

PACS-i : โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการฝึกอบรมพลศาสตร์ และการควบคุมหอกลับ



นาย ธนันดร สุนทรกมล

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0616-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PACS-*i* : A COMPUTER PROGRAM FOR DISTILLATION DYNAMICS AND
CONTROL TRAINING



Mr. Thanundon Soonthornkamol

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0616-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ PACS-i : โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการฝึกอบรมพลศาสตร์ และการ
ควบคุมหอกลับ
โดย นายธเนศ สุนทรกมล
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ)

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

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติสุขกร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชยันทร สุนทรกมล : PACS-*i* : โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการฝึกอบรมพลศาสตร์
และการควบคุมหอกลิ้น (PACS-*i* : A COMPUTER PROGRAM FOR DISTILLATION
DYNAMICS AND CONTROL TRAINING) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.มนตรี วงศ์ศรี, 122 หน้า.
ISBN 974-13-0616-4

PACS-*i* หรือ Process Automatic and Control Simulator เป็นซอฟต์แวร์สำหรับ
เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งพัฒนาด้วยภาษาจาวา โปรแกรม PACS-*i* เป็นซิมูเลเตอร์
สำหรับการฝึกอบรมที่ให้ประสบการณ์แบบสัมผัสแก่บุคคลผู้ที่ศึกษา และปฏิบัติงานทางการ
ควบคุมกระบวนการ ซึ่งมักจะเป็นวิชาที่ค่อนข้างจะเป็นนามธรรม และเป็นเชิงคณิตศาสตร์
ซอฟต์แวร์นี้สามารถให้นักศึกษาและผู้ปฏิบัติงานมีประสบการณ์ที่ใกล้เคียงความจริง อย่างรวดเร็ว
และมีค่าใช้จ่ายต่ำสุด PACS-*i* เป็นโปรแกรมแรกในชุดกรณีศึกษาทางการควบคุม
กระบวนการ ซึ่งกระบวนการเป็นหอกลิ้นแบบหลายองค์ประกอบ พลวัตของหอกลิ้นแบบโดย
ใช้แบบจำลองของ Luyben (1992) ข้อกำหนดเฉพาะของหอกลิ้นที่สามารถกำหนดได้คือ จำนวน
เทรย์, ตำแหน่งเทรย์ป้อน, ประสิทธิภาพของเทรย์, ความยาวของฝาย, ความสูงของฝาย, เส้นผ่าน
ศูนย์กลางของหอก, อัตราส่วนรีฟลักซ์ และความร้อนที่ให้แก่มื้อดัมพ์ ผู้ใช้สามารถกำหนดองค์
ประกอบในสายป้อนได้ถึง 5 องค์ประกอบจากเมนูรายการที่มีจำนวนองค์ประกอบ 20 องค์
ประกอบ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงตัวแปรกระบวนการในลูฟเปิด เพื่อดูการตอบสนองของหอกต่อ
อินพุตแบบมาตรฐาน (สเต็ป, ซายนูซอยด์, ซูโดแรนคอมไบนารีซีเคิร์นซ์) มีการแสดงผลเป็น
กราฟ ในกระบวนการนี้มีลูฟการควบคุม 4 ลูฟที่สามารถเลือกได้ว่าจะให้เป็นการควบคุมแบบ
หนึ่งตำแหน่ง (สามลูฟ) หรือ การควบคุมแบบสองตำแหน่ง (ทั้ง 4 ลูฟ) มีโครงสร้างการควบคุม
แบบหนึ่งตำแหน่ง 6 โครงสร้าง และโครงสร้างการควบคุมแบบสองตำแหน่ง 6 โครงสร้าง ที่ผู้ใช้
สามารถเลือกศึกษาการออกแบบโครงสร้างการควบคุม และการทดสอบสมรรถนะของโครงสร้าง
การควบคุม อัลกอริทึมของตัวควบคุมแบบพีไอดีสามารถปรับแต่ง และจูนได้ ตัวควบคุมที่มีได้แก่
ตัวควบคุมแบบพีไอดี, ตัวควบคุมแบบพีไอดีที่มีอนุพันธ์ของตัวแปรวัด, ตัวควบคุมแบบพีไอดีที่
ใช้อัลกอริทึมแบบเวโลซิตี และตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ใช้อัลกอริทึมแบบโพซิชัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2543.....

4070294821 MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD : DYNAMIC SIMULATION/DISTILLATION CONTROL
THANUNDON SOONTHORNKAMOL : PACS-*i* : A COMPUTER PROGRAM
FOR DISTILLATION DYNAMICS AND CONTROL TRAINING. THESIS
ADVISER : MONTREE WONGSRI, D.Sc. 122 pp. ISBN 974-13-0616-4

PACS-*i*, the Process Automatic and Control Simulator, is PC software for training written in JAVA. PACS-*i* is an easy-to-use training simulator that provide hands-on experience to those studying and practicing process control which is often an abstract and mathematical subject. The software can provide students and practitioners close-to-real experience quickly and at minimal cost. PACS-*i* is the first in series of process control case studies with the multicomponent distillation column process. The column dynamics are simulated using a model described by Luyben (1992). The column specification that can be set are number of tray, feed tray position, tray efficiency, weir length, weir height, column diameter, reflux ratio and heat input of reboiler. The number of components in feed up to 5 can be selected from the list menu of 20 components. Users can manipulate process variables in an open loop to obtain a column responses of standard inputs (step, sinusoidal, pseudo random binary sequence). The results are shown via graphic display. There are four control loops for this process that can be choose as one-point (three loops) or two-point controls (all four). There are 6 one-point control structures and 6 two-point controls structures that users can choose from to study control configuration designs and their performance tests. The PID controller algorithm can be customized and tuned. There are PID, PID with derivative on measurement, Velocity PID and Position PID.



Department.....Chemical Engineering.....Student's signature.....
Field of studyChemical EngineeringAdviser's signature.....
Academic year.....2000.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และแนวความคิดต่างๆ ในงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อคิด และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือหลายๆ ด้านด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และน้องสาว ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มา และความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	5
2. สถานภาพปัจจุบันของตัวเลียนแบบกระบวนการ.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 การพัฒนาของการเลียนแบบกระบวนการ.....	7
2.3 การฝึกอบรมสำหรับพนักงานควบคุมกระบวนการ.....	9
2.4 โปรแกรม Control Station.....	10
2.4.1 ส่วนกรณีศึกษา (Case Studies module).....	13
2.4.2 ส่วนผู้ใช้สามารถกำหนดได้เอง (Custom Process module).....	13
2.4.3 ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ (Design Tool module).....	14
3. การเลียนแบบหอกลับ.....	15
3.1 ชนิดของหอกลับ.....	15
3.2 ชนิดของการเลียนแบบกระบวนการ.....	16
3.3 แบบจำลองเชิงพลวัตของหอกลับ.....	16
3.3.1 สมการความต่อเนื่อง.....	17

	หน้า
3.3.2 ไฮดรอลิกส์ของเทอร์ย์.....	24
3.4 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์.....	24
3.4.1 สมดุลไอ และของเหลว.....	24
3.4.2 เอนทัลปี.....	28
3.4.3 ค่าความหนาแน่นของของเหลว (Liquid Density).....	28
3.4.4 การคำนวณแฟลช (Flash calculation).....	29
4. PACS- <i>i</i> : Process Automatic Control Simulator.....	32
4.1 บทนำ.....	32
4.2 ลักษณะของภาษาจาวา.....	32
4.2.1 ภาษาจาวาเป็น Object-Oriented Programming.....	33
4.2.2 ภาษาจาวาใช้ได้กับทุกระบบปฏิบัติการ.....	33
4.3 โครงสร้างของ PACS- <i>i</i>	34
4.3.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้.....	34
4.3.2 ส่วนการเขียนแบบกระบวนการ.....	34
4.3.3 ส่วนของตัวควบคุม.....	39
4.4 วิธีจูนตัวควบคุม.....	42
4.4.1 วิธีจูนตัวควบคุมระดับ.....	42
4.4.2 วิธีจูนตัวควบคุมอุณหภูมิ.....	44
4.5 แผนภูมิของโปรแกรม.....	45
5. การใช้งานโปรแกรม PACS- <i>i</i>	47
5.1 สรุปขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรม PACS- <i>i</i>	47
5.2 การใช้งานส่วนต่างๆ ของโปรแกรม.....	48
5.2.1 เมนู 'File'.....	48
5.2.2 เมนู 'Input'.....	48
5.2.3 เมนู 'Control'.....	53
5.2.4 เมนู 'Run'.....	57
5.3 การแสดงผลการรันโปรแกรม PACS- <i>i</i>	57
5.3.1 การแสดงผลสถานะของสายป้อน.....	57
5.3.2 การแสดงผลสถานะของสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ.....	57

5.3.3 การแสดงผลสถานะของสายผลิตภัณฑ์กั้นหอ	62
5.4 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม	62
5.4.1 กรณีที่ 1	62
5.4.2 กรณีที่ 2	68
5.4.3 กรณีที่ 3	71
5.5 การทดสอบแนวโน้มของการคำนวณการเปลี่ยนแปลง	73
5.5.1 กรณีที่ 4	76
5.5.2 กรณีที่ 5	79
5.5.3 กรณีที่ 6	80
5.6 การวิเคราะห์ผล	84
5.6.1 การทดสอบโดยการเพิ่มอุณหภูมิของสายป้อนแบบสเต็ป	84
5.6.2 การทดสอบโดยการเพิ่มอัตราการไหลของสายป้อนแบบสเต็ป	84
5.6.3 การทดสอบโดยการเพิ่มอัตราส่วนของสารเบาในสายป้อนแบบสเต็ป	85
5.7 ตัวอย่างการรันกรณีที่มีการควบคุม	85
5.7.1 กรณี ก.	86
5.7.2 กรณี ข.	86
5.7.3 กรณี ค.	89
5.7.4 กรณี ง.	89
5.7.5 กรณี จ.	92
6. สรุปผล ปัญหา และข้อเสนอแนะ	94
6.1 สรุปผลงานวิจัย	94
6.2 ปัญหา และข้อจำกัดของโปรแกรม	95
6.3 ข้อเสนอแนะ	95
รายการอ้างอิง	96
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบพลวัตของโปรแกรม PACS-i เทียบกับ Aspen Plus	99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	122

สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 ตัวอย่างหอกลิ้นแบบธรรมดา ซึ่งมีโครงสร้างการควบคุมแบบ LV.....	2
2.1 รูปแบบของโปรแกรม Control Station.....	11
2.2 รูปแบบของโปรแกรม Control Station (ต่อ).....	12
3.1 หอกลิ้นแบบธรรมดา.....	18
3.2 แบบจำลองของเทอร์ยี่ที่ n.....	21
3.3 แบบจำลองของหม้อต้มซ้ำ และฐานหอกลิ้น.....	23
3.4 แบบจำลองของเครื่องควบแน่น และถังรีฟลักซ์.....	24
4.1 ตัวอย่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้.....	35
4.2 การแสดงผลโดยกราฟซึ่งรันตามเวลา.....	36
4.3 ลำดับขั้นการคำนวณของการเลียนแบบ.....	38
4.4 โครงสร้างการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แบบหนึ่งตำแหน่ง.....	40
4.5 โครงสร้างการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แบบสองตำแหน่ง.....	43
4.6 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม.....	46
5.1 หน้าจอแรกของโปรแกรม PACS- <i>i</i>	48
5.2 เมนูของโปรแกรม.....	49
5.3 เมนูย่อยชื่อ Component Selection.....	51
5.4 เมนูย่อยชื่อ Column Design.....	52
5.5 ไดอะล็อกบ็อกซ์ของการกำหนดสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ.....	54
5.6 ไดอะล็อกบ็อกซ์ของการกำหนดสายผลิตภัณฑ์ก้นหอ.....	54
5.7 เมนูย่อยชื่อ Control Structure.....	55
5.8 ไดอะล็อกบ็อกซ์ของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม.....	56
5.9 หน้าจอการรันโปรแกรม PACS- <i>i</i>	58
5.10 การกำหนดค่าสถานะของสายป้อน.....	59
5.11 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอุณหภูมิยอดหอ.....	60
5.12 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมระดับของถังรีฟลักซ์.....	61
5.13 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอุณหภูมิก้นหอ.....	63
5.14 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมระดับของก้นหอกลิ้น.....	64
5.15 โปรแกรมไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ยี่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีศึกษาที่ 1.....	67

ภาพประกอบ	หน้า
5.16 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 2.....	70
5.17 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 3.....	74
5.18 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 4.....	78
5.19 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 5.....	81
5.20 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 6.....	83
5.21 ตัวอย่างการรันของกรณี ก.....	87
5.22 ตัวอย่างการรันของกรณี ข.....	88
5.23 ตัวอย่างการรันของกรณี ค.....	90
5.24 ตัวอย่างการรันของกรณี ง.....	91
5.25 ตัวอย่างการรันของกรณี จ.....	93
ก.1 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 7.....	101
ก.2 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 8.....	104
ก.3 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 9.....	106
ก.4 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 10.....	109
ก.5 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 11.....	111
ก.6 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 12.....	114
ก.7 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 13.....	116
ก.8 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 14.....	119
ก.9 โพรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ช่เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 15.....	121

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

ความหมายของตัวแปร

z_i	องค์ประกอบของสารป้อน (เศษส่วนโมล)
x_i	องค์ประกอบของมวลสารในระบบ (เศษส่วนโมล)
M	มวลสารในระบบ (lb-mol)
F	อัตราการไหล (lb-mol/h)
\dot{M}_i^{gen}	อัตราการสร้างองค์ประกอบ i ในระบบ (lb-mol/h)
\dot{M}_i^{con}	อัตราการใช้องค์ประกอบ i ในระบบ (lb-mol/h)
E	พลังงานทั้งหมด (Specific total energy Btu/lb-mol)
Q	ความร้อนที่ให้กับระบบ (Btu/h)
W	งานที่ทำโดยระบบ (Btu/h)
U	พลังงานภายใน (Specific internal energy Btu/lb-mol)
PE	พลังงานศักย์ (Specific potential energy Btu/lb-mol)
KE	พลังงานจลน์ (Specific kinetic energy Btu/lb-mol)
H	ค่าเอนทาลปี (Enthalpy Btu/lb-mol)
PV	งานของความดัน-ปริมาตร (Pressure-Volume work Btu/lb-mol)
M_n	โพลีเมอร์ของของเหลวบนเทอร์ย์ที่ n

L_n	อัตราการไหลของของเหลวที่ออกจากเทอร์ย์ n
V_n	อัตราการไหลของไอที่ออกจากเทอร์ย์ n
F_n	อัตราการไหลของสารป้อนที่เข้าเทอร์ย์ n
$x_{i,n}$	เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในเฟสของเหลวที่ไหลออกจากเทอร์ย์ n
$y_{i,n}$	เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในเฟสไอที่ไหลออกจากเทอร์ย์ n
$z_{i,n}$	เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในสารป้อนที่เข้าเทอร์ย์ n
h_n^L	เอนทาลปีของของเหลวที่เทอร์ย์ที่ n
h_n^V	เอนทาลปีของไอที่เทอร์ย์ที่ n
h_n^F	เอนทาลปีของสารป้อนที่เทอร์ย์ที่ n
M_b	โพลีเมอร์ของของเหลวในฐานะหอกถั่ว
L_1	อัตราการไหลของของเหลวจากเทอร์ย์ที่ 1 ไปยังฐานหอกถั่ว
V_b	อัตราการไหลของไอจากหม้อต้มเข้าไปยังเทอร์ย์ที่ 1
B	อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ก้นห่อ
$x_{i,b}$	เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในผลิตภัณฑ์ก้นห่อ
$x_{i,1}$	เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในเฟสของเหลวที่เทอร์ย์ 1
$y_{i,b}$	เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในเฟสไอในฐานหอกถั่ว
h_b^L	เอนทาลปีของของเหลวในผลิตภัณฑ์ก้นห่อ
h_1^L	เอนทาลปีของของเหลวในเทอร์ย์ที่ 1
h_b^V	เอนทาลปีของไอในฐานหอกถั่ว

Q_r	อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำ
Q_c	ความร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่น
L_n	อัตราที่ของเหลวไหลออกจากเทรย์ที่ n
C	ค่าคงที่ของสมการ
ρ_n^l	ความหนาแน่นของของเหลวบนเทรย์ที่ n
W_{len}	ความยาวฝาย (Weir length)
H_{ow}	ระดับของของเหลวที่ท่วมฝาย (Height above weir)
P_i	ความดันย่อยในชั้นไอขององค์ประกอบ i
P_i^*	ความดันไอของของเหลวบริสุทธิ์ i
P_T	ความดันรวม
K_i	ค่าอัตราส่วนของไอ และของเหลวของสาร i
A_i, B_i, C_i	เป็นค่าคงตัวของสมการ
f_i^V, f_i^L	ค่าฟูกาซิตีของไอ และของเหลว
ϕ_i^V, ϕ_i^L	ค่าสัมประสิทธิ์ฟูกาซิตี (Fugacity coefficient) ของไอ และของเหลว
v_i^c	ค่าปริมาตรวิกฤตจำเพาะ (Specific critical volume)
γ_i	ค่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตีของของเหลว (Liquid activity coefficient)
R	ค่าคงที่ของแก๊ส
C_1, C_2, C_3	ค่าสัมประสิทธิ์แอนโทอิน
h_{mix}^L	ค่าความร้อนของของผสม (Heat of mixing)

A, B	ค่าคงที่ของสมการ
$\Delta H_i^v (0^\circ F)$	ค่าความร้อนของการระเหย (Heat of vaporization)
ρ^L	ค่าความหนาแน่นของของเหลวในสารผสม (lb/ft ³)
ρ_i^L	ค่าความหนาแน่นของสารบริสุทธิ์ i (lb/ft ³)
A, B, n	สัมประสิทธิ์การเชื่อมต่อ (regression coefficients)
T_c	อุณหภูมิวิกฤติ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

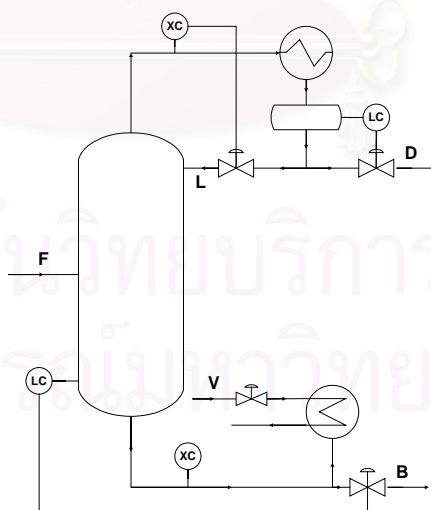
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

หอกลั่นเป็นหน่วยแยกสารที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในอุตสาหกรรมเคมี โดยเฉพาะอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้งที่มีอยู่ในปัจจุบันและที่กำลังเกิดขึ้นใหม่ วิศวกรเคมีควรจะต้องมีความเข้าใจในพฤติกรรมของหอกลั่นเป็นอย่างดี ในอดีตมีงานวิจัยเกี่ยวกับหอกลั่นมากมายจนถึงช่วงที่งานวิจัยเหล่านี้ได้หยุดไป (Dead area) จนกระทั่งในปัจจุบันได้มีความสนใจขึ้นมาใหม่ ตั้งแต่ที่หอกลั่นกลายเป็นวิชาที่ได้รับความสนใจในสาขาของวิศวกรรมกระบวนการ (Process System Engineering) รวมทั้งในสาขาของวิศวกรรมการควบคุมกระบวนการ (Process Control Engineering) อีกด้วย สาเหตุที่หอกลั่นกลับมาได้รับความสนใจอีกครั้ง เนื่องจากความต้องการประหยัดพลังงาน โดยที่ในอุตสาหกรรมเคมีพลังงานกว่าร้อยละห้าสิบใช้ที่หอกลั่น นอกจากนี้หอกลั่นเป็นระบบที่มีหน่วยย่อยอยู่จำนวนมากที่ต่อกันแบบкасасเคด เช่น หม้อต้มซ้ำ (Reboiler) เครื่องควบแน่น (Condenser) ถังเก็บรีฟลักซ์ (Reflux drum) นอกจากนี้ในตัวหอกลั่นเองยังแบ่งเป็นชั้น ซึ่งในแต่ละชั้นมีกระบวนการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นพร้อมกัน สิ่งเหล่านี้ทำให้หอกลั่นเป็นระบบที่มีความซับซ้อน และเป็นการยากที่จะใช้สามัญสำนึกธรรมดาการณถึงพฤติกรรมของหอกลั่นได้ การฝึกอบรมโดยใช้ซิมูเลเตอร์ จึงเป็นหนทางหนึ่งในการทำความเข้าใจพฤติกรรมของหอกลั่น

ในปัจจุบันนี้มีหนังสือเกี่ยวกับหอกลั่นมืออยู่เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างที่สำคัญๆ ได้แก่ หนังสือของ King (1971) ได้สรุปในทอมของการออกแบบ และพฤติกรรมของหอกลั่นแบบสถานะคงตัวไว้อย่างละเอียด หนังสือของ Rademaker et al. (1975) ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาของพลวัต และการควบคุมหอกลั่นที่สำคัญ หนังสือของ Shinsky (1977,1984) เกี่ยวกับการควบคุมหอกลั่น ประกอบด้วยตัวอย่างจากประสบการณ์ของผู้แต่ง ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แบบต่างๆ หนังสือของ Buckley et al. (1985) พิจารณารายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมระดับ และความดันในหอกลั่น แต่ในการควบคุมองค์ประกอบ และการเลือกโครงสร้างการควบคุมได้สรุปไว้อย่างคร่าวๆเท่านั้น หนังสือของ Kister (1990) ได้รวบรวมเกี่ยวกับการทำงานของหอกลั่น และคำแนะนำในการปฏิบัติงานจริง ซึ่งหนังสือได้พิจารณาถึงการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แบบหนึ่งตำแหน่ง การควบคุมระดับ และความดัน หนังสือของ Luyben (1992) ได้รวบรวมงานเขียนของผู้แต่งที่เป็นที่รู้จัก ซึ่งทำงานเกี่ยวกับด้านพลวัต และการควบคุมหอกลั่น



รูป 1.1 ตัวอย่างหอกลั่นแบบธรรมดา ซึ่งมีโครงสร้างการควบคุมแบบ LV

หอกลับแบบธรรมดา มีสายป้อน 1 สาย สายผลิตภัณฑ์ 2 สาย และมีการควบคุมโดยใช้โครงสร้างการควบคุมแบบ LV แสดงในรูปที่ 1.1

แม้ในปัจจุบันจะมีบทความ และหนังสือเกี่ยวกับหอกลับ และการควบคุมอยู่เป็นจำนวนมาก แต่วิศวกรเคมีที่ทำหน้าที่ควบคุมหอกลับมีผู้ที่มีความเข้าใจในด้านพลวัต (Dynamic) และการควบคุมหอกลับอยู่น้อยมาก จึงน่าที่จะมีการพัฒนาโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมเกี่ยวกับพลวัต และการควบคุมหอกลับขึ้นมาเพื่อให้วิศวกรได้ฝึกฝนจนมีความเข้าใจ และแก้ไขปัญหาการดำเนินงานให้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนั้น โปรแกรมการเลียนแบบกระบวนการที่ใช้ศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นแบบสถานะคงตัว (Steady State) ซึ่งจะทำให้นักศึกษามีความเข้าใจที่ไม่ชัดเจน

ในด้านอุตสาหกรรม หอกลับเป็นหน่วยที่ใช้พลังงานมากที่สุดในโรงงาน เนื่องจากหอกลับใช้ความร้อนในการแยกสารเพียงอย่างเดียว จากปัญหานี้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของหอกลับให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิต เช่นการออกแบบรูปแบบโครงสร้างการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานหอกลับ จะช่วยให้การควบคุมการทำงานของหอกลับเป็นไปโดยง่าย และถูกต้อง ถือได้ว่ามีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงาน ซึ่งในปัจจุบันนี้มีโปรแกรมการเลียนแบบกระบวนการแบบพลวัต และการควบคุมหอกลับของต่างประเทศอยู่มาก เช่น แอสเพน ไดนามิกส์ สปีดอัพ เป็นต้น แต่โปรแกรมเหล่านี้มีราคาแพง และมีความยุ่งยาก และซับซ้อนในการใช้งาน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบโปรแกรมที่มีความยุ่งยากน้อยกว่าโปรแกรมของต่างประเทศด้วยการตั้งสมมติฐานต่างๆ แต่สามารถที่จะให้พฤติกรรมทางพลวัตในแนวทางเดียวกันกับโปรแกรมที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป โปรแกรมการเลียนแบบที่กล่าวถึงมีชื่อว่า PACS (Process Automatic Control Simulator) ซึ่งโปรแกรมนี้อาจจะประกอบไปด้วยหน่วยการผลิตต่างๆ เช่น

หอกถัน ถังปฏิกรณ์ ถังต่อเนือง และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในงานวิจัยครั้งนี้ได้รับเริ่ม PACS-*i* ขึ้นมาโดยมีหอกถันเป็นหน่วยการผลิตแรก โดยโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบนี้จะช่วยให้วิศวกร พนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต และนักศึกษา มีมโนทัศน์ในด้านพลวัต และสามารถเข้าใจปรากฏการณ์ของหอกถัน ซึ่งจะช่วยให้สามารถทำการขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาโปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมบุคลากรให้มีความรู้ และทักษะเบื้องต้นทางด้านพลวัต และการควบคุมหอกถัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. หอกถันเป็นแบบเทอร์ย์
2. มีสารป้อนเข้า 1 สาย และสายผลิตภัณฑ์ 2 สาย
3. เป็นระบบหลายองค์ประกอบ มีการป้อนสารได้ไม่เกิน 5 ตัว
4. เครื่องควบคุมเป็นแบบทั้งหมด
5. หม้อต้มซ้ำเป็นแบบผู้ใช้กำหนดค่าความร้อน
6. ความดันที่ใช้ในหอกถันอยู่ในช่วงปกติไม่เกิน 100 psia (ไม่มี Vapor Holdup)
7. ความดันคงที่หรือความดันลดของแต่ละเทอร์ย์คงที่
8. ของเหลวมีเฟสเดียว
9. การเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อนจำเพาะ (Enthalpy) คงที่

10. โครงสร้างการควบคุมเป็นการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แบบหนึ่งตำแหน่ง (One point control) และแบบสองตำแหน่ง (Two point control)
11. ระบบฐานข้อมูลมีสารให้ผู้ใช้ได้เลือก 20 ตัว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โปรแกรมการเลียนแบบกระบวนการสำหรับใช้ในการฝึกอบรม โดยที่นิสิตนักศึกษา พนักงาน หรือวิศวกรไม่จำเป็นต้องใช้หอกลับจริงในการเรียนรู้ หรือเพิ่มพูนทักษะ ซึ่งจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย และไม่มีอันตรายเกิดขึ้น

1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดแบ่งเนื้อหาออกเป็นบท โดยในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงลำดับของการพัฒนาการ สถานะปัจจุบัน และแนวโน้มในอนาคตของโปรแกรมการฝึกอบรม

บทที่ 3 กล่าวถึงการเลียนแบบหอกลับ แบบจำลองของหอกลับ สมดุลไอ - ของเหลว (Vapor – Liquid equilibrium)

บทที่ 4 กล่าวถึงโปรแกรม PACS-*i* (Process Automatic Control Simulator) โครงสร้างของโปรแกรม และหน้าที่ของแต่ละส่วน

บทที่ 5 กล่าวถึงการใช้งานโปรแกรม PACS-*i* ลำดับการใช้งาน และการทดสอบโปรแกรม

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผล และวิจารณ์

บทที่ 2

สถานภาพปัจจุบันของตัวเลียนแบบกระบวนการ

2.1 บทนำ

ในปัจจุบันการเลียนแบบกระบวนการ (Process Simulation) ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของงานประจำของวิศวกรในอุตสาหกรรมเคมี ซอฟต์แวร์หลายๆ ตัวมีความสามารถให้บุคคลที่ทำงานกับกระบวนการผลิต วิศวกร ตลอดจนผู้ดูแลกระบวนการผลิตได้ทำการตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการผลิตบนพื้นฐานของผลการเลียนแบบกระบวนการซึ่งแสดงผลเป็นกราฟบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ตัวเลียนแบบกระบวนการ (Process Simulator) ไม่เพียงแต่ใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรในการปฏิบัติงานในโรงงานเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้ประโยชน์ในงานการออกแบบ และดำเนินงานอีกด้วย

แบบจำลองของกระบวนการ ใช้ในการออกแบบโพลีเมต และรายละเอียดของพารามิเตอร์ที่สำคัญของหน่วยการผลิตเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น จำนวนเทรย์ของหอกถั่น และเส้นผ่าศูนย์กลางของหอกถั่น ในระหว่างนั้นแอปพลิเคชันอื่นๆ ได้เพิ่มความสำคัญกระจายไปยังส่วนต่างๆ ของกระบวนการผลิตภายในวงจรของกระบวนการ (Life cycle) จากขั้นการสังเคราะห์กระบวนการ (Synthesis) ไปยังขั้นการออกแบบ ขั้นการก่อสร้าง (Construction) ขั้นเริ่มต้นการทำงาน (Startup) ขั้นปรับปรุงการทำงาน (Modification) จนถึงขั้นถดถอย (Retirement)

การเลียนแบบกระบวนการใช้แทนขั้นการทดลอง (Pilot-Scale experiment) ในหลายๆ งาน แต่สำหรับบางกระบวนการ เช่นกระบวนการที่มีการนำกลับไปใช้ใหม่ (Recycle stream) ขั้นการทดลองยังมีความจำเป็นอยู่ แต่การเลียนแบบกระบวนการก็ยังใช้เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการวางแผนของขั้นการทดลอง

2.2 การพัฒนาของการเลียนแบบกระบวนการ

การเลียนแบบกระบวนการในอดีตไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากชุดของซอฟต์แวร์หลายๆตัวมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (Graphic User Interfaces: GUIs) และการแสดงผลในรูปภาพที่ไม่ค่อยทันสมัย แต่ในปัจจุบันเครื่องมือของการเลียนแบบได้มีการให้ผู้ใช้สามารถวาดแผนผังของกระบวนการบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยที่ตัวซอฟต์แวร์มีการกำหนดแบบจำลองที่ใช้ในการเลียนแบบไว้ การที่ตัวเลียนแบบมีการอินพุต และเอาท์พุทข้อมูลแสดงเป็นรูปภาพ จะทำให้ผู้ใช้เกิดความรู้สึกน่าใช้ซอฟต์แวร์นั้นมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในขณะที่ทำการเลียนแบบกระบวนการผู้ใช้สามารถดูโพรไฟล์ของพารามิเตอร์ของการปฏิบัติงานได้ง่าย ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ และความเข้มข้น ในเครื่องปฏิกรณ์ และหอกลับ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เหล่านี้จะช่วยให้วิศวกรมีความง่ายในการสร้าง ปรับปรุง และดำเนินงานของแบบจำลองกระบวนการ ยิ่งกว่านั้นภายในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ยังมีระบบช่วยเหลือ รวมทั้งระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) ซึ่งจะช่วยจัดการกับข้อผิดพลาด และมีการแนะนำผู้ใช้ในการสร้างหน่วยการผลิตที่มีความเหมาะสม

ลักษณะอื่นๆของตัวเลียนแบบกระบวนการในปัจจุบันที่มีการให้ความช่วยเหลือต่อผู้ใช้ (User-friendly) คือ ความทนทาน (Robustness) ของตัวมันเอง เครื่องมือของซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งไว้ด้วยอัลกอริทึมที่ดีกว่าในอดีตจะช่วยสนับสนุนผู้ใช้ในหลายๆกลุ่มในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

การหาคำตอบของสมการของตัวเลขนแบบกระบวนการในสมัยกลาง 1980s มีความยากลำบากมาก เนื่องจากผู้ใช้จำเป็นต้องมีการคาดเดาค่าเริ่มต้น (Initial guesses) ที่ดีมาก เพื่อที่จะใช้วิธีการทำซ้ำเชิงตัวเลขให้ลู่เข้าสู่คำตอบ ซึ่งในปัจจุบันนี้ชุดของซอฟต์แวร์ได้จัดให้มีการสร้างหน่วยการทำงานที่จะช่วยให้ผู้ใช้ที่ไม่มีประสบการณ์มาก่อน สามารถแก้ปัญหาให้ลู่เข้าสู่คำตอบได้ง่ายมากกว่าสมัยก่อนๆ

แม้ว่าหลายๆปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการสามารถหาคำตอบได้โดยการตรวจสอบคำตอบที่สถานะคงตัวของแบบจำลอง การตรวจสอบเกี่ยวกับพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ให้ความเข้าใจใหม่ ยกตัวอย่างเช่น พฤติกรรมทางพลวัตของกระบวนการในระหว่างขั้นเริ่มต้นการทำงาน และขั้นปิด (Shutdown) เป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบระบบการควบคุมกระบวนการ และการฝึกอบรมพนักงาน ซึ่งปกติแล้วตัวเลขนแบบมีความสามารถในการเปลี่ยนกลับไปมาระหว่างการเลขนแบบกระบวนการแบบสถานะคงตัว และแบบพลวัต

ในอดีตการสร้างผลของการเลขนแบบกระบวนการใช้เวลาเป็นชั่วโมงๆ หรือเป็นวัน จากปัญหานี้ทำให้จำกัดการทำงานของตัวเลขนแบบให้ใช้ได้กับปัญหาที่ไม่ต้องการคำตอบที่รวดเร็วนัก โดยผลของการเลขนแบบจะพิมพ์ออกมาทางเครื่องพิมพ์เป็นชุดข้อมูลประกอบด้วยตัวเลขมากมาย ซึ่งในปัจจุบันผลของการเลขนแบบกระบวนการสามารถหาได้อย่างรวดเร็วเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาของหน่วยที่ทำงานไม่ปกติ สามารถเข้าใจปัญหาได้โดยการดูกราฟการตอบสนองบนจอคอมพิวเตอร์ ความรวดเร็วของการคำนวณ และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่มีการให้ความช่วยเหลือต่อผู้ใช้เป็นหัวใจของการพัฒนาการของตัวเลขนแบบกระบวนการ เนื่องจากในปัจจุบันสามารถแก้ไขปัญหายุ่งยากๆได้ในเวลาที่จำกัด และไม่จำเป็นต้องใช้สามัญสำนึก หรือการคาดเดาในการจัดการกับปัญหา หรือการออปติไมซ์กระบวนการ

ในท้ายที่สุด โปรแกรมต่างๆ ได้ถูกเขียนขึ้นใหม่โดยใช้การเขียนภาษาลักษณะอ้างอิงเชิงวัตถุ (Object-Oriented languages) ยกตัวอย่างเช่น ภาษา C ++ โดยการเขียนภาษานี้ทำให้นักพัฒนาโปรแกรมสามารถสร้างส่วนย่อยต่างๆ ของโปรแกรมเป็นวัตถุ (Object) แยกอิสระจากกัน และนำส่วนย่อยๆ นั้นมาประกอบเป็น โปรแกรมใหญ่ ซึ่งทำให้โปรแกรมมีความน่าเชื่อถือ และลดเวลาในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งตัวเขียนแบบกระบวนการในปัจจุบันส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแบบอ้างอิงเชิงวัตถุ

ผลของการพัฒนาการของตัวเขียนแบบกระบวนการได้สร้างโอกาสในการพัฒนาความชำนาญทางวิศวกรรมเคมีต่อปัญหาต่างๆ ในช่วงกว้าง โดยไม่คำนึงถึงขนาดหรือตำแหน่งของปัญหาในโรงงาน

2.3 การฝึกอบรมสำหรับพนักงานควบคุมกระบวนการ

การสร้างแบบจำลองของกระบวนการใช้ประโยชน์ไม่เพียงแต่ในด้านการออกแบบเท่านั้น ยังสามารถใช้ในการฝึกอบรมได้เป็นอย่างดี วัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองบ่อยครั้งใช้ในการฝึกอบรมพนักงานควบคุมกระบวนการ

ในการเริ่มต้นการฝึกอบรมควรมีการกำหนดเกี่ยวกับทักษะ และความรู้ที่จะใช้สอน ควรเริ่มต้นโดยการใช้แบบจำลองที่มีความง่ายก่อน แล้วจึงเพิ่มความซับซ้อนเข้าไป ยกตัวอย่างเช่น การใช้ประโยชน์ของการฝึกอบรมโดยใช้การเขียนแบบซึ่งสร้างจากบล็อกของการควบคุมแบบกระจายส่วน (Distributed Control System: DCS) วิธีการนี้ใช้เวลาแล็ก และลีด (Lag and Lead times) แบบง่ายในการจำลองพฤติกรรมที่ขึ้นกับเวลาของอุปกรณ์

การฝึกอบรมใช้มากในส่วนใหม่ของโรงงานใหม่ วัตถุประสงค์ของการทำแบ่งได้เป็น การตรวจสอบรูปแบบของการควบคุมแบบกระจายส่วน ให้โอกาสพนักงานควบคุมกระบวนการได้

ศึกษาเกี่ยวกับแผงควบคุม (Console) และทำความเข้าใจในกระบวนการผลิต ในสองข้อแรกจะมีความง่ายในการทำ อย่างไรก็ตามการสอนเกี่ยวกับส่วนสำคัญของกระบวนการผลิตให้พนักงานจำเป็นต้องใช้แบบจำลองหลายๆตัวในการแสดงการทำงานของกระบวนการผลิต

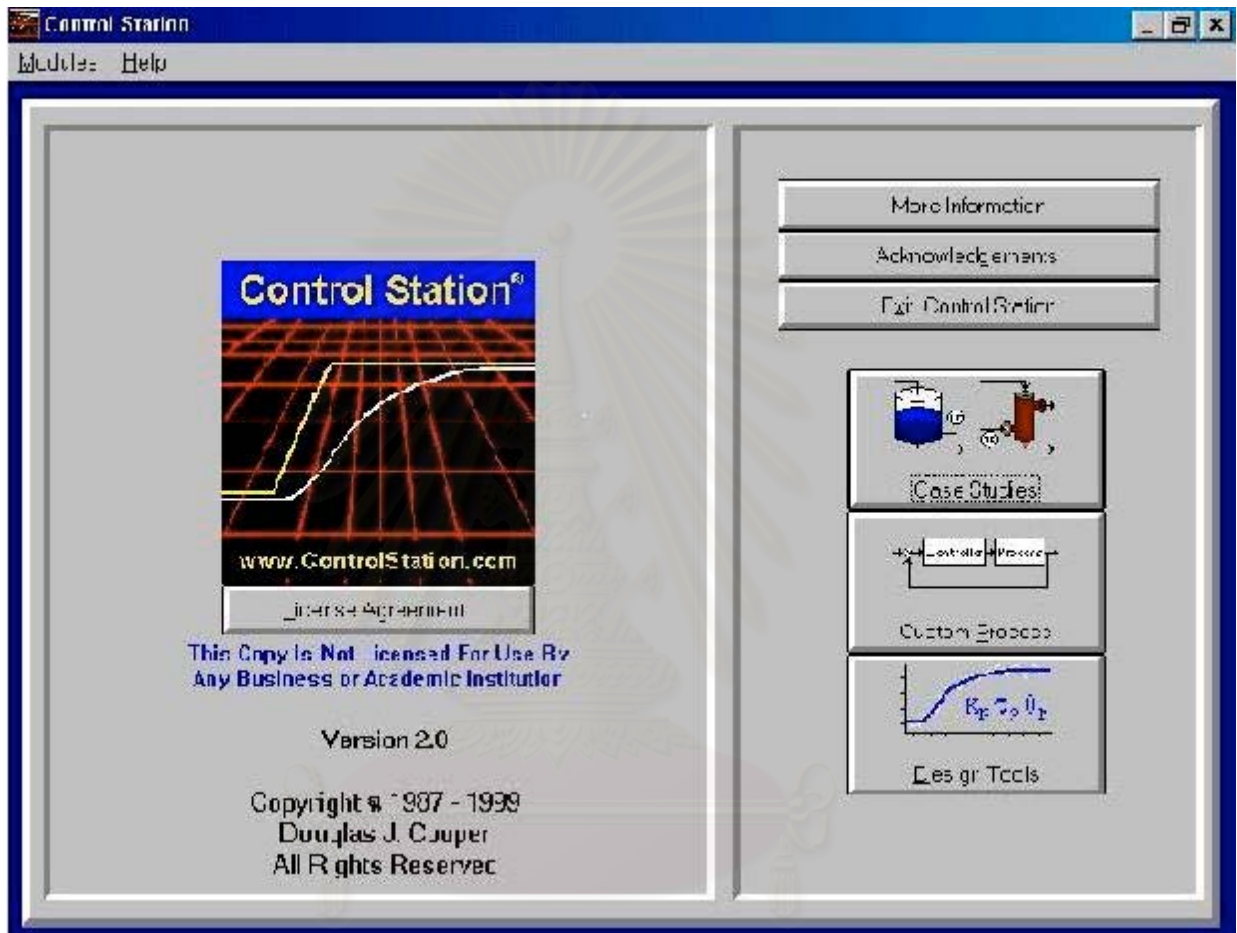
การพัฒนาการส่วนใหญ่ของโปรแกรมฝึกอบรมโดยใช้การเลียนแบบจะประสบความสำเร็จได้โดยทำการเชื่อมต่อแบบจำลองกับแผงควบคุมแบบกระจายส่วน และให้พนักงานควบคุมระบบสามารถนำไปใช้กับหน่วยการผลิตจริงได้ อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อของแบบจำลองกับการดำเนินการควบคุมแบบกระจายส่วนจะเกิดอันตราย ถ้าเกิดความผิดพลาดของโปรแกรมการฝึกอบรมสำหรับการใช้กับหน่วยการผลิตจริง

2.4 โปรแกรม Control Station

โปรแกรมการฝึกอบรมที่ทำการประดิษฐ์ จะมีความคล้ายคลึงกับซอฟต์แวร์ซึ่งพัฒนาโดยคณาจารย์ทางวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยคอนเนคติกัต สหรัฐอเมริกา ชื่อ Control Station ซึ่งมีรูปแบบของโปรแกรมดังรูปที่ 2.1 และ 2.2

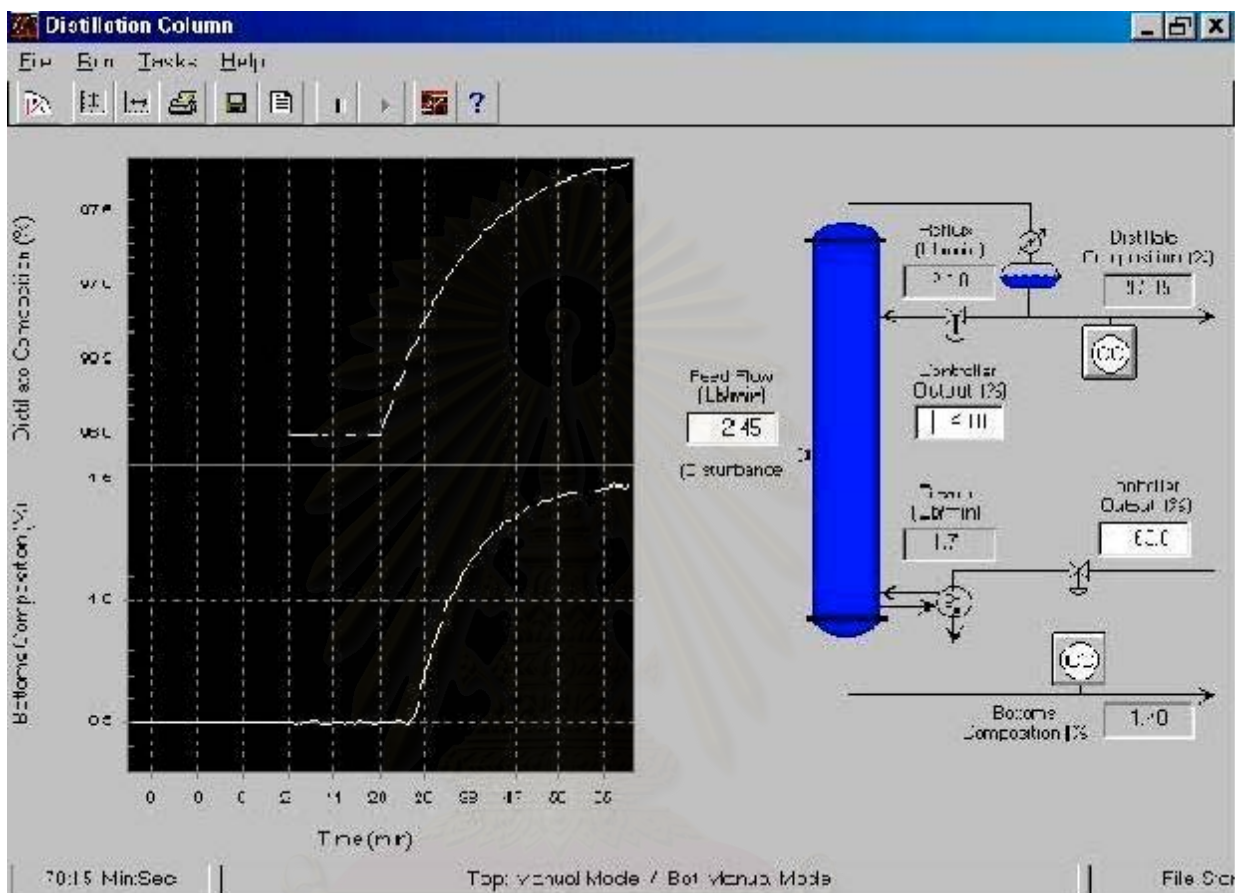
โปรแกรม Control Station เป็นทั้งโปรแกรมการฝึกอบรมการควบคุมกระบวนการโดยใช้การเลียนแบบกระบวนการ และเป็นเครื่องมือใช้ในการออกแบบ และปรับจูนตัวควบคุม ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในด้านอุตสาหกรรม และในด้านการศึกษา สำหรับ

- การฝึกอบรมการควบคุมกระบวนการ
- การสร้างแบบจำลองทางพลวัตของกระบวนการ
- การวิเคราะห์ และการปรับจูนลูปของการควบคุม
- สามารถใช้ในการศึกษากระบวนการต่างๆ



รูป 2.1 รูปแบบของโปรแกรม Control Station

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.2 รูปแบบของโปรแกรม Control Station (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยโปรแกรมประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนกรณีศึกษา ส่วนผู้ใช้สามารถกำหนดได้เอง และส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ

2.4.1 ส่วนกรณีศึกษา (Case Studies module)

ส่วนกรณีศึกษาใช้ในการฝึกอบรม และศึกษากระบวนการ การเขียนแบบกระบวนการ แสดงโดยใช้ภาพสี มีความง่ายในการใช้งาน และแสดงผลเป็นกราฟที่รันตามเวลา สำหรับแต่ละกระบวนการ ผู้ใช้สามารถปรับตัวแปรของกระบวนการในลูปเปิด ได้ข้อมูลทดสอบแบบพัลส์ (Pulse) สเต็ป (Step) หรือแรมป์ (Ramped) ข้อมูลของกระบวนการสามารถพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ หรือสามารถเก็บเป็นไฟล์ได้ ส่วนกรณีศึกษารอบคลุมกับการศึกษาการควบคุมกระบวนการทางเคมีพื้นฐาน ซึ่งประกอบด้วย การควบคุมระดับของเหลวในถัง, การควบคุมอุณหภูมิเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, การควบคุมความเข้มข้นของสารภายในเครื่องปฏิกรณ์ และ การควบคุมความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ภายในหอกลั่น ซึ่งใช้ตัวควบคุมพื้นฐานชนิด P, PI และ PID รวมถึงตัวควบคุมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น การควบคุมแบบคาสเคด (Cascade control) การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed Forward control) การควบคุมแบบดิจิตอล และ โมเดลพรีดิกทีฟ (Digital & Model Predictive control)

2.4.2 ส่วนผู้ใช้สามารถกำหนดได้เอง (Custom Process module)

ผู้ใช้สามารถกำหนดกระบวนการ และตัวควบคุมตามที่ต้องการได้ แบบจำลองแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ได้ถูกใส่เข้าไปเพื่ออธิบายเอาต์พุตของตัวควบคุม ทำการวัดพลวัตของตัวแปรกระบวนการ วัดค่าการรบกวน (Disturbance) ที่กำหนด และเขียนแบบแบบจำลองเพื่ออธิบายปฏิสัมพันธ์ระหว่างลูปต่างๆ แบบจำลองแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันมีทั้งแบบเป็นเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น และโอเวอร์แดมปี (Overdamped) หรืออันเดอร์แดมปี (Underdamped)

ส่วนผู้ใช้งานสามารถกำหนดเองยังสามารถใช้ในการศึกษาพลวัต และการควบคุมกระบวนการ ผู้ใช้งานสามารถสำรวจว่าแบบจำลองอันไหนอธิบายพฤติกรรมของหน่วยการผลิตที่ต้องการได้ อย่างเหมาะสม ศึกษาถึงความแตกต่างของตัวควบคุมแบบต่างๆ การปรับจูนตัวควบคุม และรูปแบบการควบคุมชนิดต่างๆ นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบของความผิดพลาดของแบบจำลอง (Model mismatch) ในการควบคุมแบบใช้แบบจำลอง (Model based) และผลกระทบของตัวรบกวนในการวัดค่าตัวแปรในลูปปิด

2.4.3 ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ (Design Tool module)

ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบตัวควบคุม รวมถึงการปรับให้เหมาะสมของแบบจำลองทางพลวัตแบบเชิงเส้น กับข้อมูลของกระบวนการ และปรับจูนค่าของตัวควบคุมภายในช่วงของตัวควบคุมนั้น ซึ่งส่วนนี้สามารถรับข้อมูลจากส่วนต่างๆได้ เช่นข้อมูลจากส่วนกรณีศึกษา และส่วนผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้เองใน Control Station หรือข้อมูลจากซอฟต์แวร์อื่นๆ หรือจากกระบวนการจริง แบบจำลองแบบเชิงเส้นในส่วนเครื่องมือประกอบด้วย

- First Order Plus Dead Time
- Second Order Plus Dead Time
- Second Order Plus Dead Time with Lead Time
- Second Order Integrator Plus Dead Time
- Second Order Plus Dead Time Underdamped

บทที่ 3

การเลียนแบบหอกลับ

การเลียนแบบ (Simulation) โดยอาศัยแบบจำลองเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมาก สำหรับการวิเคราะห์การทำงานของหอกลับทั้งในด้านปริมาณ คุณภาพ รวมถึงการออกแบบตอนเริ่มต้น (Initial design) และการปรับปรุงกระบวนการ ในปัจจุบันนี้จากปัญหาคาน้ำมันเชื้อเพลิงแพง การศึกษาเกี่ยวกับหอกลับ โดยให้ความสำคัญกับการประหยัดพลังงานกลายเป็นสิ่งสำคัญ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเลียนแบบกระบวนการแบบพลวัตของหอกลับเป็นการพัฒนาทางด้านระบบการควบคุม ซึ่งจะนำมาสู่การประหยัดพลังงาน

3.1 ชนิดของหอกลับ

หอกลับสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบธรรมดา และซับซ้อน หอกลับแบบธรรมดาจะมีสายป้อน สายผลิตภัณฑ์ยอดหอ และสายผลิตภัณฑ์ก้นหอ อย่างละหนึ่งสาย ซึ่งหอกลับแบบซับซ้อนจะมีสายป้อนหลายสาย รวมทั้งมีสายผลิตภัณฑ์ออกด้าน การแบ่งชนิดของหอกลับยังสามารถพิจารณาตามจำนวนองค์ประกอบของสายป้อน เช่นระบบสององค์ประกอบ หรือระบบหลายองค์ประกอบ หอกลับแบบซับซ้อน เช่น หอ กลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งประกอบด้วยหลายๆ องค์ประกอบ และแยกเป็นสายผลิตภัณฑ์ 4 หรือ 8 สาย ในเทอมของการเลียนแบบไม่นิยมใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนมากๆ เนื่องจากระบบจะประกอบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยาก และใช้เวลามากในการแก้สมการ ชนิดของหอกลับอื่นๆนอกจากนี้ เช่น หอกลับแบบแบทช์ (Batch)

หรือแบบต่อเนื่อง หอกลิ้นแบบแพค (Packed) หรือแบบชั้น (Tray) หอกลิ้นแบบสก็ด หรือหอกลิ้นแบบที่มีการเกิดปฏิกิริยาภายในหอ ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาหอกลิ้นแบบต่อเนื่องที่มีลักษณะเป็นชั้นเท่านั้น

3.2 ชนิดของการเลียนแบบกระบวนการ

การเลียนแบบหอกลิ้นมี 2 แบบ คือแบบสถานะคงตัว และพลวัต การเลียนแบบกระบวนการแบบสถานะคงตัวจะไม่ขึ้นกับเวลา โดยทั่วไปใช้ในการออกแบบ และศึกษากระบวนการ หรืออาจใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงาน เช่นการถ่ายโอนความร้อนจากหน่วยหนึ่งไปอีกหน่วยหนึ่งโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หรือใช้ในการควบคุมมลภาวะที่เกิดขึ้น

การเลียนแบบกระบวนการแบบพลวัตจะมีความแตกต่างจากแบบสถานะคงตัว คือใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านการควบคุมหอกลิ้น และจะขึ้นกับเวลา โรงงานอุตสาหกรรมจะทำการเลียนแบบกระบวนการแบบสถานะคงตัวในงานที่ทำเป็นประจำ ส่วนการเลียนแบบกระบวนการแบบพลวัตจะใช้เป็นเครื่องมือในกรณีพิเศษออกไป

3.3 แบบจำลองเชิงพลวัตของหอกลิ้น (Dynamics Modeling of Distillation)

ในบทนี้จะแสดงถึงแบบจำลองเชิงพลวัตของหอกลิ้น เพื่อใช้ศึกษา และออกแบบการควบคุมองค์ประกอบของหอกลิ้น ซึ่งจะต้องพัฒนาแบบจำลองเทรย์ต่อเทรย์ (Tray-by-tray model) ร่วมกับสมดุลของไอ และของเหลว (Vapor-Liquid Equilibrium VLE)

แบบจำลองเชิงพลวัตของหอกลิ้น สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆของกระบวนการ อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการกลั่นมีความซับซ้อน อาจจะไม่สามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์ได้อย่างสมบูรณ์ครบถ้วน ดังนั้น

จึงต้องมีการตั้งสมมติฐานเพื่อกำหนดพฤติกรรมบางอย่างของกระบวนการกลั่น คือ ของเหลวที่อยู่บนเทรย์ผสมกันอย่างสมบูรณ์ และเป็นของเหลวที่ไม่สามารถอัดตัวได้ แต่ละเทรย์ภายในหอกกลั่นอยู่ในสถานะสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ ของเหลวและไอที่อยู่บนเทรย์อยู่ในภาวะสมดุลทางความร้อนซึ่งกันและกัน แต่ไม่สมดุลเฟสหรือเป็นสภาวะไม่อิ่มตัว ไม่มีการไหลค้ำของไอ ไม่สนใจการเปลี่ยนแปลงของเอนทาลปีเฉพาะ และค่าความดันลดของเทรย์มีค่าคงที่ แบบจำลองเชิงพลวัตของหอกกลั่นสามารถแสดงได้ ดังนี้

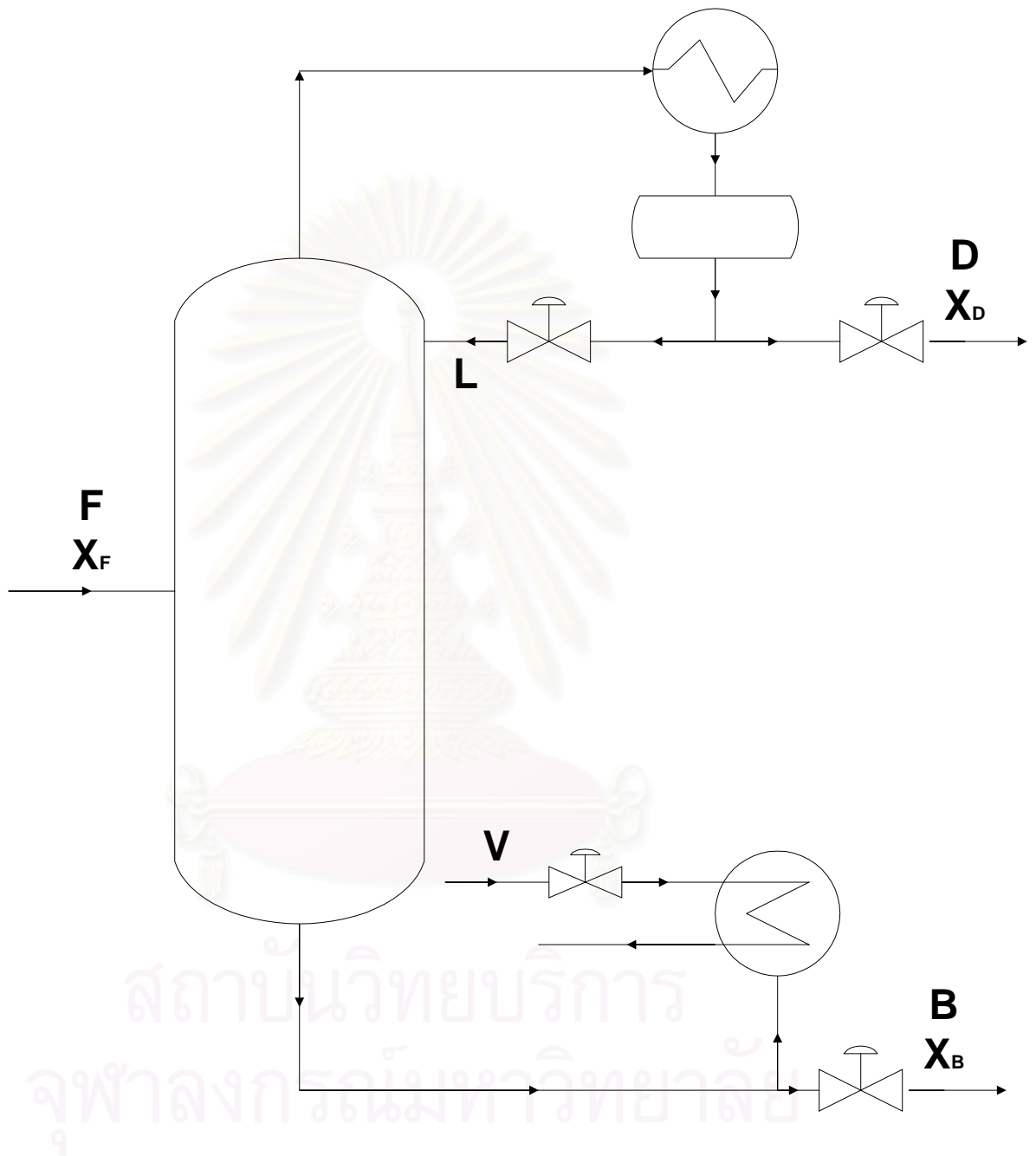
3.3.1 สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equations)

ในการศึกษาถึงแบบจำลอง เราจะไม่พยายามศึกษาถึงรายละเอียดของแบบจำลอง ซึ่งเราไม่ต้องการใช้ในการแก้ปัญหา

การพัฒนาแบบจำลองเชิงพลวัต จะเริ่มต้นด้วยการเขียนสมการของความต่อเนื่องเชิงพลวัตของมวลสาร และพลังงาน สำหรับแต่ละหน่วย ซึ่งมวลสารหรือพลังงานสามารถสะสมได้ (Accumulate) ในกระบวนการของหอกกลั่น จะพัฒนาสมการความต่อเนื่องของเทรย์, เครื่องควบแน่น, ถังเก็บรีฟลักซ์, ฐานหอกกลั่น และหม้อต้มซ้ำ

หลักการของสมการความต่อเนื่อง คือ

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{l} \text{อัตราการสะสมของ} \\ \text{มวลสาร (พลังงาน)} \end{array} \right] &= \left[\begin{array}{l} \text{มวลสาร (พลังงาน) ที่} \\ \text{ไหลเข้าระบบ} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{มวลสาร (พลังงาน) ที่} \\ \text{ไหลออกจากระบบ} \end{array} \right] \\ &+ \left[\begin{array}{l} \text{มวลสาร (พลังงาน) ที่} \\ \text{สร้างขึ้นภายในระบบ} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{มวลสาร (พลังงาน) ที่} \\ \text{ใช้ภายในระบบ} \end{array} \right] \end{aligned}$$



รูป 3.1 หอกลิ้นแบบธรรมดา

จะสามารถเขียนสมดุลสารขององค์ประกอบ และดุลพลังงานได้ดังนี้

$$\frac{dx_i M}{dt} = z_i^{in} F^{in} + x_i F_j^{out} + \dot{M}_i^{gen} + \dot{M}_i^{con} \quad (3.1)$$

โดยที่ z_i คือ องค์ประกอบของสารป้อน (เศษส่วนโมล)

x_i คือ องค์ประกอบของมวลสารในระบบ (เศษส่วนโมล)

M คือ มวลสารในระบบ (lb-mol)

F คือ อัตราการไหล (lb-mol/h)

\dot{M}_i^{gen} คือ อัตราการสร้างองค์ประกอบ i ในระบบ (lb-mol/h)

\dot{M}_i^{con} คือ อัตราการใช้องค์ประกอบ i ในระบบ (lb-mol/h)

เราไม่พิจารณาถึงการเกิดปฏิกิริยากันของสารในหอกถัน ดังนั้นจึงไม่มีเทอมการสร้าง และเทอมการใช้ขององค์ประกอบ i ในหอกถัน

สมการดุลพลังงาน

$$\frac{d(E^{out} M)}{dt} = E^{in} F^{in} + E^{out} F_j^{out} + Q + W \quad (3.2)$$

$$E = U + PE + KE \quad (3.3)$$

$$U = H + PV \quad (3.4)$$

โดยที่ E คือ พลังงานทั้งหมด (Specific total energy Btu/lb-mol)

Q คือ ความร้อนที่ให้กับระบบ (Btu/h)

W คือ งานที่ทำโดยระบบ (Btu/h)

U คือ พลังงานภายใน (Specific internal energy Btu/lb-mol)

PE คือ พลังงานศักย์ (Specific potential energy Btu/lb-mol)

KE คือ พลังงานจลน์ (Specific kinetic energy Btu/lb-mol)

H คือ ค่าเอนทาลปี (Enthalpy Btu/lb-mol)

PV คือ งานของความดัน-ปริมาตร (Pressure-Volume work Btu/lb-mol)

เทอม PE , KE และ PV เราสามารถตัดทิ้งได้ และในระบบนี้เราไม่พิจารณาการอัดตัวของไอ ดังนั้นเทอมคูลพลังงานที่ได้จะอยู่ในเทอมของเอนทาลปี

$$\frac{d(H^{out} M)}{dt} = H^{in} F^{in} - H^{out} F_j^{out} + Q \quad (3.5)$$

การแก้สมการดิฟเฟอเรนเชียล ใช้การอินทิเกรตไปข้างหน้า (Integrating forward in time) การ

กระจายเทอมดิริวิทีฟใช้สมการของออยเลอร์ (Euler Method)

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \left(\frac{dx}{dt}\right) \Delta t \quad (3.6)$$

โดยที่ $x(t=0) = x_0$

สมการความต่อเนื่องเชิงพลวัตของหน่วยต่างๆในหอกลับมีดังนี้

ก. เทรย์ที่ n

สมการดุลมวลสารรอบเทรย์ที่ n ในรูปที่ 3.2 เท่ากับ

$$\frac{d(M_n)}{dt} = L_{n+1} + V_{n-1} - L_n - V_n + F_n \text{ [ถ้าเป็นเทรย์ป้อน]} \quad (3.7)$$

โดยที่ M_n คือ โฮลด์อัฟของของเหลวบนเทรย์ที่ n

L_n คือ อัตราการไหลของของเหลวที่ออกจากเทรย์ n

V_n คือ อัตราการไหลของไอที่ออกจากเทรย์ n

F_n คือ อัตราการไหลของสารป้อนที่เข้าเทรย์ n

สมการดุลมวลสารขององค์ประกอบ i เท่ากับ

$$\frac{d(x_{i,n}M_n)}{dt} = x_{i,n+1}L_{n+1} + y_{i,n-1}V_{n-1} - x_{i,n}L_n - y_{i,n}V_n + z_{i,n}F_n \quad (3.8)$$

โดยที่ $x_{i,n}$ คือ เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในเฟสของเหลวที่ไหลออกจากเทรย์ n

$y_{i,n}$ คือ เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในเฟสไอที่ไหลออกจากเทรย์ n

$z_{i,n}$ คือ เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในสารป้อนที่เข้าเทรย์ n

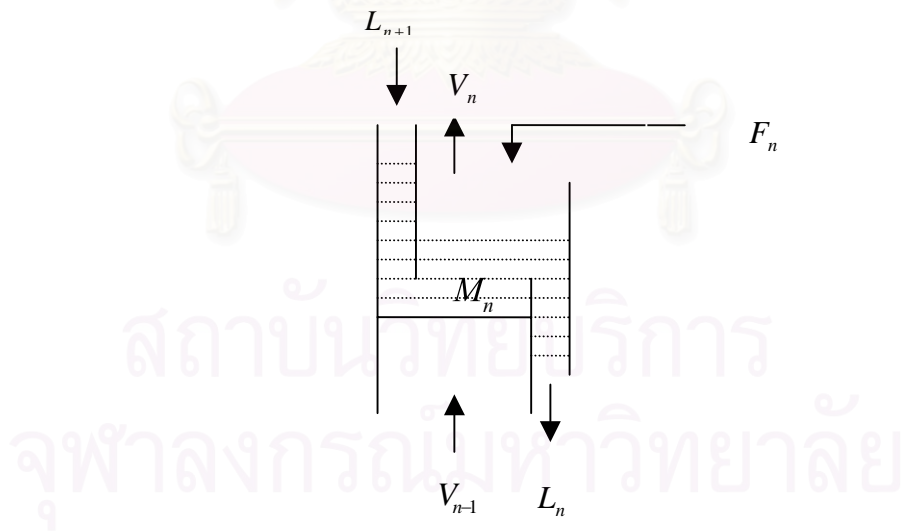
สมการดุลพลังงาน เท่ากับ

$$\frac{d(h_n^L M_n)}{dt} = h_{n+1}^L L_{n+1} + h_{n-1}^V V_{n-1} - h_n^L L_n - h_n^V V_n + h_n^F F_n \quad (3.9)$$

โดยที่ h_n^L คือ เอนทาลปีของของเหลวที่เทรย์ที่ n

h_n^V คือ เอนทาลปีของไอที่เทรย์ที่ n

h_n^F คือ เอนทาลปีของสารป้อนที่เทรย์ที่ n



รูป 3.2 แบบจำลองของเทรย์ที่ n

ข. หม้อต้มข้าว และฐานหอกถั่ว

สมการดุลมวลสารรอบหม้อต้มข้าว ในรูปที่ 3.3 เท่ากับ

$$\frac{d(M_b)}{dt} = L_1 - V_b - B \quad (3.10)$$

โดยที่ M_b คือ โสลค์อัพของของเหลวในฐานหอกถั่ว

L_1 คือ อัตราการไหลของของเหลวจากเทอร์ย์ที่ 1 ไปยังฐานหอกถั่ว

V_b คือ อัตราการไหลของไอจากหม้อต้มข้าวไปยังเทอร์ย์ที่ 1

B คือ อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ก้นห่อ

สมการดุลมวลสารขององค์ประกอบ i เท่ากับ

$$\frac{d(x_{i,b}M_b)}{dt} = x_{i,1}L_1 - y_{i,b}V_b - x_{i,b}B \quad (3.11)$$

โดยที่ $x_{i,b}$ คือ เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในผลิตภัณฑ์ก้นห่อ

$x_{i,1}$ คือ เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในเฟสของเหลวที่เทอร์ย์ 1

$y_{i,b}$ คือ เศษส่วนโดยโมลขององค์ประกอบ i ในเฟสไอในฐานหอกถั่ว

สมการดุลพลังงาน เท่ากับ

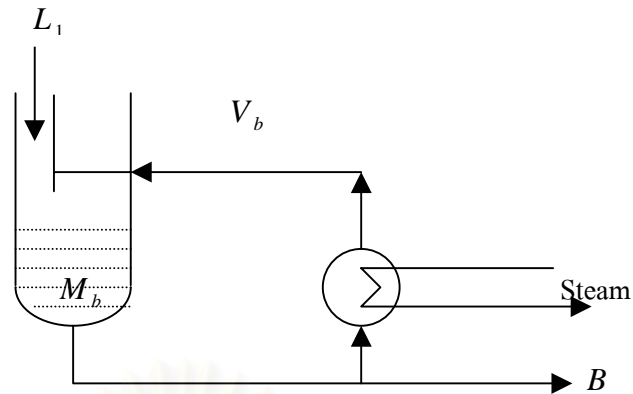
$$\frac{d(h_b^L M_b)}{dt} = h_1^L L_1 - h_b^V V_b - h_b^L B + Q_r \quad (3.12)$$

โดยที่ h_b^L คือ เอนทาลปีของของเหลวในผลิตภัณฑ์ก้นห่อ

h_1^L คือ เอนทาลปีของของเหลวในเทอร์ย์ที่ 1

h_b^V คือ เอนทาลปีของไอในฐานหอกถั่ว

Q_r คือ อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มข้าว



รูป 3.3 แบบจำลองของหม้อต้ม้ำ และฐานหอกลั่น

ค. เครื่องควบแน่นและถังรีฟลักซ์

ไอที่เข้าเครื่องควบแน่นถือว่าเป็นไออิ่มตัวที่อุณหภูมิจุดเดือด และของเหลวอิ่มตัวออกจากเครื่องควบแน่นที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้น พลังงานความร้อนที่ถูกดึงออกจากกระบวนการควบแน่น จะเท่ากับพลังงานแฝงของการกลายเป็นไอของสาร และสมมติว่า ในถังรีฟลักซ์ไม่มีไอออกมาจากถัง ไม่มีความร้อนที่เข้าและออกจากถังรีฟลักซ์

สมการดุลมวลสารรอบเครื่องควบแน่นและถังรีฟลักซ์ ในรูปที่ 3.4 เท่ากับ

$$\frac{d(M_d)}{dt} = V_{nt} - R - D \quad (3.13)$$

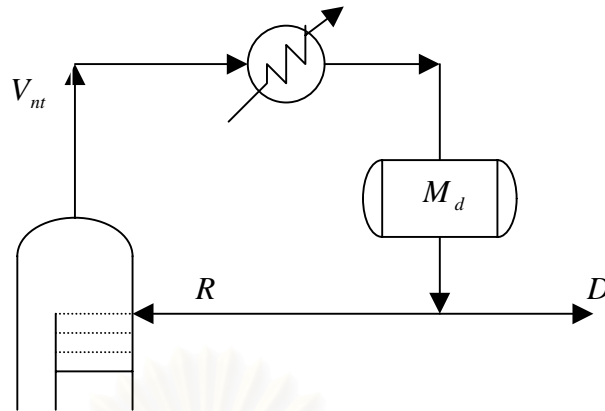
สมการดุลมวลสารขององค์ประกอบ i เท่ากับ

$$\frac{d(x_{i,b} M_d)}{dt} = y_{i,d} V_{nt} - x_{i,d} (R + D) \quad (3.14)$$

สมการดุลพลังงาน เท่ากับ

$$\frac{d(h_d^L M_d)}{dt} = h_{nt}^V V_{nt} - h_d^L (R + D) - Q_c \quad (3.15)$$

โดยที่ Q_c คือ ความร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่น



รูป 3.4 แบบจำลองของเครื่องควบคุมแรงดัน และถังรีฟลักซ์

3.3.2 ไฮดรอลิกส์ของเทรย์ (Tray hydraulics)

อัตราการไหลของของเหลวจากเทรย์ต่างๆ คำนวณได้โดยใช้สมการของ Francis weir ดังนี้

$$L_n = C\rho_n^l W_{len} H_{ow}^{1.5} \quad (3.16)$$

โดยที่ L_n คือ อัตราที่ของเหลวไหลออกจากเทรย์ที่ n

C คือ ค่าคงที่ของสมการ

ρ_n^l คือ ความหนาแน่นของของเหลวบนเทรย์ที่ n

W_{len} คือ ความยาวฝาย (Weir length)

H_{ow} คือ ระดับของของเหลวที่ท่วมฝาย (Height above weir)

3.4 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์

3.4.1 สมดุลไอ และของเหลว

สมดุลไอ-ของเหลว และข้อมูลของความร้อนจำเพาะเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ

สำหรับการเขียนแบบหอกถั่น โดยปกติแล้วจะพิจารณาว่าไอ และของเหลวที่ออกจากแต่ละเทรย์ อยู่ในสมดุล

จากกฎของราอูลท์ (Raoult's law) สำหรับสารอุดมคติ

$$P_i = P_i^* x_i$$

โดยที่ P_i คือ ความดันย่อยในชั้นไอขององค์ประกอบ i

P_i^* คือ ความดันไอของของเหลวบริสุทธิ์ i

จากกฎของดาลตัน (Dalton's law)

$$P_i = P_T y_i$$

โดยที่ P_T คือ ความดันรวม

จากสมการด้านบนจะได้

$$y_i P_T = x_i P_i^*$$

จากค่าการระเหยสัมพัทธ์ (Relative volatility α_{ij})

$$\alpha_{ij} = \frac{K_i}{K_j} = \frac{y_i/x_i}{y_j/x_j}$$

โดยที่ K_i คือ ค่าอัตราส่วนของไอ และของเหลวของสาร i

เราสามารถหาค่า K_i จากความสัมพันธ์กับอุณหภูมิได้โดยที่

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{P_i^*}{P_T} = A_i + B_i T + C_i T^2 + \dots$$

โดยที่ A_i, B_i, C_i เป็นค่าคงตัวของสมการ

ในระบบที่เป็นเฟสของเหลว หรือเฟสไอบางระบบ อาจจะมีลักษณะเป็นระบบที่ไม่อุดมคติซึ่งแบบจำลอง VLE อาจจะต้องมีความยุ่งยากมากขึ้น โดยที่สมมูลค่าฟูกาซิตี (Fugacity) ของไอ และของเหลวมีค่าเท่ากัน

$$f_i^V = f_i^L$$

กระจายสมการจะได้

$$\phi_i^V y_i P_T = \phi_i^L x_i$$

$$\phi_i^V y_i P_T = \gamma_i x_i P_i^* \exp\left(\frac{v_i^c (P_T - P_i^*)}{RT}\right)$$

โดยที่ f_i^V, f_i^L คือ ค่าฟูกาซิตีของไอ และของเหลว

ϕ_i^V, ϕ_i^L คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูกาซิตี (Fugacity coefficient) ของไอ และของเหลว

v_i^c คือ ค่าปริมาตรวิกฤตจำเพาะ (Specific critical volume)

γ_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตีของของเหลว (Liquid activity coefficient)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส

สำหรับที่ความดันต่ำ (น้อยกว่า 150 psia) จะสามารถแปลงสมการข้างต้น ให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น จะได้ว่า

$$y_i P_T = \gamma_i x_i P_i^*$$

ค่าความดันไอของสารบริสุทธิ์ i สามารถหาได้จากสมการแอนโทอิน (Antoine equation)

$$\ln(P_i^*) = C_1 - \frac{C_2}{C_3 + T}$$

โดยที่ C_1, C_2, C_3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แอนโทอิน

ค่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตีของของเหลวหาได้จากวิธียูนิแฟค (UNIFAC method)

สำหรับสารนอนอิลีคโตรไลต์ โดยอาศัยหลักการที่ว่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตีของของเหลวมีความสัมพันธ์กับแรงอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างกลุ่มโครงสร้างภายในโมเลกุล (structural group)

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R$$

$$\ln \gamma_i^C = 1 - J_i + \ln J_i - 5q_i \left(1 - \frac{J_i}{L_i} + \ln \frac{J_i}{L_i}\right)$$

$$\ln \gamma_i^R = q_i \left[1 - \sum_k \left(\theta_k \frac{\beta_{ik}}{S_k} - e_{ki} \ln \frac{\beta_{ik}}{S_k} \right) \right]$$

$$J_i = \frac{r_i}{\sum_j r_j x_j}$$

$$L_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j x_j}$$

$$r_i = \sum_k v_k^{(i)} R_k$$

$$q_i = \sum_k v_k^{(i)} Q_k$$

$$e_{ki} = \frac{v_k^{(i)} Q_k}{q_i}$$

$$\beta_{ik} = \sum_m e_{mi} \tau_{mk}$$

$$\theta_k = \frac{\sum_i x_i q_i e_{ki}}{\sum_j x_j q_j}$$

$$S_k = \sum_m \theta_m \tau_{mk}$$

$$\tau_{mk} = \exp\left(\frac{-a_{mk}}{T}\right)$$

ข้อมูลเกี่ยวกับค่าสมมูลสำหรับสารผสมทั้งหมด ไม่สามารถหาได้ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ให้ค่าไว้อย่างหยาบๆ แต่มีเค้าโครงที่น่าเชื่อถือ ค่าความสัมพันธ์ของสารผสมต่างๆส่วนใหญ่ จะเป็นค่าจากการทดลอง ยกตัวอย่างเช่นค่าความร้อนจำเพาะสารผสมบางสารมีพฤติกรรมไปในทางอุดมคติ ซึ่งค่าความร้อนจำเพาะของสารสามารถคำนวณได้จากค่าความร้อนจำเพาะของสารบริสุทธิ์ สำหรับสารผสมหลายๆตัวมีพฤติกรรมไปในทางไม่อุดมคติ ค่าความร้อนจำเพาะสามารถคำนวณได้จากค่าความร้อนจำเพาะของสารผสม

3.4.2 เอนทาลปี

ค่าเอนทาลปีของไอ และของเหลวของสารผสมสามารถคำนวณได้จาก

$$h^V = \sum_i y_i h_i^V$$

$$h^L = \sum_i x_i h_i^L + h_{mix}^L$$

โดยที่ h_i^V, h_i^L คือ ค่าเอนทาลปีเฉพาะ (Specific enthalpy) ของไอ และของเหลวของสาร

บริสุทธิ์ i

h_{mix}^L คือ ค่าความร้อนของของผสม (Heat of mixing)

ซึ่งค่าความร้อนของของผสมหาได้จากสมการ

$$h_{mix}^L = -RT^2 \sum_i x_i \frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial T}$$

ค่าเอนทาลปีเฉพาะของไอ และของเหลวสามารถหาได้จาก

$$h_i^L = A_i^L T + B_i^L T^2$$

$$h_i^V = A_i^V T + B_i^V T^2 + \Delta H_i^V (0^\circ F)$$

โดยที่ A, B คือ ค่าคงที่ของสมการ

$\Delta H_i^V (0^\circ F)$ คือ ค่าความร้อนของการระเหย (Heat of vaporization) ของสารบริสุทธิ์

i ที่อุณหภูมิอ้างอิง $0^\circ F$

3.4.3 ค่าความหนาแน่นของของเหลว (Liquid Density)

ค่าความหนาแน่นของของเหลวสำหรับสารผสม สามารถคำนวณได้จากค่าความหนา

แน่นของสารบริสุทธิ์ และค่าเศษส่วน โมลของสารนั้น

$$\rho^L = \sum_i x_i \rho_i^L$$

โดยที่ ρ^L คือ ค่าความหนาแน่นของของเหลวในสารผสม (lb/ft^3)

ρ_i^L คือ ค่าความหนาแน่นของสารบริสุทธิ์ i (lb/ft³)

x_i คือ เศษส่วนโมลขององค์ประกอบ i ในสารผสม

ค่า ρ_i^L หาได้จากการพัฒนาสมการ แร็กเกต (Rackett equation)

$$\rho_i^L = AB \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

โดยที่ A, B, n คือ สัมประสิทธิ์การเสื่อมถอย (regression coefficients)

T_c คือ อุณหภูมิวิกฤติ

3.4.4 การคำนวณแฟลช (Flash calculation)

$$z_i F = x_i L + y_i V$$

โดยที่ z_i คือ เศษส่วนโมลทั้งหมดขององค์ประกอบ i

$$z_i = x_i \frac{L}{F} + y_i \left(1 - \frac{V}{F}\right)$$

$$y_i = K_i x_i$$

แทนค่าในสมการด้านบน

$$x_i = \frac{z_i}{\frac{L}{F} + K_i \left(1 - \frac{V}{F}\right)}$$

$$\sum_{i=1}^c x_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^c \frac{z_i}{\frac{L}{F} + K_i \left(1 - \frac{V}{F}\right)} = 1$$

ถ้าใช้ y_i และ V แทน x_i และ L จะได้

$$y_i = \frac{K_i z_i}{\left(1 - \frac{V}{F}\right) + K_i \frac{V}{F}}$$

$$\sum_{i=1}^c \frac{K_i z_i}{\left(1 - \frac{V}{F}\right) + K_i \frac{V}{F}} = 1$$

โดยที่ $0 < \frac{L}{F} < 1$ และ $0 < \frac{V}{F} < 1$

ในการคำนวณแฟลช จะต้องตรวจสอบว่าที่ ความดัน และอุณหภูมิที่กำหนด ระบบอยู่ใน สองวัฏภาคหรือไม่ ต้องคำนวณหา จุดกลั่นตัว (Dew point) และจุดเดือด (Bubble point) ก่อน

การหาจุดกลั่นตัวหมายความว่าระบบของเราเป็นวัฏภาคไออยู่แล้ว ในกรณีนี้ $\frac{L}{F} = 0$

และ $\frac{V}{F} = 1$ จากสมการด้านบนจะได้ว่า

$$\sum_{i=0}^c \frac{z_i}{K_i} = 1$$

การหาจุดเดือดแสดงว่าระบบของเราเป็นของเหลวอยู่ก่อนแล้ว ในกรณีนี้ $\frac{L}{F} = 1$ และ

$\frac{V}{F} = 0$ จากสมการด้านบนจะได้ว่า

$$\sum_{i=0}^c K_i z_i = 1$$

ขั้นตอนในการคำนวณค่า $\frac{L}{F}$ ในการคำนวณแฟลช

1. เตาค่าเริ่มต้น โดยให้ค่า $\frac{L}{F} = 0.5$ และค่า $x_i = y_i = z_i$
2. คำนวณค่า K_i
3. ถ้าค่า $\sum_{i=0}^c (x_i - y_i) = 0$ ดังนั้น $x_i = z_i / \left[K_i + \frac{L}{F} (1 - K_i) \right]$ และ $y_i = K_i x_i$
4. ถ้าหากค่า $\sum_{i=0}^c (x_i - y_i) \neq 0$ ปรับค่า $\frac{L}{F}$ ตามสมการนี้ (King)

$$\left(\frac{L}{F}\right)_{new} = \left(\frac{L}{F}\right)_{old} - \frac{\sum_j^c \left\{ [z_i (K_i - 1)] / \left[K_i + (1 - K_i) \left(\frac{L}{F}\right)_{old} \right] \right\}}{\sum_i^c \left\{ [z_i (K_i - 1)^2] / \left[K_i + (1 - K_i) \left(\frac{L}{F}\right)_{old} \right]^2 \right\}}$$

5. กลับไปคำนวณตั้งแต่ข้อ 2 ใหม่ทั้งหมด จนกระทั่ง $\sum_{i=0}^c (x_i - y_i) = 0$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

PACS-i : ซิมูเลเตอร์ของการควบคุมแบบอัตโนมัติของกระบวนการ

4.1 บทนำ

PACS-i เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการฝึกอบรมพลวัต และการควบคุมหอกลับ มีความซับซ้อนน้อยกว่าโปรแกรมการเลียนแบบกระบวนการของต่างประเทศ การพัฒนาโปรแกรมการฝึกอบรมนี้ เพื่อให้วิศวกรได้เข้าใจถึงพฤติกรรม และสภาวะการณ์ของหอกลับ โดยไม่จำเป็นต้องทดลองกับหอกลับจริง โปรแกรม PACS-i พัฒนาโดยใช้ภาษาจาวา ซึ่งเป็นภาษาใหม่ที่มีโครงสร้างคล้ายภาษา C นอกจากนี้ภาษาจาวายังสนับสนุนการเขียนโปรแกรมในรูปแบบเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) ซึ่งทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมต่อได้ง่าย

4.2 ลักษณะของภาษาจาวา

จาวาเป็นภาษาของ OOP (Object-Oriented Programming) พัฒนาโดยบริษัท Sun Microsystems เป็นโปรแกรมภาษาตัวใหม่ มีลักษณะคล้ายกันกับโปรแกรมภาษา C และ C++ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติ และข้อดีของภาษาจาวา

4.2.1 ภาษาจาวาเป็น Object-Oriented Programming

การเขียนโปรแกรมภาษาจาวาเป็นการเขียนลักษณะอ้างอิงเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming: OOP) โดยแนวคิดและวิธีการส่วนใหญ่ในการเขียนโปรแกรมอ้างอิงเชิงวัตถุของภาษาจาวานั้นสืบทอดมาจากภาษา C++

การเขียนโปรแกรมแบบอ้างอิงเชิงวัตถุก็คือการสร้างส่วนย่อยของโปรแกรมที่เรียกว่า Object ที่มีคุณสมบัติเฉพาะที่สามารถกระทำงานบางอย่างให้สำเร็จลุล่วงไปได้ขึ้นมา และนำส่วนประกอบย่อยๆเหล่านั้นมาประกอบกันขึ้นเป็นโปรแกรมใหญ่ เพื่อสามารถทำงานได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งวางไว้ โดยในความเป็นจริงเราอาจจะไม่ได้สร้างส่วนย่อยๆเหล่านั้นขึ้นมาเอง แต่ได้นำส่วนย่อยที่ผู้อื่นสร้างไว้แล้วมาใช้งานเท่านั้น ซึ่งในโปรแกรมภาษาจาวาได้จัดเตรียมโปรแกรมส่วนย่อยๆพื้นฐานที่สามารถเรียกใช้ได้ทันทีไว้ให้แล้วบางส่วน โดยจะเก็บไว้ในไลบรารีต่างๆ อย่างเช่น ส่วนติดต่อกับผู้ใช้, ส่วนย่อยของโปรแกรมในการจัดการวาดรูป วงกลม จี๊ดเส้น และส่วนพื้นฐานที่มีประโยชน์อีกมากมาย ซึ่งผู้ใช้ไม่ต้องทำการเขียนโปรแกรมขึ้นมาใหม่

4.2.2 ภาษาจาวาใช้ได้กับทุกระบบปฏิบัติการ

ข้อดีอีกข้อหนึ่งที่ทำให้ภาษาจาวาเหนือกว่าภาษาอื่นๆคือ เมื่อคุณพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาจาวา คุณจะสามารณำโปรแกรมนี้ไปใช้งานบนระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์แบบใดๆก็ได้ โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงใดๆทั้งสิ้น ข้อดีนี้มีจุดประสงค์ในลักษณะที่เมื่อคุณต้องการให้โปรแกรมที่คุณสร้างขึ้นสามารถใช้งานได้บนทุกระบบปฏิบัติการ เช่น DOS, Windows 98, ระบบ MACINTOSH หรือระบบ UNIX โดยใช้โปรแกรมตัวเดียวกัน

4.3 โครงสร้างของ PACS-i

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของโปรแกรม PACS-i มี 3 ส่วนประกอบด้วย

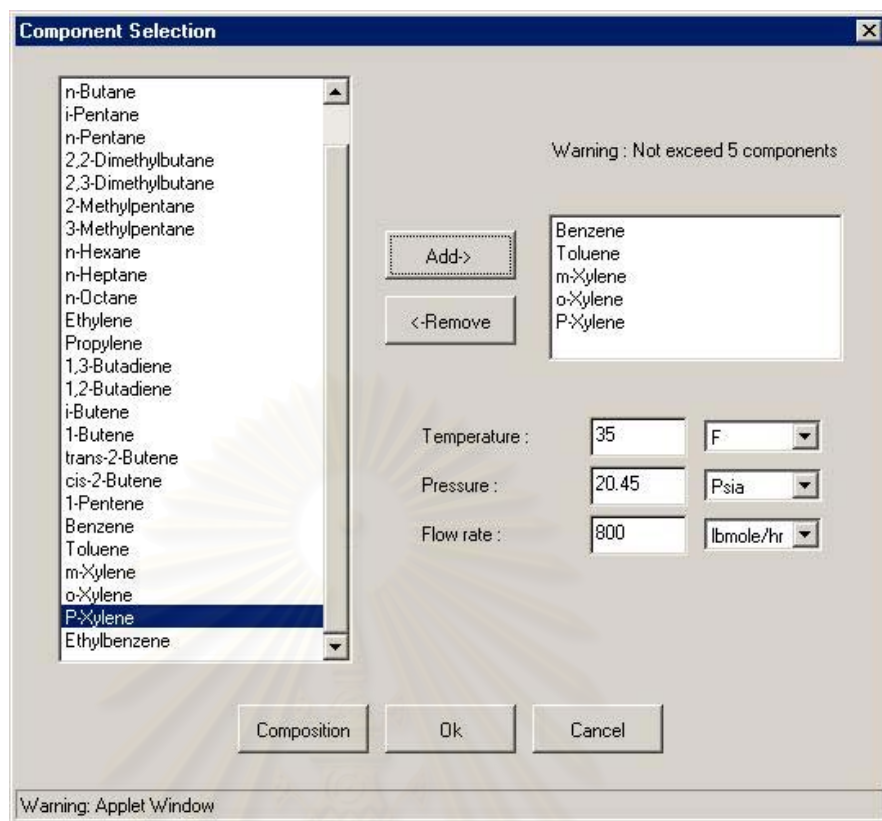
4.3.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้มีหน้าที่รับข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้ก่อนทำการรันโปรแกรม ตัวอย่างของส่วนติดต่อกับผู้ใช้ แสดงดังรูป 4.1 แบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ดังนี้

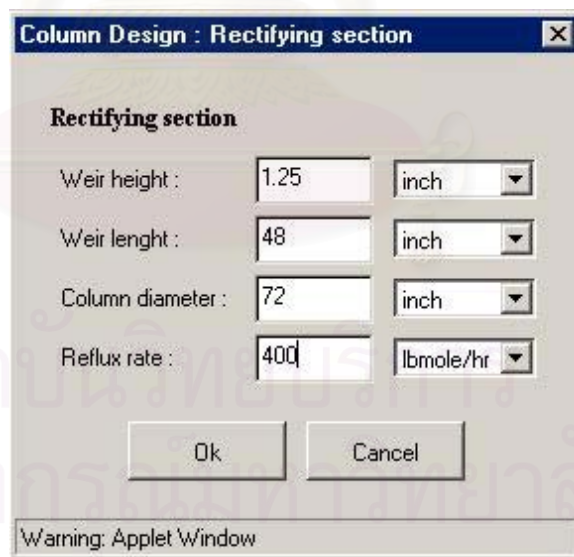
- ก.) การเลือกองค์ประกอบของสายป้อน รวมทั้งส่วนการกำหนดภาวะของสายป้อน สามารถกำหนดอุณหภูมิ และอัตราการไหลของสายป้อน รวมถึงอัตราส่วนโดยโมลขององค์ประกอบที่เลือกดังรูป
- ข.) การออกแบบโครงสร้างของหอกลิ้น ผู้ใช้สามารถกำหนดจำนวนเทรย์ ตำแหน่งเทรย์ ป้อน ความยาว และความสูงของฝาย รวมถึงค่ารีฟลักซ์ และค่าความร้อนที่ให้กับหม้อต้มซ้ำ
- ค.) การกำหนดภาวะของสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ และก้นหอ สามารถกำหนดความดัน และอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการคำนวณค่าอุณหภูมียอดหอ และก้นหอ โดยกำหนดค่าอัตราส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
- ง.) การกำหนดโครงสร้างการควบคุมของหอกลิ้น และการรับค่าข้อมูลของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

4.3.2 ส่วนการเลียนแบบกระบวนการ

ในส่วนนี้เป็นการเลียนแบบหอกลิ้นโดยรับข้อมูลที่ได้จากส่วนติดต่อกับผู้ใช้ การรันโปรแกรมทำได้โดยการเลือกคำสั่งรันบนเมนูของหน้าต่างหลัก ผลที่ได้จากการเลียนแบบจะแสดงโดยกราฟ ซึ่งแสดงผลตามเวลาดังรูป 4.2 มีลำดับขั้นของการคำนวณดังนี้



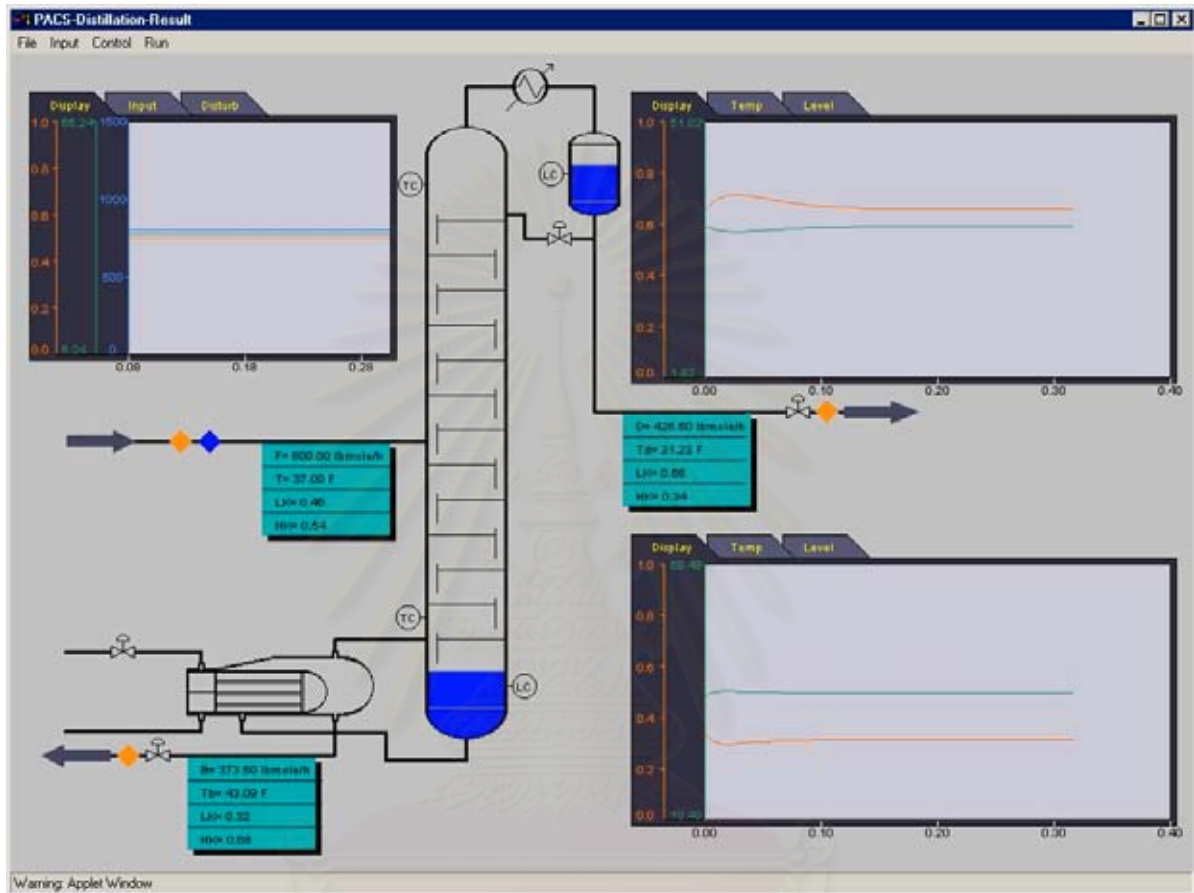
(ก)



(ข)

รูป 4.1 ตัวอย่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (ก) ส่วนการเลือกสภาวะของสายป้อน (ข) ส่วนการเลือก

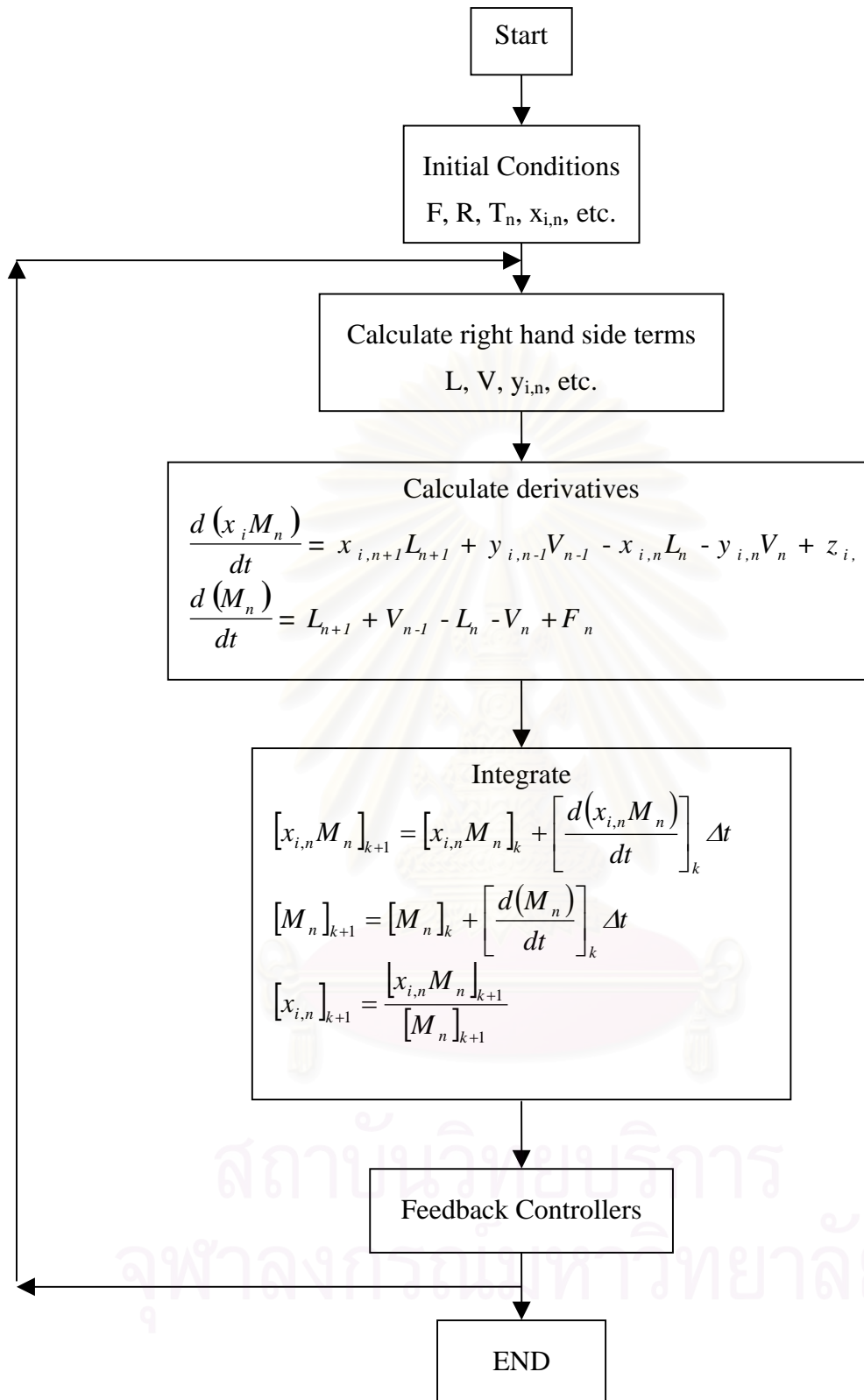
โครงสร้างของหอกลั่น



รูป 4.2 การแสดงผลโดยกราฟซึ่งแสดงผลตามเวลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ก.) ใส่ข้อมูลขนาดของตัวหอกลับ สารที่จะกลับ คุณสมบัติทางกายภาพของสาร ข้อมูลของสารป้อน และค่าสภาวะเริ่มต้น (Initial conditions) ประกอบด้วย องค์ประกอบของของเหลว อัตราการไหลของของเหลว และการเดาค่าเริ่มต้นของอุณหภูมิในแต่ละเทอร์ยี่คำนวณค่าโพลีอัมเริ่มต้นในแต่ละเทอร์ยี่ และค่าโปรไฟล์ของความดัน
- ข.) คำนวณค่าอุณหภูมิ และค่าองค์ประกอบของไอจากข้อมูลสมมูลไอ และของเหลว โดยใช้การคำนวณจุดเดือด สมมูลไอ และของเหลวเป็นแบบไม่อุดมคติ โดยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตีเข้าไปในสมการ
- ค.) คำนวณค่าเอนทาลปีของของเหลว และไอ
- ง.) คำนวณค่าอัตราการไหลของไอของแต่ละเทอร์ยี่ เริ่มตั้งแต่ส่วนฐานของหอ ไปจนถึงส่วนยอดหอ โดยใช้สมการดุลพลังงาน
- จ.) คำนวณค่าอนุพันธ์ของสมการดุลมวลสารขององค์ประกอบทั้งหมดในแต่ละเทอร์ยี่ รวมถึงในรีฟลักซ์ดรัม และฐานหอกลับ
- ฉ.) อินทิเกรตสมการอนุพันธ์ทั้งหมด โดยใช้วิธีของออยเลอร์ (Euler method)
- ช.) คำนวณค่าโพลีอัมของของเหลวทั้งหมดจากค่าโพลีอัมขององค์ประกอบต่างๆ จากนั้นคำนวณค่าอัตราส่วนโดยโมลของของเหลวใหม่จากค่าโพลีอัมขององค์ประกอบและโพลีอัมรวม
- ซ.) คำนวณค่าอัตราการไหลของของเหลวใหม่
- ฌ.) คำนวณค่าต่างๆในเทอมของการควบคุม
- ฎ.) กลับไปขั้นตอนที่สาม และทำซ้ำทั้งหมดในลำดับเวลาต่อไป



รูป 4.3 ลำดับขั้นตอนการคำนวณของการเลียนแบบ

4.3.3 ส่วนของตัวควบคุม

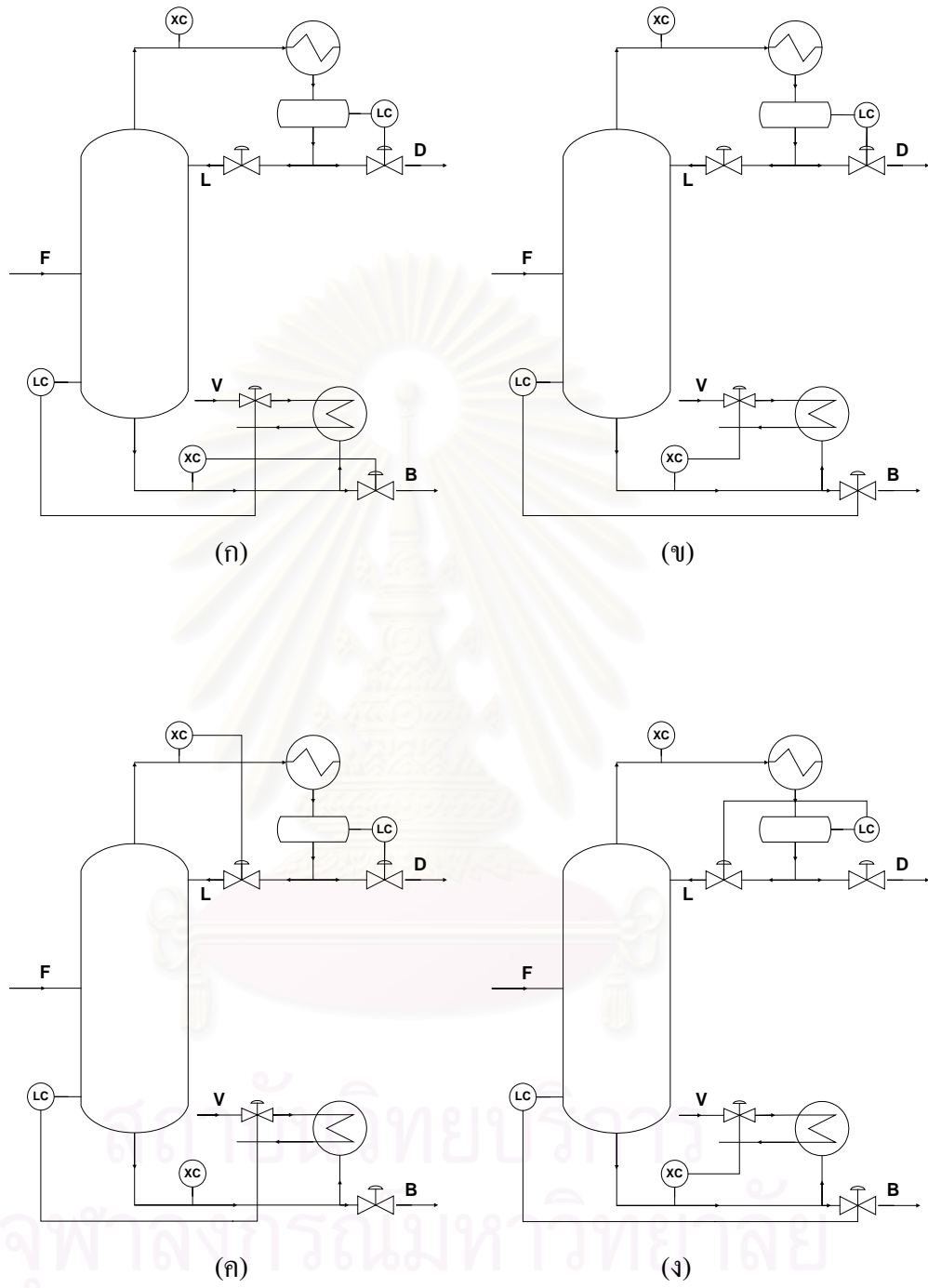
ตัวควบคุมที่ใช้เป็นตัวควบคุมแบบป้อนกลับ ประกอบด้วยตัวควบคุมแบบ P, PI และ PID โครงสร้างการควบคุมที่ใช้แบ่งออกเป็น การควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์หนึ่งตำแหน่ง และสองตำแหน่ง

ก.) การควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์หนึ่งตำแหน่ง

การควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ถือเป็นตัวแปรควบคุมหลักของการกลั่น เพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งถือเป็นจุดประสงค์หลักในกระบวนการกลั่น กล่าวคือ การกลั่นจะเป็นการแยกองค์ประกอบของสารเบาในสารป้อนให้ออกไปที่ผลิตภัณฑ์ยอดหอให้มากที่สุด และแยกองค์ประกอบหนักในสารป้อนให้ออกไปที่ผลิตภัณฑ์ก้นหอให้มากที่สุด ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้งสองตัวนี้อาจมีตัวใดตัวหนึ่งที่มีคุณค่ามากกว่า และเป็นที่ต้องการ จึงต้องควบคุมกระบวนการกลั่นให้อยู่ในสถานะที่ทำให้ได้ตามความต้องการของผลิตภัณฑ์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าน้อยก็ไม่จำเป็นต้องควบคุม เพียงแต่รักษาการทำงานให้ได้ตามสถานะที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นกรณีการควบคุมองค์ประกอบที่เรียกว่า การควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์หนึ่งตำแหน่ง โครงสร้างการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์หนึ่งตำแหน่งที่ใช้ใน โปรแกรมแสดงในตาราง

4.1

ตัวอย่างการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แบบหนึ่งตำแหน่งที่ใช้ใน โปรแกรม PACS-*i* แสดงในรูป 4.4



รูป 4.4 โครงสร้างการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แบบหนึ่งตำแหน่ง (ก) วิธี BL

(ข) วิธี VL (ค) วิธี LB (ง) วิธี VD

ตาราง 4.1 ตัวแปรปรับที่ใช้ควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์หนึ่งตำแหน่งที่เหมาะสม

โครงสร้าง	ตัวแปรปรับเพื่อควบคุมระดับของเหลวในถังรีฟลักซ์	ตัวแปรปรับเพื่อควบคุมระดับของเหลวในหม้อต้มซ้ำ	ตัวแปรปรับเพื่อควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์	ตัวแปรที่ไม่ได้ใช้ในการปรับ
DV	L	B	D	V
BL	D	V	B	L
LV	D	B	L	V
VL	D	B	V	L
LB	D	V	L	B
VD	L	B	V	D

ข.) การควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์สองตำแหน่ง

การควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์สองตำแหน่งจะพิจารณาถึงการมีผลกระทบกันระหว่างลูปควบคุมทั้งด้านบน และด้านล่าง โดยแบ่งเป็น

- วิธีการควบคุมอุณหภูมิสาร เป็นวิธีที่ใช้กระแสความร้อน D หรือ B ในการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์
- วิธีการควบคุมอุณหภูมิพลังงาน เป็นวิธีที่ใช้กระแสพลังงาน L หรือ V ในการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์
- วิธีการควบคุมแบบอัตราส่วน เป็นการนำเอาอัตราการไหลของคอลัมน์มาทำเป็นสัดส่วนเพื่อประโยชน์ในการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามที่ต้องการ และลดผลกระทบระหว่างลูปควบคุม ได้แก่ การใช้อัตราส่วน L/B, V/B, L/D, D/V (หรือ D/L+D) หรือ L/V

ตาราง 4.2 วิธีการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์สองตำแหน่งที่เป็นไปได้

ตัวแปรปรับด้านล่าง	ตัวแปรปรับขอยอด					
	D	L	L/B	S	V	V/B
B	✗	✓	✓	✓	✓	✓
L	✓	✗	✓	✓	✓	✓
L/B	✓	✓	✗	✓	✓	✓
S	✓	✓	✓	✗	✓	✓
V	✓	✓	✓	✓	✗	✓
V/B	✓	✓	✓	✓	✓	✗

หมายเหตุ S อาจจะเป็น D/V (หรือ D/L+D) หรือ L/V หรือ L/D

โครงสร้างการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แบบสองตำแหน่งที่ใช้ในโปรแกรมมี 6 แบบ ได้แก่ วิธี LV, DV, DB, (L/D)(V/B), (D/L+D)V, (D/L+D)(V/B)

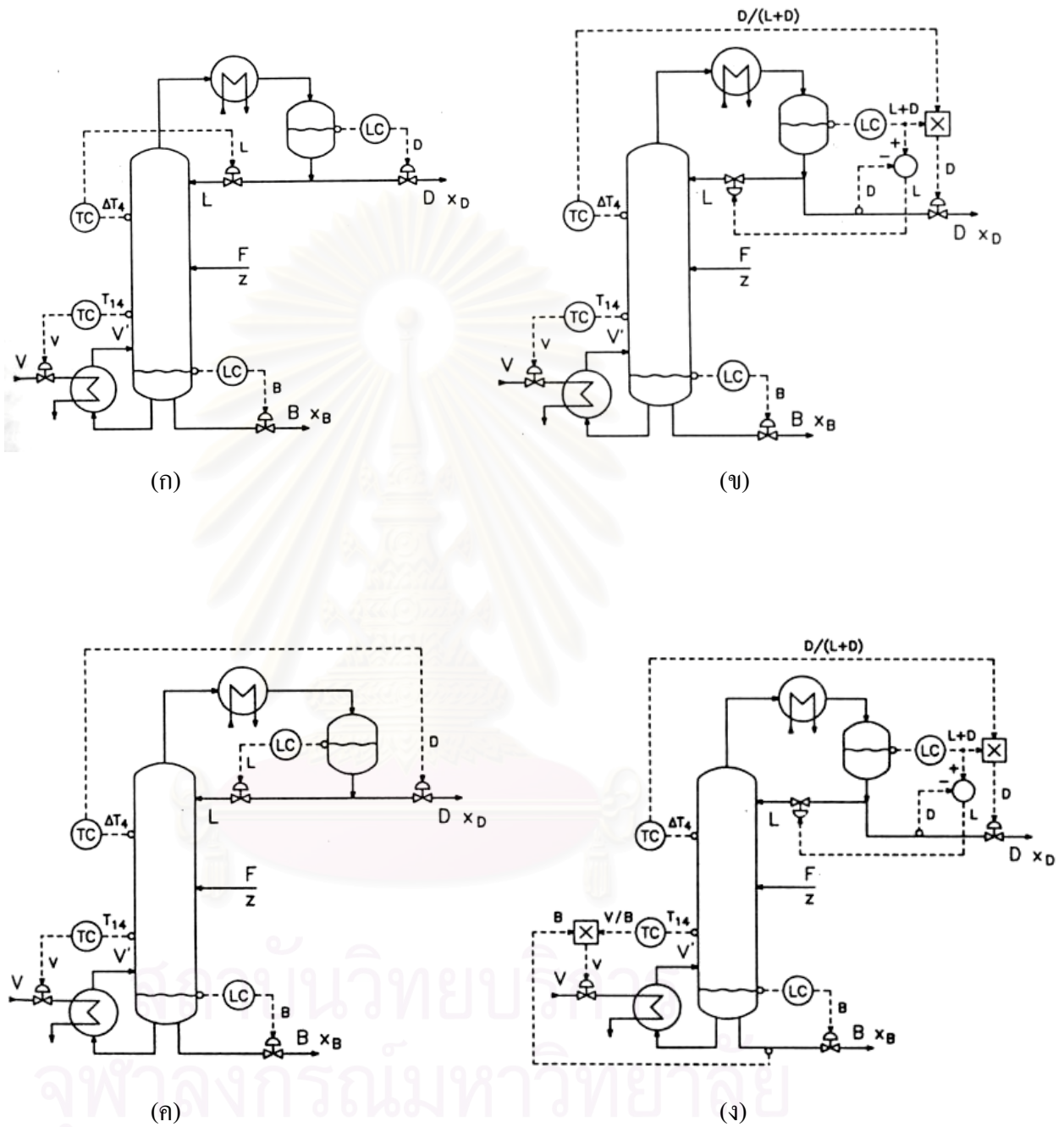
ตัวอย่างการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แบบสองตำแหน่งที่ใช้ในโปรแกรม PACS-i แสดงในรูป 4.5

4.4 วิธีจูนตัวควบคุม

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการจูนตัวควบคุม โดยที่ตัวควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นตัวควบคุมแบบป้อนกลับ ตัวแปรที่ทำการควบคุมมี 4 ตัว คือ อุณหภูมิขอยอด และก้นหอย ระดับของของเหลวในถังรีฟลักซ์ และระดับของของเหลวในหม้อต้มซ้ำ

4.4.1 วิธีจูนตัวควบคุมระดับ

ตัวแปรควบคุมที่มีความสำคัญในงานนี้เป็นอุณหภูมิขอยอด และก้นหอย ส่วนระดับของของเหลวเป็นตัวแปรที่สำคัญรองลงมา จึงไม่จำเป็นต้องควบคุมให้ระดับอยู่ที่เซตพอยต์ เพียงแต่ควบคุมให้มีค่าที่เหมาะสมเท่านั้น วิธีจูนตัวควบคุมระดับมีดังนี้



รูป 4.5 โครงสร้างการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แบบสองตำแหน่ง (ก) วิธี LV (ข) วิธี $(D/L+D)V$ (ค) วิธี DV (ง) วิธี $(D/L+V)(V/B)$

ก.) ตัวควบคุมแบบ P

การจูนตัวควบคุมแบบ P ใช้สมการดังนี้

$$K_C = \frac{-\Delta F_{\max}}{\Delta L_{\max}}$$

โดยที่ ΔF_{\max} คือ ค่าเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่มากที่สุด (ft^3/hr)

ΔL_{\max} คือ ค่าเปลี่ยนแปลงของระดับที่มากที่สุด (ft)

ข.) ตัวควบคุมแบบ PI

การจูนตัวควบคุมแบบ PI ใช้สมการดังนี้

$$K_C = \frac{-0.736 \Delta F_{\max}}{\Delta L_{\max}}$$

$$\tau_I = \frac{4\xi^2 A}{(-K_C)}$$

โดยที่ ξ คือ damping coefficient

A คือ พื้นที่หน้าตัดของถัง (ft^2)

4.4.2 วิธีจูนตัวควบคุมอนุกรม

ในการควบคุมองค์ประกอบแบบหนึ่งตำแหน่ง และสองตำแหน่ง มีวิธีการควบคุม 3 และ 4 ลูปตามลำดับ ซึ่งแต่ละลูปมีผลกระทบซึ่งกันและกัน ดังนั้นจึงใช้วิธีการจูนแบบธรรมดาไม่ได้ การจูนตัวควบคุมอนุกรมที่แนะนำในงานวิจัยนี้เป็นการควบคุมแบบลูปเดียว (Single loop control) โดยมีวิธีการจูนดังนี้

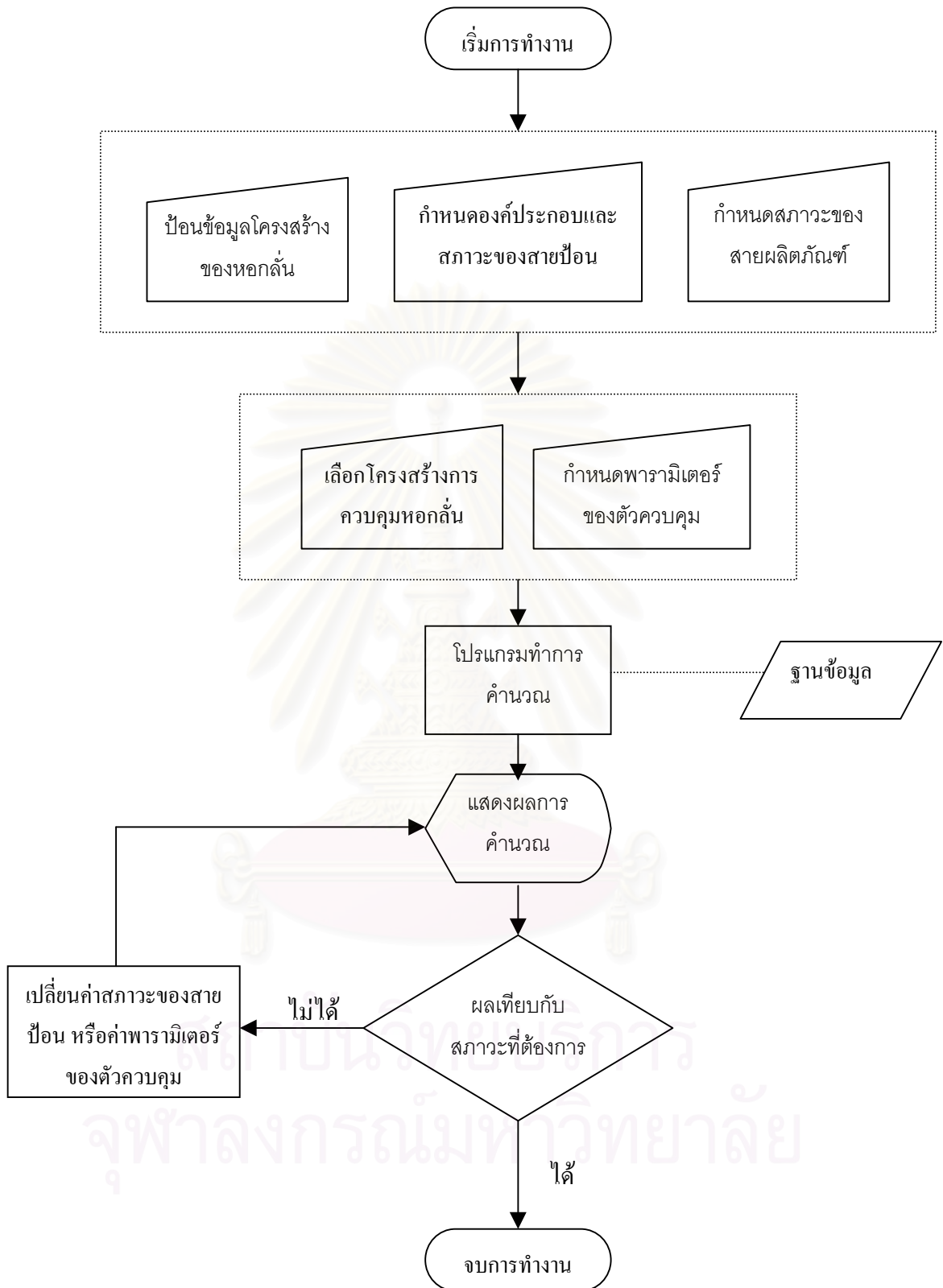
- 1.) ปรับจูนตัวควบคุมระดับให้มีความเหมาะสม
- 2.) ปรับจูนตัวควบคุมอนุกรมที่ต้องการ โดยที่อีกลูปการควบคุมให้ควบคุมแบบแมนูวอล (Manual control) ซึ่งค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมมีค่าคงที่

- 3.) หลังจากจูนตัวควบคุมที่ต้องการได้แล้วให้ปรับตัวควบคุมนั้นเป็นแบบแมนวล แล้วทำการปรับจูนลูปควบคุมอีกลูปหนึ่ง จนได้ค่าการจูนที่ต้องการ
- 4.) หลังจากนั้นปรับตัวควบคุมทั้งหมดให้เป็นแบบอัตโนมัติโดยใช้ค่าการจูนที่ได้
- 5.) ถ้าหากเกิดผลกระทบระหว่างลูปรุนแรงให้ทำการจูนใหม่ (Detune) โดยการลดค่าเกน และเพิ่มค่าเวลาอินทิกรัลสำหรับลูปการควบคุมที่มีความสำคัญน้อยกว่า

4.5 แผนภูมิของโปรแกรม (รูป 4.6)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรม โดยแยกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- 1.) ผู้ใช้ป้อนข้อมูลโครงสร้างของหอกลับ
- 2.) กำหนดองค์ประกอบ และสถานะของสายป้อน
- 3.) กำหนดสถานะของสายผลิตภัณฑ์
- 4.) เลือกโครงสร้างการควบคุมหอกลับ
- 5.) กำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม
- 6.) โปรแกรมทำการคำนวณ
- 7.) การแสดงผลของโปรแกรม
- 8.) ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนสถานะของสายป้อน และพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ในขณะที่โปรแกรมทำการแสดงผลอยู่ เพื่อให้ได้ผลของสายผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
- 9.) จบการทำงาน



รูป 4.6 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม

บทที่ 5

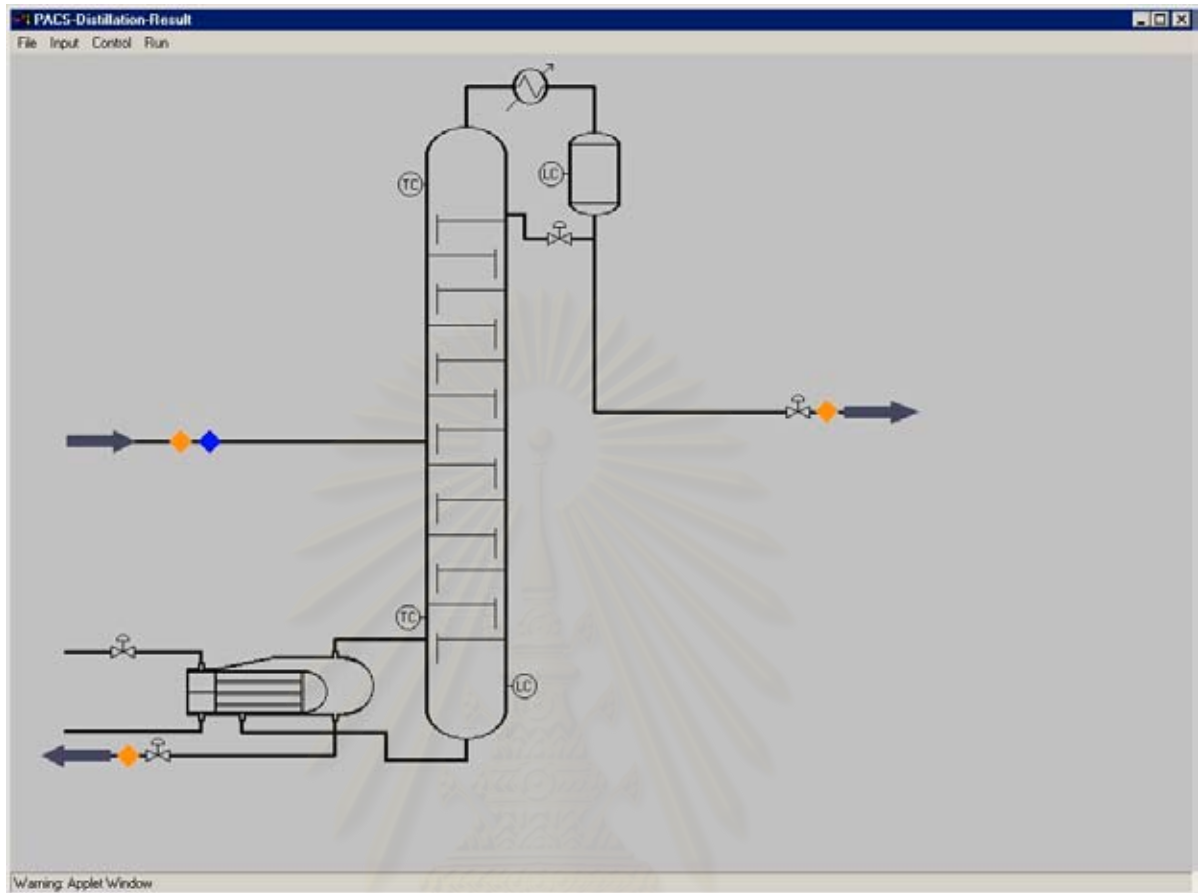
การใช้งานโปรแกรม PACS-i

ในบทนี้จะกล่าวถึงการใช้งานโปรแกรม PACS-i ลำดับขั้นตอนการใช้งาน และการทดสอบโปรแกรม ซึ่งโปรแกรม PACS-i จะมีความง่ายในการใช้งานมากกว่าโปรแกรมสำเร็จรูปของต่างประเทศ เนื่องจากประกอบด้วยหน่วยปฏิบัติการเหมือนกันเพียงอย่างเดียว และมีการตั้งสมมติฐานต่างๆเพื่อให้ง่ายขึ้น

5.1 สรุปขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรม PACS-i

ในส่วนนี้จะเป็นการสรุปขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรม การรันโปรแกรมต้องอาศัยโปรแกรม Internet Explorer ในการเรียกใช้งาน เมื่อเรียกใช้งาน จะปรากฏหน้าจอดังรูป 5.1 ขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรมมีดังนี้

1. กำหนดองค์ประกอบ และสถานะของสายป้อน (หัวข้อ 5.2.2 ก.)
2. กำหนดโครงสร้างของหอกลับที่ต้องการ (หัวข้อ 5.2.2 ข.)
3. กำหนดสถานะของสายผลิตภัณฑ์ขอดหอ และก้นหอ (หัวข้อ 5.2.2 ค. และง.)
4. เลือกโครงสร้าง และพารามิเตอร์การควบคุมของหอกลับที่ต้องการ (หัวข้อ 5.2.3)
5. ทำการรันโปรแกรม (หัวข้อ 5.2.4)



รูป 5.1 หน้าจอแรกของโปรแกรม PACS-i

5.2 การใช้งานส่วนต่างๆ ของโปรแกรม

ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายการใช้งานส่วนต่างๆ ของโปรแกรมโดยละเอียด โปรแกรมประกอบด้วยชุดของเมนูชื่อ 'File', 'Input', 'Control' และ 'Run' ซึ่งแต่ละเมนูก็จะมีเมนูย่อย ดังนี้

5.2.1 เมนู 'File' (รูป 5.2 (ก))

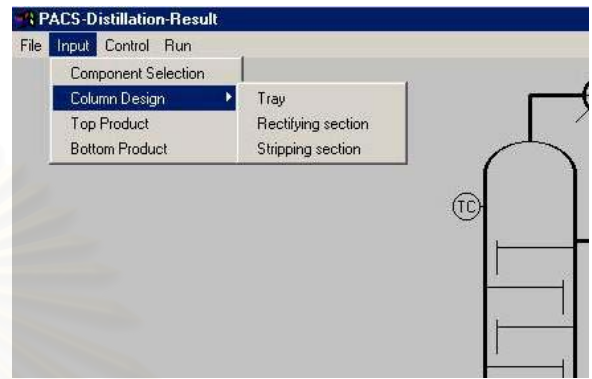
ประกอบด้วยเมนูย่อย คือ 'Exit' ซึ่งเป็นเมนูที่ใช้จบการทำงานของโปรแกรม

5.2.2 เมนู 'Input' (รูป 5.2 (ข))

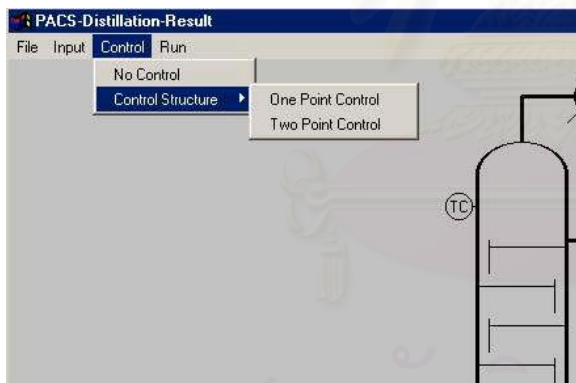
เป็นเมนูที่ให้ผู้ใช้งานได้เลือกค่าที่จะป้อนให้โปรแกรมประกอบด้วยเมนูย่อยต่างๆ ดังนี้



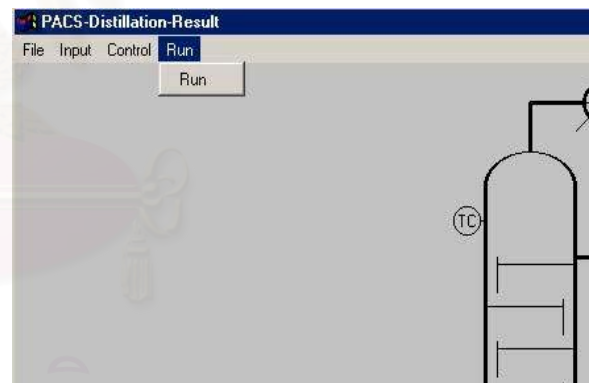
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูป 5.2 เมนูของโปรแกรม (ก) เมนู 'File' (ข) เมนู 'Input' (ค) เมนู 'Control' (ง) เมนู 'Run'

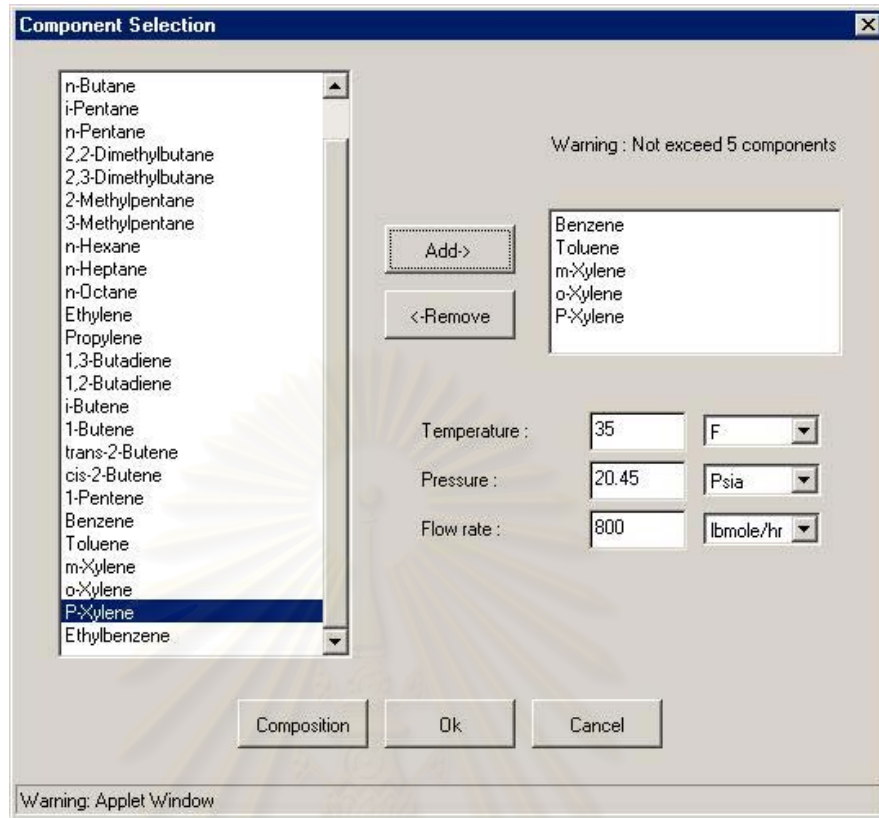
ก.) เมนูย่อย ‘Component Selection’ (รูป 5.3)

เมื่อเลือกเมนูย่อยนี้จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ในการเลือกสาร ที่จะกลั่นในโปรแกรม ผู้ใช้สามารถเลือกสารได้ไม่เกิน 5 สาร รวมทั้งให้ผู้ใช้กำหนดค่าอุณหภูมิ ความดัน และ อัตราการไหลของสายป้อน และทางด้านมุมซ้ายของไดอะล็อกบ็อกซ์มีปุ่มชื่อ Composition เมื่อผู้ใช้กดปุ่มจะมีไดอะล็อกบ็อกซ์ขึ้นมา ให้ผู้ใช้กำหนดค่าอัตราส่วน โดยโมลของสารป้อนทั้งหมด (Overall mole fraction) ที่ผู้ใช้เลือก

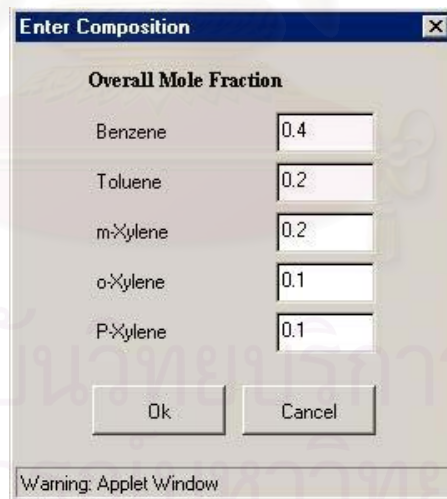
ข.) เมนูย่อย ‘Column Design’ (รูป 5.4)

เมนูย่อยนี้จะประกอบด้วยเมนูย่อยอีกสามเมนู ประกอบด้วย

- เมนู ‘Tray’ เมื่อเลือกเมนูย่อยนี้จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ให้ผู้ใช้กำหนดจำนวน เทรย์ เทรย์ป้อน และค่าประสิทธิภาพของเทรย์
- เมนู ‘Rectifying section’ เมื่อเลือกเมนูย่อยนี้จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ให้ผู้ใช้กำหนดค่าความสูง และความยาวของฝาย ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหอ ในส่วน ตั้งแต่เทรย์ป้อนจนถึงเทรย์บนสุด และสามารถกำหนดค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์ของ หอ
- เมนู ‘Stripping section’ เมื่อเลือกเมนูย่อยนี้จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ ให้ผู้ใช้ กำหนดค่าความสูง และความยาวของฝาย ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหอ ในส่วนตั้งแต่ เทรย์ป้อนลงไปจนถึงฐานหอกลั่น และสามารถกำหนดค่าความร้อนที่ให้กับ หม้อต้มซ้ำ



(ก)



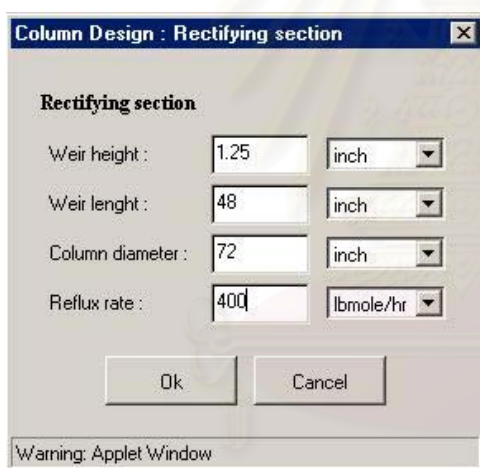
(ข)

รูป 5.3 เมนูย่อยชื่อ Component Selection (ก) เลือกองค์ประกอบ และค่าสถานะของสายป้อน

(ข) เลือกค่าอัตราส่วนโดยโมลทั้งหมด



(ก)



(ข)



(ค)

รูป 5.4 เมนูย่อยชื่อ Column Design (ก) เลือกจำนวนเทรย์ ตำแหน่งเทรย์ป้อน ประสิทธิภาพ
เทรย์ (ข) กำหนดค่าโครงสร้างของหอกลั่นส่วนยอดหอดึงเทรย์ป้อน (ค) กำหนดค่าโครง
สร้างของหอกลั่นส่วนก้นหอดึงเทรย์ป้อน

ค.) เมนูย่อย ‘Top Product’ (รูป 5.5)

เมื่อเลือกเมนูย่อยนี้จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ให้ผู้ใช้กำหนดค่าความดัน และอัตราการไหลของสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ รวมถึงการคำนวณค่าอุณหภูมิยอดหอ โดยการกำหนดอัตราส่วนโดยจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์ยอดหอที่ต้องการ

ง.) เมนูย่อย ‘Bottom Product’ (รูป 5.6)

เมื่อเลือกเมนูย่อยนี้จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ ให้ผู้ใช้กำหนดค่าความดันของสายผลิตภัณฑ์ก้นหอ รวมถึงการคำนวณค่าอุณหภูมิก้นหอ โดยการกำหนดอัตราส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์ก้นหอที่ต้องการ

5.2.3 เมนู ‘Control’ (รูป 5.2 (ค))

เป็นเมนูที่ผู้ใช้เลือกค่าเกี่ยวกับการควบคุมหอกลับ ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

ก.) เมนูย่อย ‘No Control’

เมนูย่อยนี้สำหรับการเลียนแบบแบบไม่มีการควบคุม

ข.) เมนูย่อย ‘Control Structure’ (รูป 5.7)

เมนูย่อยนี้ประกอบด้วยเมนูย่อยอีกสองเมนู ประกอบด้วย

- เมนู ‘One Point Control’ เมื่อเลือกเมนูย่อยนี้จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ให้ผู้ใช้ได้กำหนดโครงสร้างการควบคุมแบบหนึ่งตำแหน่ง มีแบบการควบคุมให้เลือกทั้งหมด 6 แบบ (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 4.2.3)
- เมนู ‘Two Point Control’ เมื่อเลือกเมนูย่อยนี้จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ให้ผู้ใช้ได้กำหนดโครงสร้างการควบคุมแบบสองตำแหน่ง มีแบบการควบคุมให้เลือกทั้งหมด 6 แบบ (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 4.2.3)

Top Product

Pressure : 19.7 Psia

Flow Rate : 600 lbmole/hr

Desire Composition

i-Butane	0.9
n-Butane	0.1
None	
None	
None	

Ok Cancel

Warning: Applet Window

รูป 5.5 ไดอะล็อกบ็อกซ์ของการกำหนดสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ

Bottom Product

Pressure : 21.7 Psia

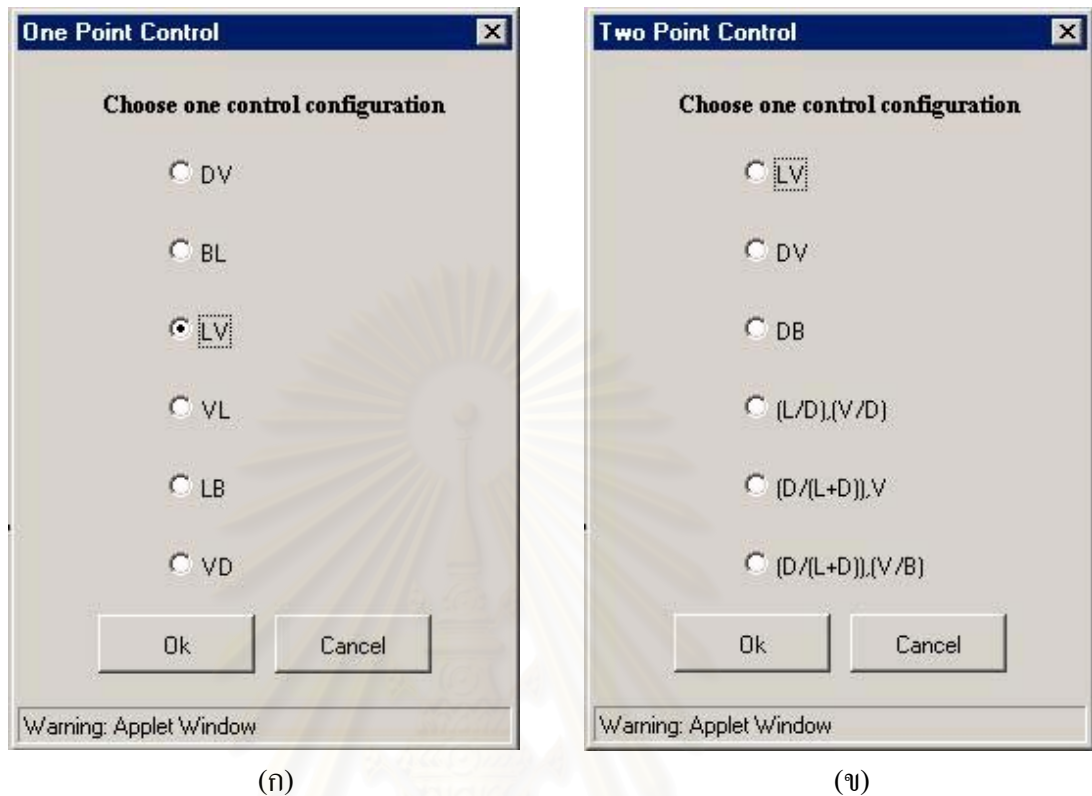
Desire Composition

i-Butane	0.3
n-Butane	0.7
None	
None	
None	

Ok Cancel

Warning: Applet Window

รูป 5.6 ไดอะล็อกบ็อกซ์ของการกำหนดสายผลิตภัณฑ์ก้นหอ



รูป 5.7 เมนูย่อยชื่อ Control Structure (ก) การควบคุมแบบหนึ่งตำแหน่ง (ข) การควบคุมแบบสองตำแหน่ง

เมื่อผู้ใช้เลือกโครงสร้างการควบคุมแล้วกดปุ่ม Ok จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ให้ผู้ใช้ได้กำหนดค่าเซ็ทพอยต์ ค่าไบแอส ตัวควบคุมแบบต่างๆ และค่าพารามิเตอร์ของการควบคุม ได้แก่ค่าเกน ค่ารีเซ็ทเรต และค่าคงที่อนุพันธ์ (Derivative constant) ของตัวควบคุม ดังรูป 5.8

The image shows a software window titled "Controller Design" with a close button (X) in the top right corner. The window content is organized as follows:

- Configuration : LV** (Section Header)
- Distillate Temperature Control** (Section Header)
- Controller**: A dropdown menu showing "Analog PID".
- Sample Time**: A text input field containing "0.001" with the unit "sec" to its right.
- Set Point**: A text input field containing "25.0".
- Bias (null valua)**: A text input field containing "400" with the unit "%" to its right.
- Proportional - Reverse acting (Kc > 0)**: A dropdown menu.
- Controller Gain , Kc**: A text input field containing "0.5" with the unit "%" to its right.
- on: Integral Mode**: A dropdown menu.
- Reset Time**: A text input field containing "10000000" with the unit "min" to its right.
- on: Derivative Mode**: A dropdown menu.
- Derivative Time**: A text input field containing "0.0001" with the unit "min" to its right.
- At the bottom, there are two buttons: "Next >>" and "Cancel".
- At the very bottom, a warning message reads "Warning: Applet Window".

รูป 5.8 ไดอะล็อกบ็อกซ์ของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.4 เมนู 'Run' (รูป 5.2 (ง))

เมื่อผู้ใช้งานกำหนดค่าทั้งหมดที่โปรแกรมต้องการแล้ว หลังจากนั้นเลือกเมนูย่อย 'Run' หรือเลือกที่ปุ่มสีน้ำเงินตรงสายป้อนของหน้าจอ โปรแกรมจะทำการคำนวณตามลำดับขั้นตอนที่อธิบายไว้ในบทที่ 4

5.3 การแสดงผลการรันโปรแกรม PACS-i

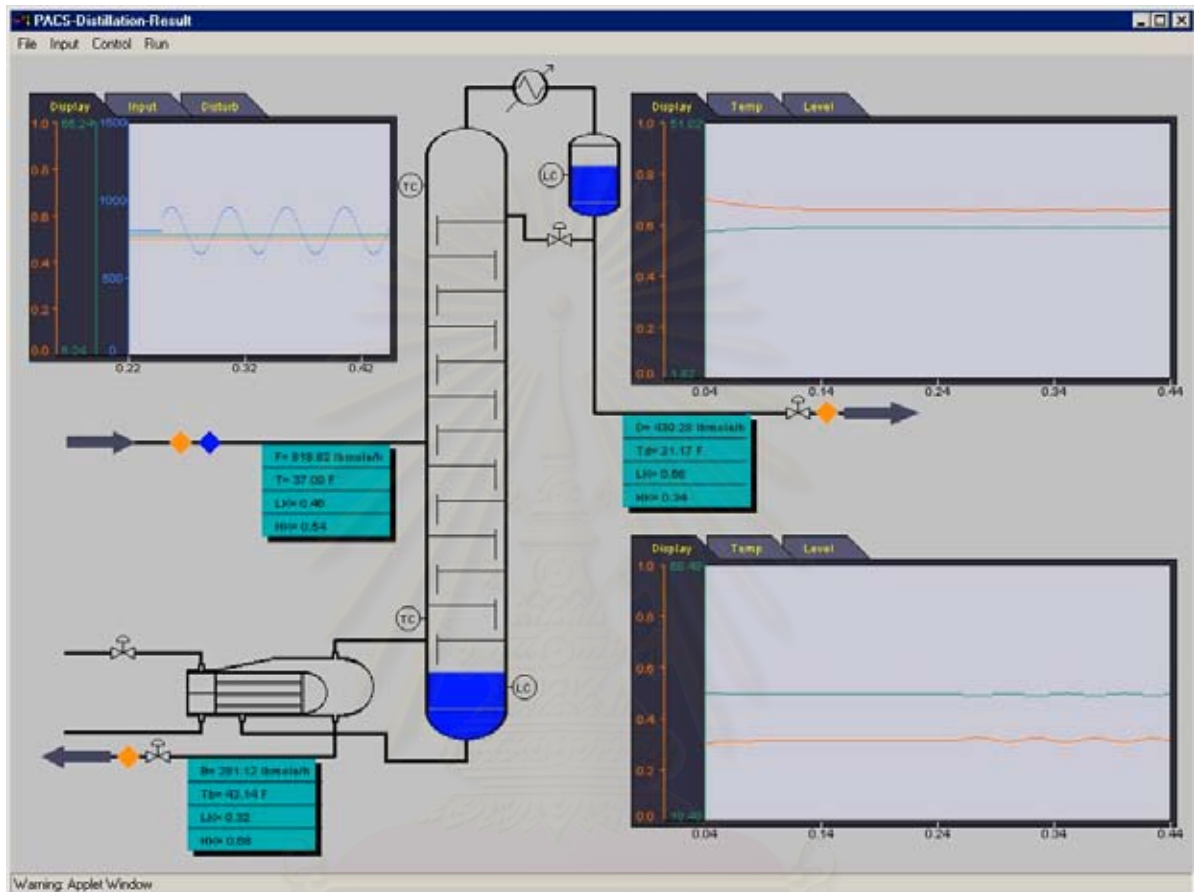
หลังจากผู้ใช้งานทำการรัน โปรแกรมจะปรากฏหน้าจอแสดงผลการรันดังรูป 5.9 หน้าจอจะมีกราฟแสดงทั้งหมด 3 กราฟ ประกอบด้วย

5.3.1 การแสดงผลสถานะของสายป้อน

การแสดงผลสถานะของสายป้อนอยู่ทางด้านซ้ายของจอ แสดงค่าอุณหภูมิ อัตราการไหล อัตราส่วนโดยโมลของสารเบาในสายป้อน ผู้ใช้งานสามารถกำหนดสถานะของสายป้อนที่ต้องการ โดยการคลิกที่แท็บอินพุท เมนูของการกำหนดสถานะสายป้อนจะขึ้นมาอยู่ด้านหน้าจอแทนกราฟ ดังรูป 5.10

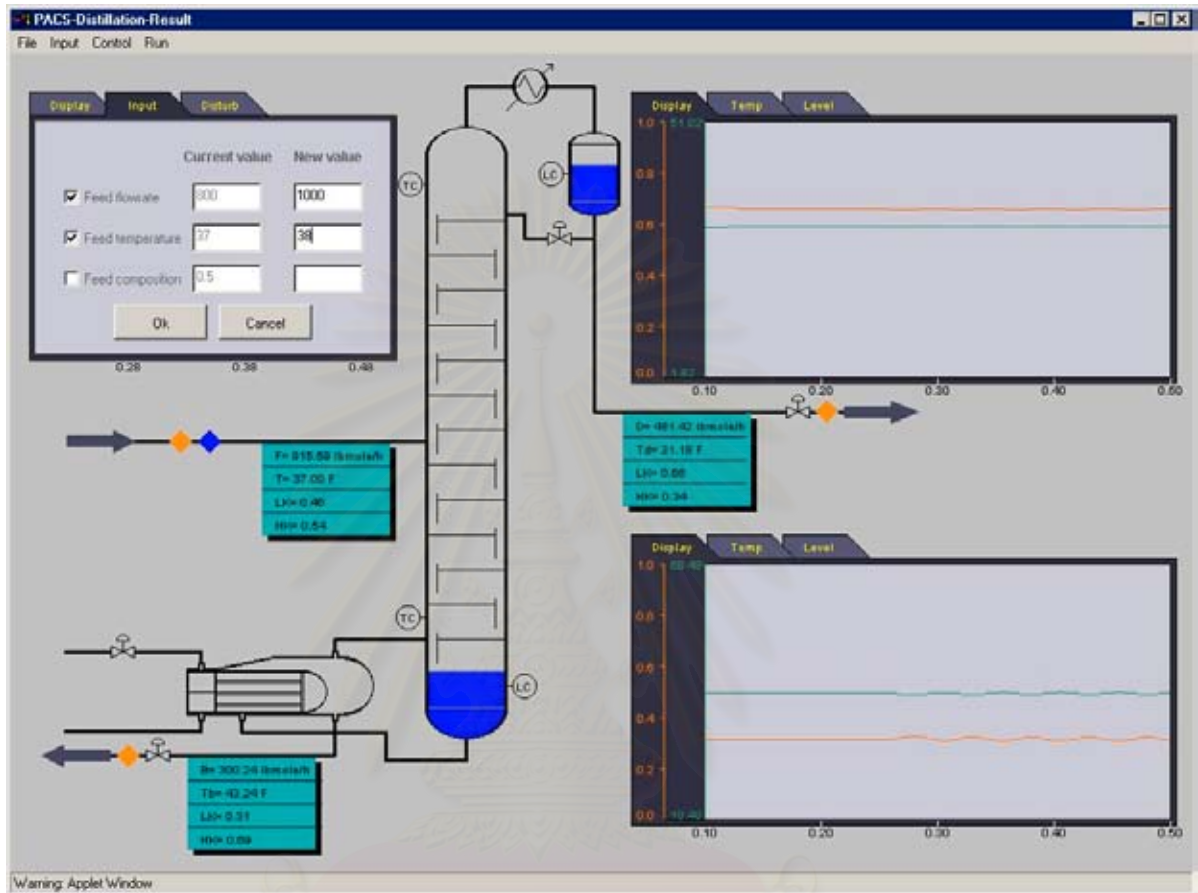
5.3.2 การแสดงผลสถานะของสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ

การแสดงผลสถานะของสายผลิตภัณฑ์ยอดหออยู่ทางด้านขวาบนของจอ ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างค่าอุณหภูมิซึ่งเป็นตัวแปรควบคุม และค่าความเข้มข้นของสารเบากับเวลา ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอุณหภูมิ และระดับ จากการคลิกไปที่แท็บที่มีชื่อว่า Temp และ Level จากนั้นเมนูของการกำหนดค่าพารามิเตอร์จะขึ้นมาอยู่ด้านหน้าจอแทนกราฟ ดังรูป 5.11 และ 5.12



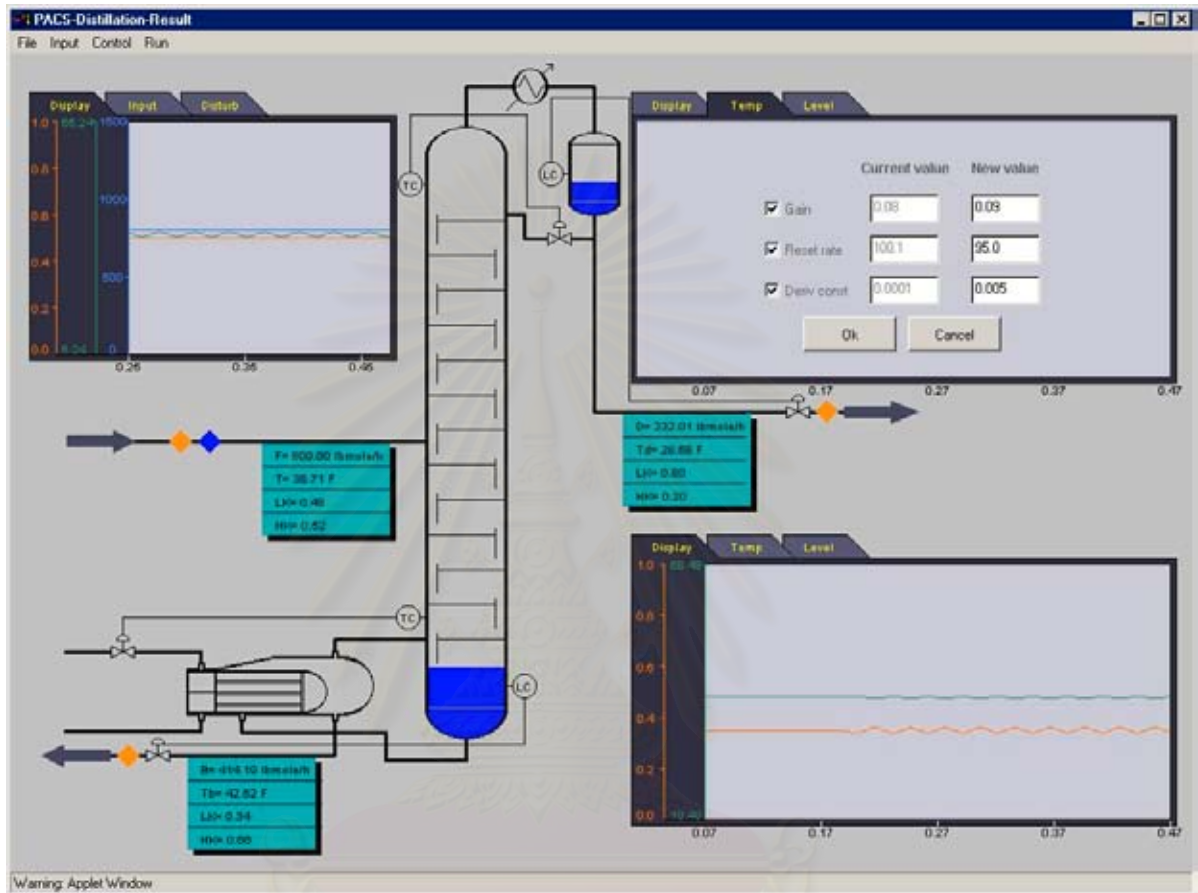
รูป 5.9 หน้าจอการรันโปรแกรม PACS-i

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



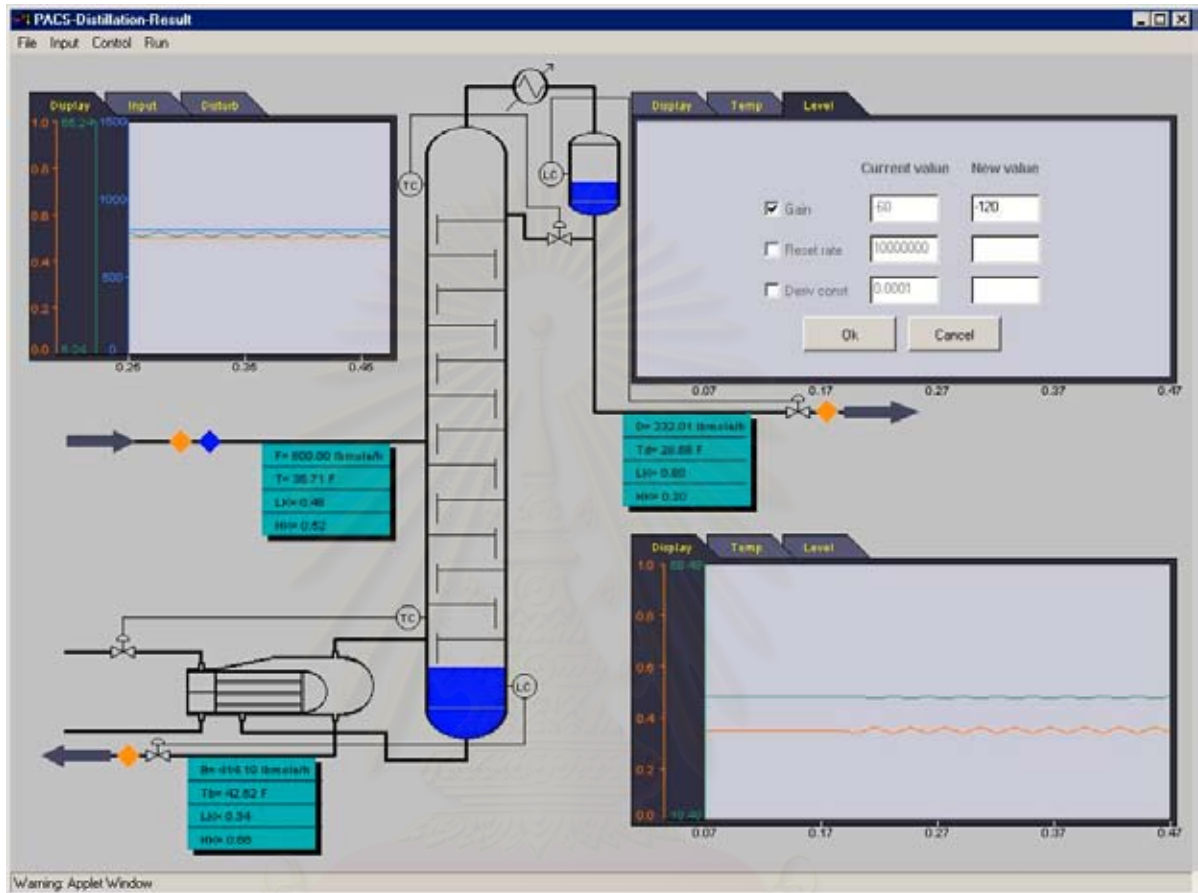
รูป 5.10 การกำหนดค่าสภาวะของสายป้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.11 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอุณหภูมิของหอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.12 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมระดับของถังรีฟลักซ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.3 การแสดงผลสถานะของสายผลิตภัณฑ์กั้นหอ

การแสดงผลสถานะของสายผลิตภัณฑ์กั้นหออยู่ทางด้านขวาล่างของจอ ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างค่าอุณหภูมิซึ่งเป็นตัวแปรควบคุม และค่าความเข้มข้นของสารเข้ากับเวลา ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอุณหภูมิ และระดับ จากการคลิกไปที่แท็บที่มีชื่อว่า Temp และ Level จากนั้นเมนูของการกำหนดค่าพารามิเตอร์จะขึ้นมาอยู่ด้านหน้าจอแทนกราฟ ดังรูป 5.13 และ 5.14

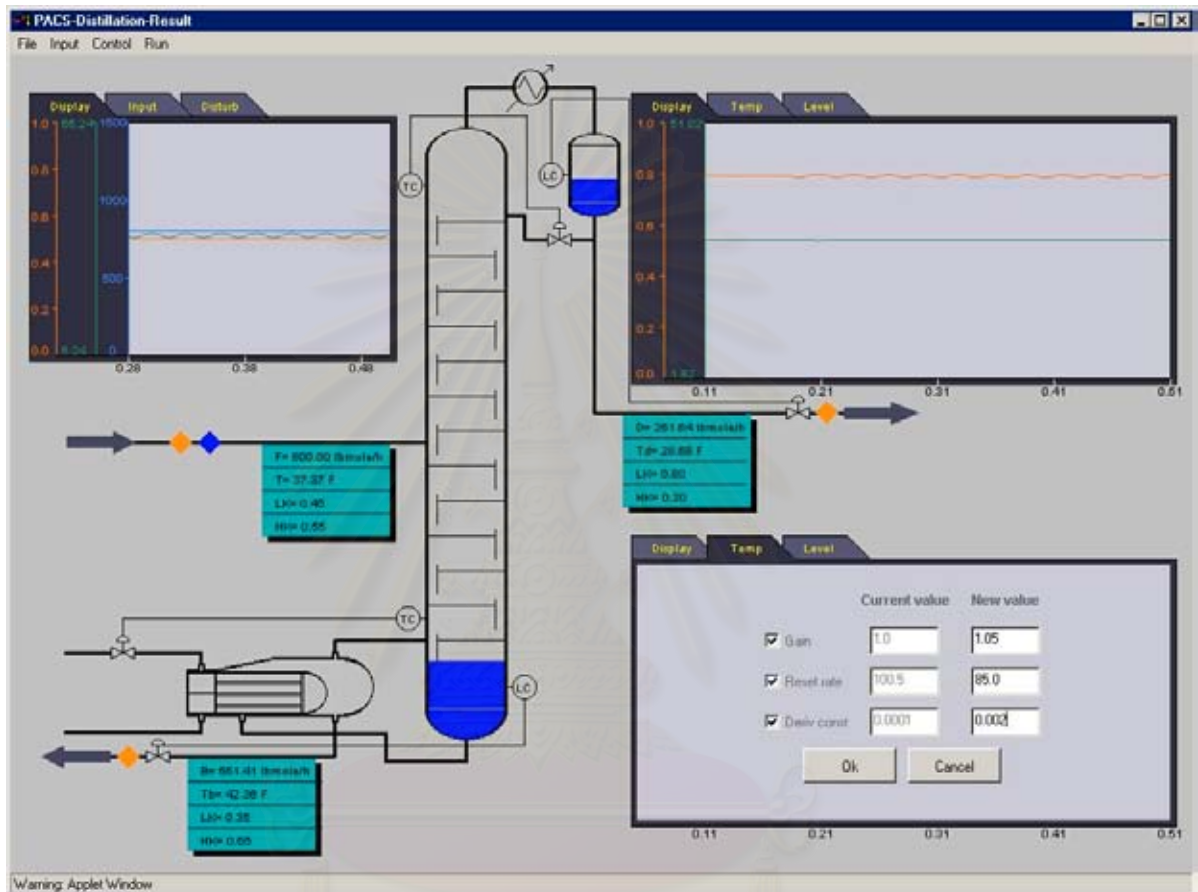
5.4 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม ทำการรันแบบไม่มีการควบคุม ทดสอบผลกับโปรแกรม Aspen Plus 10.2 โดยเป็นผลการเขียนแบบในสถานะคงตัว การทดสอบจะดูค่าของตัวแปรต่างๆในสายผลิตภัณฑ์ รวมถึงค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิของแต่ละเทอร์ย์ การทดสอบแบ่งเป็น 3 กรณี

5.4.1 กรณีที่ 1

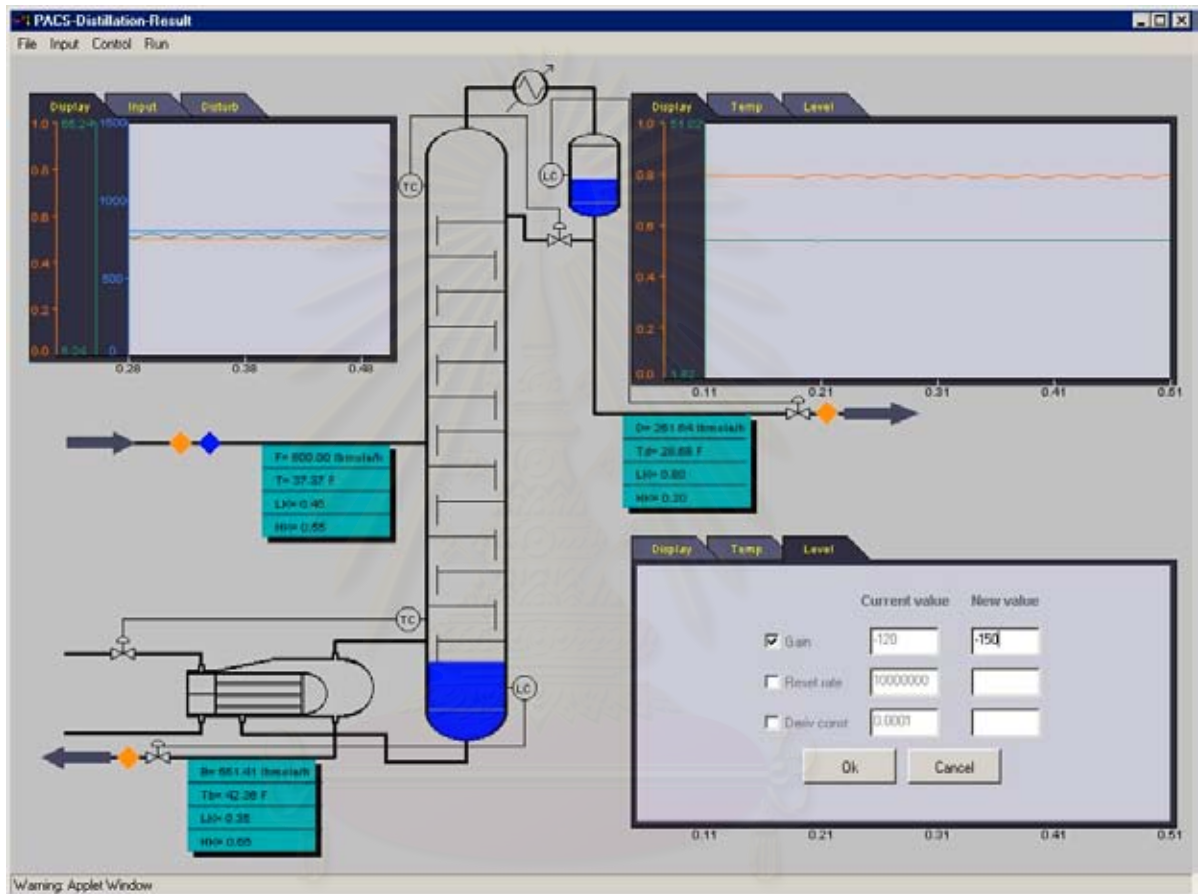
กรณีนี้เป็นการทดสอบการคำนวณของระบบที่มีองค์ประกอบของสารป้อน 2 สาร ประกอบด้วย

องค์ประกอบ	อัตราส่วนโดยโมล
i-Butane	0.5
n-Butane	0.5



รูป 5.13 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอุณหภูมิกันหอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.14 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมระดับของก้นหอกลั่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าสถานะต่างๆ ของระบบแสดงดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 สภาวะของหอกลิ้นในกรณีที่ 1

ค่าสถานะของหอกลิ้นที่กำหนด	Value
อัตราการไหลของสายป้อน	800 lbmole/hr
อุณหภูมิของสายป้อน	37 F
ความดันของสายป้อน	20.45 Psia
ความดันของสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ	19.7 Psia
ความดันของสายผลิตภัณฑ์ก้นหอ	21.7 Psia
จำนวนเทรย์	20
ตำแหน่งเทรย์ป้อน	10
ประสิทธิภาพของเทรย์	1
ค่ารีฟลักซ์	400
อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำ	5.0E06 Btu/hr

ผลการคำนวณของ PACS-*i* และ Aspen Plus แสดงในตาราง 5.2 และ 5.3 กราฟเปรียบเทียบโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป 5.15 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกัน และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 0.87 % ซึ่งสามารถยอมรับได้

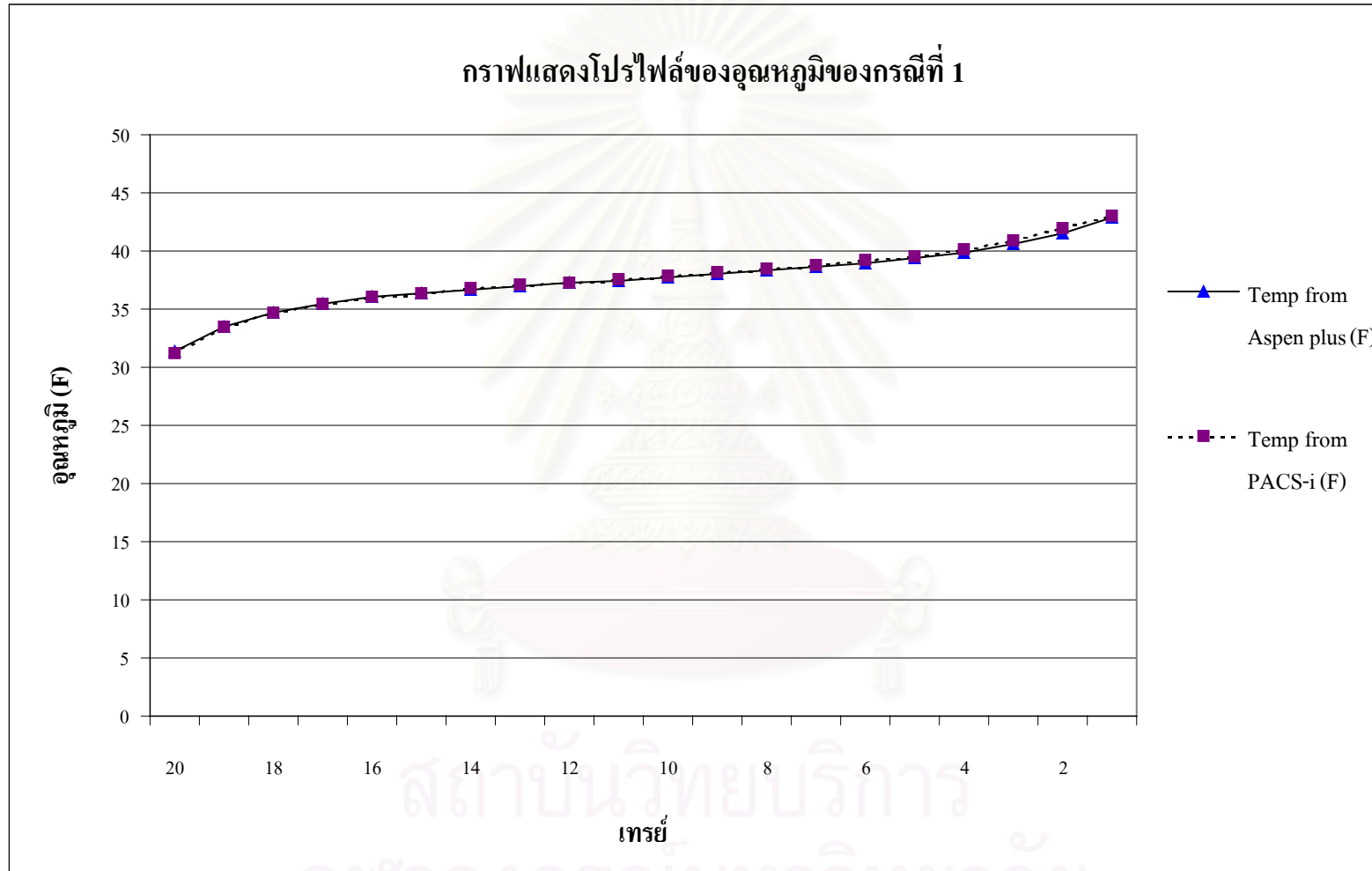
ตาราง 5.2 ค่าตัวแปรต่างๆ ในสายผลิตภัณฑ์ของกรณีที่ 1

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
i-Butane	0.6598	0.6523	0.3175	0.3317
n-Butane	0.3402	0.3477	0.6825	0.6683
Flow (lbmol/hr)	426.4983	420.036	373.5017	379.964
Temperature (F)	31.2277	31.43	43.0912	42.9122

ตาราง 5.3 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 1

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
20	31.4300345	31.2277	0.6437616
19	33.5210815	33.4321	0.2654494
18	34.7442059	34.7283	0.04578
17	35.4886853	35.5172	0.0803487
16	35.9865764	36.0421	0.1542898
15	36.3613793	36.4352	0.2030195
14	36.6754609	36.7641	0.241685
13	36.9595497	37.0613	0.2753018
12	37.2286125	37.3417	0.303765
11	37.493178	37.6131	0.3198502
10	37.762957	37.8897	0.3356278
9	38.0393381	38.1779	0.3642595
8	38.3276937	38.4801	0.3976402
7	38.637114	38.8058	0.4365906
6	38.9828964	39.1716	0.4840677
5	39.3905471	39.6059	0.5467121
4	39.9019362	40.1528	0.6287008
3	40.5840128	40.8829	0.7364654
2	41.5391458	41.9014	0.8720791
1	42.9122173	43.0912	0.4170903

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.15 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทอรัเปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 1

5.4.2 กรณีที่ 2

กรณีนี้เป็นการทดสอบการคำนวณของระบบที่มีองค์ประกอบของสารป้อน 3 สาร ประกอบด้วย

องค์ประกอบ	อัตราส่วนโดยโมล
Benzene	0.45
Toluene	0.35
m-Xylene	0.2

ค่าสภาวะต่างๆของระบบแสดงดังตาราง 5.4

ตาราง 5.4 สภาวะของหอกลิ้นในกรณีที่ 2

ค่าสภาวะของหอกลิ้นที่กำหนด	Value
อัตราการไหลของสายป้อน	800 lbmole/hr
อุณหภูมิของสายป้อน	235 F
ความดันของสายป้อน	20.45 Psia
ความดันของสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ	19.7 Psia
ความดันของสายผลิตภัณฑ์ก้นหอ	21.7 Psia
จำนวนเทรย์	20
ตำแหน่งเทรย์ป้อน	10
ประสิทธิภาพของเทรย์	1
ค่ารีฟลักซ์	400
อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำ	5.0E06 Btu/hr

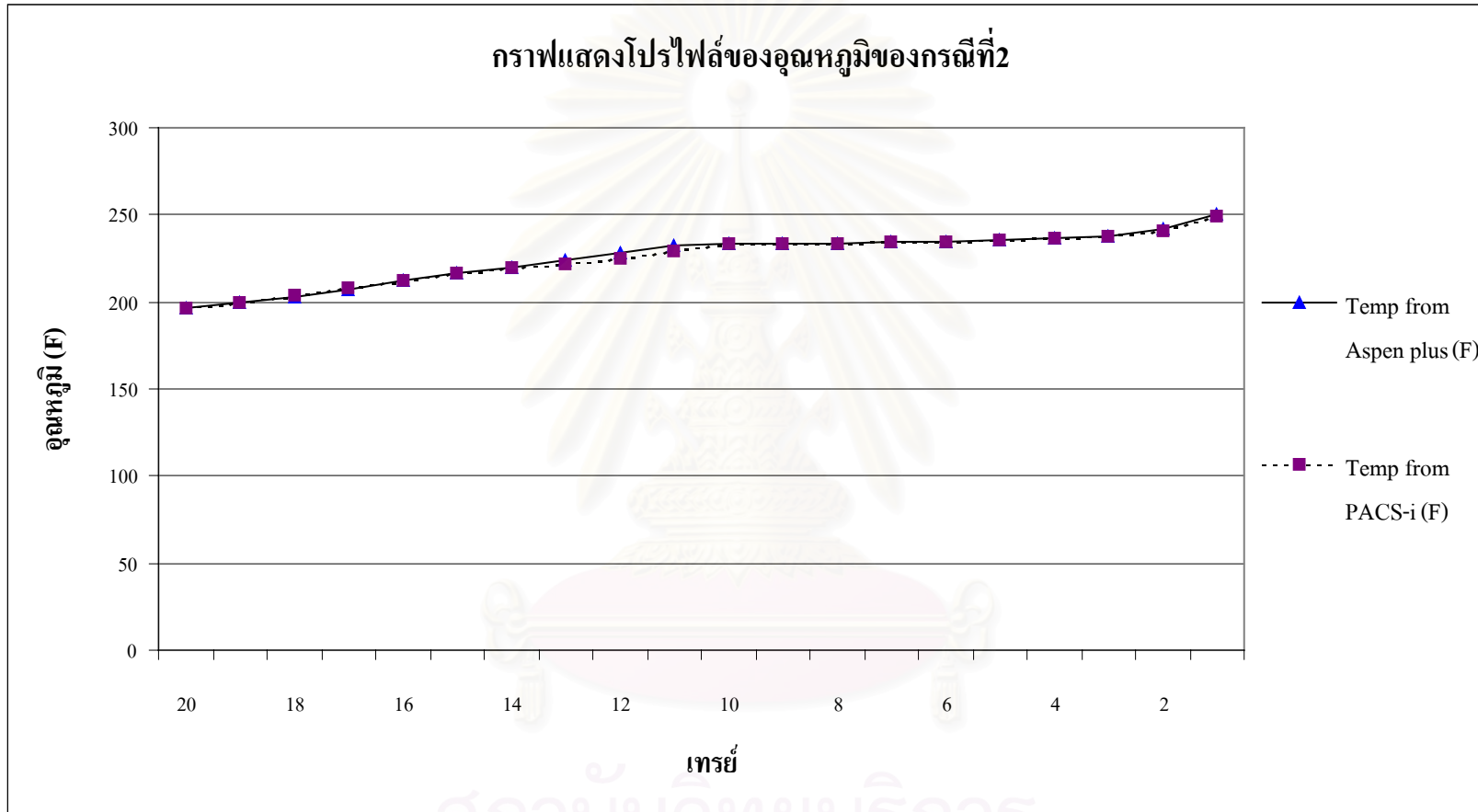
ผลการคำนวณของ PACS-*i* และ Aspen Plus แสดงในตาราง 5.5 และ 5.6 กราฟเปรียบเทียบโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป 5.16 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกันมาก และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.74 % ซึ่งสามารถยอมรับได้

ตาราง 5.5 ค่าตัวแปรต่างๆในสายผลิตภัณฑ์ของกรณีที่ 2

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
Benzene	0.9509	0.9501	0.2282	0.2286
Toluene	0.0491	0.0498	0.4832	0.4829
m-Xylene	6.725E-06	4.93E-05	0.2886	0.2885
Flow (lbmol/hr)	245.5089	245.4587	554.4895	554.5413
Temperature (F)	196.5951	196.2029	249.7006	250.5435

ตาราง 5.6 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ของกรณีที่ 2

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
20	196.202935	196.5951	0.199877234
19	199.219239	199.6292	0.20578384
18	203.053965	203.4993	0.219318544
17	207.461534	207.8706	0.197176793
16	211.998694	212.1991	0.094531714
15	216.271417	216.0281	0.112505389
14	220.183463	219.2191	0.437981575
13	224.041489	221.9936	0.914066858
12	228.451626	224.9002	1.554563678
11	232.831117	228.7797	1.740066814
10	233.167747	233.2508	0.03561942
9	233.507186	233.5953	0.037735027
8	233.855106	233.9481	0.039765649
7	234.225287	234.3226	0.041546752
6	234.651116	234.7513	0.042694875
5	235.213379	235.3083	0.040355272
4	236.108325	236.1773	0.029213286
3	237.819636	237.8033	0.006869071
2	241.576423	241.346	0.095383066
1	250.543476	249.7006	0.336419057



รูป 5.16 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 2

5.4.3 กรณีที่ 3

กรณีนี้เป็นการทดสอบการคำนวณของระบบที่มีองค์ประกอบของสายป้อน 5 สาย

ประกอบด้วย

องค์ประกอบ	อัตราส่วนโดยโมล
Toluene	0.4
m-Xylene	0.2
o-Xylene	0.2
p-Xylene	0.1
Ethylbenzene	0.1

ค่าสถานะต่างๆของระบบแสดงดังตาราง 5.7

ตาราง 5.7 สถานะของหอกลิ้นในกรณีที่ 3

ค่าสถานะของหอกลิ้นที่กำหนด	Value
อัตราการไหลของสายป้อน	800 lbmole/hr
อุณหภูมิของสายป้อน	285 F
ความดันของสายป้อน	20.45 Psia
ความดันของสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ	19.7 Psia
ความดันของสายผลิตภัณฑ์ก้นหอ	21.7 Psia
จำนวนเทรย์	20
ตำแหน่งเทรย์ป้อน	10
ประสิทธิภาพของเทรย์	1
ค่ารีฟลักซ์	400
อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำ	5.0E06 Btu/hr

ผลการคำนวณของ PACS-*i* และ Aspen Plus แสดงในตาราง 5.8 และ 5.9 กราฟเปรียบเทียบ

เทียบโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป 5.17 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มี

ความแตกต่างกันในส่วนของอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมี
เปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.4 % ซึ่งสามารถยอมรับได้

ตาราง 5.8 ค่าตัวแปรต่างๆในสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 3

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
Toluene	0.8307	0.8085	0.2327	0.2745
m-Xylene	0.0631	0.0704	0.2532	0.2398
o-Xylene	0.0267	0.0345	0.2673	0.2508
p-Xylene	0.035	0.0381	0.1253	0.119
Ethylbenzene	0.0446	0.0485	0.1215	0.1158
Flow (lbmol/hr)	223.8405	188.0325	576.1635	611.9675
Temperature (F)	257.007	260.6612	295.5819	294.2574

ตาราง 5.9 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกถันในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 3

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
20	260.661218	257.007	1.401903217
19	266.596346	263.4841	1.167400096
18	271.96148	269.7138	0.826469984
17	276.2233	274.798	0.515995573
16	279.325726	278.4893	0.299444671
15	281.491481	281.011	0.170691134
14	283.002096	282.7185	0.100209859
13	284.08992	283.9137	0.062029656
12	284.916021	284.8039	0.039352297
11	285.535508	285.5134	0.007742645
10	285.893107	286.0616	0.058935664
9	286.25029	286.4302	0.062850591
8	286.608713	286.8022	0.067509113
7	286.972661	287.1856	0.074201842
6	287.353207	287.5977	0.085084486

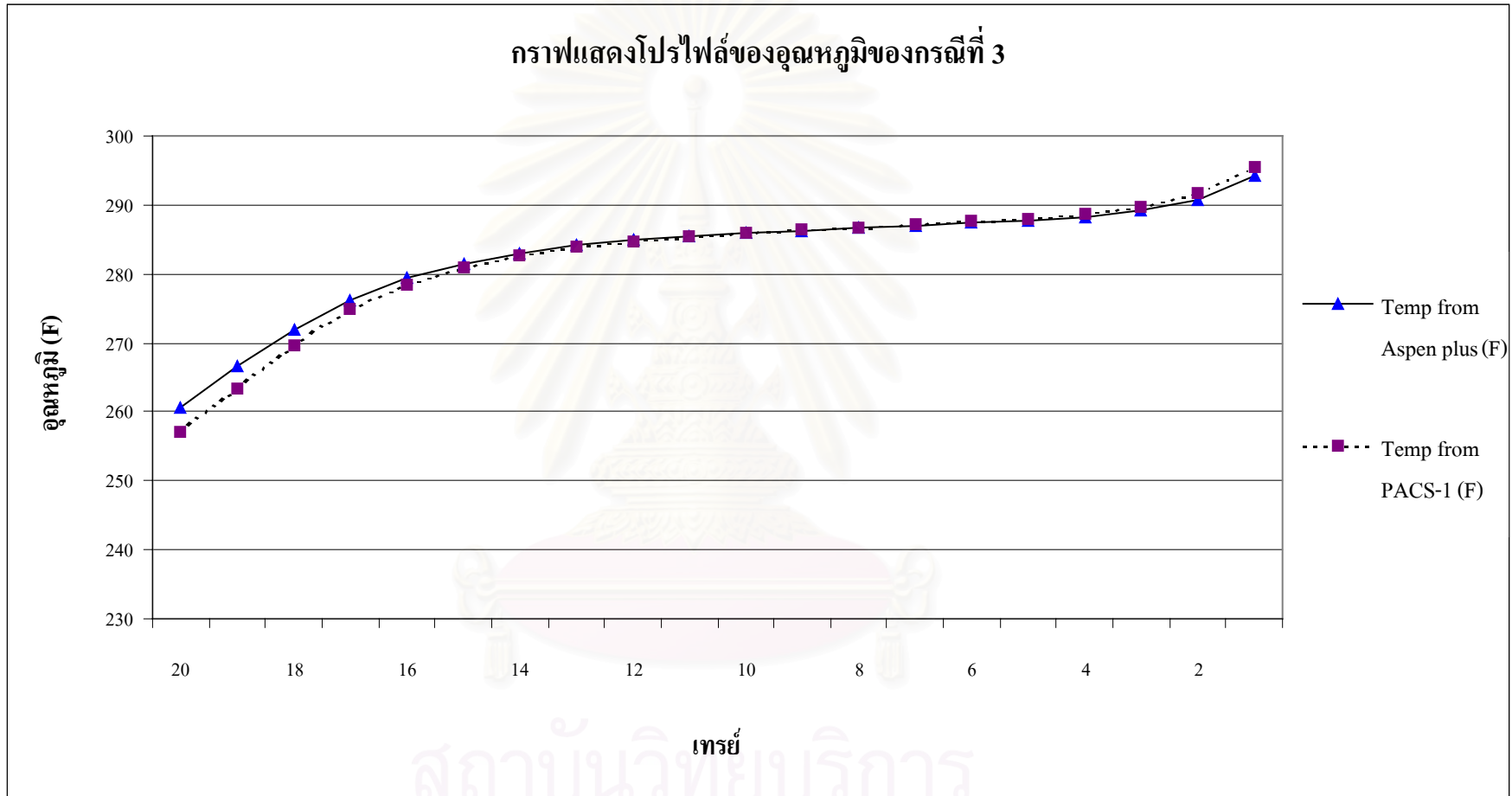
ตาราง 5.9 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลั่นในแต่ละเทรย์ของกรณีที่ 3 (ต่อ)

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
5	287.778861	288.0809	0.104955242
4	288.322779	288.737	0.143665721
3	289.171211	289.8057	0.219416379
2	290.787912	291.8305	0.358538975
1	294.257371	295.5819	0.450126023

5.5 การทดสอบแนวโน้มของการคำนวณการเปลี่ยนแปลง

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบพลวัตของโปรแกรม เทียบกับโปรแกรม Aspen Plus โดยมีแนวคิดที่ว่าถ้าสายป้อนมีอุณหภูมิ อัตราการไหล และอัตราส่วนโดยโมลของสารเบาเพิ่มขึ้น และลดลง แล้วนำผลการคำนวณของ Aspen Plus และผลการคำนวณของ PACS-*i* เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวมาทำการเปรียบเทียบแนวโน้ม และปริมาณของตัวแปรต่างๆของหอ ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่ออะไรกับค่าอุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารเบา และอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ยอดหอ และก้นหอ ดูแนวโน้มของทั้งสองโปรแกรมว่าไปในทิศทางเดียวกันหรือเปล่า และมีปริมาณเท่ากันหรือไม่ การทดสอบนำกรณีที่ 2 ของส่วนการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมมาทำการทดสอบ โดยองค์ประกอบของกรณีที่ 2 มีดังนี้

องค์ประกอบ	อัตราส่วนโดยโมล
Benzene	0.45
Toluene	0.35
m-Xylene	0.2



รูป 5.17 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 3

ค่าสภาวะต่างๆของระบบแสดงดังตาราง 5.10

ตาราง 5.10 สภาวะของกรณีที่นำมาทดสอบพลวัต

ค่าสภาวะของหอกลับที่กำหนด	Value
อัตราการไหลของสายป้อน	800 lbmole/hr
อุณหภูมิของสายป้อน	235 F
ความดันของสายป้อน	20.45 Psia
ความดันของสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ	19.7 Psia
ความดันของสายผลิตภัณฑ์ก้นหอ	21.7 Psia
จำนวนเทรย์	20
ตำแหน่งเทรย์ป้อน	10
ประสิทธิภาพของเทรย์	1
ค่ารีฟลักซ์	400
อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำ	5.0E06 Btu/hr

ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย 3 ตัวแปรคือ อุณหภูมิ อัตราการไหล และอัตราส่วนโดยโมลของสารเบาของสายป้อน ทำการทดสอบโดยเพิ่ม และลดค่าตัวแปรทั้งสามตัวแบบสแต็ป ผลการทดสอบมีหลายกรณีแสดงดังตาราง 5.11

ตาราง 5.11 สรุปกรณีที่ทำการทดสอบพลวัต

กรณี	สรุปกรณีที่ทำการทดสอบ	แสดงผล	ผลที่ได้
4	เพิ่มอุณหภูมิของสายป้อน 3 องศาฟาเรนไฮน์	ในบท	มีค่าตัวแปรต่างๆใกล้เคียงกัน
5	เพิ่มอัตราการไหลของสายป้อน 5 %	ในบท	มีค่าตัวแปรต่างๆใกล้เคียงกัน
6	เพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของสารเบา 0.1	ในบท	มีค่าตัวแปรต่างๆใกล้เคียงกัน
7	เพิ่มอุณหภูมิของสายป้อน 5 องศาฟาเรนไฮน์	ภาคผนวก	มีค่าตัวแปรต่างๆใกล้เคียงกัน
8	ลดอุณหภูมิของสายป้อน 3 องศาฟาเรนไฮน์	ภาคผนวก	มีค่าตัวแปรต่างๆใกล้เคียงกัน
9	ลดอุณหภูมิของสายป้อน 5 องศาฟาเรนไฮน์	ภาคผนวก	มีค่าตัวแปรต่างๆใกล้เคียงกัน
10	เพิ่มอัตราการไหลของสายป้อน 10 %	ภาคผนวก	มีค่าตัวแปรต่างๆใกล้เคียงกัน
11	ลดอัตราการไหลของสายป้อน 5 %	ภาคผนวก	มีค่าตัวแปรต่างๆใกล้เคียงกัน

ตาราง 5.11 สรุปกรณีที่ทำการทดสอบพลวัต (ต่อ)

กรณี	สรุปกรณีที่ทำการทดสอบ	แสดงผล	ผลที่ได้
12	ลดอัตราการไหลของสายป้อน 10 %	ภาคผนวก	มีค่าต่างกันในสายผลิตภัณฑ์
13	เพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของสารเบา 0.2	ภาคผนวก	มีค่าต่างกันในสายผลิตภัณฑ์
14	ลดอัตราส่วนโดยโมลของสารเบา 0.1	ภาคผนวก	มีค่าต่างกันในสายผลิตภัณฑ์
15	ลดอัตราส่วนโดยโมลของสารเบา 0.2	ภาคผนวก	มีค่าต่างกันในสายผลิตภัณฑ์

ผลการทดสอบแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายผลิตภัณฑ์ยอดหอ และก้นหอ รวมทั้งยัง

คำนึงถึงค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิของแต่ละเทรย์อีกด้วย ผลที่ได้ค่าโปรไฟล์อุณหภูมิของทุกกรณีมี

ค่าใกล้เคียงกันมีค่าแตกต่างกันมากที่สุด 3.6 % ส่วนค่าตัวแปรของสายผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน

ยกเว้นในกรณีที่ 12 ถึง 15 มีค่าแตกต่างกันในส่วนของอัตราการไหลของสายผลิตภัณฑ์

5.5.1 กรณีที่ 4

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยเพิ่มอุณหภูมิของสายป้อนแบบสเต็ป 3 องศาฟาเรนไฮน์ ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง 5.12 และ 5.13 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป 5.18 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกัน ค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.66 % และมีแนวโน้มทางพลวัตไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้สามารถยอมรับได้

ตาราง 5.12 ค่าตัวแปรของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 4

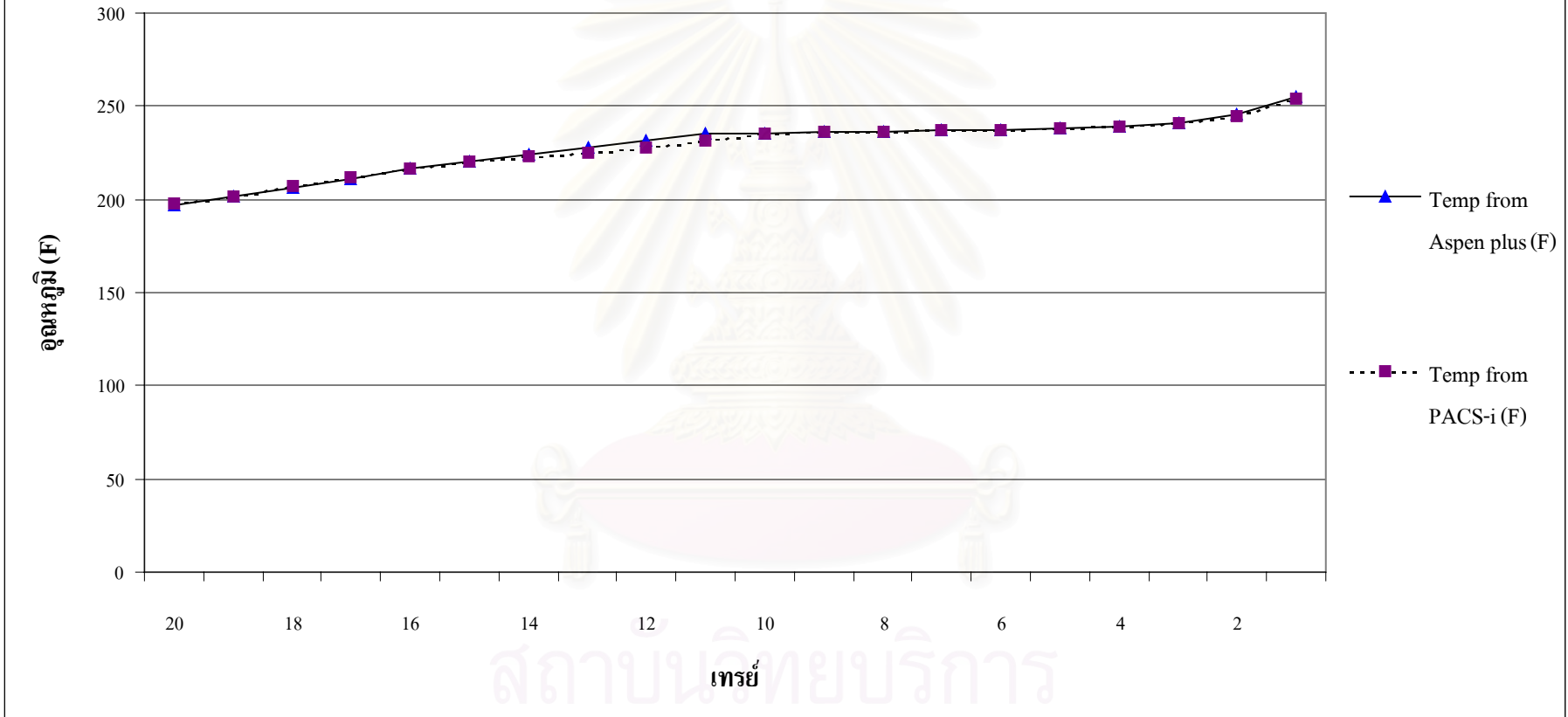
Component	Distillate		Bottom	
	PACS-i	Aspen Plus	PACS-i	Aspen Plus
Benzene	0.9253	0.9273	0.1878	0.1867
Toluene	0.0747	0.0726	0.5019	0.503
m-Xylene	1.47E05	9.28E-05	0.3103	0.3103
Flow (lbmol/hr)	284.4334	284.4335	515.5684	515.5665
Temperature (F)	197.6128	197.1359	253.6368	254.8048

ตาราง 5.13 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 4

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
20	197.135892	197.6128	0.241918402
19	201.246118	201.8571	0.303599397
18	206.195595	206.8936	0.338515961
17	211.400549	211.9884	0.278074491
16	216.217912	216.4382	0.101882401
15	220.337709	219.9556	0.173419703
14	223.917803	222.6948	0.546183905
13	227.472113	225.1025	1.041715826
12	231.67137	227.8356	1.655694443
11	235.368768	231.7177	1.551211756
10	235.711157	235.6331	0.03311553
9	236.061668	235.9875	0.031418909
8	236.431063	236.3599	0.030098837
7	236.84303	236.7724	0.029821439
6	237.349291	237.2732	0.032058659
5	238.061911	237.9655	0.040498289
4	239.222799	239.0687	0.064416519
3	241.357691	241.0639	0.121724317
2	245.643811	245.0752	0.231477845
1	254.804752	253.6368	0.458371357

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิของกรณีที่ 4



รูป 5.18 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 4

5.5.2 กรณีที่ 5

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยเพิ่มอัตราการใช้ของสายป้อนแบบสเต็ป 5 % ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง 5.14 และ 5.15 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป 5.19 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์ที่มีความใกล้เคียงกัน ค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.76 % และมีแนวโน้มทางพลวัตไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้สามารถยอมรับได้

ตาราง 5.14 ค่าตัวแปรของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 5

Component	Distillate		Bottom	
	PACS-i	Aspen Plus	PACS-i	Aspen Plus
Benzene	0.9067	0.9095	0.1627	0.1602
Toluene	0.0933	0.0903	0.5115	0.5137
m-Xylene	2.34E-05	1.39E-05	0.3258	0.3261
Flow (lbmol/hr)	308.946	309.4162	491.0573	490.5838
Temperature (F)	198.362	197.8735	256.2523	257.6841

ตารางที่ 5.15 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 5

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS-i (°F)	% Error
20	197.873464	198.362	0.246893136
19	202.780926	203.4103	0.310371401
18	208.439171	209.1049	0.319387664
17	214.028857	214.4806	0.211066398
16	218.866154	218.8554	0.004913505
15	222.80016	222.129	0.301238563
14	226.173782	224.6297	0.682697166
13	229.599827	226.9021	1.174969091
12	233.741699	229.6342	1.757281229
11	237.027136	233.6101	1.441622279

ตารางที่ 5.15 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 5 (ต่อ)

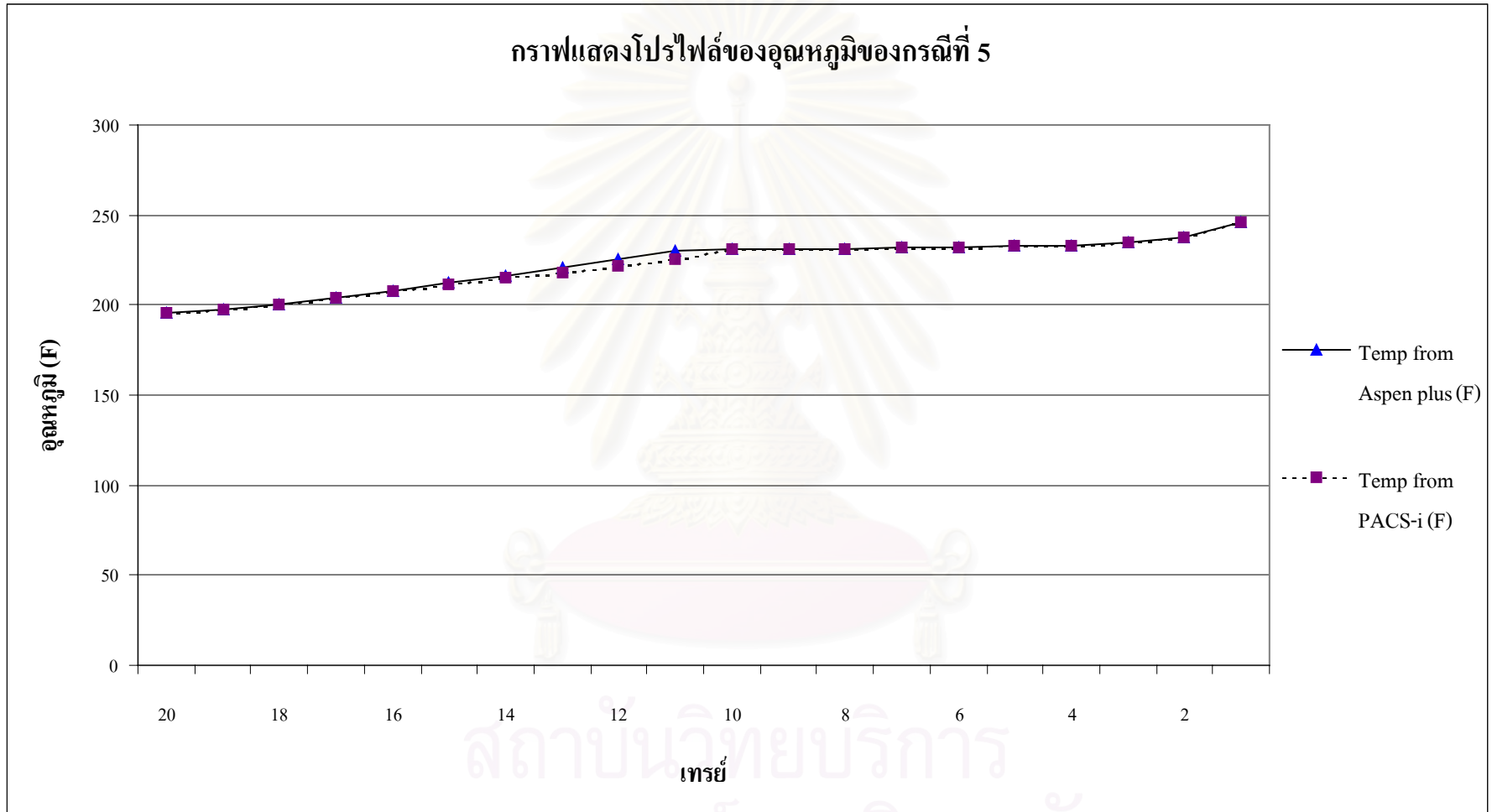
Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
10	237.377035	237.1687	0.08776544
9	237.741343	237.5358	0.086456566
8	238.136417	237.9312	0.086176236
7	238.595535	238.3857	0.087945904
6	239.185822	238.96	0.094412787
5	240.041624	239.7761	0.110615816
4	241.430023	241.0736	0.147629941
3	243.884309	243.3401	0.223142277
2	248.507142	247.6424	0.347974707
1	257.684051	256.2523	0.555622668

5.5.3 กรณีที่ 6

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของสารเบาของสายป้อนแบบสตีฟ 0.1 ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง 5.16 และ 5.17 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป 5.20 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกัน ค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 2.02 % และมีแนวโน้มทางพลวัตไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้สามารถยอมรับได้

ตาราง 5.16 ค่าตัวแปรของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 6

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
Benzene	0.9712	0.9671	0.2721	0.2731
Toluene	0.0287	0.0329	0.4596	0.4585
m-Xylene	2.80E-06	2.62E-05	0.2683	0.2684
Flow (lbmol/hr)	203.572	203.9462	596.4272	596.0538
Temperature (F)	195.8015	195.5175	245.7393	246.3596

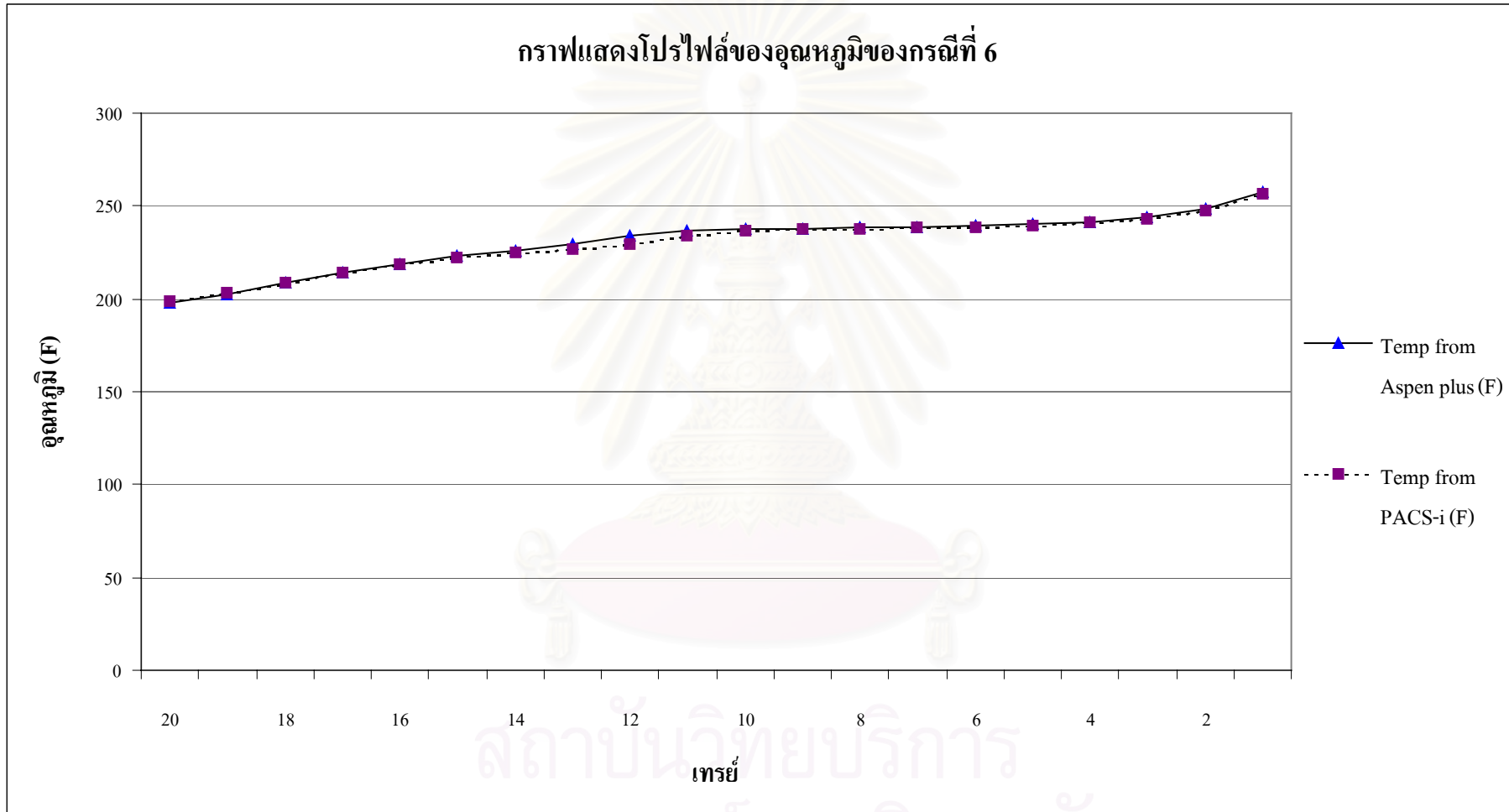


รูป 5.19 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 5

ตารางที่ 5.17 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกถั่วในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 6

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS-i (°F)	% Error
20	195.5175	195.8051	0.147096807
19	197.667434	197.7871	0.060539057
18	200.497704	200.4513	0.023144405
17	203.987064	203.7753	0.103812465
16	207.943653	207.5333	0.197338555
15	212.074916	211.3574	0.338331385
14	216.183061	214.9341	0.577733054
13	220.367735	218.2117	0.978380524
12	225.095551	221.5225	1.587348566
11	230.272188	225.6272	2.017172825
10	230.606348	230.776	0.073567793
9	230.940886	231.1163	0.075956234
8	231.278667	231.4597	0.078274837
7	231.627359	231.8139	0.08053496
6	232.007578	232.1989	0.082463686
5	232.47488	232.6674	0.082813248
4	233.180276	233.3618	0.077847065
3	234.54267	234.672	0.055141352
2	237.766359	237.7351	0.01314694
1	246.359644	245.7393	0.251804228

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.20 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 6

5.6 วิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม ค่าตัวแปรต่างๆที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากโปรแกรมเชิงพาณิชย์ Aspen Plus โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากที่สุดของโปรไฟล์อุณหภูมิเท่ากับ 3.6% และผลการทดสอบแนวโน้มน้ำแข็งพลวัตต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของสายป้อน ผลที่ได้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยสามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบแนวโน้มน้ำแข็งพลวัตแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

5.6.1 การทดสอบโดยการเพิ่มอุณหภูมิของสายป้อนแบบสเต็ป

เมื่ออุณหภูมิของสายป้อนเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของของเหลวที่ไหลลงด้านล่างของหอนี้ปริมาณลดลง ในขณะที่อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำมีค่าเท่าเดิม ทำให้อุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำเพิ่มขึ้น สารเบาระเหยเป็นไอได้มากขึ้น อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ก้นหอนี้มีค่าลดลง และอัตราส่วนของสารเบาในสายมีค่าลดลง ในขณะที่เดียวกันไอที่ขึ้นไปบนส่วนยอดหอนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิต่อหม้อต้มค่าสูงขึ้น สารหนักระเหยเป็นไอได้มากขึ้น อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ยอดหอนี้ และรีฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนของสารเบาในสายมีค่าลดลง

5.6.2 การทดสอบโดยการเพิ่มอัตราการไหลของสายป้อนแบบสเต็ป

เมื่ออัตราการไหลของสายป้อนเพิ่มขึ้น ของเหลวที่ไหลลงด้านล่างของหอนี้ปริมาณมากขึ้น ในขณะที่อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำมีค่าเท่าเดิม ทำให้อุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำมีค่าลดลง สารเบาระเหยเป็นไอน้อยลง อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ก้นหอนี้มีค่าเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนของสารเบาในสายมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันไอที่ขึ้นไปบนส่วนยอดหอนี้ปริมาณมากขึ้น ทำให้อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ยอดหอนี้ และรีฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของสารเบาในสายควรจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากมีสารเบาที่ระเหยมาจากด้านล่างหอกลับนี้ลดลง ทำให้อัตราส่วนของสารเบาในสายมีค่าค่อนข้างคงที่

5.6.3 การทดสอบโดยการเพิ่มอัตราส่วนของสารเบาในสายป้อนแบบสตีพ

เมื่ออัตราส่วนของสารเบาในสายป้อนเพิ่มขึ้น ค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัว และจุดเดือดมีค่าลดลง ในขณะที่อุณหภูมิของสายป้อนมีค่าเท่าเดิม ทำให้อัตราส่วนของของเหลวที่ไหลลงไปด้านล่างของหอมีปริมาณลดลง ในขณะที่อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซั่มมีค่าเท่าเดิม ทำให้อุณหภูมิของหม้อต้มซั่มมีค่าเพิ่มขึ้น สารเบาระเหยเป็นไอได้มากขึ้น อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ก้นหอมีค่าลดลง และอัตราส่วนของสารเบาในสายมีค่าลดลง ในขณะเดียวกันอัตราส่วนของไอที่ขึ้นไปบนส่วนยอดหอมีปริมาณมากขึ้น อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ยอดหอ และรีฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น และเนื่องจากอัตราส่วนของสารเบาในสายป้อนรวมกับสารเบาที่ระเหยมาจากด้านล่างเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนของสารเบาในสายผลิตภัณฑ์ยอดหอมีค่าเพิ่มขึ้น

5.7 ตัวอย่างการรันกรณีที่มีการควบคุม

ในส่วนนี้จะแสดงการรัน โปรแกรมโดยมีการเลือกโครงสร้างการควบคุมแบบหนึ่งตำแหน่ง และสองตำแหน่ง แบ่งเป็นกรณีแสดงดังตาราง 5.18

ตาราง 5.18 ตัวอย่างการรันกรณีที่มีการควบคุม

กรณี	โครงสร้างการควบคุมที่ใช้
ก	แบบหนึ่งตำแหน่งวิธี VD
ข	แบบหนึ่งตำแหน่งวิธี LB
ค	แบบสองตำแหน่งวิธี (D/L+D),V
ง	แบบสองตำแหน่งวิธี DV
จ	แบบสองตำแหน่งวิธี LV

5.7.1 กรณี ก.

กรณีนี้เป็นตัวอย่างการรันของระบบที่มีองค์ประกอบของสารป้อน 2 สาร โดยใช้องค์ประกอบ และสถานะของกรณีที่ 1 ในส่วนการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแสดงในตารางที่ 5.19 และผลของการรันแสดงในรูป 5.21

ตาราง 5.19 พารามิเตอร์ของตัวควบคุม ของกรณี ก.

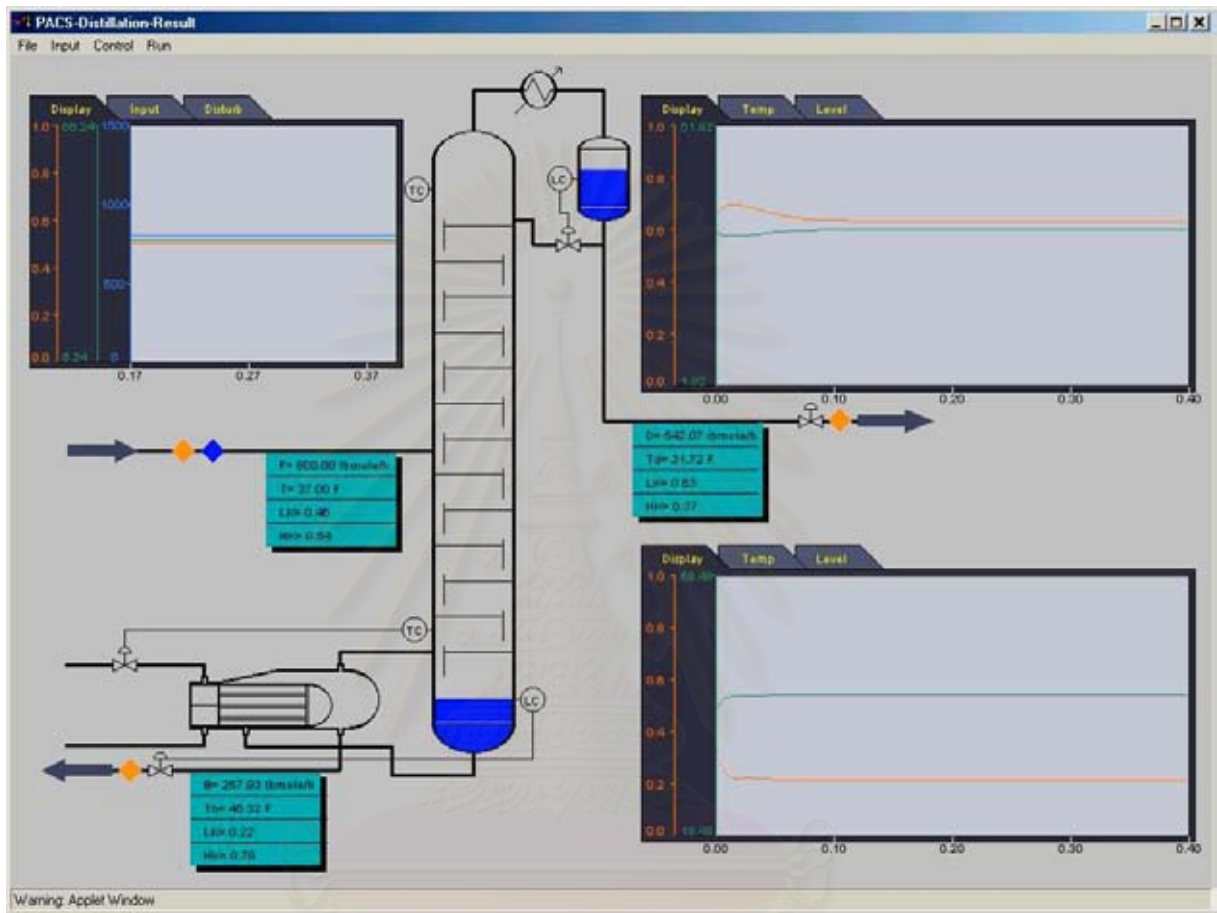
โครงสร้างการควบคุมแบบหนึ่งตำแหน่งวิธี VD				
	ตัวแปรปรับกระบวนการ	K_C	τ_I	τ_D
ลูควบคุมระดับของถังรีฟลักซ์	L	-10	-	-
ลูควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำ	V	1.5	100.2	-
ลูควบคุมระดับของฐานหอกกลับ	B	-40	-	-

5.7.2 กรณี ข.

กรณีนี้เป็นตัวอย่างการรันของระบบที่มีองค์ประกอบของสารป้อน 5 สาร โดยใช้องค์ประกอบ และสถานะของกรณีที่ 3 ในส่วนการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแสดงในตารางที่ 5.20 และผลของการรันแสดงในรูป 5.22

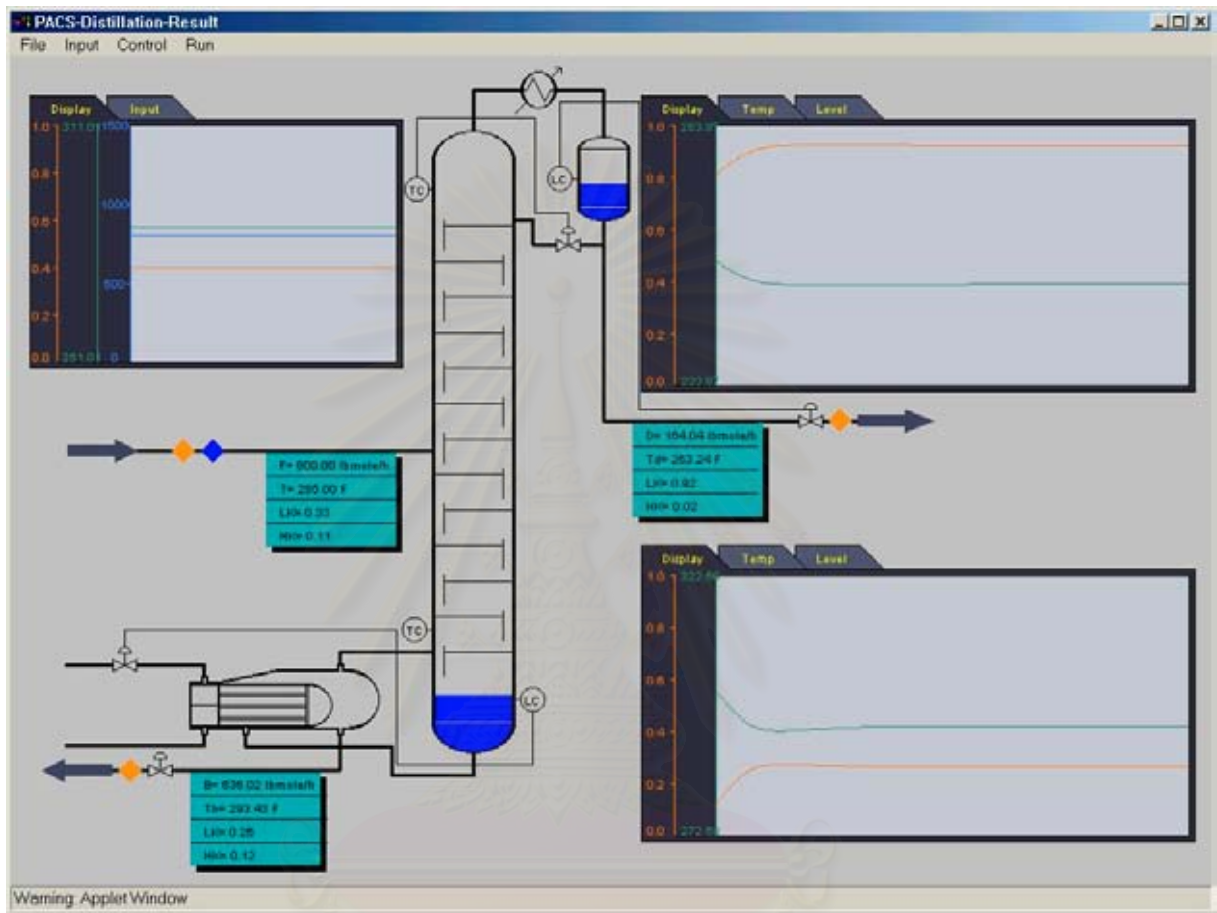
ตาราง 5.20 พารามิเตอร์ของตัวควบคุม ของกรณี ข.

โครงสร้างการควบคุมแบบหนึ่งตำแหน่งวิธี LB				
	ตัวแปรปรับกระบวนการ	K_C	τ_I	τ_D
ลูควบคุมอุณหภูมิมืดหอ	L	-10	100.5	-
ลูควบคุมระดับของถังรีฟลักซ์	D	-20	-	-
ลูควบคุมระดับของฐานหอกกลับ	V	-0.4	-	-



รูป 5.21 ตัวอย่างการรันของกรณี ก.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.22 ตัวอย่างการรันของกรณี ข.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.7.3 กรณี ค.

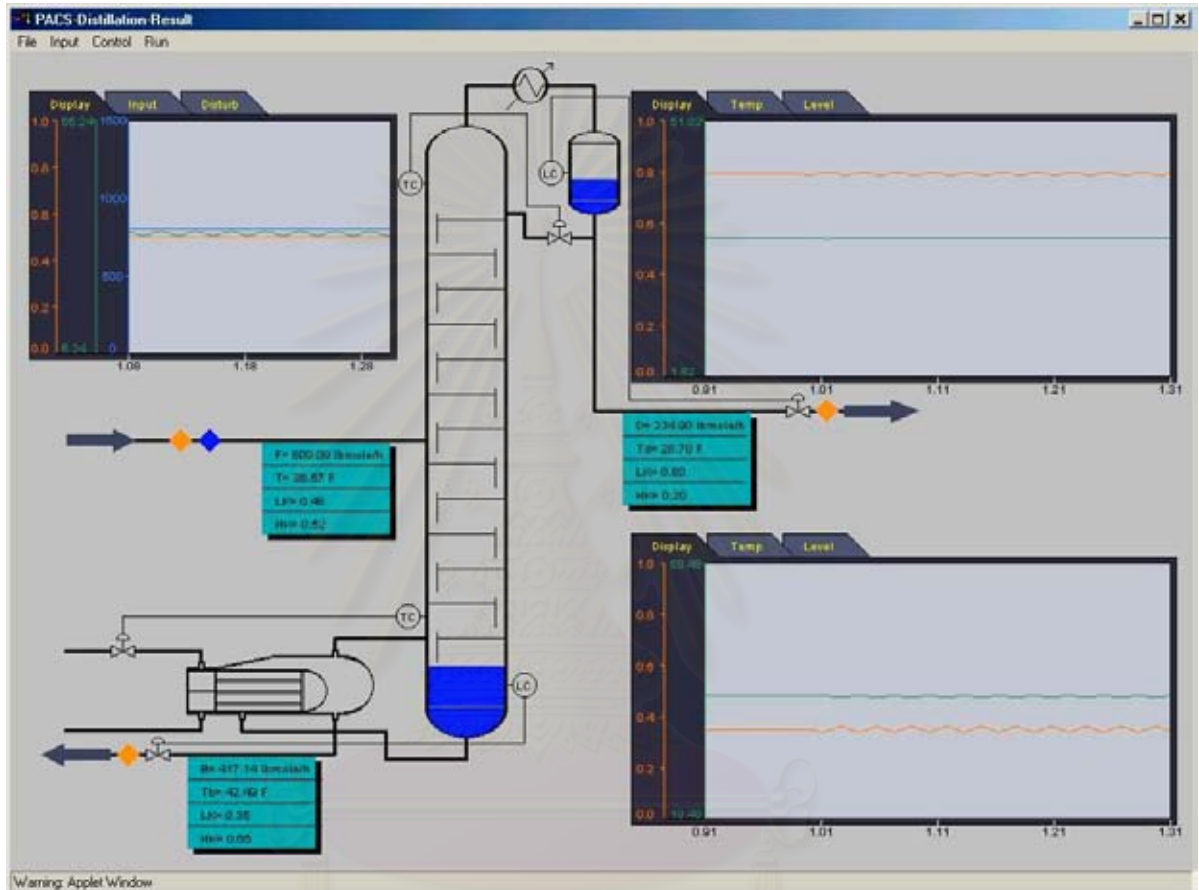
กรณีนี้เป็นตัวอย่างการรันของระบบที่มีองค์ประกอบของสารป้อน 2 สาร โดยใช้องค์ประกอบ และสถานะของกรณีที่ 1 ในส่วนการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแสดงในตารางที่ 5.21 และผลของการรันแสดงในรูป 5.23 อุณหภูมิมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนค่าความเข้มข้นของสายผลิตภัณฑ์มีการแกว่งเล็กน้อย

ตาราง 5.21 พารามิเตอร์ของตัวควบคุม ของกรณี ค.

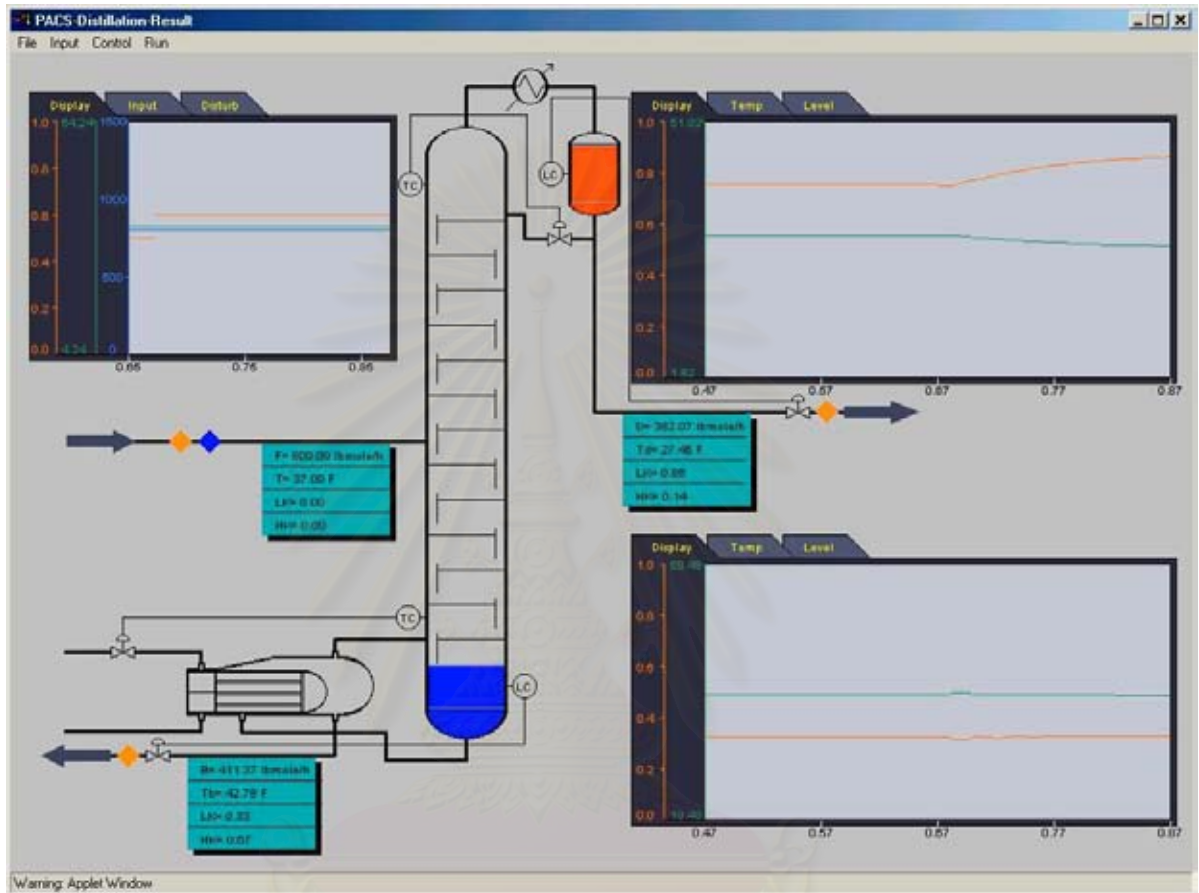
โครงสร้างการควบคุมแบบสองตำแหน่งวิธี (D/L+D),V				
	ตัวแปรปรับกระบวนการ	K_C	τ_I	τ_D
ตัวควบคุมอุณหภูมิยอดหอ	(D/L+D)	0.08	100.1	-
ตัวควบคุมระดับของถังรีฟลักซ์	D	-60	-	-
ตัวควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำ	V	1.0	100.5	-
ตัวควบคุมระดับของฐานหอกลั่น	B	-120	-	-
ใส่ค่าตัวรบกวนอุณหภูมิของสายป้อนแบบชานูซอค์ มีค่า แอมพลิจูด 0.5 และคาบการแกว่ง 0.03				

5.7.4 กรณี ง.

กรณีนี้เป็นตัวอย่างการรันของระบบที่มีองค์ประกอบของสารป้อน 2 สาร โดยใช้องค์ประกอบ และสถานะของกรณีที่ 1 ในส่วนการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแสดงในตารางที่ 5.22 และผลของการรันแสดงในรูป 5.24 ระดับของเหลวในถังรีฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอุณหภูมิมีค่าลดลง ส่วนค่าความเข้มข้นของสายผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น



รูป 5.23 ตัวอย่างการรันของกรณี ก.
 สถาบันวิจัยปฏิบัติการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.24 ตัวอย่างการรันของกรณี ง.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.22 พารามิเตอร์ของตัวควบคุม ของกรณี ง.

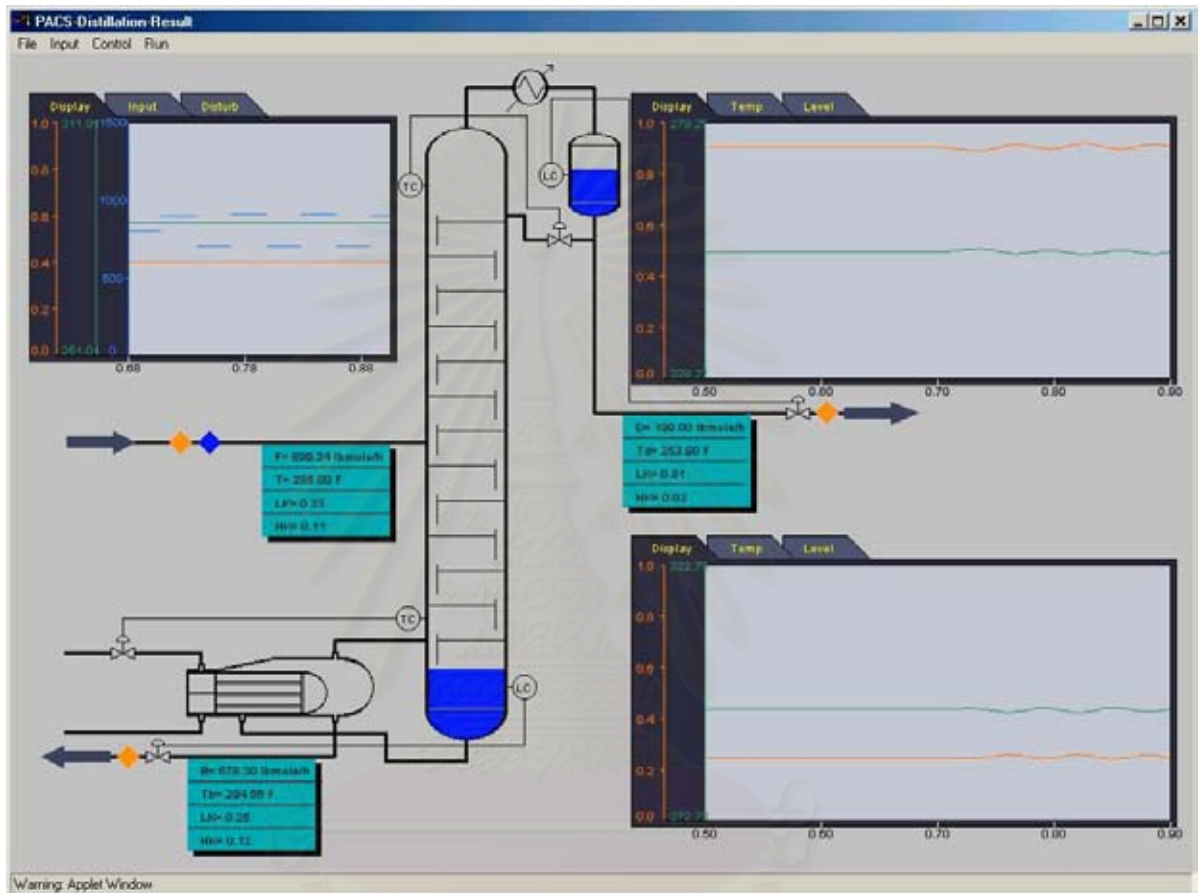
โครงสร้างการควบคุมแบบสองตำแหน่งวิธี DV				
	ตัวแปรปรับกระบวนการ	K_C	τ_I	τ_D
ลูปควบคุมอุณหภูมิยอคหอ	D	30	100.5	-
ลูปควบคุมระดับของถังรีฟลักซ์	L	-300	-	-
ลูปควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำ	V	10	100.2	-
ลูปควบคุมระดับของฐานหอกลั่น	B	-70	-	-
ใส่ค่าตัวรบกวนความเข้มข้นของสายป้อนแบบสเต็ปมีค่า แอมพลิจูด 0.1				

5.7.5 กรณี จ.

กรณีนี้เป็นตัวอย่างการรันของระบบที่มีองค์ประกอบของสารป้อน 5 สาร โดยใช้องค์ประกอบ และสถานะของกรณี 3 ในส่วนการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแสดงในตารางที่ 5.23 และผลของการรันแสดงในรูป 5.25 อุณหภูมิซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมมีการแกว่ง รวมถึงค่าความเข้มข้นของสายผลิตภัณฑ์ด้วย

ตาราง 5.23 พารามิเตอร์ของตัวควบคุม ของกรณี จ.

โครงสร้างการควบคุมแบบสองตำแหน่งวิธี LV				
	ตัวแปรปรับกระบวนการ	K_C	τ_I	τ_D
ลูปควบคุมอุณหภูมิยอคหอ	L	-25	150	-
ลูปควบคุมระดับของถังรีฟลักซ์	D	-22	-	-
ลูปควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำ	V	-0.3	100.1	-
ลูปควบคุมระดับของฐานหอกลั่น	B	-80	-	-
ใส่ค่าตัวรบกวนอัตราไหลของสายป้อนแบบ Pseudo Random Binary Sequence มีค่า แอมพลิจูด 100 และคาบการแกว่ง 0.03				



รูป 5.25 ตัวอย่างการรันของกรณี จ.

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผล ปัญหา และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรม PACS-*i* สำหรับการฝึกอบรมวิศวกร บุคลากร และนักศึกษาที่มีความสนใจ ให้มีความรู้ และทักษะเบื้องต้นทางด้านพลวัต และการควบคุมหอกลับ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการทดลองจริง หรือใช้โปรแกรมเชิงพาณิชย์ของต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง โปรแกรม PACS-*i* มีความง่ายในการใช้งาน ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าโครงสร้างของหอกลับ และค่าสถานะของสายป้อน และสายผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ในส่วนการแสดงผลเป็นการแสดงผลโดยกราฟซึ่งรันตามเวลา ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนค่าสถานะของสายป้อน หรือค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ในขณะทำการรัน เพื่อดูแนวโน้มเชิงพลวัตที่เกิดขึ้น ในส่วนการควบคุมตัวควบคุมที่ใช้ในโปรแกรมเป็นตัวควบคุมแบบป้อนกลับ โดยมีโครงสร้างการควบคุมเป็นแบบหนึ่งตำแหน่ง และสองตำแหน่ง

ทำการทดสอบโปรแกรมเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์ Aspen Plus 10.2 มีการทดสอบแบ่งเป็น 2 กรณี ประกอบด้วย การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม และการทดสอบแนวโน้มเชิงพลวัตของโปรแกรม จากการทดสอบโปรแกรม PACS-*i* มีความถูกต้องในระดับหนึ่ง โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากที่สุด 3.6 % และมีแนวโน้มเชิงพลวัตในแนวทางเดียวกันกับโปรแกรม Aspen Plus

6.2 ปัญหา และข้อจำกัดของโปรแกรม

1. โปรแกรม PACS-*i* มีการป้อนค่าได้ไม่เกิน 5 สาร
2. สารป้อนควรมีอนุกรมที่อยู่ระหว่างอนุกรมจุดกั่นตัว และจุดเค็ด
3. ผู้ใช้ควรมีความรู้เกี่ยวกับหอกั่น และการควบคุมพอสมวล

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรขยายผลโดยมีการศึกษาถึงพลวัตของเครื่องควบแน่น และหม้อต้มซ้ำ
2. ควรขยายผลให้มีการตั้งผลิตภัณฑ์ออกด้านข้าง
3. ควรประยุกต์กับตัวควบคุมแบบอาศัยแบบจำลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ผลสุติ พันธุ์ศักดิ์ศิริ. ระบบฐานความรู้สำหรับการออกแบบระบบการควบคุมหอกถัน. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2539.
- ดร.วีระศักดิ์ ชิงถาวร. Fundamental of JAVA Programming. Vol. 1. บริษัท เอช.เอ็น. กรุ๊ป
จำกัด : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2543.
- ดร.วีระศักดิ์ ชิงถาวร. Fundamental of JAVA Programming. Vol. 2. บริษัท เอช.เอ็น. กรุ๊ป
จำกัด : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2543.
- สมหวัง ชัยกิตติวัฒน์ชัย. การเลียนแบบสมรรถนะเชิงพลวัตของระบบควบคุมหอกถัน. วิทยา
นิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2540.

ภาษาอังกฤษ

- Basta N. Process Simulation : The next Generation. Chemical Engineering. January
1995 : 139-141.
- Basta N. Process Simulation : New Mountains to Conquer. Chemical Engineering.
May 1996 : 149-153.
- Egol L. Simulation and Process Control. Chemical Engineering. February 1989 :
161-166.
- Glasscock D.A., Hale J.C. Process Simulation : The Art and Science of Modeling.
Chemical Engineering. November 1994 : 82-89.

- Hunter D., Johnson E., Short H., Zanetti R. Accelerating Interest in Dynamic Simulation. Chemical Engineering. February 1989 : 30-34.
- McKetta J.J. Unit Operations Handbook. Vol.1. New York : Dekker, 1993.
- McMabe W.L., Smith J.C., Harriott P. Unit Operations of Chemical Engineering. 5th Edition. New York : McGraw-Hill,1993.
- Reid R.C., Prausnitz J.M., Poling B.E. The Properties of Gases & Liquids. 4th Edition. Singapore : McGraw-Hill, 1987.
- Skogestad S. Control Configuration Selection for Distillation Columns. AIChE Journal. October 1987 : 1620-1635.
- Skogestad S., Lundstrom P., Jacobsen E.W. Selecting the Best Distillation Control Configuration. AIChE Journal. May 1990 : 753-764.
- Smith C.A., Corripio A.B. Principles and Practice of Automatic Process Control. New York : John Wiley & Sons, 1985.
- Unnop Limpiboon. Simulation of distillation column dynamics and control. A thesis for the degree of master of engineering Department of Chemical Engineering Chulalongkorn University, 1995.
- Waller K.V., Finnerman D.H. An Experimental Comparison of Four Control Structures for Two-Point Control of Distillation. Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 27 : 624-630.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบพลวัตของโปรแกรม PACS-*i* เทียบกับ Aspen Plus

ก.1. กรณีที่ 7

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยเพิ่มอุณหภูมิของสายป้อนแบบสเต็ป 5 องศาฟาเรนไฮน์ ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง ก.1 และก.2 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป ก.1 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกันมาก และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 2.28 % ซึ่งสามารถยอมรับได้

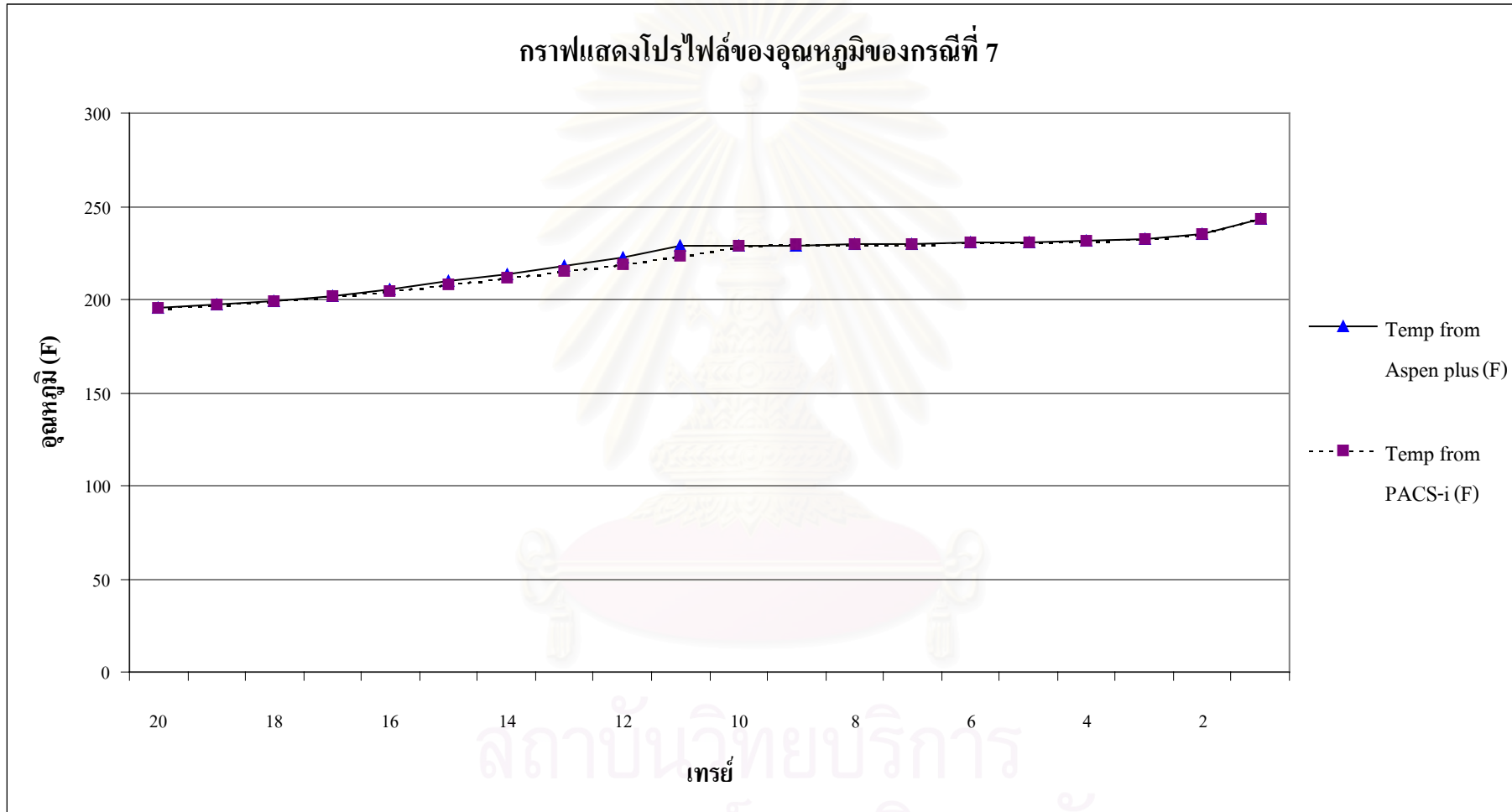
ตาราง ก.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 7

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
Benzene	0.9809	0.9751	0.3032	0.3036
Toluene	0.0191	0.0249	0.4415	0.4406
m-Xylene	1.52E-06	1.77E-05	0.2553	0.2558
Flow (lbmol/hr)	173.3085	174.424	626.6918	625.576
Temperature (F)	195.4277	195.1981	243.0898	243.6437

ตารางที่ ก.2 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 7

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS-i (°F)	% Error
20	195.198091	195.4277	0.117628712
19	196.92459	196.8826	0.021322883
18	199.220982	198.862	0.180192867
17	202.143677	201.4494	0.343457194
16	205.630142	204.6074	0.49736969
15	209.502193	208.1389	0.650729704
14	213.584208	211.7669	0.850862532
13	217.902264	215.3247	1.182899137
12	222.829642	218.975	1.729860518
11	228.588521	223.3616	2.286606946
10	228.921851	229.0911	0.073933091
9	229.254786	229.4299	0.076384011
8	229.589069	229.7699	0.078762896
7	229.929744	230.1164	0.08117958
6	230.291389	230.4831	0.083247142
5	230.716244	230.9108	0.084326962
4	231.327986	231.5158	0.081189485
3	232.497459	232.6466	0.064147368
2	235.381569	235.395	0.005706054
1	243.643651	243.0898	0.227320104

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ก.1 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 7

ก.2 กรณีที่ 8

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยลดอุณหภูมิของสายป้อนแบบสตีฟ 3 องศาฟาเรนไฮน์ ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง ก.3 และก.4 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป ก.2 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกันมาก และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.74 % ซึ่งสามารถยอมรับได้

ตาราง ก.3 ค่าพารามิเตอร์ของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 8

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
Benzene	0.9505	0.95	0.2367	0.2374
Toluene	0.0494	0.4995	0.4781	0.4776
m-Xylene	6.87E-06	4.98E-05	0.2852	0.285
Flow (lbmol/hr)	250.9693	250.6319	589.0298	589.3681
Temperature (F)	196.6103	196.2074	248.9372	249.7193

ตารางที่ ก.4 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลับในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 8

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
20	196.207413	196.6103	0.205337298
19	199.229066	199.6628	0.217706186
18	203.0699	203.5504	0.236618032
17	207.48272	207.932	0.216538515
16	212.022936	212.261	0.112282192
15	216.295952	216.0828	0.098546458
14	220.212933	219.2642	0.430825287
13	224.079639	222.0342	0.912817875
12	228.504619	224.9445	1.558007455
11	232.898282	228.8345	1.744874185
10	233.233307	233.3203	0.037298704

ตารางที่ ก.4 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 8 (ต่อ)

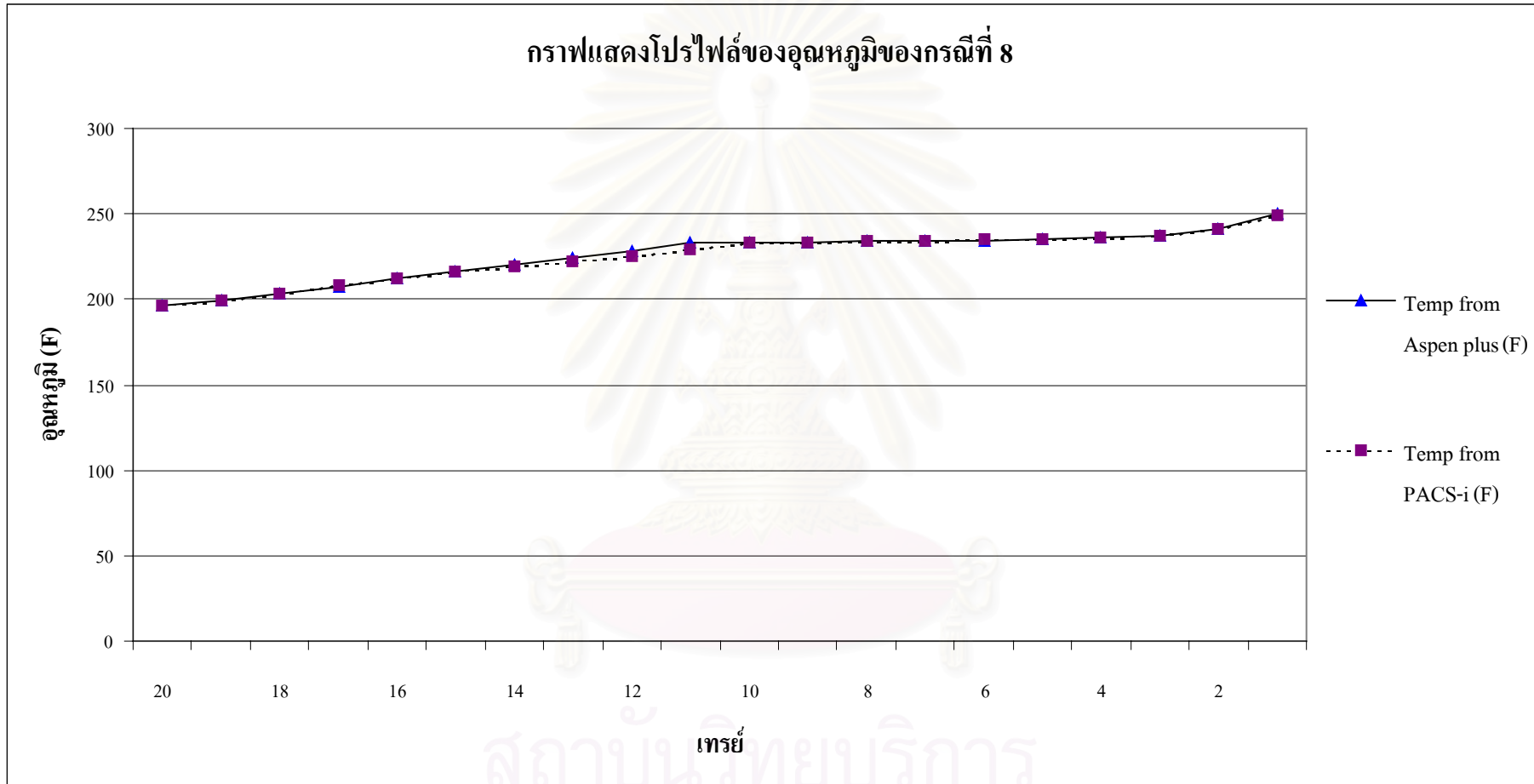
Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS-i (°F)	% Error
9	233.569799	233.6626	0.039731592
8	233.912186	234.0107	0.042115805
7	234.271585	234.375	0.044143211
6	234.675841	234.7829	0.045619949
5	235.194636	235.2982	0.044033317
4	236.003237	236.0849	0.034602491
3	237.549934	237.5605	0.004447907
2	241.0367	240.8545	0.075590149
1	249.71934	248.9372	0.313207619

ก.3 กรณีที่ 9

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยลดอุณหภูมิของสายป้อนแบบสเต็ป 5 องศาฟาเรนไฮน์ ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง ก.5 และก.6 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป ก.3 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกันมาก และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.75 % ซึ่งสามารถยอมรับได้

ตาราง ก.5 ค่าพารามิเตอร์ของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 9

Component	Distillate		Bottom	
	PACS-i	Aspen Plus	PACS-i	Aspen Plus
Benzene	0.9503	0.9499	0.2444	0.2451
Toluene	0.0497	0.0501	0.4734	0.4729
m-Xylene	6.98E-06	5.03E-05	0.2822	0.2819
Flow (lbmol/hr)	256.3335	255.8087	623.6664	624.1913
Temperature (F)	196.6194	196.2123	248.2597	248.9934

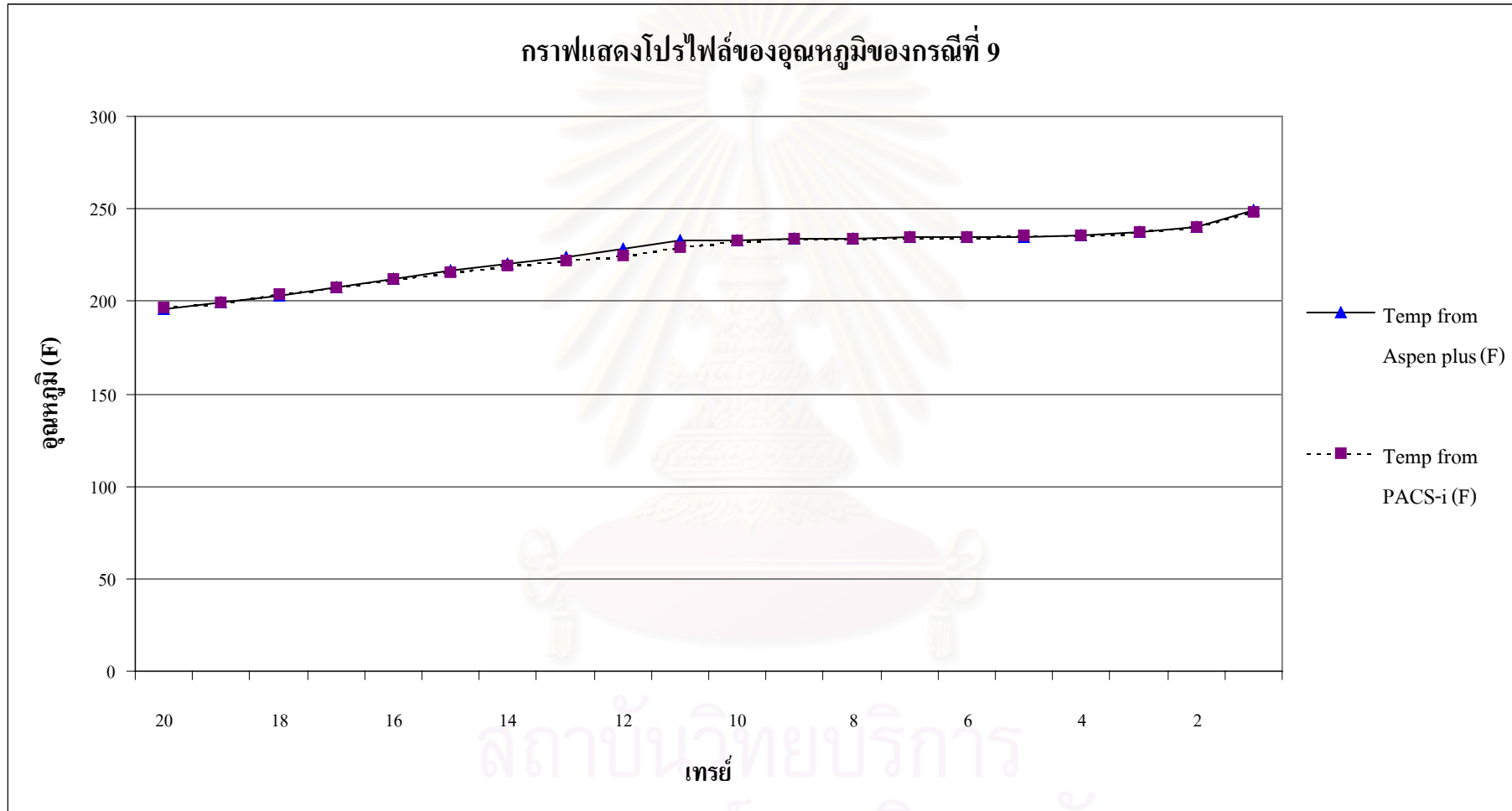


รูป ก.2 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 8

ตาราง ก.6 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 9

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS-i (°F)	% Error
20	196.212315	196.6194	0.207471687
19	199.240015	199.6828	0.222236984
18	203.087556	203.5821	0.243512704
17	207.506147	207.9707	0.223874332
16	212.050073	212.2999	0.117815097
15	216.32532	216.1182	0.095744687
14	220.245324	219.2953	0.431348091
13	224.118668	222.0627	0.917356871
12	228.555489	224.977	1.565698122
11	232.96118	228.8817	1.751141542
10	233.295414	233.3819	0.037071453
9	233.630343	233.7224	0.039402844
8	233.969374	234.0678	0.042067899
7	234.321396	234.4246	0.04404378
6	234.709498	234.8164	0.045546516
5	235.193676	235.2994	0.044951889
4	235.930767	236.0201	0.037864074
3	237.338587	237.3667	0.011845103
2	240.585483	240.4399	0.060511964
1	248.99342	248.2597	0.294674454

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ก.3 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทราย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 9

ก.4 กรณีที่ 10

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยเพิ่มอัตราการไหลของสายป้อนแบบสตีฟ 10 % ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง ก.7 และก.8 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป ก.4 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกันมาก และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.73 % ซึ่งสามารถยอมรับได้

ตาราง ก.7 ค่าพารามิเตอร์ของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 10

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
Benzene	0.9511	0.9503	0.2185	0.2188
Toluene	0.0489	0.0497	0.4891	0.4888
m-Xylene	6.64E-06	4.87E-05	0.2924	0.2924
Flow (lbmol/hr)	240.1975	240.2585	519.8052	519.7419
Temperature (F)	196.5903	196.1974	250.5827	251.4862

ตาราง ก.8 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 10

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
20	196.197407	196.5903	0.200253921
19	199.206797	199.6184	0.206620962
18	203.033597	203.4819	0.220802373
17	207.433838	207.8485	0.199900847
16	211.965536	212.1759	0.099244436
15	216.233034	216.0054	0.105272537
14	220.142604	219.1973	0.429405296
13	223.993555	221.9698	0.903488049
12	228.390319	224.8686	1.541973852
11	232.756071	228.7285	1.730382792
10	233.094568	233.1805	0.036865724

ตาราง ก.8 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 10 (ต่อ)

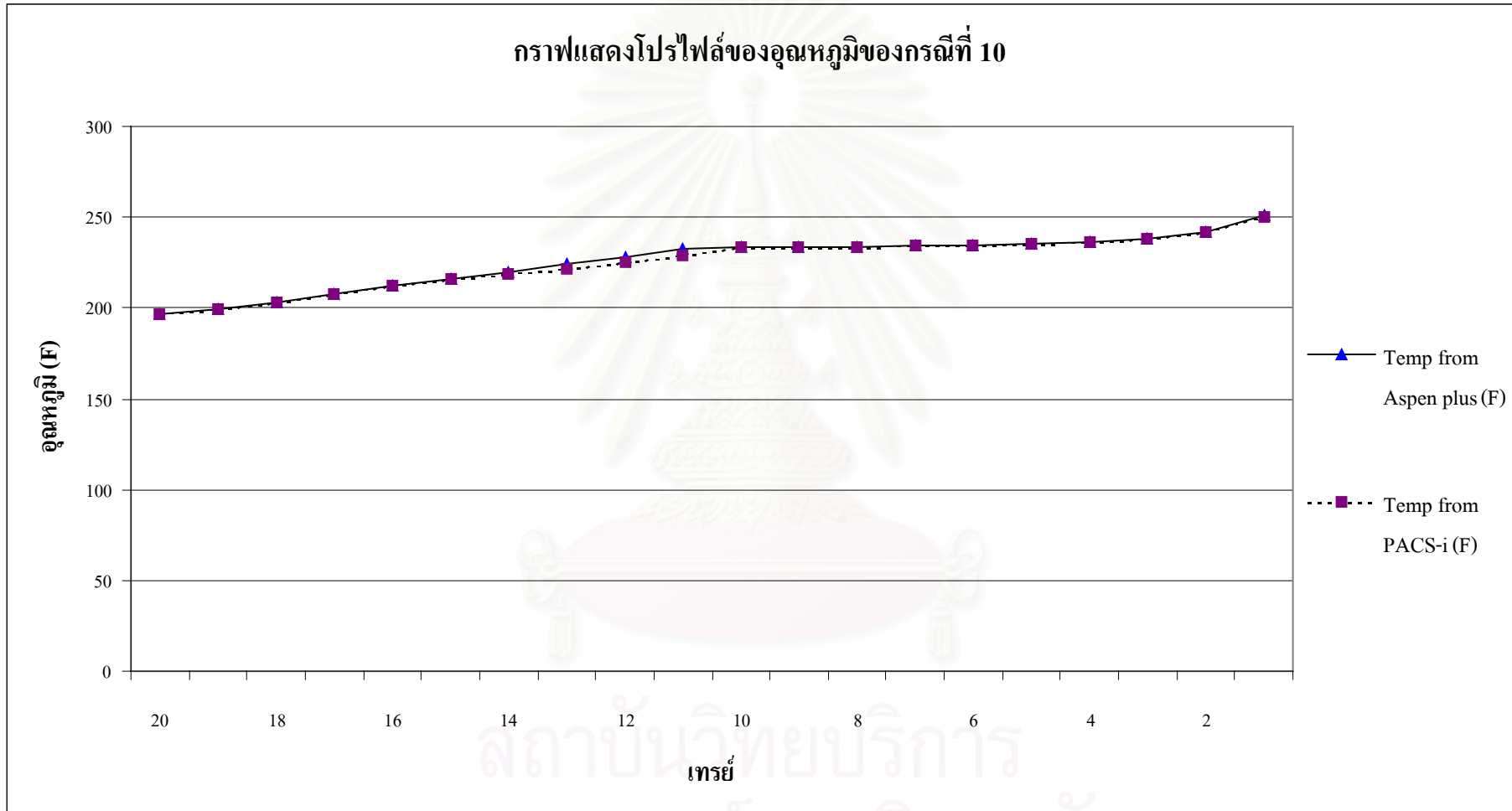
Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
9	233.437526	233.5286	0.039014293
8	233.792486	233.8877	0.04072586
7	234.176937	234.2766	0.042558845
6	234.631593	234.7325	0.04300657
5	235.251148	235.3447	0.039766862
4	236.256019	236.3162	0.02547279
3	238.164349	238.1235	0.017151601
2	242.225906	241.9467	0.115266779
1	251.486204	250.5827	0.359265831

ก.5 กรณีที่ 11

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยลดอัตราการไหลของสายป้อนแบบสตีพ 5 % ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง ก.9 และก.10 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป ก.5 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกันมาก และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.72 % ซึ่งสามารถยอมรับได้

ตาราง ก.9 ค่าพารามิเตอร์ของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 11

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
Benzene	0.9513	0.9504	0.2074	0.2075
Toluene	0.0487	0.0495	0.4958	0.4956
m-Xylene	6.51E-06	4.81E-05	0.2968	0.2969
Flow (lbmol/hr)	234.8232	235.0527	485.1754	484.9473
Temperature (F)	196.5802	196.1911	251.5965	252.5776

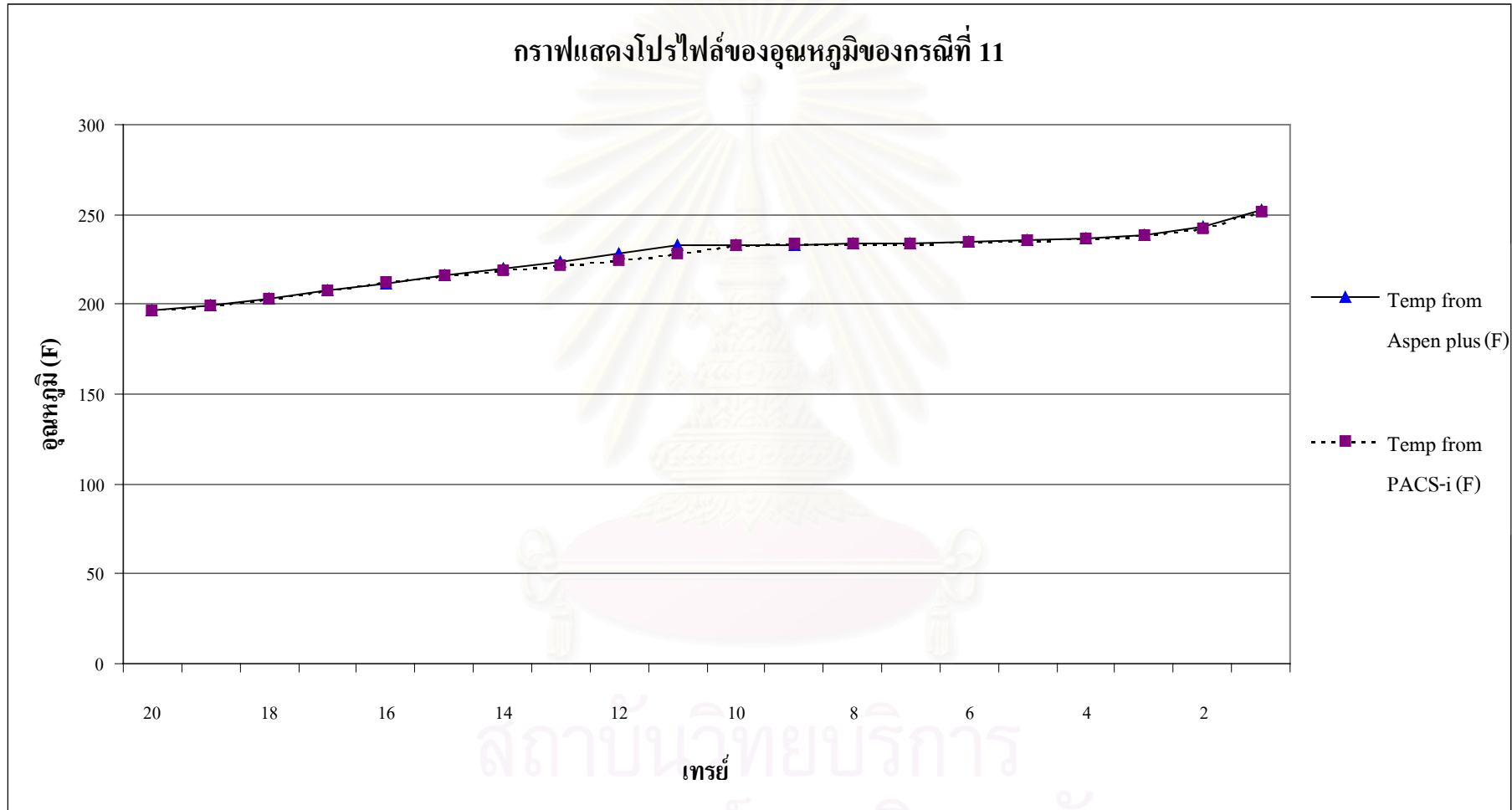


รูป ก.4 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 10

ตาราง ก.10 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 11

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS-i (°F)	% Error
20	196.191127	196.5802	0.19831325
19	199.192781	199.5953	0.202075094
18	203.01097	203.4465	0.214535205
17	207.403747	207.805	0.193464682
16	211.930594	212.1301	0.094137423
15	216.195161	215.9635	0.107153647
14	220.100823	219.1597	0.427587224
13	223.943174	221.9337	0.897314245
12	228.324366	224.8253	1.53249785
11	232.674561	228.6688	1.721615368
10	233.015773	233.1013	0.036704382
9	233.363835	233.4544	0.038808498
8	233.728861	233.8243	0.040833211
7	234.133406	234.2326	0.042366445
6	234.62769	234.7265	0.042113529
5	235.323287	235.4108	0.037188415
4	236.467804	236.512	0.018690071
3	238.614055	238.5366	0.032460368
2	243.022111	242.6762	0.142337254
1	252.577628	251.5965	0.388446122

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ก.5 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 11

ก.6 กรณีที่ 12

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยลดอัตราการไหลของสายป้อนแบบสเต็ป 10 % ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง ก.11 และก.12 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป ก.6 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันในส่วนของการไหล และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 2.93 %

ตาราง ก.11 ค่าพารามิเตอร์ของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 12

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
Benzene	0.9867	0.9773	0.264	0.253
Toluene	0.0133	0.0226	0.405	0.408
m-Xylene	1.75E-06	2.83E-05	0.331	0.339
Flow (lbmol/hr)	316.5869	328.031	483.4085	471.969
Temperature (F)	195.2064	195.1087	248.5171	250.233

ตาราง ก.12 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 12

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
20	195.108688	195.2064	0.050080804
19	196.716694	196.3364	0.193320654
18	198.864789	197.8776	0.496412163
17	201.638028	199.9554	0.834479496
16	205.03841	202.6411	1.169200444
15	208.991842	205.8996	1.479599381
14	213.465551	209.6035	1.809215108
13	218.660896	213.6934	2.271780685
12	225.068511	218.4696	2.931956572
11	229.555296	224.7599	2.088993843
10	229.892265	229.6669	0.098030701

ตาราง ก.12 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 12 (ต่อ)

9	230.232252	230.0109	0.096142916
8	230.58167	230.3626	0.095007552
7	230.956219	230.7358	0.095437569
6	231.394338	231.1622	0.100321383
5	231.990498	231.724	0.114874532
4	232.979298	232.6261	0.151600594
3	234.954922	234.4005	0.235969519
2	239.452072	238.4922	0.400861848
1	250.232971	248.5171	0.685709398

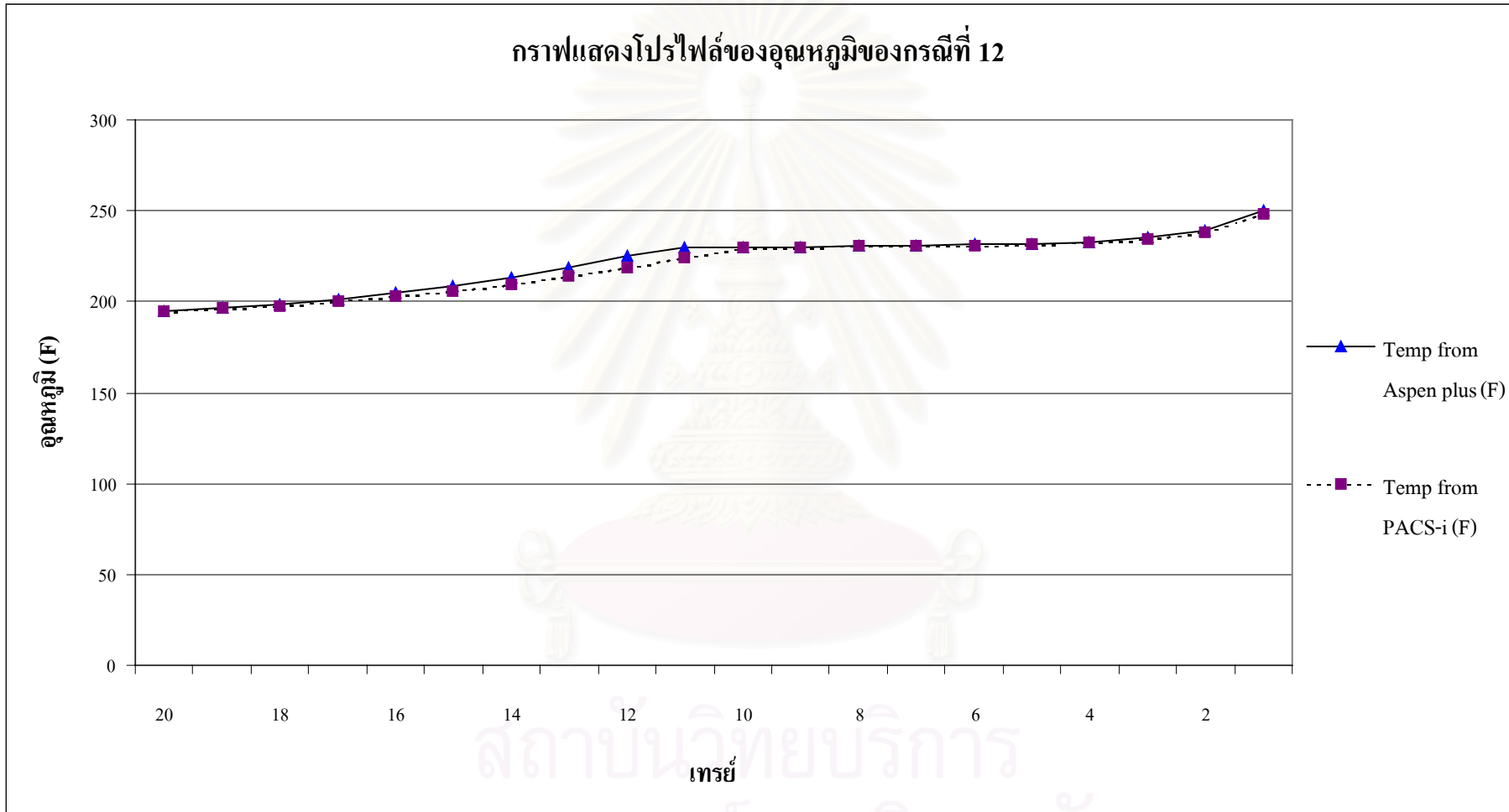
ก.7 กรณีที่ 13

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของสารเบาในสายป้อนแบบสตีฟ

0.2 ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง ก.13 และก.14 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป ก.7 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันในส่วน of อัตราการไหล และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเตอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 3.63 %

ตาราง ก.13 ค่าพารามิเตอร์ของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 13

Component	Distillate		Bottom	
	PACS-i	Aspen Plus	PACS-i	Aspen Plus
Benzene	0.9924	0.9842	0.2927	0.2659
Toluene	0.0076	0.0158	0.4008	0.4117
m-Xylene	1.07E-06	2.22E-05	0.3065	0.3224
Flow (lbmol/hr)	408.4816	427.8204	391.5131	372.1796
Temperature (F)	194.9859	194.8371	245.5512	248.6482

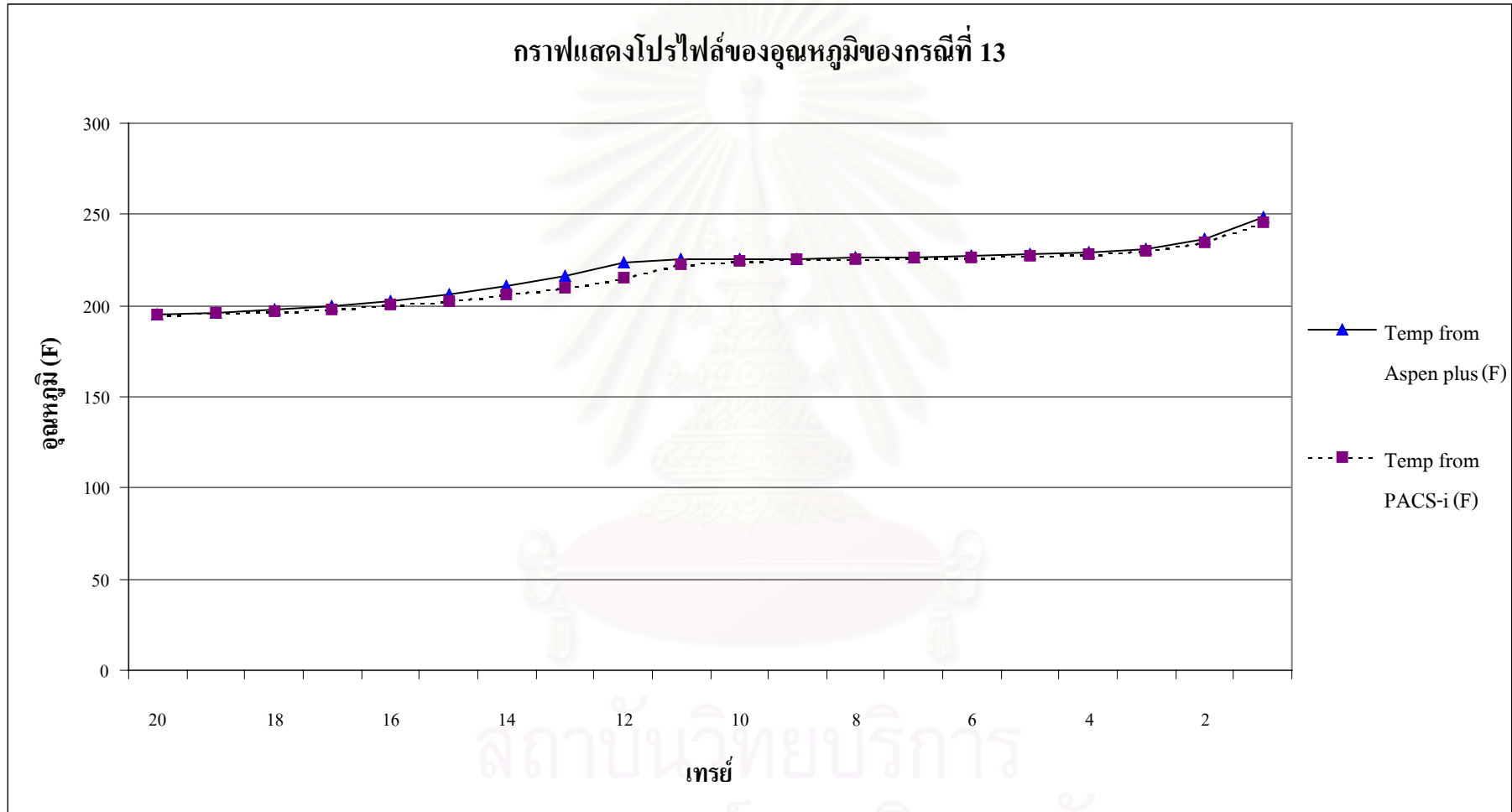


รูป ก.6 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 12

ตาราง ก.14 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 13

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS-i (°F)	% Error
20	194.837073	194.9859	0.07638536
19	196.071716	195.7841	0.146689184
18	197.717878	196.8383	0.444865183
17	199.891197	198.2621	0.814991868
16	202.688895	200.1796	1.238003197
15	206.188678	202.6986	1.692662291
14	210.519182	205.8935	2.197273406
13	216.005987	209.5861	2.972087528
12	223.189354	215.0923	3.627885405
11	225.223295	222.4123	1.248092476
10	225.563193	224.9231	0.283775465
9	225.908541	225.2695	0.28287598
8	226.268655	225.6261	0.283978795
7	226.665094	226.008	0.289896423
6	227.148847	226.4539	0.305943442
5	227.841413	227.0591	0.343358562
4	229.033872	228.0601	0.42516506
3	231.429993	230.0573	0.593135307
2	236.728236	234.6383	0.882841876
1	248.648209	245.5512	1.245538431

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ก.7 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 13

ก.8 กรณีที่ 14

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยลดอัตราส่วนโดยโมลของสารเบาในสายป้อนแบบสตีพ

0.1 ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง ก.15 และก.16 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป ก.8 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันในส่วนของอัตราการไหล และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.54 %

ตาราง ก.15 ค่าพารามิเตอร์ของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 14

Component	Distillate		Bottom	
	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus	PACS- <i>i</i>	Aspen Plus
Benzene	0.8931	0.9183	0.2188	0.2238
Toluene	0.1068	0.0816	0.5329	0.5318
m-Xylene	1.86E-05	6.98E-05	0.2483	0.2444
Flow (lbmol/hr)	155.6064	145.3674	644.3949	654.6326
Temperature (F)	198.9132	197.505	248.9699	249.4806

ตาราง ก.16 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 14

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS- <i>i</i> (°F)	% Error
20	197.505018	198.9132	0.712985429
19	202.013429	204.509	1.235349062
18	207.31053	210.4458	1.512354438
17	212.673725	215.6793	1.413232876
16	217.408088	219.6763	1.043296972
15	221.235526	222.5046	0.573630295
14	224.337758	224.5462	0.092914364
13	227.189004	226.2694	0.404774872
12	230.406054	228.1921	0.960892286
11	234.551812	230.9291	1.544525267
10	234.886837	235.0237	0.058267633

ตาราง ก.16 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 14 (ต่อ)

9	235.223001	235.3665	0.061005514
8	235.56403	235.7139	0.063621768
7	235.919289	236.0756	0.066256134
6	236.31234	236.4771	0.069721285
5	236.802503	236.9749	0.072802018
4	237.539785	237.7142	0.073425595
3	238.909073	239.0542	0.060745705
2	241.935047	241.9624	0.011305927
1	249.480591	248.9699	0.204701696

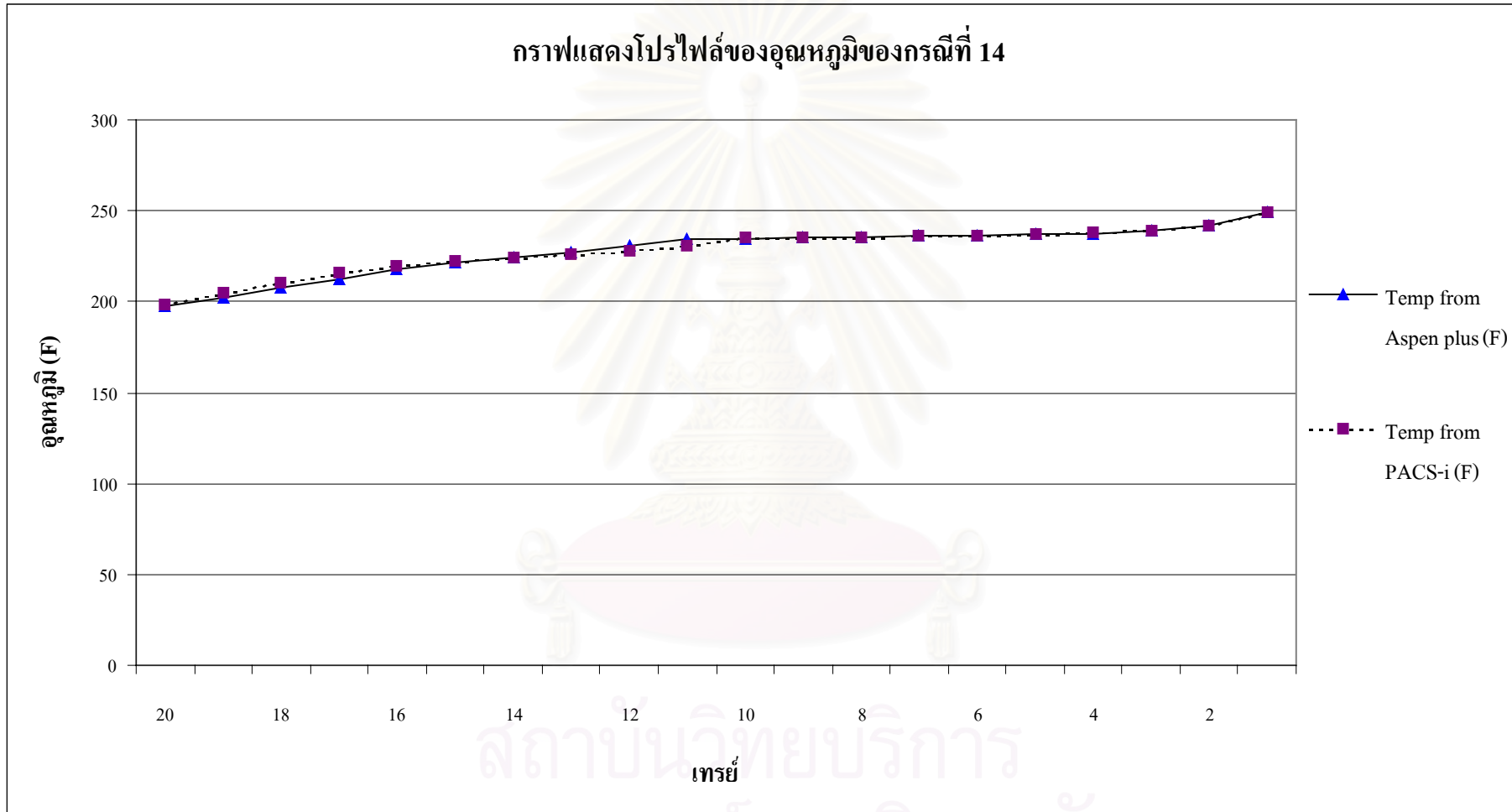
ก.9 กรณีที่ 15

ทำการทดสอบโปรแกรมโดยลดอัตราส่วนโดยโมลของสารเบาในสายป้อนแบบสตีพ

0.2 ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง ก.17 และก.18 กราฟเปรียบเทียบแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงในรูป ก.9 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันในส่วนของอัตราการไหล และค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์แตกต่างกันมากที่สุด 1.68 %

ตาราง ก.17 ค่าพารามิเตอร์ของสายผลิตภัณฑ์ ของกรณีที่ 15

Component	Distillate		Bottom	
	PACS-i	Aspen Plus	PACS-i	Aspen Plus
Benzene	0.8129	0.8062	0.1496	0.1452
Toluene	0.1871	0.1934	0.5558	0.5578
m-Xylene	5.72E-05	3.68E-04	0.2946	0.2971
Flow (lbmol/hr)	121.0921	126.8899	678.9067	673.1101
Temperature (F)	202.2897	202.3306	256.099	257.9616

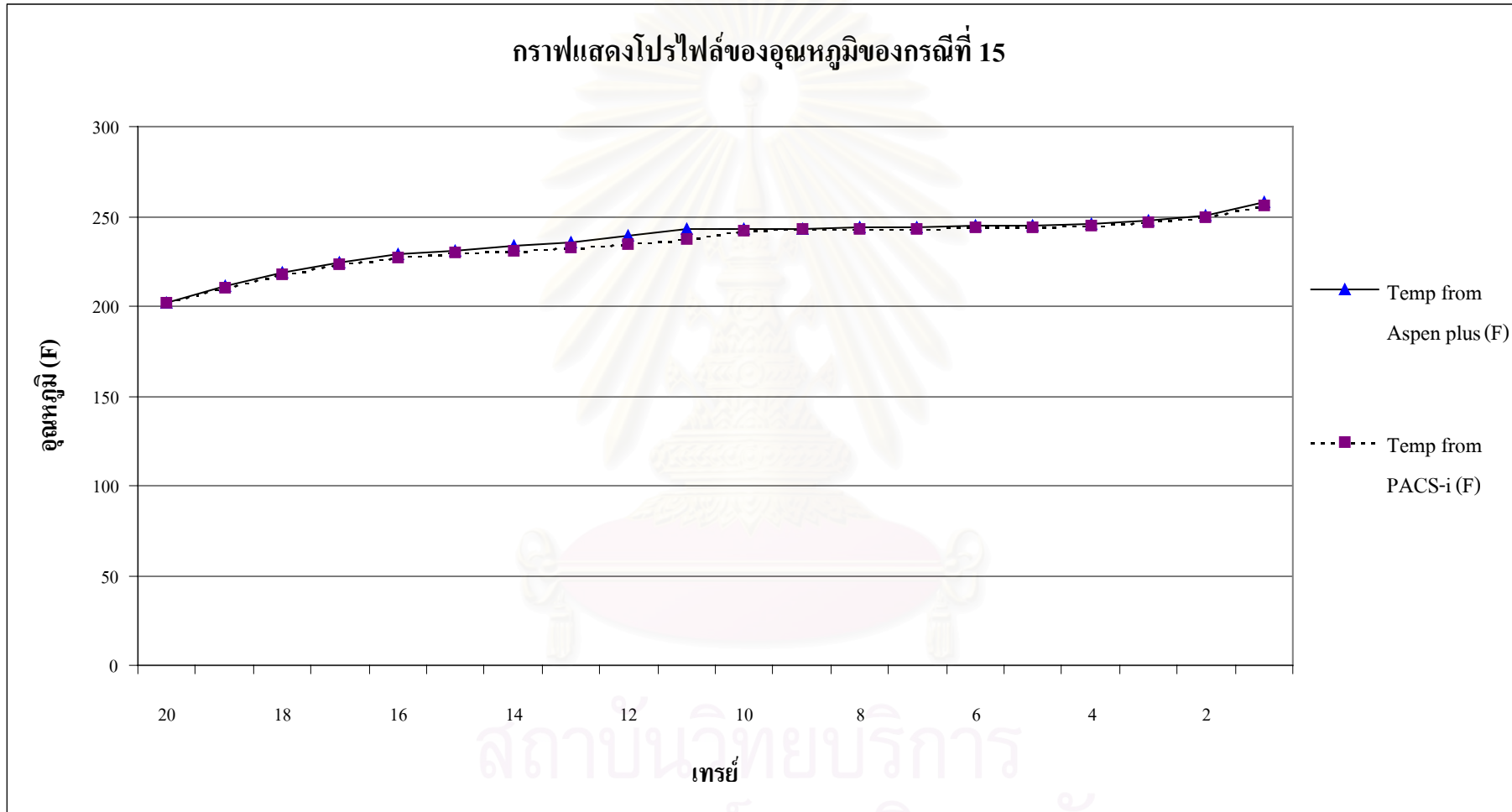


รูป ก.8 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 14

ตาราง ก.18 ผลการคำนวณอุณหภูมิของหอกลิ้นในแต่ละเทรย์ ของกรณีที่ 15

Tray no.	Aspen plus (°F)	PACS-i (°F)	% Error
20	202.330601	202.2897	0.020214935
19	210.995381	210.5839	0.195018961
18	218.893479	218.1437	0.342531447
17	224.739656	223.6864	0.468656052
16	228.622324	227.2633	0.594440637
15	231.281789	229.5346	0.755437342
14	233.479522	231.1763	0.986477092
13	235.828862	232.7478	1.306482156
12	238.794988	234.7719	1.684745578
11	242.641594	237.7899	1.999531045
10	242.981403	242.2316	0.308584522
9	243.32702	242.5798	0.30708468
8	243.686585	242.9402	0.306288916
7	244.077655	243.3259	0.307998288
6	244.537885	243.7719	0.313237763
5	245.14773	244.3458	0.32712112
4	246.079394	245.2016	0.356711704
3	247.708755	246.6778	0.416196432
2	250.910443	249.6118	0.51757232
1	257.961604	256.099	0.722046991

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ก.9 โปรไฟล์ของอุณหภูมิในแต่ละเทรย์เปรียบเทียบกับ Aspen Plus ของกรณีที่ 15

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ฐนันดร สุนทรกมล เกิดเมื่อวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาเทคโนโลยี
ทรัพยากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย