณีตัวอย่าง....143
ประวัติผู้เขียน....159

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ฐานโดยทั่วไปในการออกแบบตัวควบคุม.....2
รูปที่ 3.1 ลักษณะปัญหาของการระบุหากระบวนการ.....21
รูปที่ 3.2 ไดอะแกรม ขั้นตอนการระบุหากระบวนการ.....23
รูปที่ 3.3 บล็อคไดอะแกรมของระบบแบบเปิด และแบบปิดในการระบุหากระบวนการ.....25
รูปที่ 3.4 ลักษณะสัญญาณอินพุทที่เกิดจากฟังก์ชันสเต็พ (step function).....27
รูปที่ 3.5 การกำเนิดสัญญาณ PRBS ความยาว $2^5 - 1 = 31$.....28
รูปที่ 3.6 สัญญาณอินพุทแบบซูโดแรนดอมม์ไบนาลีซีเควนซ์
(Pseudorandom binary sequence, PRBS).....29
รูปที่ 3.7 สัญญาณอินพุทแบบออโตรีเกรสซีฟมูวิ่งเอเวอเรทจากการซิมมูเลท.....31
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างสัญญาณอินพุทซึ่งเป็นผลรวมของฟังก์ชันซายน์.....32
รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงสัญญาณต่างๆที่เข้าสู่กระบวนการ.....33
รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างสัญญาณแบบดิสก์ครีสต์ (discrete time signal).....35
รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีเควนซ์ของสัญญาณอินพุท และเอาท์พุท.....35
รูปที่ 3.12 ไดอะแกรม แสดงลักษณะสมการที่ใช้อธิบายไดนามิกของกระบวนการ.....36
รูปที่ 3.13 รูปแบบของค่าของความผิดพลาดระหว่างกระบวนการจริงกับแบบจำลอง.....42
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างหน้าต่างในซอฟต์แวร์ PIM ซึ่งแสดงลักษณะ ของ จียูไอ แบบ ปุ่ม
(Push Button) และ แบบ เมนู (PoP-up menu).....71
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างหน้าต่างในซอฟต์แวร์ PIM ซึ่งแสดงลักษณะ ของ จียูไอ แบบปุ่ม
(Radio Button).....71
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างหน้าต่างในซอฟต์แวร์ PIM ซึ่งแสดงลักษณะ ของ จียูไอ แบบ เช็ค
(Check box) และการรับค่าเป็นตัวอักษร (Edit text) และ คำอธิบายอื่นๆ ใน
การใช้โปรแกรมการระบุหากระบวนการ.....72
รูปที่ 4.4 ขั้นตอนหลักๆ ในการใช้ซอฟต์แวร์ PIM 73

หน้า

รูปที่ 4.5 หน้าต่างซึ่งแสดงหลังจากการเรียกใช้ฟังก์ชันเริ่มต้น เพื่อที่จะใช้ซอฟต์แวร์ PIM ในการระบุหากระบวนการ....74
รูปที่ 4.6 หน้าต่างเริ่มต้นของการคำนวณ และการประมวลผล "Identification Toolbox" ในการระบุหากระบวนการ ของซอฟต์แวร์ PIM....76
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างลักษณะไฟล์ของข้อมูลอินพุท และเอาท์พุท....78
รูปที่ 4.8 ลักษณะของไฟล์ข้อมูลของแบบจำลองของกระบวนการที่ใช้ ในการคำนวณ และประมวลผลในซอฟต์แวร์....79
รูปที่ 4.9 เมนูย่อยในการพลอตกราฟ (เมนู "Plot") และเมนูย่อยในการพลอตกราฟ....81
รูปที่ 4.10 เมนู "Tag" และเมนูย่อย....82
รูปที่ 4.11 เมนู "Model" และ เมนูย่อย....83
รูปที่ 4.12 หน้าต่าง "Selected Calculation Types" ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากใช้เมนูย่อย "New"....84
รูปที่ 4.13 หน้าต่าง "New Model Creation" ของการตั้งชื่อแบบจำลอง และ คำอธิบายเพิ่มเติมของแบบจำลอง....85
รูปที่ 4.14 หน้าต่างการกำหนดค่าต่างๆ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณ ในการระบุหากระบวนการ....86
รูปที่ 4.15 หน้าต่าง "Model Structure for New Input"....87
รูปที่ 4.16 หน้าต่าง "Model Specification Range" ใช้ในการกำหนดช่วงอันดับในการคำนวณแบบจำลองของกระบวนการ....88
รูปที่ 4.17 หน้าต่างที่แสดงชื่อของอินพุท หลังจากผู้ใช้เลือกชื่อไฟล์ของอินพุท และกำหนดรูปแบบของสมการของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณเรียบร้อยแล้ว....89
รูปที่ 4.18 เมนู "Results" และเมนูย่อย....91
รูปที่ 4.19 ไดอะแกรม สรุปรายละเอียด ขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์ PIM จากขั้นตอน B ถึง F....92
รูปที่ 5.1 กระบวนการในกรณีตัวอย่างที่ 1....95

หน้า

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงข้อมูลอินพุท และเอาท์พุทของกระบวนการ “hair dryer” ของกรณีตัวอย่างที่ 1.....96
รูปที่ 5.3 กระบวนการที่ใช้ในการการเลียนแบบกระบวนการกลั่น ของกรณีตัวอย่างที่ 2.....100
รูปที่ 5.4 กระบวนการที่ใช้ในการเลียนแบบกระบวนการหอกลั่น ในกรณีตัวอย่างที่ 2 โดยกำหนดให้ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุท (พลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อต้มซ้ำ).....101
รูปที่ 5.5 กระบวนการที่ใช้ในการเลียนแบบกระบวนการหอกลั่น ในกรณีตัวอย่างที่ 2 โดยกำหนดให้ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุท (อัตราการไหลของไอที่ยอดหอ) มีค่าเท่ากับศูนย์ 102
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงสัญญาณอินพุท (อัตราการไหลของไอที่ยอดหอ) ในกรณีพิจารณากระบวนการเป็นแบบเอสไอเอสโอ.....104
รูปที่ 5.7 สัญญาณเอาท์พุท (ความดันที่ยอดหอ) ของกระบวนการ กรณีพิจารณากระบวนการเป็นแบบเอสไอเอสโอ อินพุทอัตราการไหลของไอที่ยอดหอ).....105
รูปที่ 5.8 สัญญาณรบกวนที่ใส่เพิ่มเข้าไปในกระบวนการ ในการเลียนแบบกระบวนการกรณีพิจารณากระบวนการเป็นแบบเอสไอเอสโอ.....105

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5.1 ผลการระบุหากระบวนการ ในกรณีตัวอย่างที่ 1 โดยค่าอันดับของพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณมีค่าเท่ากับ 1 ในทุกๆ แบบจำลองที่ทำการคำนวณ.....97

ตารางที่ 5.2 ผลของการระบุหากระบวนการ ในกรณีตัวอย่างที่ 1 โดยค่าอันดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณมีค่า อยู่ในช่วง 1-2 ในทุกๆ แบบจำลองที่ทำการคำนวณ.....98

ตารางที่ 5.3 จำนวนพารามิเตอร์ที่ได้ ในการระบุหากระบวนการ จากการเลือกใช้เป็นช่วงของค่าพารามิเตอร์ ของแต่ละแบบจำลอง.....99

ตารางที่ 5.4 ผลการระบุหากระบวนการในกรณีพิจารณากระบวนการเป็นแบบเอสไอเอสโอ โดยมีอินพุทคือ อัตราการไหลของไอที่ยอดหอ (D).....106

ตารางที่ 5.5 ผลการระบุหากระบวนการในกรณีพิจารณากระบวนการเป็นแบบเอสไอเอสโอ โดยมีอินพุทคือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อต้มซ้ำ (Q).....107

ตารางที่ 5.6 ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ซึ่งเป็นผลการระบุหากระบวนการของกรณีตัวอย่างที่ 2 ในการพิจารณากระบวนการแบบเอ็มไอแอสโอ.....108

ตารางที่ 5.7 ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ซึ่งเป็นผลการระบุหากระบวนการของกรณีตัวอย่างที่ 2 ในการพิจารณากระบวนการแบบเอ็มไอเอ็มโอ.....109

ตารางที่ 6.1 ตารางการเปรียบเทียบ ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันที่ได้จากการระบุหากระบวนการ โดยใช้แบบจำลองในซอฟต์แวร์ PIM ขึ้น กับค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันจากกระบวนการจริง และจากแบบจำลอง AUDI.....117

คำอธิบายสัญลักษณ์

$u(t)$ = สัญญาณอินพุทในรูปของไทม์โดเมน

$y(t)$ = สัญญาณเอาท์พุทในรูปของไทม์โดเมน

$u(k)$ = สัญญาณอินพุทในรูปของดิสครีต

$y(k)$ = สัญญาณเอาท์พุทในรูปของดิสครีต

$\hat{y}(t/\theta)$ = เอาท์พุทของแบบจำลองของกระบวนการได้จาก การประมาณค่าพารามิเตอร์

$e(t)$ = สัญญาณของสิ่งรบกวนของกระบวนการ ซึ่งมีลักษณะเป็นแรนดอมม์

$x(t)$ = เวคเตอร์สเตต

a_i = พารามิเตอร์ a

b_i = พารามิเตอร์ b

c_i = พารามิเตอร์ c

d_i = พารามิเตอร์ d

f_i = พารามิเตอร์ f

A_i = โพลีโนเมียลแมทริกซ์ ของพารามิเตอร์ a

B_i = โพลีโนเมียลแมทริกซ์ ของพารามิเตอร์ b

C_i = โพลีโนเมียลแมทริกซ์ ของพารามิเตอร์ c

D_i = โพลีโนเมียลแมทริกซ์ ของพารามิเตอร์ d

F_i = โพลีโนเมียลแมทริกซ์ ของพารามิเตอร์ f

Φ = สเตตแมทริกซ์ของสเตตเวคเตอร์

Γ = สเตตแมทริกซ์ของอินพุท

$G(q,\theta)$ = ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการ ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุท

$H(q,\theta)$ = ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการ ระหว่างสัญญาณรบกวนกับเอาท์พุท

ID = การระบุหากระบวนการ

ARX = แบบจำลองของกระบวนการแบบ ARX (AutoRegressive with eXtra input)

ARMA = แบบจำลองของกระบวนการแบบ ARMA (AutoRegressive Moving Average)

ARMAX = แบบจำลองของกระบวนการแบบ ARMAX (AutoRegressive Moving Average with extra input)

OE = แบบจำลองของกระบวนการแบบ OE (Output Error)

BJ = แบบจำลองของกระบวนการแบบ BJ (Box-Jenkins)

PEM = แบบจำลองของกระบวนการแบบ PEM (Prediction Error Model)

LS = วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square)

IV = วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบไอวี (Instrumental Variable)

$Z(t)$ = เวคเตอร์ช่วยในการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบไอวี

FPE = ค่าความผิดพลาดสุดท้าย (Final Prediction Error)

SISO = กระบวนการที่มีอินพุทหนึ่งตัวแปร และเอาท์พุทหนึ่งตัวแปร

MISO = กระบวนการที่มีอินพุทหลายตัวแปร และมีเอาท์พุทหนึ่งตัวแปร

MIMO = กระบวนการที่มีอินพุทหลายตัวแปร และมีเอาท์พุทหลายตัวแปร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย