การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะ
MODELING AND ANALYSIS OF BATCH DISTILLATION UNIT

นางสาวกุลนันทน์ ภูประสิทธิ์ รหัส 52364865

นายจักรพงษ์ จุ้ยสุวรรณ รหัส 52364889

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ - 5 ส.ค. 2556
เลขทะเบียน 10823984
เลขเรียกหนังสือ ฝร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ก724ก 2555

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะ

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวกุลนันทน์ ภูประสิทธิ์ รหัส 52364865

นายจักรพงษ์ จุ้ยสุวรรณ รหัส 52364889

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2555

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็น**ส่วนหนึ่งของ**การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล)

.....กรรมการ

(ดร.นพวรรณ โม้ทอง)

.....กรรมการ

(ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์)

.....กรรมการ

(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)

.....กรรมการ

(อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะ		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวกุลนันทน์	ภูประสิทธิ์	รหัส 52364865
	นายจักรพงษ์	จุ้ยสุวรรณ	รหัส 52364889
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.พิสุทธิ์	อภิชยกุล	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างโปรแกรมการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ร่วมกับ GUI ในการทำนายผลของชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะ เนื่องจากโปรแกรมการคำนวณสามารถทำนายผลและหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนอย่างหนึ่ง จึงได้ทำการศึกษาและทำการทดลองการกลั่น โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ปรับค่าความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้นและอัตราการป้อนกลับ เพื่อสังเกตผลที่มีต่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และนำมาเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

จากโปรแกรมการคำนวณ พบว่าโปรแกรมสามารถใช้คำนวณผลการกลั่นแบบกะได้ เนื่องจากทำการคำนวณเปรียบเทียบกับตัวอย่างแล้วพบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.31 ซึ่งมีความใกล้เคียงสูง และจากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณโดยใช้โปรแกรม พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าร้อยละ 10 อาจจะเป็นเพราะสาเหตุ ดังนี้ อัตราการป้อนกลับไม่สม่ำเสมอ การคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด ผู้วัด การระเหยของเอทานอล การคำนวณของ Simpson's Rule โปรแกรมคำนวณดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการกลั่นแบบกะต่อไป เช่น สามารถนำไปคำนวณกับคู่สารอื่นได้ หากมีข้อมูลเพียงพอและตรงตามเงื่อนไขการใช้โปรแกรม เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ และความกรุณาจากบุคคลและสถาบันหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งบุคคลเหล่านั้นได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นตลอดถึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่จะได้กล่าวดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในด้านการเขียนโปรแกรมและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ดร.อดิศักดิ์ ไสยสุข อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในด้านการทดลองและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาที่เป็นประโยชน์กับวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นสถาบันที่ให้ความรู้และสถานที่ในการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาวกุลนันทน์ ภูประสิทธิ์
นายจักรพงษ์ จุ้ยสุวรรณ

มีนาคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน.....2
1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....2
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....2
1.6 แผนการดำเนินโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4
2.1 ความสำคัญของการกลั่นในกระบวนการเคมี.....4
2.2 ประเภทการกลั่น.....5
2.3 ทฤษฎีและแบบจำลองที่เกี่ยวข้อง.....7
2.4 MATLAB และ Graphical User Interfaces (GUI).....19

บทที่ 3 การดำเนินงาน.....21
3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลั่นแบบกะ.....22
3.2 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลั่นแบบกะ.....22
3.3 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ (MATLAB+GUI).....22
3.4 สร้างโปรแกรมคำนวณผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....22
3.5 การทดลอง.....23
3.6 เปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม.....23
3.7 สรุปและวิเคราะห์ผล.....24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย 25
4.1 การสร้างโปรแกรม 25
4.2 วิธีการใช้โปรแกรม 32
4.3 ความสามารถและข้อจำกัดของโปรแกรม 34
4.4 การทดสอบโปรแกรม 35
4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรมคำนวณ 37

บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 46
5.1 สรุปงานวิจัย 46
5.2 ข้อเสนอแนะ 47

เอกสารอ้างอิง 48

ภาคผนวก ก 49
ภาคผนวก ข 55
ภาคผนวก ค 60

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย....3

2.1 แสดงตัวอย่างค่าคงที่ Antoine's....7

4.1 องค์ประกอบ GUI....27

4.2 แสดงคู่สารที่สามารถคำนวณได้....33

4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าจากตัวอย่างกับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม....36

4.4 แสดงผลการทดลองที่ 1....38

4.5 แสดงผลการทดลองที่ 2....38

4.6 แสดงผลการทดลองที่ 3....38

4.7 แสดงผลการทดลองที่ 4....39

4.8 แสดงผลการทดลองที่ 5....39

4.9 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 1 กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม....44

4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 3 กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม....44

4.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 4 กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม....45

ก.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพ และค่าคงที่ Antoine's ของสารบริสุทธิ์....50

ก.2 แสดงค่า Interaction Parameters สำหรับ VLE ความดันที่ 1 บรรยากาศ....51

ก.3 แสดงค่า Some structural parameter for UNIQUAC Equation....53

ก.4 แสดงค่าพลังงานภายใน....54

ข.1 แสดงข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐาน....56

ข.2 ผลการทดลองที่ 1....57

ข.3 ผลการทดลองที่ 2....57

ข.4 ผลการทดลองที่ 3....58

ข.5 ผลการทดลองที่ 4....58

ข.6 ผลการทดลองที่ 5....59

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงการกลั่นแบบต่อเนื่อง....5

2.2 แสดงการทำงานของการกลั่นอย่างง่าย....6

2.3 แสดงการทำงานของการกลั่นลำดับส่วนแบบกะ....6

2.4 แสดงองค์ประกอบของการกลั่นอย่างง่าย....12

2.5 แสดงองค์ประกอบของการกลั่นลำดับส่วนแบบกะ....14

2.6 แสดงองค์ประกอบการคำนวณ Simpson's Rule....15

2.7 แสดงพื้นที่ใต้กราฟ....16

2.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโมลที่อัตราการป้อนกลับคงที่....18

2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟเมื่ออัตราการป้อนกลับเปลี่ยน....18

3.1 แสดงแผนการดำเนินงาน....21

3.2 แสดงแผนการทดลอง....23

4.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการสร้างโปรแกรม....25

4.2 แสดงหน้าต่าง GUIDE Quick Start....26

4.3 หน้าต่างสำหรับจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรม GUI....27

4.4 การเปลี่ยนคุณสมบัติขององค์ประกอบต่างๆ....28

4.5 การวางองค์ประกอบของโปรแกรม GUI....29

4.6 แสดงขั้นตอนการคำนวณ....29

4.7 การแสดงผลหลังจากเลือกคู่สาร....32

4.8 แสดง x-y diagram....32

4.9 แสดงค่าทั้งหมดของโปรแกรม....33

4.10 แสดงการคำนวณที่สภาวะเดียวกับตัวอย่าง....35

4.11 ชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะที่ใช้ในการทดลอง....37

4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น....40

4.13 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1....41

4.14 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1.5....41

4.15 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 0.5....42

4.16 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 40 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1....42

4.17 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 40 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1.5....43

4.18 แสดงการเปลี่ยนกราฟ T-x-y (a) เป็นกราฟ x-y (b)....43

ข.1 แสดงกราฟมาตรฐาน....56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในการศึกษางานทางด้านวิศวกรรมเคมีได้มีความพยายามในการปรับปรุงการเปลี่ยนแปลงกระบวนการแบบกะ (Batch Process) ที่มีมานานให้ทันสมัยขึ้น ทำให้มีการประยุกต์ใช้กระบวนการแบบกะในการผลิตสารเคมีมีในอุตสาหกรรมมากขึ้น [1] เช่น การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor) การออกแบบหอกลั่นแบบกะ (Batch Distillation) ซึ่งในการผลิตที่มีกระบวนการแบบกะเข้าไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ นั้น มักจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนๆ หนึ่ง เช่น การผลิตยาเป็นการนำสารตั้งต้นที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาใส่เครื่องปฏิกรณ์และเครื่องปฏิกรณ์จะถูกปิดจนกว่าการเกิดปฏิกิริยาจะสิ้นสุด จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการเกิดปฏิกิริยาออกจากเครื่องปฏิกรณ์แล้วจึงนำสารตั้งต้นชุดใหม่ใส่ลงไปในเครื่องปฏิกรณ์จะเห็นว่ามีการดำเนินงานเป็นชุดๆ กระบวนการแบบนี้เรียกว่ากระบวนการแบบกะ

นอกจากนี้ได้มีการนำกระบวนการแบบกะนี้มาประยุกต์ใช้กับการกลั่น (Distillation) ที่เรียกว่าการกลั่นแบบกะ (Batch Distillation) การกลั่นแบบกะเป็นการแยกองค์ประกอบของสารละลายที่มีการดำเนินงานเป็นชุดๆ กล่าวคือ เมื่อสารละลายถูกป้อนเข้า (Feed) ไปยังหอกลั่น จะทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบของสารละลายเพื่อให้ได้สารที่มีความบริสุทธิ์ แต่การที่มีการดำเนินงานเป็นชุดๆ จะทำให้ต้องใช้เวลาในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์ตามที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาสภาวะในการกลั่นเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการวิเคราะห์ชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ร่วมกับ Graphical User Interface (GUI) ในการศึกษาและสร้างแบบจำลอง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาการทำงานและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลั่นแบบกะเพื่อใช้ในการทำนายผลและหาสถาวะที่เหมาะสมในการกลั่น

1.2.2 เพื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ร่วมกับการทดลองของระบบชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะ

1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบหอกลั่นแบบกะที่ใช้ในสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4 สถานที่ในการดำเนินการโครงงาน

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2555 - มีนาคม 2556 เป็นเวลา 10 เดือน

1.6 แผนการดำเนินการโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย (Gantt Chart)

	การดำเนินงาน	มิ.ย.		ก.ค.		ส.ค.		ก.ย.		ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.		ม.ค.		ก.พ.		มี.ค.	
1.6.1	ศึกษาการทำงานและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	←		→																	
1.6.2	วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์			←		→															
1.6.3	ทดลองเปรียบเทียบผลระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และชุดหอกลั่นแบบกะ							←			→										
1.6.4	ควบคุมหอกลั่นแบบกะด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์													←		→					
1.6.5	วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน																	←		→	

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของการกลั่นในกระบวนการทางเคมี

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวในด้านอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก โดยอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้วัตถุดิบที่ผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีทั้งสิ้น อาทิเช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมสิ่งทอ ฯลฯ ซึ่งอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมที่นำวัตถุดิบมาจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และนำไปผลิตต่อจนเป็นเม็ดพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ยางสังเคราะห์ สารเคลือบผิว และกาวต่างๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเหล่านี้เป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญในการผลิตเครื่องอุปโภคบริโภค ตลอดจนอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ในการประกอบอาชีพ รวมไปจนถึงสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ที่ทำให้มนุษย์มีความเป็นอยู่ที่สะดวกสบายมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนั้นจะมีขั้นตอนกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน เช่น การปรับสภาพสารตั้งต้น (Pretreatment) การเกิดปฏิกิริยา (Reaction) การทำสารให้บริสุทธิ์ (Purifier) ในแต่ละขั้นตอนที่กล่าวมานั้นต้องอาศัยเทคโนโลยีต่างๆ ในการผลิต เช่นเดียวกับขั้นตอนการทำสารให้บริสุทธิ์ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการแยกองค์ประกอบของสาร เช่น การดูดซับ (Adsorption) การดูดซึม (Absorption) รวมถึงการกลั่น (Distillation)

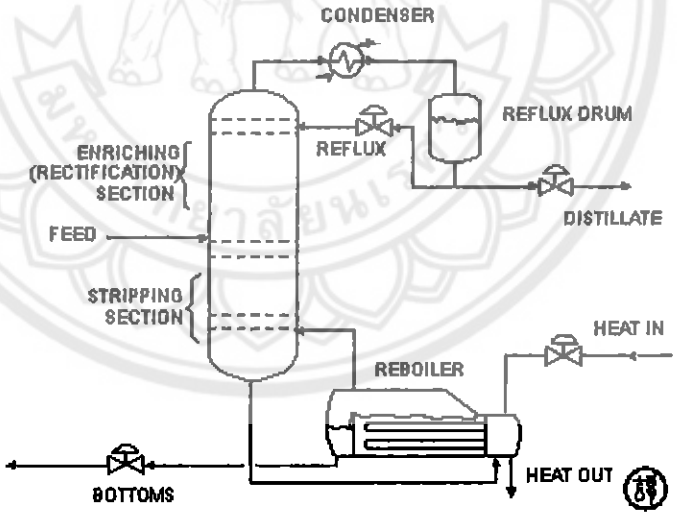
การกลั่นเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเพื่อนำมาใช้แยกองค์ประกอบของของเหลวผสมที่มีองค์ประกอบมากกว่าสององค์ประกอบขึ้นไป และยังสามารถแยกองค์ประกอบได้อย่างหลากหลายและต่อเนื่อง จึงทำให้การผลิตได้ผลผลิตมากและมีค่าตอบแทนสูงจึงถูกนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย เช่น กระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ ซึ่งในแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาจะประกอบไปด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ จึงนำมาทำการกลั่นเพื่อแยกน้ำและแอลกอฮอล์ออกจากกันเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์หรือมีความเข้มข้นตามที่ต้องการ เป็นต้น

2.2 ประเภทการกลั่น

การกลั่นมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในกระบวนการผลิตนั้นๆ จำแนกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1 การกลั่นแบบต่อเนื่อง (Continuous Distillation)

การกลั่นแบบต่อเนื่องคือการนำของเหลวผสมที่ต้องการแยกองค์ประกอบจะถูกป้อนไปยังหอ (Column) ที่จุดใดจุดหนึ่งหรือหลายจุดของหออย่างต่อเนื่องซึ่งของเหลวจะไหลลงสู่ด้านล่างของหอเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ในขณะที่ไอจะลอยสู่ด้านบนของหอ ซึ่งไอนั้นจะเกิดจากการระเหยของของเหลวผสมที่ได้รับความร้อน ของเหลวที่เหลือด้านล่างของหอเรียกส่วนนี้ว่าเป็นองค์ประกอบหนัก (Heavy Component) และไอที่ลอยสู่ด้านบนหอจะถูกควบแน่นเป็นของเหลวซึ่งบางส่วนจะถูกป้อนกลับ (Reflux) ไปยังหอและทำการกลั่นซ้ำ ส่วนที่เหลือจะเป็นผลิตภัณฑ์เรียกส่วนนี้ว่าองค์ประกอบเบา (Light Component) หอกลั่นจะแบ่งเป็นสามส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนป้อนเข้า ส่วนที่สองเป็นส่วนที่อยู่เหนือชั้นป้อนสารเข้าเรียกว่าชั้น Rectifying ส่วนที่อยู่ต่ำกว่าชั้นป้อนสารเข้าเรียกว่า Stripping [1]

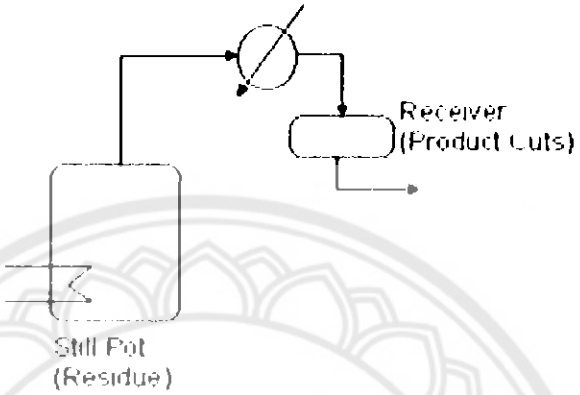


รูปที่ 2.1 แสดงการกลั่นแบบต่อเนื่อง [5]

2.2.2 การกลั่นแบบกะ (Batch Distillation)

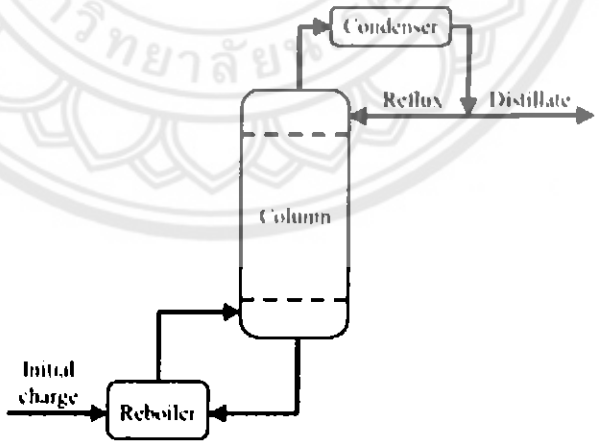
การกลั่นแบบกะเป็นวิธีการกลั่นเพื่อที่จะแยกของเหลวผสม จะถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านการผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์พิเศษ เช่น เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ น้ำมันหอมระเหย ยา เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

2.2.2.1 การกลั่นอย่างง่ายแบบกะ (Simple Batch Distillation) เป็นการกลั่นที่มีขั้นสมดุลของของเหลว-ไอ (Vapor-Liquid Equilibrium) เพียงขั้นเดียวและไม่มีการป้อนกลับ คือเมื่อให้ความร้อนที่หม้อต้ม (Still Pot) จนทำให้เกิดการระเหย สารที่ระเหยขึ้นไป ก็จะเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) และออกเป็นผลิตภัณฑ์ (Distillate) ในทันที



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานบอการกลั่นอย่างง่าย [6]

2.2.2.2 การกลั่นลำดับส่วนแบบกะ (Multistage Batch Distillation) เป็นการกลั่นที่มีขั้นสมดุลของของเหลว-ไอ หลายขั้นหรือเรียกว่าการกลั่นลำดับส่วน และมีการป้อนกลับ (Reflux)



รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของการกลั่นลำดับส่วนแบบกะ [6]

2.3 ทฤษฎีและแบบจำลองที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาและการสร้างโปรแกรมการคำนวณ ต้องอาศัยทฤษฎีและแบบจำลองต่างๆ ดังนี้

2.3.1 สมดุลระหว่างสภาวะของเหลวและไอ (Vapor-Liquid Phase Equilibrium)

สารผสมทวิสาร (ให้สารลำดับที่ 1 เป็นสารที่ระเหยง่ายกว่า และสารลำดับที่ 2 ที่ระเหยยากกว่า) ในระบบที่อุณหภูมิ T และความดัน P อัตราส่วนโดยโมลในสถานะของเหลว นิยามด้วยตัวแปร x และอัตราส่วนโดยโมลในสถานะไอ นิยามด้วยตัวแปร y [2] ซึ่งสามารถคำนวณเพื่อหา Equilibrium Data ได้ ดังนี้

จากสมการ Antoine's Equation [3]

$$Log_{10}(P^{sat}) = A - \frac{B}{T-C} \qquad (2\text{-}1)$$

กำหนดให้ P^{sat} คือ ความดันไอขององค์ประกอบนั้นๆ (kPa)

T คือ อุณหภูมิ (K)

A, B, C คือ ค่าคงที่ Antoine's

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างค่าคงที่ Antoine's [ภาคผนวก ก.1]

Substance	Tb (°C)	A	B	C
Ethanol	78.229	7.24222	1595.811	46.702
Water	100.001	7.06252	1650.27	46.804
Acetone	56.067	6.25017	1214.208	43.148
Benzene	80.09	6.01905	1204.637	53.081

กำหนดให้ Tb คือ จุดเดือดของสารใดๆ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

กรณีนี้ได้ศึกษาภายใต้สมมติฐานที่ว่า ไอในอุดมคติและสารละลายไม่อุดมคติ (Ideal-Vapor/Non-Ideal-Solution) โดยใช้ Modified-Raoult's law

สมดุลขององค์ประกอบ (Composition Balance)

สภาวะของเหลว $\sum x_i = 1$

สภาวะไอ $\sum y_i = 1$

กำหนดให้ x_i คือ เศษส่วนโมลของของเหลว

y_i คือ เศษส่วนโมลของไอ

i คือ เลขบอกลำดับของสาร (1, 2, 3,...)

Equilibrium Equation

$$y_i P = \gamma_i x_i P_i^{sat} \quad (2\text{-}2)$$

กำหนดให้ γ_i คือ Activity Coefficient

P คือ ความดันรวม

P^{sat} คือ ความดันไออิ่มตัว

ความดันรวมของสารละลาย หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$P = \Sigma \gamma_i x_i P_i^{sat} \quad (2\text{-}3)$$

2.3.2 Activity Coefficient

2.3.2.1 Wilson Model เป็นแบบจำลองที่สามารถใช้ได้กับสารละลายไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน-เฮปเทน เบนซีน-โทลูอีก เป็นต้น จากการพิจารณาในระดับโมเลกุลวิลสัน [4] ได้นำเสนอสมการสำหรับค่าพลังงานส่วนเกินของ Gibbs ของสารละลายสองสารไว้ดังนี้

$$\frac{g^E}{RT} = -x_1 \ln(x_1 + A_{12}x_2) - x_2 \ln(x_2 + A_{21}x_1) \quad (2\text{-}4)$$

กำหนดให้ g^E คือ Gibbs Free Energy

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (R = 8.314 J/molK)

จากสมการข้างต้นทำภายใต้สมมติฐาน Ideal Solution ตามกฎ Raoult's

ดังนั้น ค่า Activity Coefficient สามารถหาได้จากสมการ [3]

$$ln\gamma_1 = -\ln(x_1 + A_{12}x_2) + x_2\left[\frac{A_{12}}{x_1+A_{12}x_2} - \frac{A_{21}}{A_{21}x_1+x_2}\right] \quad (2\text{-}5)$$

$$ln\gamma_2 = -\ln(x_2 + A_{21}x_1) + x_1\left[\frac{A_{12}}{x_1+A_{12}x_2} - \frac{A_{21}}{A_{21}x_1+x_2}\right] \quad (2\text{-}6)$$

เมื่อ A12 และ A21 สามารถคำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$A_{12} = \frac{v_2}{v_1}\exp\left[-\frac{\lambda_{12}-\lambda_{11}}{RT}\right] \quad (2\text{-}7)$$

$$A_{21} = \frac{v_1}{v_2}\exp\left[-\frac{\lambda_{21}-\lambda_{22}}{RT}\right] \quad (2\text{-}8)$$

กำหนดให้ v_i คือ Molar Volume ของสาร

λ_{ij} คือ Interaction Energy (J/mole)

i, j คือ เลขบอกลำดับสารใดๆ (1, 2, 3,...)

และสามารถหา λ_{ij} ได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$\lambda_{11} = -\left(\frac{2}{z}\right)v_1\delta_1^2 \quad (2\text{-}9)$$

$$\lambda_{22} = -\left(\frac{2}{z}\right)v_2\delta_2^2 \quad (2\text{-}10)$$

$$\lambda_{12} = -(1-\varepsilon_{12})\left(\frac{2}{z}\right)(v_1v_2)^{0.5}\delta_1\delta_2 \quad (2\text{-}11)$$

$$\lambda_{21} = -(1-\varepsilon_{21})\left(\frac{2}{z}\right)(v_1v_2)^{0.5}\delta_1\delta_2 \quad (2\text{-}12)$$

กำหนดให้ δ_i คือ Solubility Parameter $((J/cm^3)^{0.5})$

ε_i คือ Interaction Parameter

และสามารถหา v_t ได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$v_t = v_{25} + \beta(t - 25) \tag{2-13}$$

กำหนดให้ t คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}$C)

v_t คือ Molar Volume ของสารที่อุณหภูมิต่างๆ

v_{25} คือ Molar Volume ของสารที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C

และ

$$\beta = \frac{(v_b - v_{25})}{(T_b - 25)} \tag{2-14}$$

และสามารถหา δ_t ได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$\delta_t = \left(\frac{v_{25}}{v_t}\right)\delta_{25} \tag{2-15}$$

2.3.2.2 Universal Quasi Chemical (UNIQUAC) Model สร้างขึ้นจากสมการของ Wilson's จากสมมติฐานที่ว่าพลังงานปฏิสัมพันธ์สามารถพิจารณาได้จากองค์ประกอบพื้นฐานซึ่งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของโมเลกุล [4] ซึ่งสามารถใช้ได้กับของเหลวผสมที่ไม่นำไฟฟ้า (Nonelectrolyte) อาจจะเป็นของเหลวผสมที่มีขั้วหรือไม่มีขั้วก็ได้ เช่น เอทานอล-น้ำ เมทานอล-น้ำ เป็นต้น ซึ่งค่า Activity Coefficient สามารถหาได้จากสมการ [3]

$$\ln\gamma_1 = \ln\left(\frac{\phi_1}{x_1}\right) + \frac{z}{2}q_1\ln\left(\frac{\theta_1}{\phi_1}\right) + \phi_2\left(l_1 - \frac{r_1}{r_2}l_2\right) - q_1\ln(\theta_1 + \theta_2\tau_{21}) + \theta_2 q_1\left(\frac{\tau_{21}}{\theta_1 + \theta_2\tau_{21}} - \frac{\tau_{12}}{\theta_2 + \theta_1\tau_{12}}\right) \tag{2-16}$$

$$\ln\gamma_2 = \ln\left(\frac{\phi_2}{x_2}\right) + \frac{z}{2}q_2\ln\left(\frac{\theta_2}{\phi_2}\right) + \phi_1\left(l_2 - \frac{r_2}{r_1}l_1\right) - q_2\ln(\theta_2 + \theta_1\tau_{12}) + \theta_1 q_2\left(-\frac{\tau_{21}}{\theta_1 + \theta_2\tau_{21}} + \frac{\tau_{12}}{\theta_2 + \theta_1\tau_{12}}\right) \tag{2-17}$$

กำหนดให้ τ_{ij} คือ พารามิเตอร์พลังงานปฏิสัมพันธ์

และสามารถคำนวณหา τ_{12}, τ_{21}ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\tau_{12} = \exp\left(-\frac{\Delta u_{12}}{RT}\right) \quad (2\text{-}18)$$

$$\tau_{21} = \exp\left(-\frac{\Delta u_{21}}{RT}\right) \quad (2\text{-}19)$$

กำหนดให้ Δu_{ij} คือ ผลต่างพลังงานภายใน

และสามารถคำนวณ l_1, l_2 ได้จากสมการต่อไปนี้

$$l_1 = \frac{z}{2}(r_1 - q_1) - (r_1 - 1) \quad (2\text{-}20)$$

$$l_2 = \frac{z}{2}(r_2 - q_2) - (r_2 - 1) \quad (2\text{-}21)$$

กำหนดให้ z คือ ค่าตัวเลขโคออนิเนชัน

r_i คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นกับขนาดของโมเลกุล

q_i คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นกับพื้นที่ผิวของโมเลกุล

และสามารถคำนวณหา $\phi_1, \phi_2, \theta_1, \theta_2$ได้จากสมการต่อไปนี้

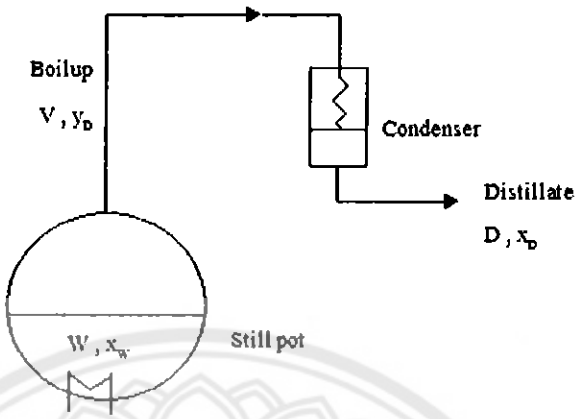
$$\phi_1 = \frac{x_1 r_1}{x_1 r_1 + x_2 r_2} \quad (2\text{-}22)$$

$$\phi_2 = \frac{x_2 r_2}{x_1 r_1 + x_2 r_2} \quad (2\text{-}23)$$

$$\theta_1 = \frac{x_1 q_1}{x_1 q_1 + x_2 q_2} \quad (2\text{-}24)$$

$$\theta_2 = \frac{x_2 q_2}{x_1 q_1 + x_2 q_2} \quad (2\text{-}25)$$

2.3.3 แบบจำลองการกลั่นอย่างง่ายแบบกะ (Simple Batch Distillation Model)



รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบของการกลั่นอย่างง่าย [5]

สมการที่ใช้ในการคำนวณ [5]

อัตราการลดลงของของเหลวผสมมีค่าเท่ากับอัตราการกลั่นตัวของสารผลิตภัณฑ์

$$-\frac{d(Wx_W)}{dt} = Dx_D \qquad \textbf{(2-26)}$$

กำหนดให้ W คือ จำนวนโมลเริ่มต้นของสารในหม้อต้ม

x_W คือ เศษส่วนโมลเริ่มต้นของสารในหม้อต้ม

D คือ จำนวนโมลของสารที่กลั่นได้

x_D คือ เศษส่วนโมลของสารที่ออกเป็นผลิตภัณฑ์ทางด้านบน

t คือ เวลา

จากสมการที่ (2-26) จะได้ว่า

$$-\frac{Wdx_W}{dt} - \frac{x_W dW}{dt} = Dx_D \qquad \textbf{(2-27)}$$

กำหนดให้ $\frac{duv}{dx} = \frac{udv}{dx} + \frac{vdu}{dx}$

คูณสมการ (2-27) ด้วย dt จะได้

$$-Wdx_W - x_W dW = x_D D dt \tag{2-28}$$

จากอัตราการสูญเสียทั้งหมดเท่ากับอัตราการไหลของการกลั่น จะได้ว่า

$$-\frac{dW}{dt} = D$$

$$-dW = Ddt \tag{2-29}$$

แทนสมการที่ (2-29) ลงในสมการที่ (2-28) จะได้ว่า

$$Wdx_W + x_W dW = x_D dW \tag{2-30}$$

จัดรูปแบบสมการใหม่

$$\frac{dx_W}{x_D - x_W} = \frac{dW}{W} \tag{2-31}$$

จากนั้นทำการอินทีเกรท สมการ (2-30) จะได้

$$\int_{x_W}^{x_{W,final}} \frac{dx_W}{x_D - x_W} = \int_{W}^{W_{final}} \frac{dW}{W} \tag{2-32}$$

จากสมการ (2-32) จะได้

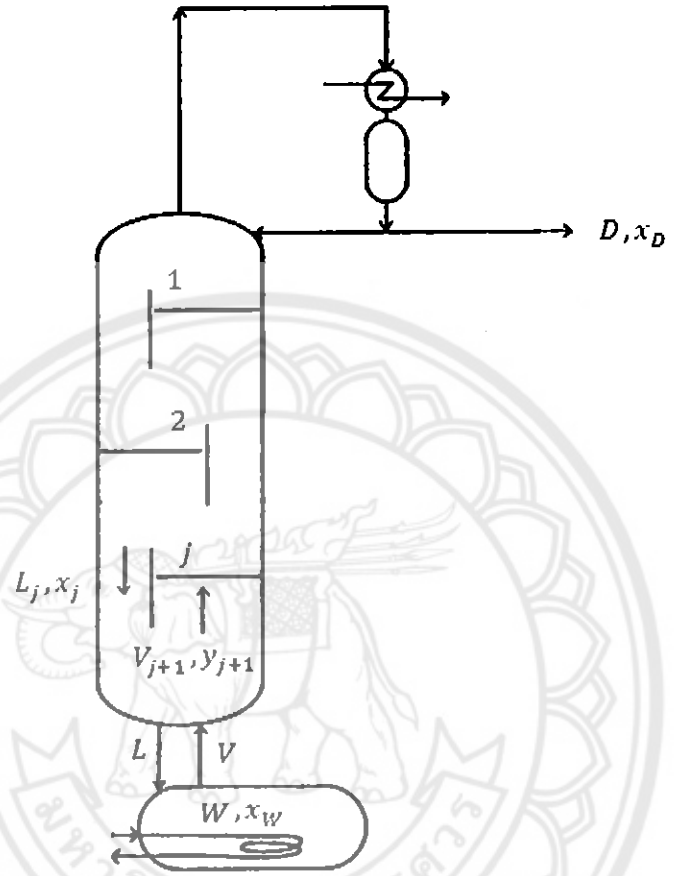
$$\ln\left(\frac{W_{final}}{W}\right) = -\int_{x_{W,final}}^{x_W} \frac{dx_W}{x_D - x_W} \tag{2-33}$$

กำหนดให้ W_{final} คือ จำนวนโมลสุดท้ายของสารในหม้อต้ม

$x_{W,final}$ คือ เศษส่วนโมลสุดท้ายของสารในหม้อต้ม

สมการ (2-33) โดยทั่วไปเรียกว่า Rayleigh Equation [5]

2.3.4 แบบจำลองการกลั่นลำดับส่วนแบบกะ (Multistage Batch Distillation Model)



รูปที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบการกลั่นลำดับส่วนแบบกะ [6]

สมการที่ใช้ในการคำนวณ [6]

สมดุลโมลรวม (Total Mole Balance)

$$W = W_{final} + D_{total} \tag{2-34}$$

สมดุลโมลขององค์ประกอบ (Component Mole Balance)

$$Wx_W = W_{final}x_{W,final} + D_{total}x_{D,avg} \tag{2-35}$$

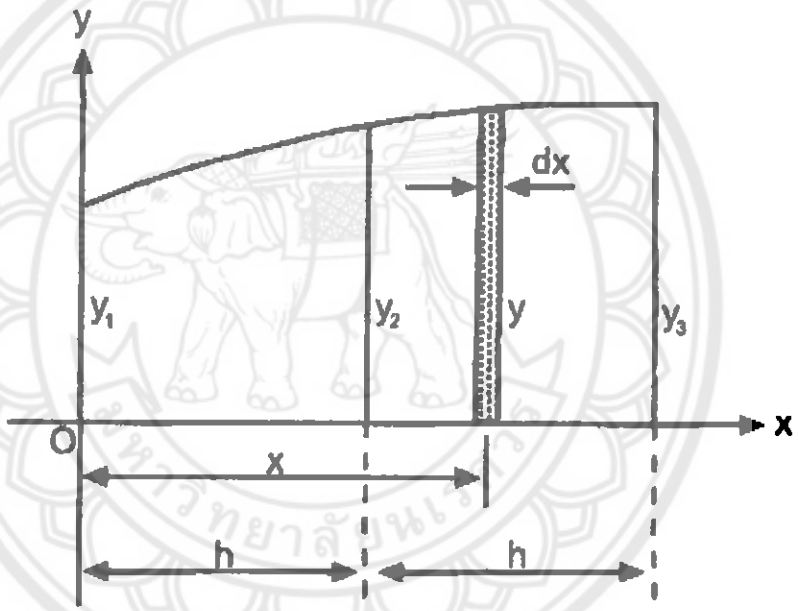
กำหนดให้ D_{total} คือ จำนวนโมลของสารที่กลั่นได้ทั้งหมด

$x_{D,avg}$ คือ เศษส่วนโมลของสารที่ออกเป็นผลิตภัณฑ์เฉลี่ย

จากสมการ Rayleigh Equation (2-33) จะได้

$$W_{final} = W exp\left(-\int_{x_{W,final}}^{x_W} \frac{dx_W}{x_D - x_W}\right) \quad (2\text{-}36)$$

2.3.5 การหาพื้นที่ใต้กราฟจาก Simpson's Rule [7]

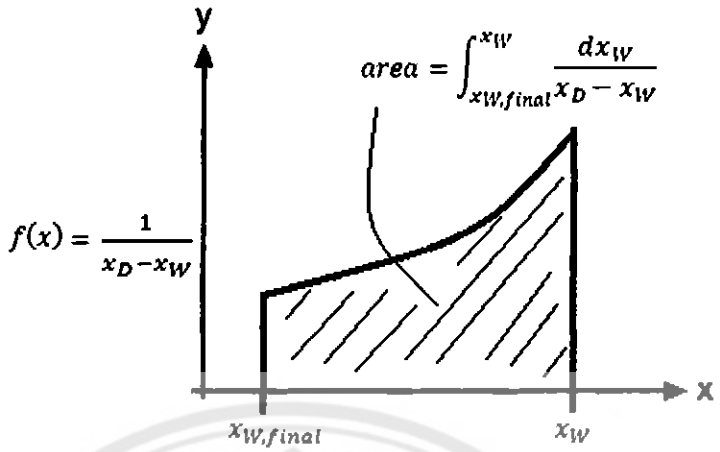


รูปที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบการคำนวณ Simpson Rule [7]

จากรูป สามารถคำนวณพื้นที่ใต้กราฟได้ ดังนี้

$$Area = \int_0^{2h} f(x)dx = \frac{h}{3}(y_1 + 4y_2 + y_3) \quad (2\text{-}37)$$

จากสมการ (2-36) เมื่อสร้างกราฟระหว่าง $\frac{1}{x_D - x_W}$ กับ x_1 จะได้



รูปที่ 2.7 แสดงพื้นที่ใต้กราฟ [7]

จากรูป จะได้ว่าพื้นที่ใต้กราฟ

$$area = \int_{x_{W,final}}^{x_W} \frac{dx_W}{x_D - x_W} \tag{2-38}$$

และการหาพื้นที่ใต้กราฟด้วยวิธีของ Simpson's Rule จะได้สมการดังนี้

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{b-a}{6}\left[f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b)\right] \tag{2-39}$$

และเมื่อ $f(x) = \frac{1}{x_D - x_W}$ จะได้

$$\int_{x_{W,final}}^{x_W} f(x)\, dx_W = \frac{x_W - x_{W,final}}{6}\left[f\left(x_{W,final}\right) + 4f\left(\frac{x_{W,final}+x_W}{2}\right) + f(x_W)\right] \tag{2-40}$$

จากสมการ (2-36) จะสามารถหาปริมาณสารในหม้อต้มที่เหลือได้ ดังนี้

$$W_{final} = We^{(-area)} \tag{2-41}$$

จากสมการ (2-34) สามารถหาปริมาณสารที่กลั่นได้ ดังนี้

$$D_{total} = W - W_{final} \quad (2\text{-}42)$$

จากสมการ (2-35) สามารถหาเศษส่วนโมลของสารผลิตภัณฑ์ ดังนี้

$$x_{D,avg} = \frac{Wx_W - W_{final}x_{W,final}}{D_{total}} \quad (2\text{-}43)$$

2.3.6 วิธีการทำงานของหอกลั่นแบบกะ

2.3.6.1 อัตราการป้อนกลับคงที่ (Constant Reflux) เป็นการกำหนดอัตราการป้อนกลับให้คงที่ แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์จะค่อยๆลดลง เนื่องจากความเข้มข้นหรือจำนวนโมลของสารที่เหลือภายในหอกลั่นลดลง จึงทำให้สารผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้มีความเข้มข้นลดลง ในสภาวะที่อัตราการป้อนกลับคงที่ และจะได้สมการเส้นตรงของ McCabe-Thiele [8] ดังนี้

$$y = \frac{L}{V}x + \frac{D}{V}x_D \quad (2\text{-}44)$$

กำหนดให้ L คือ อัตราการไหลของสารที่วนกลับ

V คือ อัตราการระเหยของสาร

D คือ อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์

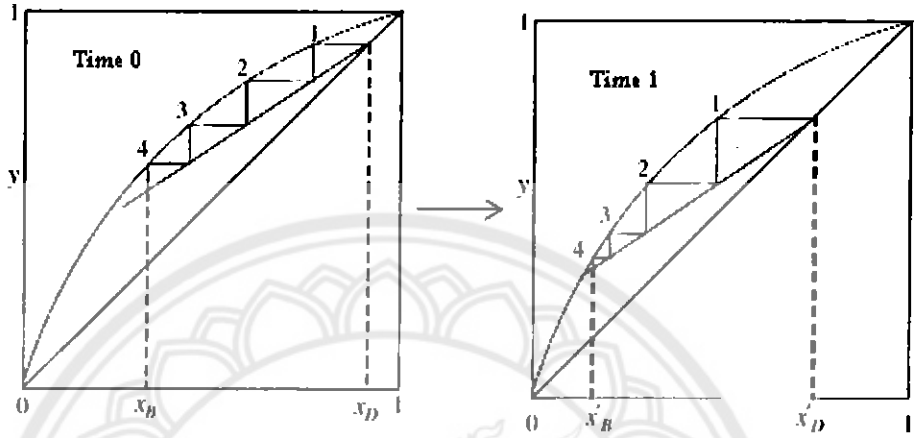
R คือ อัตราการป้อนกลับ $\left(R = \frac{L}{D}\right)$

$$\frac{L}{V} = \frac{L}{L+D} = \frac{L/D}{L/D+D/D} = \frac{R}{R+1} \text{ และ } \frac{D}{V} = \frac{D}{L+D} = \frac{D/D}{L/D+D/D} = \frac{1}{R+1}$$

จะได้ว่า

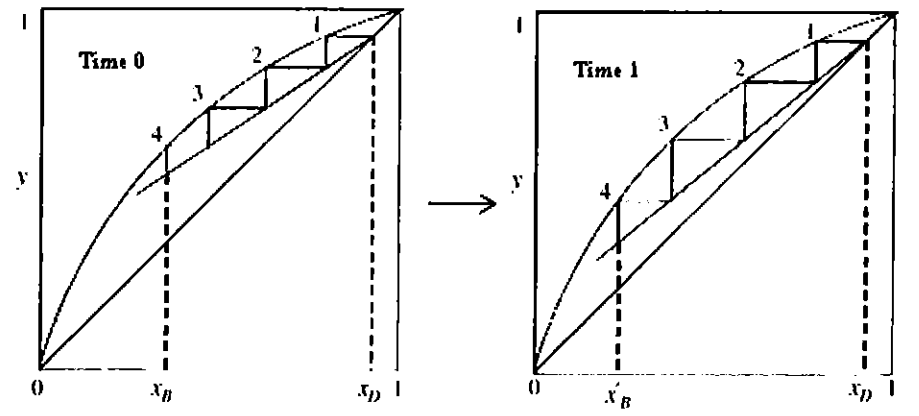
$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{1}{R+1}x_D \quad (2\text{-}45)$$

จากสมการเส้นตรงที่ได้ จะเห็นว่า ความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ $\frac{L}{V}$ หรือ $\frac{R}{(R+1)}$ และเมื่อให้อัตราการป้อนกลับคงที่ จะทำให้ความชันของกราฟคงที่ตามไปด้วย จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่าน x_B จะลดลงจึงทำให้ค่า x_D ที่ได้จะลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 2.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโมลที่อัตราการป้อนกลับคงที่ [8]

2.3.6.2 ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์คงที่ (Constant Distillate Composition) เป็นการกำหนดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ให้คงที่ แต่เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นหรือจำนวนโมลของสารที่อยู่ภายในหอกลั่นก็จะลดลงเพราะฉะนั้นถ้าต้องการให้ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์คงที่ก็ต้องเพิ่มอัตราการป้อนกลับ จากสมการ 2-33 จะเห็นว่าความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ $\frac{L}{V}$ เพราะฉะนั้นความชันสูงสุดที่สามารถทำได้ คือ จุดที่อัตราป้อนกลับ (L) เท่ากับอัตราการระเหย (V) หรือที่เรียกว่า อัตราการป้อนกลับหมด (Total Reflux) จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป x_B จะค่อยลดลง เพราะฉะนั้นถ้าต้องการให้ x_D คงที่ ก็ต้องเพิ่มความชันของกราฟหรือเพิ่มอัตราการป้อนกลับไปเรื่อยๆ จนกระทั่งความชันของเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 1 [8]



รูปที่ 2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟเมื่ออัตราการป้อนกลับเปลี่ยน [8]

2.4 MATLAB และ Graphical User Interfaces (GUI)

2.4.1 MATLAB

MATLAB เป็นโปรแกรมที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ โครงสร้างพื้นฐานการคำนวณของโปรแกรม MATLAB อยู่ในรูปของเวกเตอร์หรือเมทริกซ์ ซึ่งก็เป็นที่มาของชื่อโปรแกรมด้วย กล่าวคือ MATLAB เป็นคำย่อของคำสองคำในภาษาอังกฤษคือ MATrixLABoratory จุดเด่นของโปรแกรม MATLAB คือการที่มีชุดคำสั่งจำนวนมากสำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่บรรจุอยู่เมทริกซ์ครอบคลุมทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ทั้งที่เป็นพื้นฐานและการประยุกต์อย่างกว้างขวาง ที่สำคัญสามารถใช้งานโปรแกรมในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงมาก นอกจากนี้ MATLAB ยังได้พัฒนา GUI (Graphical User Interface) ที่เป็นระบบระเบียบทำให้การสร้างโปรแกรมประยุกต์เฉพาะตามที่ผู้ใช้ต้องการสามารถทำได้โดยง่าย นอกจากนี้ MATLAB ยังได้พัฒนาโปรแกรมสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่เรียกว่า Simulink เพื่อใช้จำลองการทำงานของระบบหรือกระบวนการที่เราสนใจ โดยผู้ใช้งานสามารถเชื่อมต่อองค์ประกอบย่อยแต่ละส่วนของระบบหรือกระบวนการเข้าด้วยกันในรูปของบล็อกที่ง่ายสะดวกต่อการใช้งาน แทนที่จะต้องพิมพ์ชุดคำสั่ง MATLAB จำนวนมาก การทดสอบระบบต่างๆ จึงทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันมีการใช้งาน Simulink แพร่หลายมากขึ้นโดยเฉพาะงานด้านการควบคุมอุตสาหกรรม คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ในปัจจุบันมีการนำ MATLAB มาใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอนหรือนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอย่างแพร่หลาย [9]

2.4.2 Graphical User Interfaces (GUI)

Graphical User Interfaces (GUI) เป็นวิธีการให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ให้ติดต่อสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางภาพ เช่น การคลิกเมาส์บนปุ่มกด (Push Button) การป้อนข้อความลงในช่องแก้ข้อความ (Edit Box) และการคลิกบนปุ่มวิทยุ (Radio Button) เป็นต้น ดังนั้นการทำงานของโปรแกรมจึงขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่ามีการป้อนข้อมูลหรือสั่งการกับองค์ประกอบ GUI หรือไม่ โดยทั่วไปจะเรียกสิ่งที่ป้อนเข้าผ่านทางองค์ประกอบ GUI ว่าเป็น เหตุการณ์ (Event) เมื่อมีเหตุการณ์เกิดขึ้น เช่น ผู้ใช้กดปุ่ม หรือป้อนข้อมูลในช่องแก้ไขข้อมูล โปรแกรมก็จะทำงานตามชุดคำสั่งที่เขียนไว้ก่อนนี้เพื่อตอบสนองกับเหตุการณ์นั้น เรียกโปรแกรมที่ทำงานตามเหตุการณ์ในลักษณะนี้ว่า การขับเคลื่อนด้วยเหตุการณ์ (Even Driven)

การสร้างโปรแกรม GUI ใน MATLAB มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนที่ต้องพิจารณา ดังนี้

2.4.2.1 องค์ประกอบของ GUI บนหน้าต่างที่ใช้ติดต่อโต้ตอบกับผู้ใช้ เช่น ปุ่มกด ช่องแก้ข้อความ แกนวาดกราฟ หรือปุ่มวิทยุ ทั้งนี้ องค์ประกอบ GUI เหล่านี้ล้วนแล้วแต่ให้พิจารณาว่าเป็น Object ชนิดหนึ่งในโปรแกรม MATLAB ทั้งสิ้น

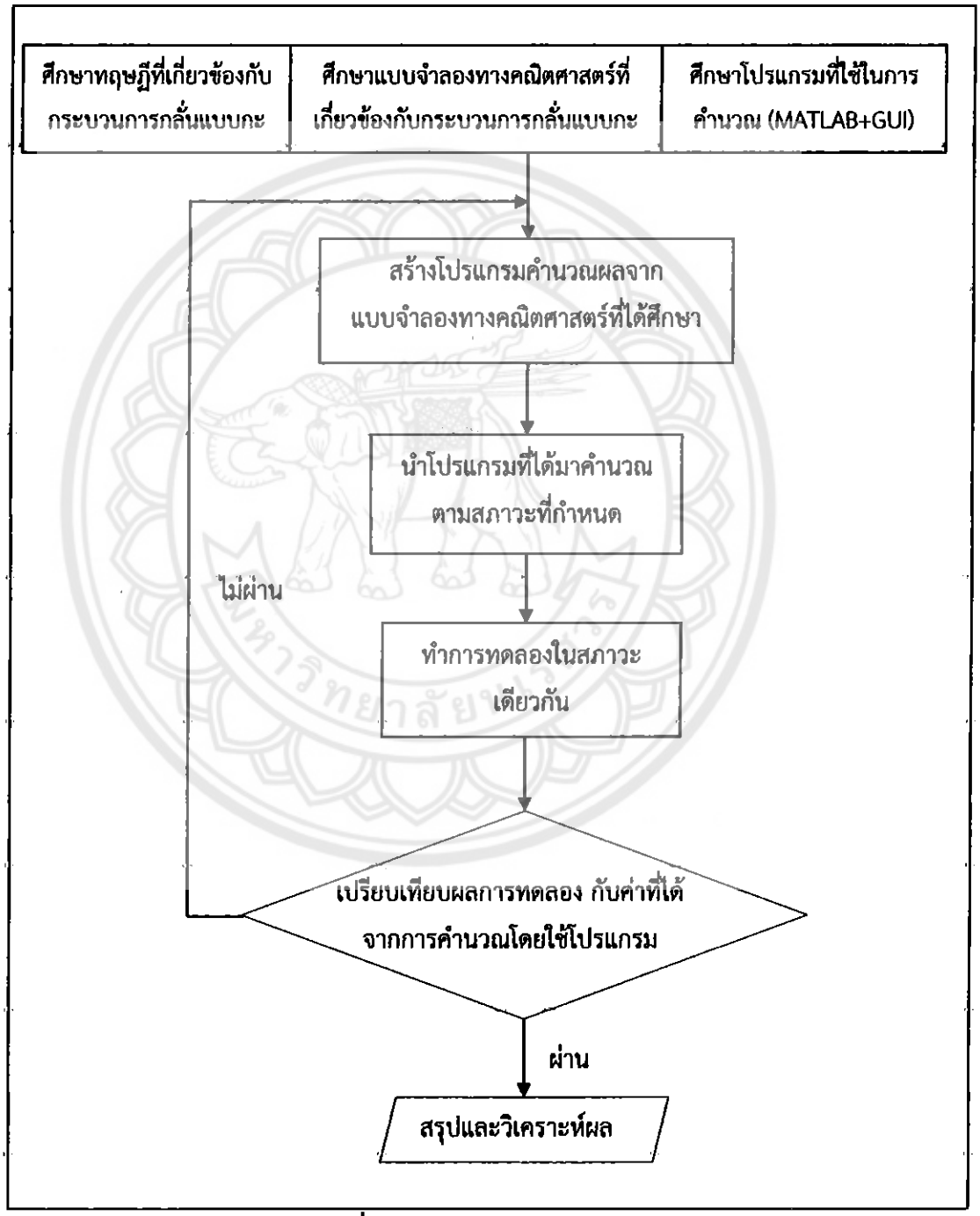
2.4.2.2 ฟังก์ชันที่ทำงานเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ตามที่ผู้ใช้โต้ตอบกับองค์ประกอบแต่ละชิ้นของโปรแกรม GUI โดยฟังก์ชันเหล่านี้มีชื่อเฉพาะว่า ฟังก์ชั่น Callback (Callback Function)

ดังนั้นการสร้างโปรแกรม GUI จึงสามารถแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การสร้างองค์ประกอบของ GUI หรือ Object บนหน้าต่าง และการเขียนฟังก์ชัน Callback สำหรับองค์ประกอบนั้นๆ

บทที่ 3

การดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลั่นแบบกะ

ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของหอกลั่นแบบกะ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทดลองและการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น ประเภทของหอกลั่นแบบกะวิธีการทำงานของหอกลั่นแบบกะ เป็นต้น

3.2 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลั่นแบบกะ

ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลั่นแบบกะ เพื่อใช้ในการสร้างโปรแกรมการคำนวณสำหรับชุดปฏิบัติการการกลั่นแบบกะ ดังนี้

3.2.1 Vapor-Liquid Equilibrium (VLE)

- Ideal Gas / Non-Ideal Solution

3.2.2 Activity coefficient

- Wilson Model
- Universal Quasi Chemical (UNIQUAC) Model

3.2.3 Rayleigh Equation

3.2.4 การหาพื้นที่ใต้กราฟจาก Simpson's Rule

3.3 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ (MATLAB+GUI)

3.3.1 ศึกษาการทำงานและการใช้ฟังก์ชั่นต่างๆ ของโปรแกรม MATLAB เช่น คำสั่งการวนลูป (for, while) คำสั่งสร้างเงื่อนไขทดสอบความสัมพันธ์ (if, switch, case, otherwise) เป็นต้น

3.3.2 ศึกษาการทำงานและฟังก์ชั่นต่างๆ ของ GUI เพื่อนำไปใช้เชื่อมโยงกับโปรแกรม MATLAB เช่น Pop-Up Menus, Push Button, Edit Text, Static Text เป็นต้น

3.4 สร้างโปรแกรมคำนวณผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

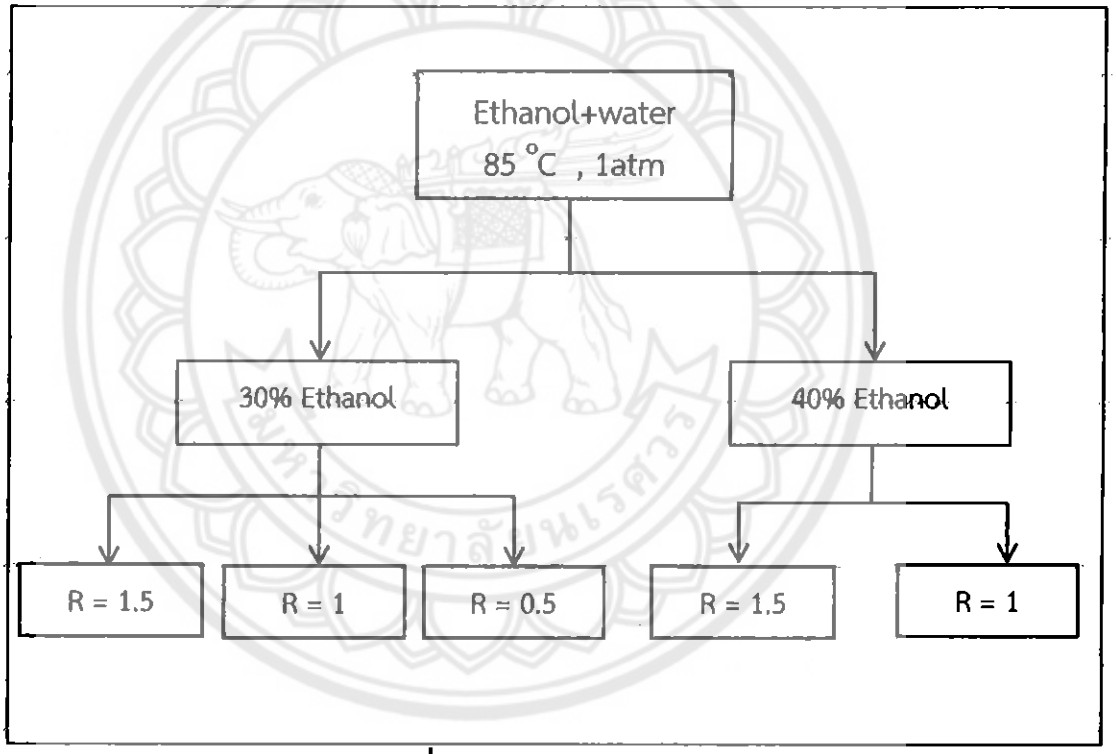
สร้างโปรแกรมคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ศึกษาด้วยวิธีการ ดังนี้

3.4.1 เขียนสมการและแบบจำลองต่างๆ ที่ได้ศึกษาลงใน m-file ของโปรแกรม MATLAB เพื่อคำนวณผลและทำการตรวจสอบผลที่ได้

3.4.2 สร้างหน้าต่างของ GUI และนำสมการจาก m-file ที่เขียนไว้ข้างต้นมาเชื่อมโยงกับฟังก์ชั่นต่างๆ ของ GUI

3.5 การทดลอง

ออกแบบและทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของกระทบจากการเพิ่มหรือลดอัตราการป้อนกลับและความเข้มของเอทานอลเริ่มต้น ว่ามีผลต่อผลิตภัณฑ์อย่างไร และได้ทำการทดลอง ดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงแผนการทดลอง

3.6 เปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

เมื่อทำการทดลองชุดหอกลั่นแบบกะภายใต้สภาวะที่ได้กำหนดไว้จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณจากโปรแกรม ถ้าผลการเปรียบเทียบผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้ได้กับชุดปฏิบัติการกระบวนการกลั่นนี้แต่ถ้าผลที่ได้ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดจะต้องทำการแก้ไขแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทำการทดลองซ้ำจนกว่าผลที่ได้จะมีค่าเหมือนหรือใกล้เคียงกัน

3.7 สรุปและวิเคราะห์ผล

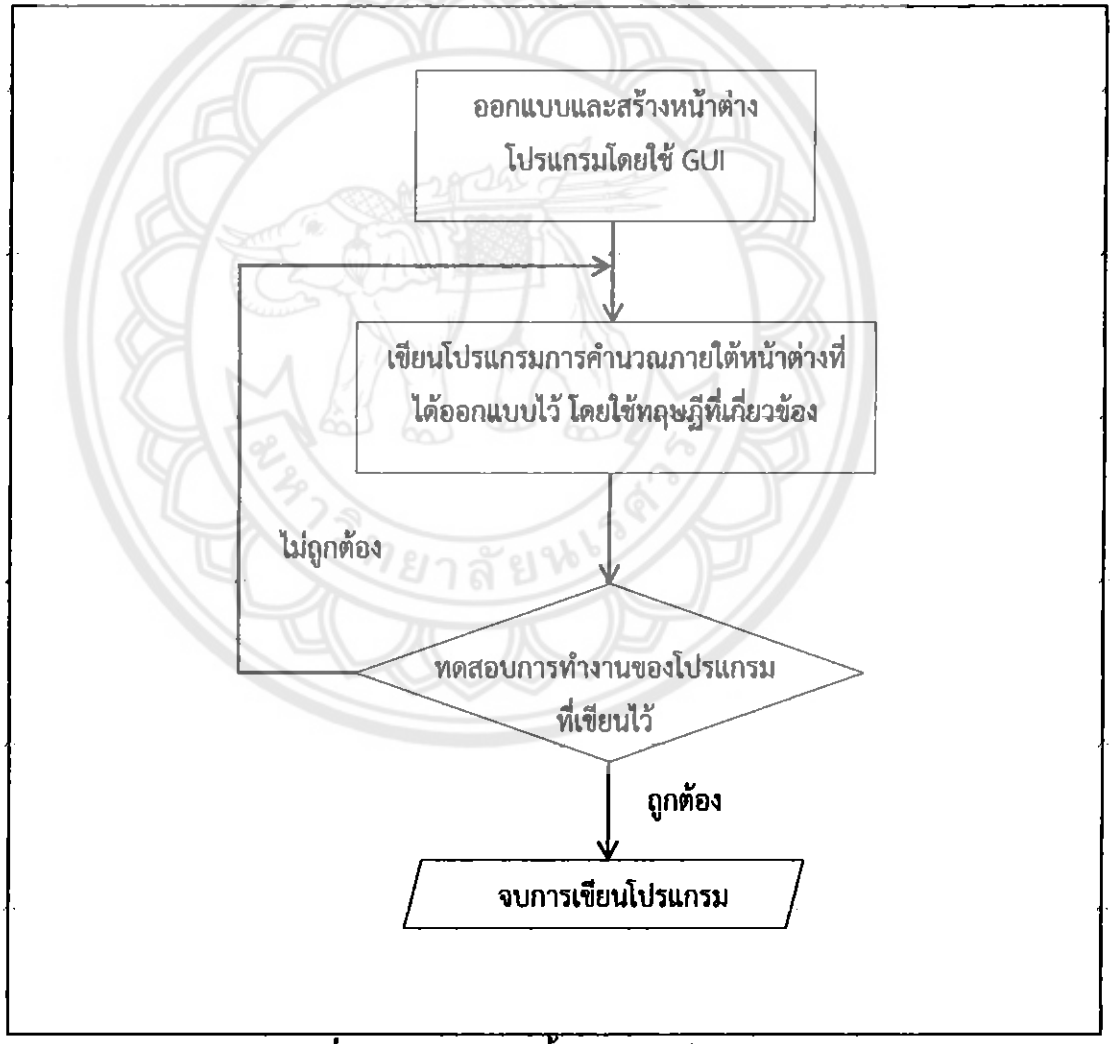
สรุปและวิเคราะห์แบบจำลองที่ได้นำมาสร้างโปรแกรมคำนวณโดยเปรียบเทียบกับการทดลอง เพื่อตรวจสอบข้อจำกัดของการนำโปรแกรมไปใช้งาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 การสร้างโปรแกรม

ทำการสร้างโปรแกรมคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB และเพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนข้อมูลที่จะคำนวณ เช่น อุณหภูมิที่จะใช้ในการกลั่น อัตราการป้อนกลับ เป็นต้น จึงใช้ฟังก์ชัน GUI ช่วยในการสร้างหน้าต่างเพื่อแก้ไขข้อมูลตามต้องการ และมีขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

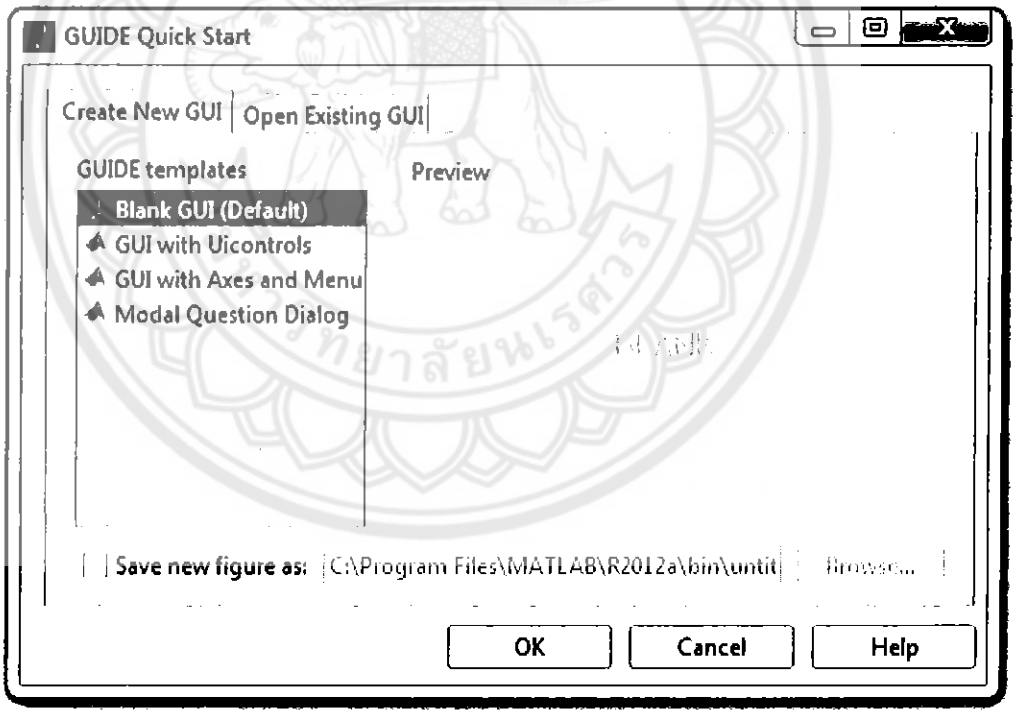


รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการสร้างโปรแกรม

4.1.1 ออกแบบและสร้างหน้าต่างโปรแกรมด้วยโปรแกรม GUI

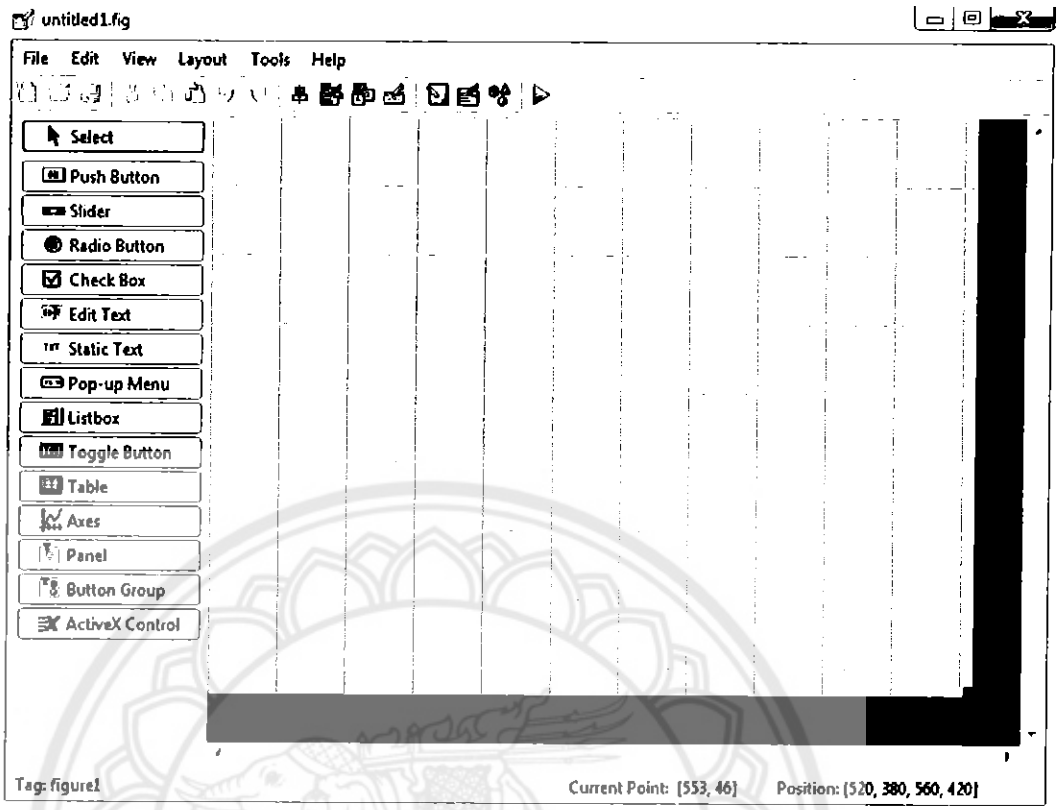
ในโปรแกรม MATLAB ได้พัฒนาเครื่องมือที่เรียกว่า Guide (Graphical User Interface Development Environment) ขึ้นเพื่อช่วยในการสร้างโปรแกรม GUI โดยเฉพาะ เครื่องมือดังกล่าวนี้ทำให้ผู้ใช้สามารถจัดว่างองค์ประกอบ GUIs ต่างๆ บนหน้าต่างกราฟิกที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้ได้ง่ายขึ้น หลังจากที่ผู้เขียนโปรแกรม GUI ได้จัดว่าองค์ประกอบของ GUI บนหน้าต่างจนได้ตามที่ต้องการแล้ว เมื่อทำการบันทึกการออกแบบดังกล่าว MATLAB จะสร้างไฟล์ขึ้นมา 2 ไฟล์ ไฟล์แรกนามสกุล .fig มีหน้าที่เก็บข้อมูลของการจัดวางองค์ประกอบที่สร้างขึ้นไว้ทั้งหมด ไฟล์ที่สองไฟล์นามสกุล .m บรรจุฟังก์ชันที่ใช้เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม GUI และในไฟล์นี้มีการเตรียมฟังก์ชันย่อยที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบที่สร้างไว้บนหน้าต่างโดยอัตโนมัติด้วย ในส่วนนี้เองที่ผู้เขียนโปรแกรม GUI สามารถแทรกชุดคำสั่งเพื่อให้โปรแกรมทำงานตามต้องการ และสามารถเรียกใช้โปรแกรมดังกล่าวโดยการพิมพ์คำสั่ง guide ลงบน Command Window

```
>> guide
```



รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่าง GUIDE Quick Start

จะปรากฏหน้าต่าง GUIDE Quick Start ขึ้นมา (รูปที่ 4.2) จากนั้นกดปุ่ม OK เพื่อสร้างหน้าต่าง Blank GUI และจะได้หน้าต่าง ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 หน้าต่างสำหรับจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรม GUI

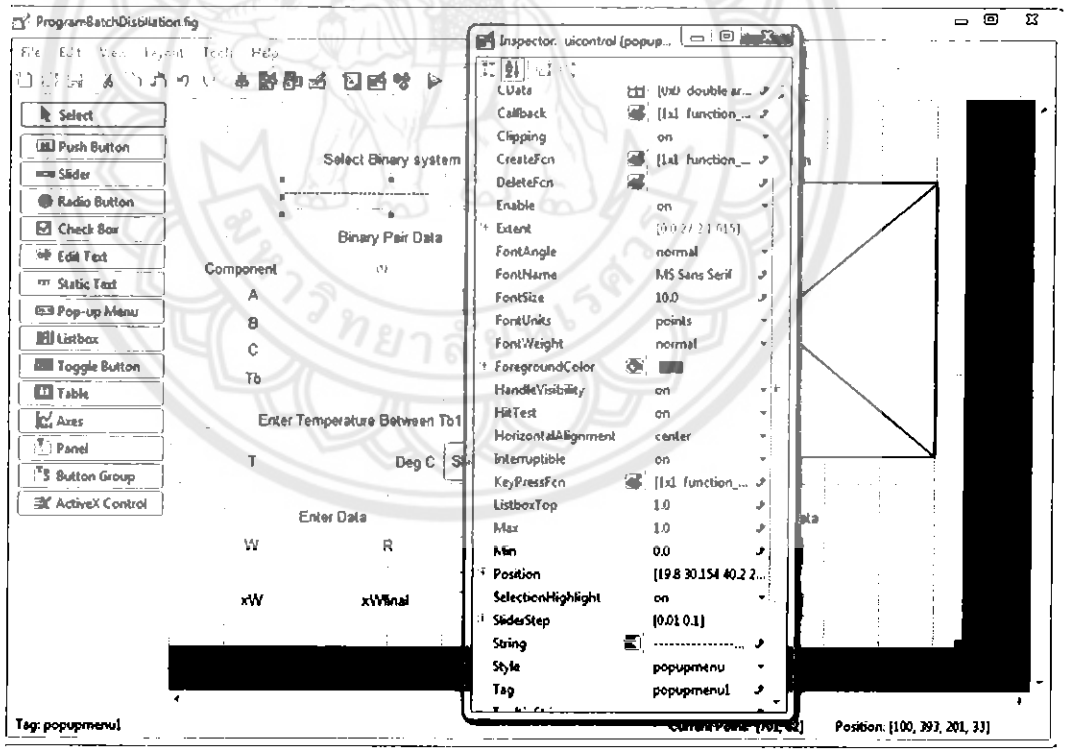
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบ GUI

องค์ประกอบ	รูป	คำอธิบาย
Pop-Up Menu	Pop-up Menu	เป็นเมนูที่แสดงข้อความหลายข้อความในแนวตั้งให้ผู้ใช้เลือกใช้ข้อความใดข้อความหนึ่งออกมาและฟังก์ชั่น callback จะทำงานเมื่อมีการเลือกข้อความ
Static Text	Static Text	เป็นข้อความนิ่งมีไว้สำหรับแสดงข้อความในรูปของ string และ object นี้ไม่มีฟังก์ชัน callback
Axes	Axes	เพื่อใช้แสดงกราฟจากคำสั่ง plot
Edit Text	Edit Text	เป็นช่องแก้ไขข้อความ มีไว้สำหรับแสดงข้อความในรูปของ stringโดยที่ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อความได้ ฟังก์ชัน callback จะทำงานเมื่อกดปุ่มenter
Push Button	Push Button	เป็นปุ่มกดเพื่อสั่งให้ฟังก์ชัน callback ทำงาน

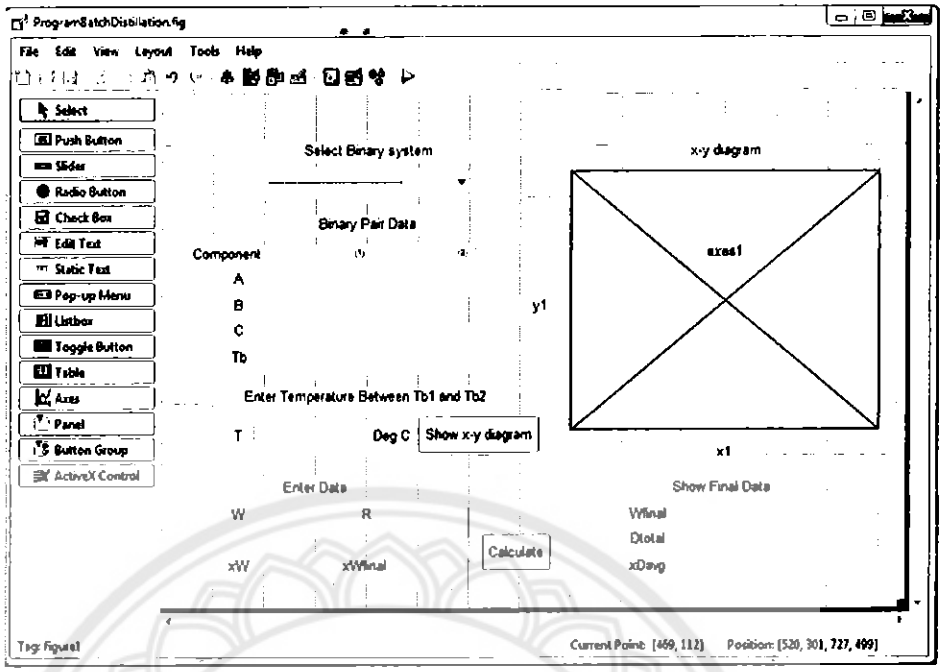
จากนั้นทำการจัดวางองค์ประกอบ ดังนี้

- สร้าง Pop-Up Menu เพื่อใช้ในการเลือกคู่สารที่จะใช้ในการคำนวณ และดับเบิลคลิกบน Pop-Up Menu ที่ได้สร้างไว้จะมีหน้าต่าง Property Inspector ปรากฏขึ้นมา ดังรูปที่ 4.4 จากนั้นให้แก้ไขข้อความในช่อง String เป็นชื่อสารต่างๆ และแก้ไขอื่นๆตามต้องการ
- สร้าง Static Text เพื่อใส่ข้อความอธิบายสิ่งต่างๆ รวมทั้งใช้ในการแสดงค่าต่างๆ
- สร้าง Edit Text เพื่อรับข้อมูลต่างๆจากผู้ใช้ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารเริ่มต้น สัดส่วนอัตราการป้อนกลับ เป็นต้น
- สร้าง Axes เพื่อใช้ในการแสดงกราฟ x-y
- สร้าง Push Button จำนวน 2 ปุ่ม ปุ่มที่ 1 เพื่อใช้ในการสั่งให้โปรแกรมคำนวณและแสดงกราฟออกมาทำงานตามต้องการ ปุ่มที่ 2 เพื่อใช้ในการสั่งให้โปรแกรมคำนวณและแสดงผลออกมา

และจะได้โปรแกรมตามที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 4.5

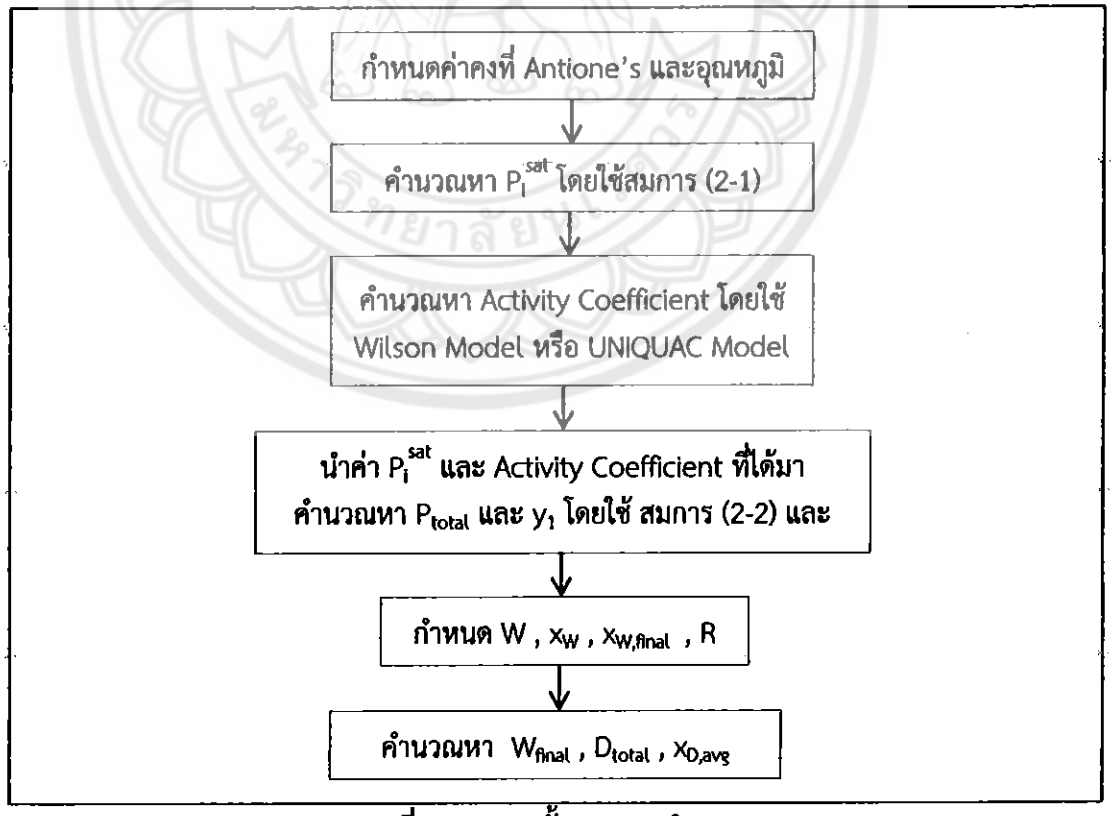


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนคุณสมบัติขององค์ประกอบต่างๆ



รูปที่ 4.5 การวางองค์ประกอบของโปรแกรม GUI

4.1.2 ขั้นตอนการคำนวณ



รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการคำนวณ

4.1.3 เขียนโปรแกรมการคำนวณภายใต้หน้าต่างที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนนี้เป็นการเขียนโค้ดการคำนวณให้มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบต่างๆ ที่ได้สร้างไว้บนหน้าต่าง และโปรแกรม MATLAB ได้มีการเตรียมฟังก์ชันย่อยที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบต่างๆ ที่ได้สร้างไว้โดยอัตโนมัติ จึงสามารถแทรกโค้ดที่ต้องการได้ ดังนี้

ลำดับแรก โปรแกรมที่สร้างไว้จะทำงานเมื่อมีการเลือกข้อความใน Pop-Up Menu ขั้นตอนนี้จะแสดงค่าคงที่ของ Antione's และคำนวณจุดเดือดของสารที่เลือก จึงต้องทำการแทรกโค้ดลงไปในฟังก์ชันของ Pop-Up Menu ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu1
contents as cell array
%        contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from
popupmenu1
z=get(handles.popupmenu1,'value');
    if(z==3);
        handles.A=[7.24693,7.06252];
        handles.B=[1605.615,1650.270];
        handles.C=[31.317,46.804];
        handles.u=[4232.9,-1264.7];
        handles.q=[1.43,1.4];
        handles.r=[1.43,0.92];
        set(handles.text3,'string','Methanol');
        set(handles.text4,'string','Water');
```

ส่วนที่แทรกเพิ่ม

ลำดับที่สองการเก็บค่าอุณหภูมิจากช่อง Edit Text ข้อมูลที่ได้จะเป็นตัวแปร String ต้องเปลี่ยนเป็นตัวแปร Number ก่อนจึงจะสามารถนำไปคำนวณได้ โดยใช้ฟังก์ชัน str2num ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1
as a double
T=str2num(get(handles.edit1,'string'));
handles.T=T;
guidata(hObject, handles);
```

ส่วนที่แทรกเพิ่ม

ลำดับที่สามโปรแกรมจะทำงานก็ต่อเมื่อกดปุ่ม Push Button1 (Show x-y diagram) และโปรแกรมจะคำนวณค่าต่างๆ เพื่อสร้างกราฟจึงต้องเขียนโค้ดการคำนวณที่เกี่ยวข้องไว้ในฟังก์ชันของ Push Button1 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
tb=handles.tb
T=handles.T
if(T<tb(1))
    set(handles.text39,'string','Temperature Error And Enter agian')

elseif(T>tb(2))
    set(handles.text39,'string','Temperature Error And Enter agian')

else
    set(handles.text39,'string','Temperature OK')
    A=handles.A
    B=handles.B
    C=handles.C
    T=handles.T
```

ส่วนที่แทรกเพิ่ม

ลำดับที่สี่โปรแกรมจะทำงานต่อเมื่อกดปุ่ม Push Button2 (Calculate) และโปรแกรมจะคำนวณค่าต่างๆ เพื่อแสดงผลจึงต้องเขียนโค้ดการคำนวณที่เกี่ยวข้องไว้ในฟังก์ชันของ Push Button2 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
Psat=handles.Psat
y1=handles.y1
T=handles.T
WF=handles.WF
Re=handles.Re
xB=handles.xB
```

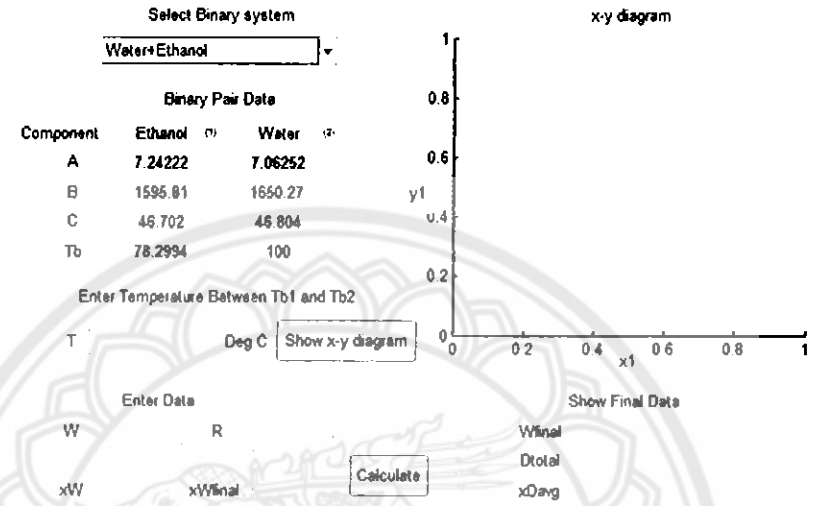
ส่วนที่แทรกเพิ่ม

4.1.4 ทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่เขียนไว้

ทำการ run โปรแกรมเพื่อทดสอบโค้ด ถ้า run โปรแกรมแล้วไม่ผ่าน โปรแกรมจะมีการแจ้งเตือนในส่วนที่มีความผิดพลาดของโค้ด สามารถดูได้จาก Command Window และทำการแก้ไขในส่วนนั้นๆ

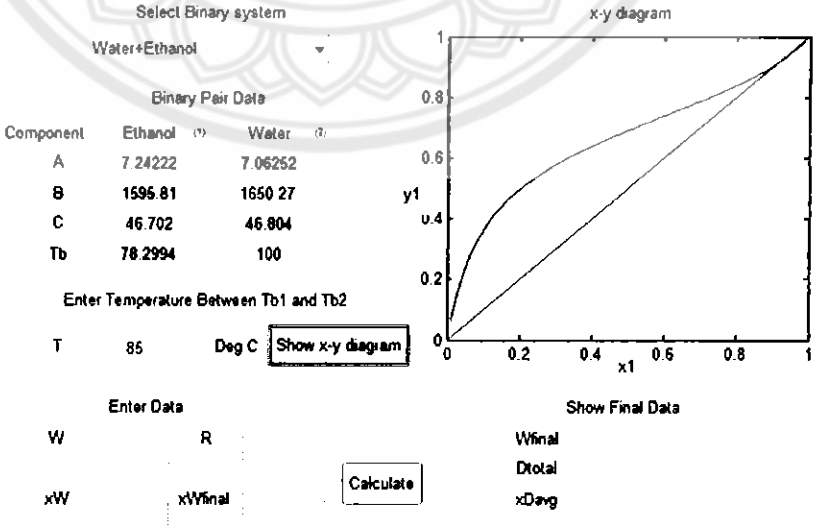
4.2 วิธีการใช้โปรแกรม

4.2.1 ทำการเลือกคู่สารที่ต้องการคำนวณจากช่อง Select Binary System (ซึ่งคู่สารที่สามารถเลือกได้มีดังตารางที่ 4.2) จากนั้นโปรแกรมจะแสดงข้อมูลค่าคงที่ของ Antione's และจุดเดือดของสารที่เลือก ดังรูปที่ 4.7



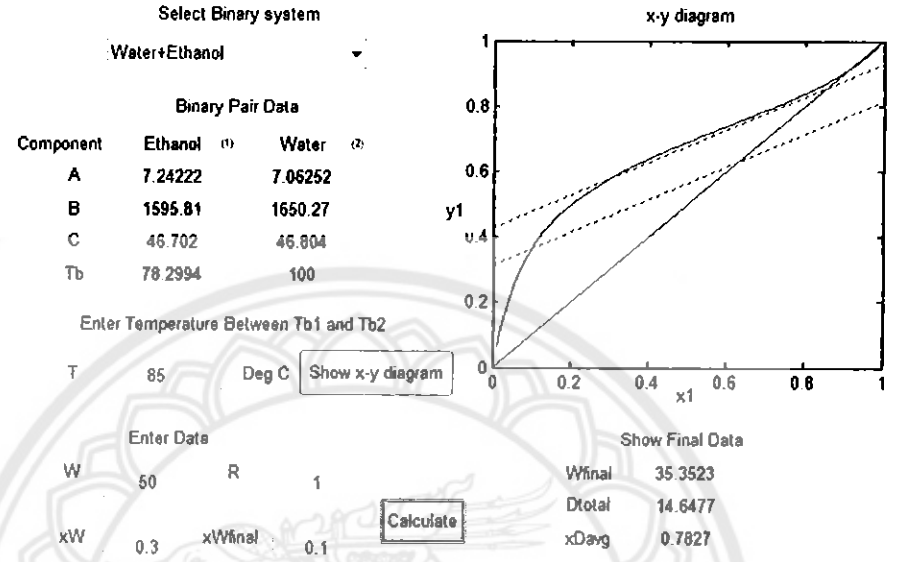
รูปที่ 4.7 การแสดงผลหลังจากเลือกคู่สาร

4.2.2 ทำการกำหนดอุณหภูมิที่จะใช้ในการกลั่น ให้อยู่ระหว่างจุดเดือดของสารทั้งสอง และกดปุ่ม Show x-y diagram โปรแกรมจะคำนวณหา Equilibrium Data และจะแสดง x-y diagram ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดง x-y diagram

4.2.3 ทำการกำหนดค่า W, R, x_W และ $x_{W,final}$ ที่จะใช้ในการคำนวณ และกดปุ่ม Calaulate โปรแกรมจะคำนวณหาและแสดง W_{final}, D_{total} และ x_{Davg} รวมถึงแสดงกราฟเส้นตรงที่ได้จากทฤษฎี McCabe-Thiele ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงค่าทั้งหมดของโปรแกรม

ตารางที่ 4.2 แสดงคู่สารที่สามารถคำนวณได้

	binary systems containing water			binary systems containing ketones	
1	Water	Methanol	13	Acetone	Hexane
2	Water	Ethanol	14	Acetone	Benzene
	hydrocarbon binary mixtures		15	Acetone	Dibutyl ether
3	Hexane	Heptane	16	Acetone	Methanol
4	Heptane	Octane	17	Acetone	Ethanol
5	Cyclohexane	Octane		ethanol+hydrocarbon binary systems	
6	Cyclohexane	Toluene	18	Ethanol	Heptane
7	Hexane	Benzene	19	Ethanol	Octane
8	Hexane	Toluene	20	Ethanol	Benzene
9	Heptane	Benzene	21	Ethanol	Toluene
10	Heptane	Toluene			
11	Octane	Benzene			
12	Benzene	Toluene			

4.3 ความสามารถและข้อจำกัดของโปรแกรม

โปรแกรมนี้ทำการคำนวณภายใต้สภาวะความดัน 1 บรรยากาศ และสมมติฐานที่ว่า Ideal-Gas /Non-Ideal Solution

ความสามารถ

- สามารถแสดงกราฟ x-y diagram
- สามารถคำนวณหา เศษส่วนโมลของสารผลิตภัณฑ์เฉลี่ย ($x_{D,avg}$) จำนวนโมลที่เหลือในหม้อต้ม (W_{final}) และจำนวนโมลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ (D_{total})
- สามารถคำนวณคู่สารที่เป็นสารละลายไม่มีขั้ว และสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้าอาจจะเป็นสารละลายมีขั้วหรือไม่มีขั้วก็ได้

ข้อจำกัด

- ไม่สามารถคำนวณผล ณ เวลาต่างๆ ได้ แต่สามารถบอกค่าที่จุดสิ้นสุดได้
- ไม่สามารถคำนวณคู่สารอื่นที่ไม่ได้ระบุในตารางที่ 4.2 ได้
- สามารถใช้ได้กับ Binary System เท่านั้น

4.4 การทดสอบโปรแกรม

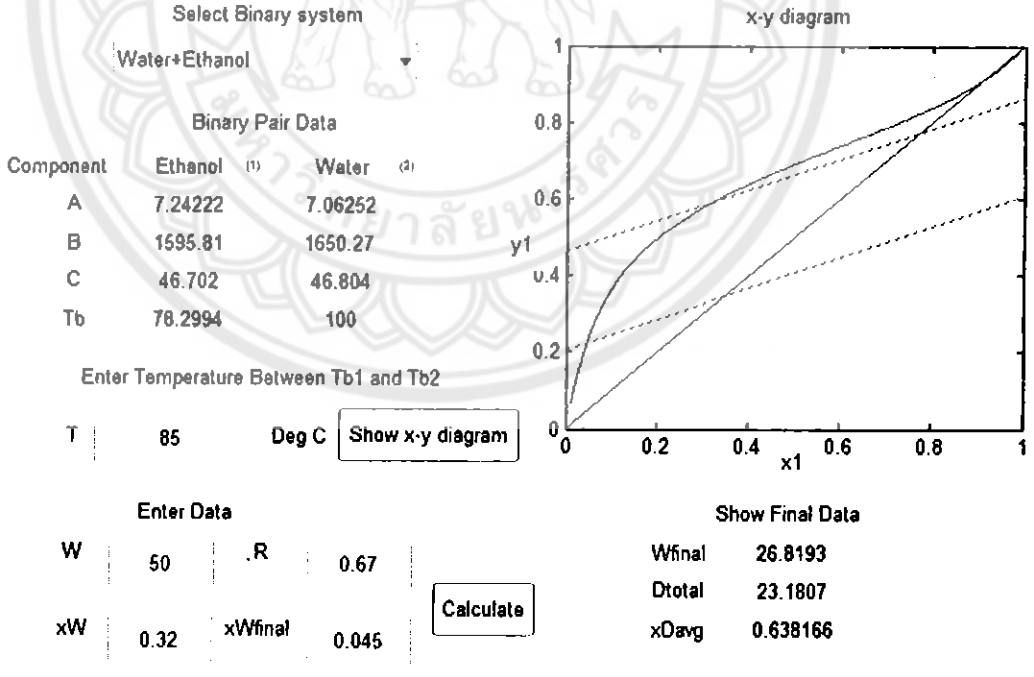
ทำการเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่ได้สร้างไว้กับตัวอย่างการคำนวณจากหนังสือ Separation Process Engineering [6] โดยในการเปรียบเทียบนี้ได้ใช้ UNIQUAC Model ในการคำนวณ Equilibrium Data เนื่องจากเป็นสารละลาย เอทานอล-น้ำ

Example 9-2 Multistage batch distillation [6]

We wish to batch distill 50 kg mole of a 32 mole % ethanol, 68 mole % water feed. The system has a still pot plus two equilibrium stages and a total condenser. Reflux is returned as a saturated liquid, and we use L/D = 2/3. We desire a final still pot composition of 4.5 mole % ethanol. Find the average distillate composition, the final charge in the still pot, and the amount of distillate collected. Pressure is 1 atm.

คำตอบ W_{final} = 26.91 , D_{total} = 23.09 , $x_{D,avg}$ = 0.64

คำนวณโดยใช้โปรแกรม ได้ดังนี้



รูปที่ 4.10 แสดงการคำนวณที่สภาวะเดียวกับตัวอย่าง

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าจากตัวอย่างกับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

	ตัวอย่าง	โปรแกรมคำนวณ
Reflux	0.67	
x_W	0.32	
$x_{W,final}$	0.045	
$x_{D,avg}$	0.64	0.638
W	50	
W_{final}	26.91	26.82
D_{total}	23.09	23.18
	%error	0.31

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าจากตัวอย่างมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก และมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่ถึงร้อยละ 1 โปรแกรมนี้จึงเป็นที่ยอมรับได้ที่จะใช้ในการคำนวณหรือทำนายผลการกลั่นแบบกะ

4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรมคำนวณ

4.5.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ทำการทดลองโดยการปรับค่าความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น และค่าสัดส่วนอัตราการป้อนกลับกับผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดอุณหภูมิในการกลั่นที่ 85 องศาเซลเซียส และความดันที่ 1 บรรยากาศ โดยใช้ชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะ ดังรูปที่ 4.11 เพื่อสังเกตผลที่เกิดขึ้น และได้ผล ดังนี้

รูปที่ 4.11 ชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะที่ใช้ในการทดลอง

- การทดลองที่ 1 ทำการทดลองโดยใช้เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1

ตาราง 4.4 แสดงผลการทดลองที่ 1

Volume of product =	1050	มิลลิลิตร
%Ethanol =	70.32	%v/v
W =	25.17	mole
D total =	12.39	mole
Wfinal =	12.78	mole
xDavg =	0.70	

- การทดลองที่ 2 ทำการทดลองโดยใช้เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1.5

ตาราง 4.5 แสดงผลการทดลองที่ 2

Volume of product =	1900	มิลลิลิตร
%Ethanol =	70.32	%v/v
W =	25.17	mole
D total =	22.42	mole
Wfinal =	2.75	mole
xDavg =	0.70	

- การทดลองที่ 3 ทำการทดลองโดยใช้เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 0.5

ตาราง 4.6 แสดงผลการทดลองที่ 3

Volume of product =	1190	มิลลิลิตร
%Ethanol =	70.32	%v/v
W =	25.17	mole
D total =	14.04	mole
Wfinal =	11.13	mole
xDavg =	0.70	

- การทดลองที่ 4 ทำการทดลองโดยใช้เอทานอลร้อยละ 40 ปริมาตร 5000 มิลิลิตร, Reflux = 1

ตาราง 4.7 แสดงผลการทดลองที่ 4

Volume of product =	1640	มิลิลิตร
%Ethanol =	70.32	%v/v
W =	33.56	mole
D total =	19.35	mole
Wfinal =	14.21	mole
xDavg =	0.70	

- การทดลองที่ 5 ทำการทดลองโดยใช้เอทานอลร้อยละ 40 ปริมาตร 5000 มิลิลิตร, Reflux = 1.5

ตาราง 4.8 แสดงผลการทดลองที่ 5

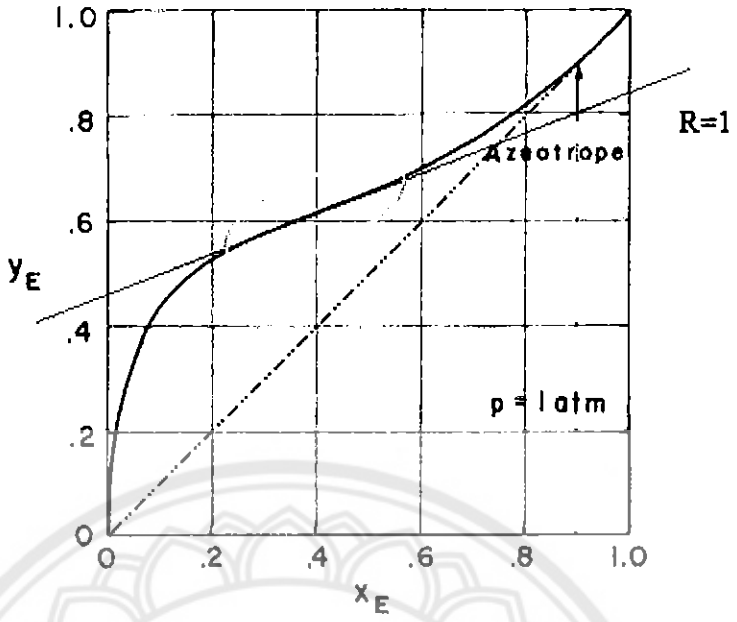
Volume of product =	1540	มิลิลิตร
%Ethanol =	70.32	%v/v
W =	33.56	mole
D total =	18.17	mole
Wfinal =	15.39	mole
xDavg =	0.70	

พิจารณาความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น

จากการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ 1 และ 4 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้นที่อัตราป้อนกลับเท่ากันจะไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นผลิตภัณฑ์จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 25-55 เส้น Equilibrium ทับกับเส้น McCabe Thiele พอดีจะทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้นในช่วงนี้ไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์

พิจารณาอัตราการป้อนกลับ

จากการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ 1, 2 และ 3 จะเห็นว่าการเพิ่มหรือลดอัตราการป้อนกลับไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอัตราการป้อนกลับเป็นฟังก์ชันกับเวลา และอัตราการกลั่นแต่ละช่วงเวลาไม่คงที่ จึงทำให้สัดส่วนของการป้อนกลับและผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ

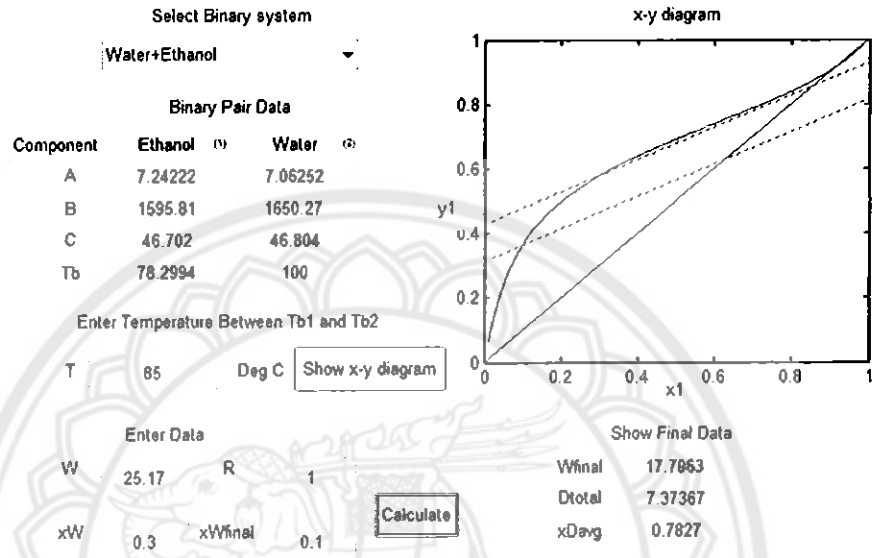


รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น

4.5.2 ผลจากการใช้โปรแกรมคำนวณ

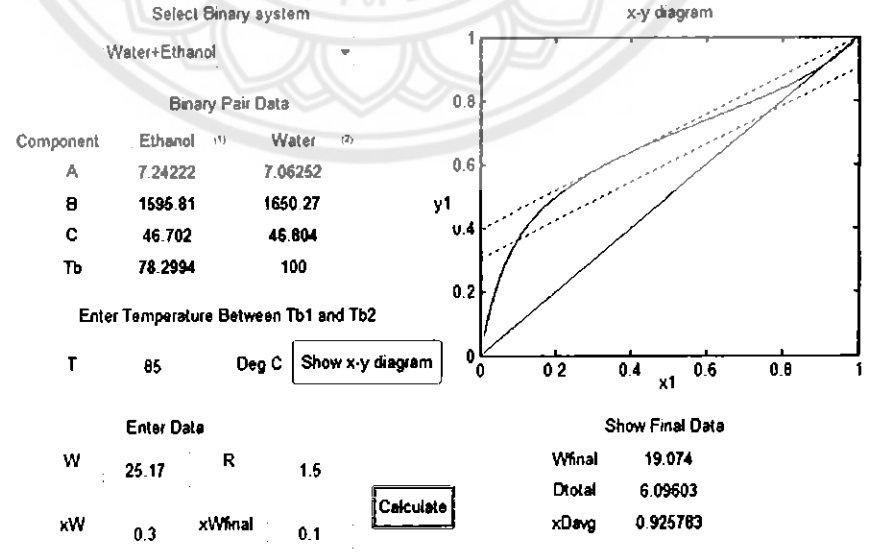
เพื่อวิเคราะห์ผล และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองตามสภาวะต่างๆที่ได้กำหนดไว้ และได้ผล ดังนี้

- การคำนวณที่ 1 ทำการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1



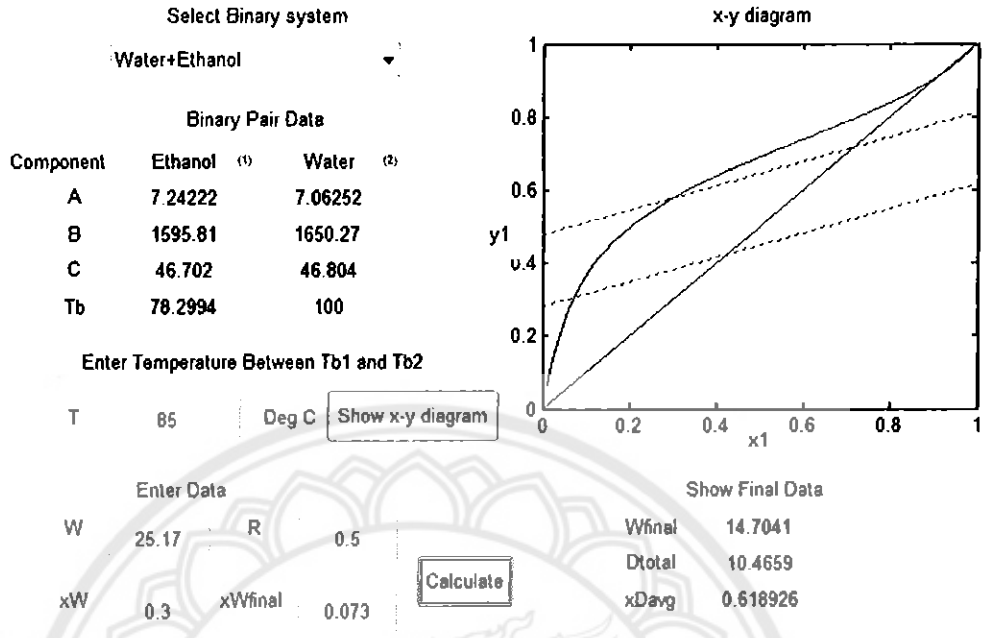
รูปที่ 4.13 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1

- การคำนวณที่ 2 ทำการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1.5



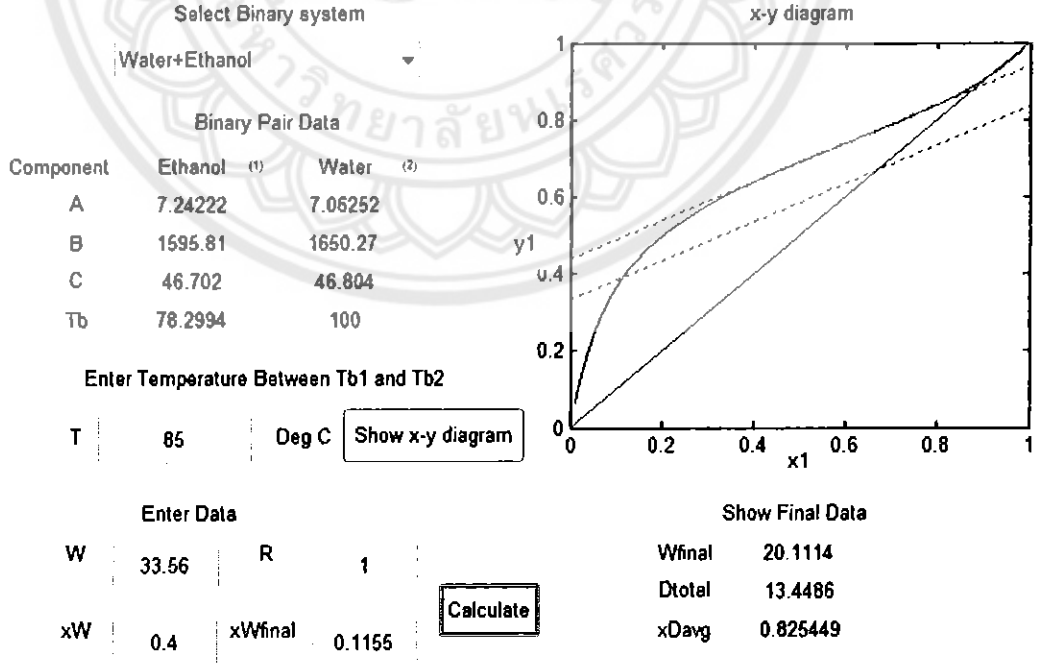
รูปที่ 4.14 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร, Reflux = 1.5

- การคำนวณที่ 3 ทำการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลิลิตร, Reflux = 0.5



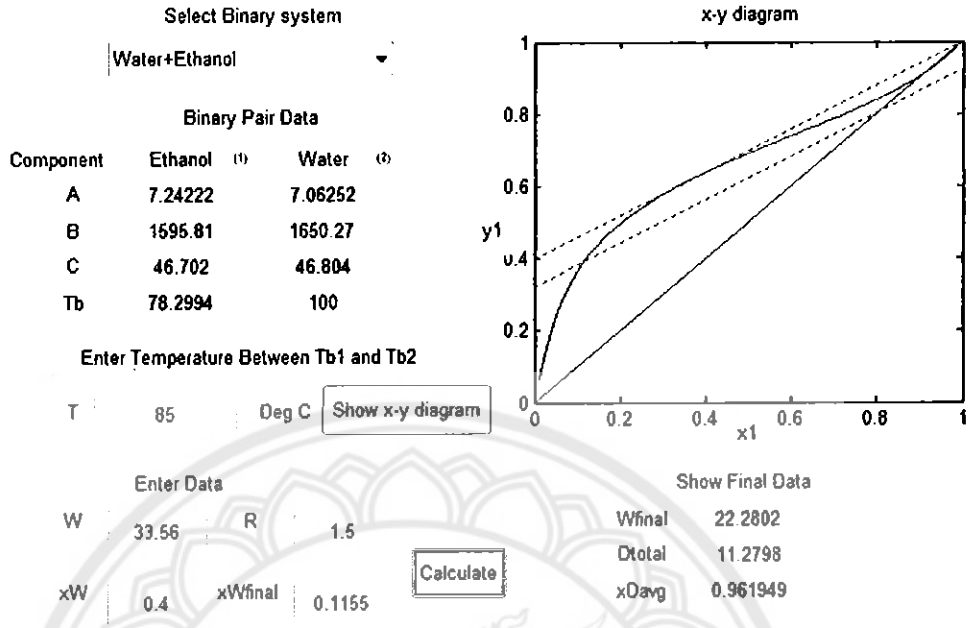
รูปที่ 4.15 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 5000 มิลิลิตร, Reflux = 0.5

- การคำนวณที่ 4 ทำการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 40 ปริมาตร 5000 มิลิลิตร, Reflux = 1



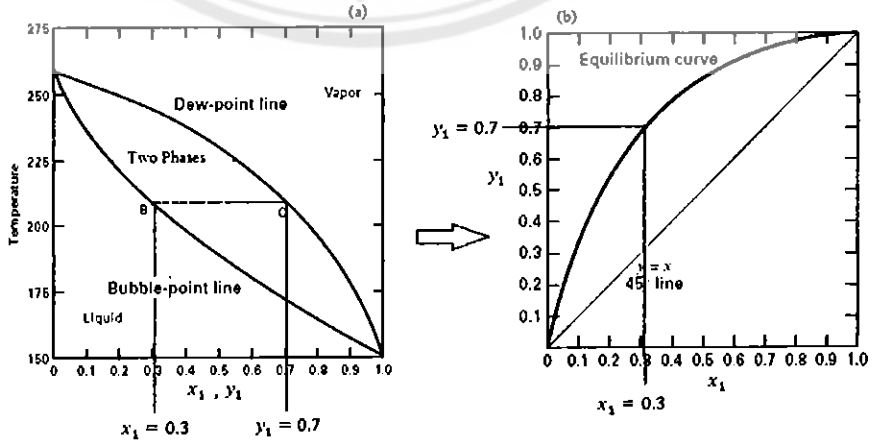
รูปที่ 4.16 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 40 ปริมาตร 5000 มิลิลิตร, Reflux = 1

- การคำนวณที่ 5 ทำการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 40 ปริมาตร 5000 มิลิลิตร, Reflux = 1.5



รูปที่ 4.17 แสดงการคำนวณที่เอทานอลร้อยละ 40 ปริมาตร 5000 มิลิลิตร, Reflux = 1.5

จากการคำนวณโดยโปรแกรม การคำนวณที่ 2 และ 5 โปรแกรมสามารถคำนวณค่าได้แต่ไม่สามารถนำค่าไปใช้ได้ เพราะเส้น McCabe-Thiele สูงกว่าเส้น Equilibrium เนื่องจากการกลั่นจะเกิดในช่วงของสองสภาวะ (Two Phases) ซึ่งอยู่ระหว่างเส้น Equilibrium และเส้น 45 องศา (รูปที่ 4.17) ถ้าเส้น McCabe-Thiele สูงกว่าเส้น Equilibrium จะถือว่าเป็นสภาวะไอ (Vapor Phases) ทำให้ไม่สามารถทำการแยกสารได้



รูปที่ 4.18 แสดงการเปลี่ยนกราฟ T-x-y (a) เป็นกราฟ x-y (b)

4.5.3 เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณ

ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 1, 3 และ 4 กับผลจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม แต่ไม่สามารถเปรียบเทียบการทดลองที่ 2 และ 5 ได้เนื่องจากค่าที่ได้จากโปรแกรมถือว่าไม่ถูกต้องตามเหตุผลที่ได้ให้ไว้ในหัวข้อ 4.5.2 และทำการเปรียบเทียบเพื่อทดสอบโปรแกรมว่าสามารถนำไปใช้ในการทำนายผลของการกลั่น โดยใช้ชุดปฏิบัติการทอกลั่นแบบกะได้หรือไม่ และได้ผล ดังนี้

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 1 กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

การทดลองที่ 1	การทดลอง	โปรแกรมคำนวณ
Reflux	1	
x_W	0.3	
$x_{W,final}$	0.1155	
$x_{D,avg}$	0.7032	0.79
W	25.17	
W_{final}	14.31	18.32
D_{total}	10.85	6.85
	%error	10.99

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 3 กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

การทดลองที่ 3	การทดลอง	โปรแกรมคำนวณ
Reflux	0.5	
x_W	0.3	
$x_{W,final}$	0.07348	
$x_{D,avg}$	0.7032	0.62
W	25.17	
W_{final}	11.13	14.73
D_{total}	14.04	10.44
	%error	13.42

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 4 กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

การทดลองที่ 4	การทดลอง	โปรแกรมคำนวณ
Reflux	1	
x_W	0.4	
$x_{W,final}$	0.1574	
$x_{D,avg}$	0.7032	0.82
W	33.56	
W_{final}	14.09	20.11
D_{total}	19.47	13.44
	%error	14.24

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองและผลจากการคำนวณ จะเห็นว่าในแต่ละการทดลองมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 10 จึงสรุปได้ว่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรมนี้ไม่สามารถทำนายผลของการกลั่นโดยใช้ชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะนี้ได้ อาจจะเป็นเพราะสาเหตุ ดังนี้

4.5.3.1 จากการทดลอง

- อัตราการป้อนกลับไม่สม่ำเสมอ ซึ่งได้กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อ 4.4.1
- การคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่อง Refractometer ในการวัดความเข้มข้น โดยหลักการทำงานของ Refractometer เป็นการวัด ดัชนีหักเหของแสง เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง ทำให้มุมและความเร็วของแสงแตกต่างกัน และสารละลายที่มีเข้มข้นต่างกันเมื่อแสงส่องผ่าน จะเกิดการหักเหและให้ค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกันซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงนำมาประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้ โดยการสร้างกราฟมาตรฐาน แต่ค่าที่อ่านได้มีความละเอียดน้อย จึงอาจจะทำให้คลาดเคลื่อนได้
- ผู้วัด เนื่องจากผู้วัดทำการอ่านค่าโดยการมองจากสเกล จึงอาจจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนได้
- เอทานอลเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย จึงอาจจะทำให้เกิดการระเหยในขณะที่ทำการทดลอง

4.5.3.2 จากโปรแกรมการคำนวณ

- การคำนวณของ Simpson's Rule เป็นเพียงการประมาณค่าพื้นที่ใต้กราฟ จึงอาจจะทำให้มีการคลาดเคลื่อนได้

บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปงานวิจัย

จากการศึกษาและการทดลองการกลั่นด้วยชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะ พบว่า

- ในการปรับความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้นไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้นในช่วงร้อยละ 25-55 เป็นช่วงที่เส้น Equilibrium ทับกับเส้น McCabe-Thiele จึงทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้นไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์
- ในการปรับค่าอัตราการป้อนกลับไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ เพราะอัตราการกลั่นแต่ละช่วงเวลาไม่คงที่จึงทำให้สัดส่วนของอัตราการป้อนกลับไม่แน่นอน

จากการศึกษาและสร้างโปรแกรมการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ร่วมกับ GUI พบว่าโปรแกรมสามารถใช้คำนวณผลการกลั่นแบบกะได้ เนื่องจากทำการคำนวณเปรียบเทียบกับตัวอย่างแล้วพบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.31 ซึ่งมีความใกล้เคียงสูง

ในการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณโดยใช้โปรแกรม พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าร้อยละ 10 อาจจะเป็นเพราะสาเหตุ ดังนี้

5.1.1 จากการทดลอง

- อัตราการป้อนกลับไม่สม่ำเสมอ
- การคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด
- ผู้วัด
- การระเหยของเอทานอล

5.1.2 จากโปรแกรมการคำนวณ

- การคำนวณของ Simpson's Rule

โปรแกรมคำนวณดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการกลั่นแบบกะต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้โปรแกรมสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพควรทำการปรับปรุงชุดปฏิบัติการหอกลั่นแบบกะ เช่น การใช้วาล์วที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นต้น และวิธีการทดลองควรเลือกวิธีการวัดและเครื่องมือวัดให้มีความละเอียดมากกว่านี้ เช่น การนำเครื่อง Gas Chromatography (GC) มาเชื่อมต่อกับชุดปฏิบัติการหอกลั่นโดยตรง เพื่อลดการระเหยของเอทานอลและมีความสามารถในการวัดที่ละเอียดมากขึ้น

ในส่วนของการคำนวณในตัวโปรแกรม อาจจะมีความคลาดเคลื่อนควรศึกษาวิธีการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟวิธีอื่นที่มีความเที่ยงตรงกว่าวิธีของ Simpson's Rule

โปรแกรมคำนวณดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการกลั่นแบบกะต่อไป เช่น สามารถนำไปคำนวณกับคู่สารอื่นได้ หากมีข้อมูลเพียงพอและตรงตามเงื่อนไขการใช้โปรแกรม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] I.M. Mujtaba. (2004). **Batch Distillation Design and Operation.** (3rd ed). London: Imperail College Press.

[2] สาธก ไชยกุลชื่นสกุล. (2552). **เทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับวิศวกรรมเคมี.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] Shigetoshi Kobuchi, Kenji ISHIGE. (2011). **Correlation of Vapor-Liquid Equilibrium Using Wilson Equation with Parameters Estimated from Solubility Parameters and Molar Volumes.** Master thesis, M.S., Yamaguchi University, Japan.

[4] J.M. Smith, H.C. Van Ness, and M.M.Abbott. (1996). **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. London:** McGraw-Hill.

[5] J.D. Seader, Ernest J. Henley, D.Keith Roper. (2010). **Separation Process Principle Chemical and Biochemical Operations.** (3rd ed). USA: John Wiley & Sons.

[6] Phillip C.Wankat. (1944). **Separation Process Engineering.** (2nd ed). US: Pearson Education.

[7] Bryan Barrass, D.R.Derrett. (2006). **Ship Stability for Masters and Mates,** (6th ed). Burlington: Elsevier.

[8] Robin M. Smith. (2005). **Chemical Process Design And Integration,** (2nd ed). Spain: McGraw Hill.

[9] วิทยากร อัศดรวิเศษ และคณะ. (2555). **การประยุกต์ใช้ MATLAB,** สำนักพิมพ์**แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**

ภาคผนวก ก

แสดงข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ ก.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและค่าคงที่ Antoine's ของสารบริสุทธิ์

Substance	v_{25}	v_b	δ_{25}	t_b	Constants of Antoine's equation		
					A	B	C
2-Methylbutane	116	118	14	27.852	5.9333	1029.6	38.856
Pentane	115	118	15	36.068	5.99028	1071.19	40.384
2-Methylpentane	132	141	14	60.271	5.99479	1152.21	44.579
3-Methylpentane	132	141	14	63.282	5.99139	1162.07	44.87
Hexane	131	141	15	68.74	6.01098	1176.1	48.251
Heptane	148	163	15	98.423	6.02701	1267.59	56.354
2,3-Dimethylpentane	148	163	14	89.783	5.98293	1240.4	51.056
Octane	164	185	16	125.67	6.04394	1351.94	64.03
2,2,4-Trimethylpentane	163	185	14	99.238	5.92751	1252.34	53.06
Cyclohexane	113	118	17	80.731	6.00569	1223.27	48.061
Benzene	90.4	96	19	80.09	6.01905	1204.64	53.081
Toluene	105	118	19	110.62	6.08436	1347.62	53.363
Diethyl ether	103	106	15	34.434	6.0492	1061.39	45.09
Methyl *t*-butyl ether	119	129	14	55.17	6.07034	1158.91	43.2
Ethyl *t*-butyl ether	135	152	15	72.71	6.07372	1206.87	49.19
t-Amyl methyl ether	135	152	15	86.24	6.06782	1256.26	50.1
Diisopropyl ether	136	152	15	68.339	5.97081	1137.41	54.634
Dibutyl ether	167	196	16	140.3	5.92274	1298.26	82.006
Acetone	74	77.6	19	56.067	6.25017	1214.21	43.148
Methyl ethyl ketone	93.9	96.2	18	79.583	6.18397	1258.94	51.425
Diethyl ketone	110	118	18	101.96	6.1457	1307.94	59.182
Methyl propyl ketone	110	118	18	102.26	6.13931	1309.63	58.585
Methyl isopropyl ketone	110	118	18	94.333	6.09024	1265.6	57.631
Methyl isobutyl ketone	126	141	18	116.18	5.81291	1176.83	80.225
Methanol	40.7	42.8	28	64.511	7.24693	1605.62	31.317
Ethanol	59.6	62.5	26	78.229	7.24222	1595.81	46.702
1-Propanol	75.7	81.4	24	97.153	6.87065	1438.59	74.598
2-Propanol	76	81.4	24	82.244	6.86634	1360.18	75.557
1-Butanol	91.8	104	23	117.73	6.54068	1335.03	96.496
2-Butanol	92.1	104	23	99.515	6.35079	1169.92	103.41
Water	18.1	18.8	48	100	7.06252	1650.27	46.804

ตารางที่ ก.2 แสดงค่า Interaction Parameters สำหรับ VLE ความดันที่ 1 บรรยากาศ

Binary system	Interaction parameters	
	ε_{12}	ε_{21}
hydrocarbon binary mixtures		
Hexane + Heptanec	0.0552	-0.0589
Heptane + Octaned	0.0618	-0.0595
Cyclohexane + Hexane	0.12	-0.0551
Cyclohexane + Heptane	0.135	-0.12
Cyclohexane + Octane	0.1486	-0.1669
Cyclohexane + Benzene	0.0272	0.0091
Cyclohexane + Toluene	0.0729	-0.0515
Cyclohexane + Ethylbenzene	0.1095	-0.0806
Cyclohexane + *p*-Xylene	0.11	-0.095
Hexane + Benzene	0.08	-0.0302
Hexane + Toluene	0.1147	-0.0915
Heptane + Benzene	0.0093	0.0418
Heptane + Toluene	0.0352	-0.0063
Heptane + Ethylbenzene	0.0696	-0.0611
Heptane + *p*-Xylene	0.035	-0.0079
Octane + Benzene	-0.1223	0.1329
Benzene + Toluene	0.0851	-0.0884
Ethylbenzene + *p*-Xylenee	0.0044	-0.0044
binary systems containing ethers		
Diethyl ether + 2-Methylbutane	0.0196	0.004
Diethyl ether + Pentane	0.0714	-0.0431
Methyl *t*-butyl ether + 2-Methylpentane	0.0895	-0.0723
Methyl *t*-butyl ether + 3-Methylpentane	0.0975	-0.083
Methyl *t*-butyl ether + 2,3-Dimethylpentane	0.1011	-0.0652
Methyl *t*-butyl ether + Octane	0.2302	-0.2619
Methyl *t*-butyl ether + 2,2,4-Trimethylpentane	0.2055	-0.2209
Methyl *t*-butyl ether + Methanol	0.1246	-0.0085
Ethyl *t*-butyl ether + 2-Methylpentane	0	0.0132

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่า Interaction Parameters สำหรับ VLE ความดันที่ 1 บรรยากาศ

Binary system	Interaction parameters	
	ε_{12}	ε_{21}
Ethyl *t*-butyl ether + Ethanol	0.1551	-0.0407
binary systems containing ketones		
Acetone + Hexane	0.2149	-0.0077
Acetone + Benzene	0.1704	-0.1399
Acetone + Dibutyl ether	0.2834	-0.2342
Acetone + Methanol	0.0863	-0.037
Acetone + Ethanol	0.1901	-0.1757
Methyl ethyl ketone + Heptane	0.1389	-0.0039
Methyl ethyl ketone + Cyclohexane	0.0338	0.0907
Methyl ethyl ketone + Benzene	0.0378	-0.0107
Methyl ethyl ketone + Toluene	0.0434	-0.0036
Methyl ethyl ketone + Ethanol	0.0783	-0.0239
Methyl ethyl ketone + 1-Propanol	0.1574	-0.1376
Methyl ethyl ketone + 2-Propanol	0.1264	-0.1008
Diethyl ketone + 2-Propanol	0.0521	-0.0179
Diethyl ketone + 1-Butanol	0.1315	-0.1156
Methyl propyl ketone + 2-Propanol	0.0478	-0.014
Methyl isopropyl ketone + Octane	0.1418	-0.0481
Methyl isopropyl ketone + Cyclohexane	0.0307	0.0683
Methyl isobutyl ketone + Cyclohexane	-0.0026	0.0905
Methyl Isobutyl ketone + 2-Propanol	0.022	0.0178
Methyl isobutyl ketone + 1-Butanol	0.0864	-0.0624
Methyl Isobutyl ketone + 2-Butanol	0.071	-0.0494
ethanol + hydrocarbon binary systems		
Ethanol + Hexane	0.0965	0.1923
Ethanol + Heptane	0.1707	0.1618
Ethanol + Octane	0.2268	0.0575
Ethanol + Cyclohexane	0.1068	0.1652
Ethanol + Benzene	0.0388	0.1329

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่า Interaction parameters สำหรับ VLE ความดันที่ 1 บรรยากาศ

Binary system	Interaction parameters	
	ε_{12}	ε_{21}
Ethanol + Toluene	0.0991	0.0752
binary systems containing water		
Water + Acetone	-0.0963	0.2711
Water + Methanol	-0.0959	0.1512
Water + Ethanol	0.064	0.0841
Water + 1-Propanol	0.1492	0.1442
Water + 2-Propanol	0.1207	0.1169

ตารางที่ ก.3 แสดงค่า Some structural parameter for UNIQUAC Equation

Component	r	q
Carbon tetrachloride	3.33	2.82
Chloroform	2.70	2.34
Formic acid	1.54	1.48
Methanol	1.43	1.43
Acetonitrile	1.87	1.72
Acetic acid	1.90	1.80
Nitroethane	2.68	2.41
Ethanol	2.11	1.97
Acetone	2.57	2.34
Ethyl acetate	3.48	3.12
Methyl ethyl ketone	3.25	2.88
Diethylamine	3.68	3.17
Benzene	3.19	2.40
Methylcyclopentane	3.97	3.01
Methyl isobutyl ketone	4.60	4.03
n-Hexane	4.50	3.86
Toluene	3.92	2.97
n-Heptane	5.17	4.40
n-Octane	5.85	4.94
Water	0.92	1.40

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าพลังงานภายใน

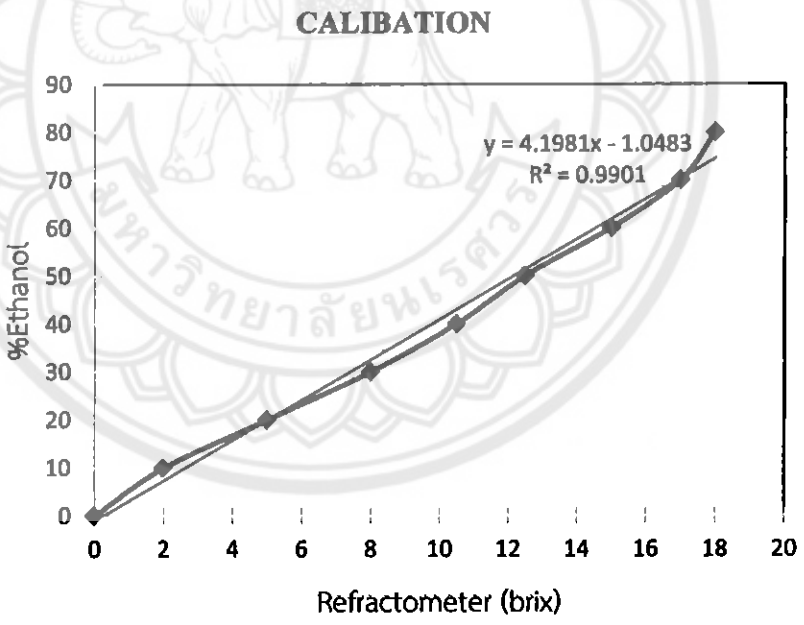
Binary system	u_{12}	u_{21}
Water-Methanol	4232.9	-1268.7
Water-Ethanol	3839.9	-1810.4
Water-Propanol	2389.8	-1018.8

ภาคผนวก ข

แสดงข้อมูลจากการทดลอง

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นเอทานอล (%V/V)	Refractometer (brix)
0	0
10	2
20	5
30	8
40	10.5
50	12.5
60	15
70	17
80	18



รูปที่ ข.1 แสดงกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองที่ 1

Time (min.)	Distillation (brix)	Bottom (brix)	x_D (%)	x_B (%)
10	18	8	74.52	32.54
20	18	7	74.52	28.34
30	17	7	70.32	28.34
40	17	6.5	70.32	26.24
50	17	6	70.32	24.14
60	17	5.5	70.32	22.04
70	17	4	70.32	15.74
80	17	3.5	70.32	13.65
90	17	3	70.32	11.55

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองที่ 2

Time (min.)	Distillation (brix)	Bottom (brix)	x_D (%)	x_B (%)
10	18	7	74.52	28.34
20	18	6	74.52	24.14
30	17	5	70.32	19.94
40	17	4.5	70.32	17.84
50	17	4	70.32	15.74
60	17	4	70.32	15.74
70	17	4	70.32	15.74
80	17	3.5	70.32	13.65
90	17	3	70.32	11.55

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองที่ 3

Time (min.)	Distillation (brix)	Bottom (brix)	x_D (%)	x_B (%)
10	17	6.5	70.32	26.24
20	17.5	6.5	72.42	26.24
30	18	7	74.52	28.34
40	17.5	4	72.42	15.74
50	17.5	2.5	72.42	9.45
60	17	2.5	70.32	9.45
70	17	2	70.32	7.35
80	17	2	70.32	7.35
90	17	2	70.32	7.35

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองที่ 4

Time (min.)	Distillation (brix)	Bottom (brix)	x_D (%)	x_B (%)
10	18	9	74.52	36.73
20	18	8	74.52	32.54
30	17	7	70.32	28.34
40	17	6	70.32	24.14
50	17	6	70.32	24.14
60	17	5.5	70.32	22.04
70	17	5	70.32	19.94
80	17	5	70.32	19.94
90	17	4	70.32	15.74

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองที่ 5

Time (min.)	Distillation (brix)	Bottom (brix)	x_D (%)	x_B (%)
10	18	11	74.52	45.13
20	17	10	70.32	40.93
30	17	8	70.32	32.54
40	17	7	70.32	28.34
50	17	6.5	70.32	26.24
60	17	5.5	70.32	22.04
70	17	5	70.32	19.94
80	17	4	70.32	15.74
90	17	4	70.32	15.74

ภาคผนวก ค

แสดงโค้ดของโปรแกรม

```
function varargout = ProgramBatchDistillation(varargin)
% PROGRAMBATCHDISTILLATION MATLAB code for
ProgramBatchDistillation.fig
%      PROGRAMBATCHDISTILLATION, by itself, creates a new
PROGRAMBATCHDISTILLATION or raises the existing
%      singleton*.
%
%      H = PROGRAMBATCHDISTILLATION returns the handle to a new
PROGRAMBATCHDISTILLATION or the handle to
%      the existing singleton*.
%
%
PROGRAMBATCHDISTILLATION('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%      function named CALLBACK in PROGRAMBATCHDISTILLATION.M with the
given input arguments.
%
%      PROGRAMBATCHDISTILLATION('Property','Value',...) creates a new
PROGRAMBATCHDISTILLATION or raises the
%      existing singleton*.  Starting from the left, property value
pairs are
%      applied to the GUI before ProgramBatchDistillation_OpeningFcn
gets called.  An
%      unrecognized property name or invalid value makes property
application
%      stop.  All inputs are passed to
ProgramBatchDistillation_OpeningFcn via varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows
only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help
ProgramBatchDistillation
% Last Modified by GUIDE v2.5 27-Feb-2013 21:35:13
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn',
@ProgramBatchDistillation_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',
@ProgramBatchDistillation_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT


% --- Executes just before ProgramBatchDistillation is made visible.
function ProgramBatchDistillation_OpeningFcn(hObject, eventdata,
```

```
handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to ProgramBatchDistillation (see
VARARGIN)
% Choose default command line output for ProgramBatchDistillation
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% UIWAIT makes ProgramBatchDistillation wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = ProgramBatchDistillation_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu1
contents as cell array
%        contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from
popupmenu1
z=get(handles.popupmenu1,'value');
    if(z==3);
        handles.A=[7.24693,7.06252];
        handles.B=[1605.615,1650.270];
        handles.C=[31.317,46.804];
        handles.u=[4232.9,-1264.7];
        handles.q=[1.43,1.4];
        handles.r=[1.43,0.92];
        set(handles.text3,'string','Methanol');
        set(handles.text4,'string','Water');
    elseif(z==4);
        handles.A=[7.24222,7.06252];
        handles.B=[1595.811,1650.270];
        handles.C=[46.702,46.804];
        handles.u=[3829.9,-1810.4];
        handles.q=[1.97,1.4];
        handles.r=[2.11,0.92];
        set(handles.text3,'string','Ethanol');
        set(handles.text4,'string','Water');
    elseif(z==6)
        handles.A=[6.01098,6.02701];
        handles.B=[1176.102,1267.592];
        handles.C=[48.251,56.354];
        handles.v25=[131.4,147.5]
        handles.vb=[140.6,162.8]
        handles.s25=[14.9,15.2]
        handles.e=[0.0552,-0.0589]
        set(handles.text3,'string','Hexane');
```

```
        set(handles.text4,'string','Heptane');
    elseif(z==7)
        handles.A=[6.02701,6.04394]
        handles.B=[1267.592,1351.938]
        handles.C=[56.354,64.030]
        handles.v25=[147.5,163.6]
        handles.vb=[162.8,185.0]
        handles.s25=[15.2,15.5]
        handles.e=[0.0618,-0.0595]
        set(handles.text3,'string','Heptane');
        set(handles.text4,'string','Octane');
    elseif(z==8)
        handles.A=[6.00569,6.04394]
        handles.B=[1223.273,1351.938]
        handles.C=[48.061,64.030]
        handles.v25=[112.6,163.6];
        handles.vb=[118.2,185.0];
        handles.s25=[16.5,15.5];
        handles.e=[0.1486,-0.1669];
        set(handles.text3,'string','Cyclohexane');
        set(handles.text4,'string','Octane');
    elseif(z==9)
        handles.A=[6.00569,6.08436]
        handles.B=[1223.273,1347.620]
        handles.C=[48.061,53.363]
        handles.v25=[112.6,104.9];
        handles.vb=[118.2,118.2];
        handles.s25=[16.5,18.7];
        handles.e=[0.0729,-0.0515];
        set(handles.text3,'string','Cyclohexane');
        set(handles.text4,'string','Toluene');
    elseif(z==10)
        handles.A=[6.01098,6.01905]
        handles.B=[1176.102,1204.637]
        handles.C=[48.251,53.081]
        handles.v25=[131.4,90.4];
        handles.vb=[140.6,96.0];
        handles.s25=[14.9,18.8];
        handles.e=[0.0800,-0.0302];
        set(handles.text3,'string','Hexane');
        set(handles.text4,'string','Benzene');
    elseif(z==11)
        handles.A=[6.01098,6.08436]
        handles.B=[1176.102,1347.620]
        handles.C=[48.251,53.363]
        handles.v25=[131.4,104.9];
        handles.vb=[140.6,118.2];
        handles.s25=[14.9,18.7];
        handles.e=[0.1147,-0.0915];
        set(handles.text3,'string','Hexane');
        set(handles.text4,'string','Toluene');
    elseif(z==12)
        handles.A=[6.01905,6.02701]
        handles.B=[1204.637,1267.592]
        handles.C=[53.081,56.354]
        handles.v25=[90.4,131.4];
        handles.vb=[96.0,140.6];
        handles.s25=[18.8,14.9];
        handles.e=[0.0418,0.0093];
        set(handles.text3,'string','Benzene');
        set(handles.text4,'string','Heptane');
```

```
    elseif(z==13)
        handles.A=[6.02701,6.08436]
        handles.B=[1267.592,1347.620]
        handles.C=[56.354,53.363]
        handles.v25=[131.4,104.9];
        handles.vb=[140.6,118.2];
        handles.s25=[14.9,18.7];
        handles.e=[0.0352,-0.0063];
        set(handles.text3,'string','Heptane');
        set(handles.text4,'string','Toluene');
    elseif(z==14)
        handles.A=[6.01905,6.04394]
        handles.B=[1204.637,1351.938]
        handles.C=[53.081,64.030]
        handles.v25=[90.4,163.6];
        handles.vb=[96.0,185.0];
        handles.s25=[18.8,15.5];
        handles.e=[0.1329,-0.1223];
        set(handles.text3,'string','Benzene');
        set(handles.text4,'string','Octane');
    elseif(z==15)
        handles.A=[6.01905,6.08436]
        handles.B=[1204.637,1347.620]
        handles.C=[53.081,53.363]
        handles.v25=[90.4,104.9];
        handles.vb=[96.0,118.2];
        handles.s25=[18.8,18.7];
        handles.e=[0.0851,-0.0884];
        set(handles.text3,'string','Benzene');
        set(handles.text4,'string','Toluene');
    elseif(z==17)
        handles.A=[6.25017,6.01098]
        handles.B=[1214.208,1176.102]
        handles.C=[43.148,48.251]
        handles.v25=[74.0,131.4];
        handles.vb=[77.6,140.6];
        handles.s25=[18.6,14.9];
        handles.e=[0.2149,-0.0077];
        set(handles.text3,'string','Acetone');
        set(handles.text4,'string','Hexane');
    elseif(z==18)
        handles.A=[6.25017,6.01905]
        handles.B=[1214.208,1204.637]
        handles.C=[43.148,53.081]
        handles.v25=[74.0,90.4];
        handles.vb=[77.6,96.0];
        handles.s25=[18.6,18.8];
        handles.e=[0.1704,-0.1399];
        set(handles.text3,'string','Acetone');
        set(handles.text4,'string','Benzene');
    elseif(z==19)
        handles.A=[6.25017,5.92274]
        handles.B=[1214.208,1298.256]
        handles.C=[43.148,82.006]
        handles.v25=[74.0,167.4];
        handles.vb=[77.6,196.0];
        handles.s25=[18.6,15.9];
        handles.e=[0.2834,-0.2342];
        set(handles.text3,'string','Acetone');
        set(handles.text4,'string','Dibutyl ether');
    elseif(z==20)
```

```
        handles.A=[6.25017,7.24693]
        handles.B=[1214.208,1605.615]
        handles.C=[43.148,31.317]
        handles.v25=[74.0,40.7];
        handles.vb=[77.6,42.8];
        handles.s25=[18.6,28.2];
        handles.e=[0.0863,-0.0370];
        set(handles.text3,'string','Acetone');
        set(handles.text4,'string','Methanol');
    elseif(z==21)
        handles.A=[6.25017,7.24222]
        handles.B=[1214.208,1595.811]
        handles.C=[43.148,46.702]
        handles.v25=[74.0,59.6];
        handles.vb=[77.6,62.5];
        handles.s25=[18.6,25.7];
        handles.e=[0.1901,-0.1757];
        set(handles.text3,'string','Acetone');
        set(handles.text4,'string','Ethanol');
    elseif(z==23)
        handles.A=[7.24222,6.02701]
        handles.B=[1595.811,1267.592]
        handles.C=[46.702,56.354]
        handles.v25=[59.6,147.5];
        handles.vb=[62.5,162.8];
        handles.s25=[25.7,15.2];
        handles.e=[0.1707,0.1618];
        set(handles.text3,'string','Ethanol');
        set(handles.text4,'string','Heptane');
    elseif(z==24)
        handles.A=[7.24222,6.04394]
        handles.B=[1595.811,1351.938]
        handles.C=[46.702,64.030]
        handles.v25=[59.6,163.6];
        handles.vb=[62.5,185.0];
        handles.s25=[25.7,15.5];
        handles.e=[0.2268,0.0575];
        set(handles.text3,'string','Ethanol');
        set(handles.text4,'string','Octane');
    elseif(z==25)
        handles.A=[7.24222,6.01905]
        handles.B=[1595.811,1204.637]
        handles.C=[46.702,53.081]
        handles.v25=[59.6,90.4];
        handles.vb=[62.5,96.0];
        handles.s25=[25.7,18.8];
        handles.e=[0.0388,0.1329];
        set(handles.text3,'string','Ethanol');
        set(handles.text4,'string','Benzene');
    elseif(z==26)
        handles.A=[7.24222,6.08436]
        handles.B=[1595.811,1347.620]
        handles.C=[46.702,53.363]
        handles.v25=[59.6,104.9];
        handles.vb=[62.5,118.2];
        handles.s25=[25.7,18.7];
        handles.e=[0.0991,0.0752];
        set(handles.text3,'string','Ethanol');
        set(handles.text4,'string','Toluene');
    else
    end
```

```
 %คำนวณหา tb (boiling point,oC) ของสารทั้งสองชนิดที่ความดันบรรยากาศ
    for i=1:length(handles.A)
        handles.tb(i)=((handles.B(i)/(handles.A(i)-
log10(101.325)))+handles.C(i))-273.15
    end
    set(handles.text5,'string',handles.A(1));
    set(handles.text6,'string',handles.A(2));
    set(handles.text7,'string',handles.B(1));
    set(handles.text8,'string',handles.B(2));
    set(handles.text9,'string',handles.C(1));
    set(handles.text10,'string',handles.C(2));
    set(handles.text11,'string',handles.tb(1));
    set(handles.text12,'string',handles.tb(2));
guidata(hObject,handles);




% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
% Hint: popupmenu controls usually have a white background on
Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1
as a double
T=str2num(get(handles.edit1,'string'));
handles.T=T;
guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
tb=handles.tb
T=handles.T
if(T<tb(1))
    set(handles.text39,'string','Temperature Error And Enter agian')

elseif(T>tb(2))
    set(handles.text39,'string','Temperature Error And Enter agian')

else
    set(handles.text39,'string','Temperature OK')
    A=handles.A
    B=handles.B
    C=handles.C
    T=handles.T
    R=8.314;
    x1=[0:0.01:1];
    x2=[1:-0.01:0];
    %คำนวณหา Psat(kPa) ของสารละลายทั้งสองชนิด
    for i=1:length(A)
        Psat(i)=10^(A(i)-(B(i)/((T+273)-C(i))))
        handles.Psat=Psat
    end

    %คำนวณหา activity coefficient (A1,A2)
    z=get(handles.popupmenu1,'value');
    if(z<5)
        %------------Universal Quasi Chemical (UNIQUAC) model----
        u=handles.u
        q=handles.q
        r=handles.r
        %คำนวณหาค่า l1,l2
        for i=1:length(r)
            l(i)=(5*(r(i)-q(i)))-(r(i)-1)
            handles.l=l
        end
        %คำนวณหาค่า f1,f2
        for i=1:length(x1)
            f1(i)=(x1(i)*r(1))/((x1(i)*r(1))+(x2(i)*r(2)));
        end
        for i=1:length(x1)
            f2(i)=(x2(i)*r(2))/((x1(i)*r(1))+(x2(i)*r(2)));
        end
        %คำนวณหาค่า z1,z2
        for i=1:length(x1)
            z1(i)=(x1(i)*q(1))/((x1(i)*q(1))+(x2(i)*q(2)));
        end
        for i=1:length(x1)
            z2(i)=(x2(i)*q(2))/((x1(i)*q(1))+(x2(i)*q(2)));
        end
        %คำนวณหาค่า t1,t2
        for i=1:length(u)
            t(i)=exp(-(u(i)/(R*(T+273.15))));
            handles.t=t
        end
        %คำนวณหา activity coefficient (A1,A2)
        for i=1:length(x1)
```

```
A1(i)=exp((log(f1(i)/x1(i)))+(5*q(1)*log(z1(i)/f1(i)))+(f2(i)*(l(1)-
((r(1)/r(2))*l(2))))-
(q(1)*log(z1(i)+(z2(i)*t(2))))+(z2(i)*q(1)*((t(2)/(z1(i)+(z2(i)*t(2))
))-(t(1)/(z2(i)+(z1(i)*t(1)))))));
        end
        for i=1:length(x2)

A2(i)=exp((log(f2(i)/x2(i)))+(5*q(2)*log(z2(i)/f2(i)))+(f1(i)*(l(2)-
((r(2)/r(1))*l(1))))-(q(2)*log(z2(i)+(z1(i)*t(1))))+(z1(i)*q(2)*(-
(t(2)/(z1(i)+(z2(i)*t(2))))+(t(1)/(z2(i)+(z1(i)*t(1)))))));
        end
        %คำนวณหา Ptotal
        for i=1:length(x1)
            Ptotal(i)=(A1(i)*x1(i)*Psat(1))+(A2(i)*x2(i)*Psat(2));
        end
        %คำนวณหา y1
        for i=1:length(x1)
            y1(i)=(A1(i)*x1(i)*Psat(1))/Ptotal(i);
            handles.y1=y1
        end

    elseif(z>5)
        %------------------------Wilson model--------------------------
        tb=handles.tb
        v25=handles.v25
        vb=handles.vb
        s25=handles.s25
        e=handles.e
        %คำนวณหา Beta
        for i=1:length(v25)
            Beta(i)=(vb(i)-v25(i))/(tb(i)-25);
        end
        %คำนวณหา molar volume,v(i) ของสารทั้งสองที่อุณหภูมิที่ใช้กลั่น
        for i=1:length(v25)
            v(i)=v25(i)+(Beta(i)*(T-25));
        end
        %คำนวณหา solubility parameter,s ของสารทั้งสองที่อุณหภูมิที่ใช้กลั่น
        for i=1:length(v25)
            s(i)=(v25(i)/v(i))*s25(i);
        end
        %คำนวณหา Interaction energy,i ของสารทั้งสองที่อุณหภูมิที่ใช้กลั่น
        for i=1:length(v)
            i1(i)=-(v(i)*(s(i)^2));
        end
        for i=1:length(e)
            i2(i)=-((1-e(i))*((v(1)*v(2))^0.5)*s(1)*s(2));
        end
        %คำนวณหา A12,A21
            A12=(v(2)/v(1))*exp(-((i2(1)-i1(1))/(R*(T+273.15))))
            A21=(v(1)/v(2))*exp(-((i2(2)-i1(2))/(R*(T+273.15))))
            handles.A12=A12
            handles.A21=A21
        %คำนวณหา activity coefficient (A1,A2)
        for i=1:length(x1)
            A1(i)=exp((x2(i)*((A12/(x1(i)+(A12*x2(i))))-
(A21/((A21*x1(i))+x2(i)))))-log(x1(i)+(A12*x2(i))));
            A2(i)=exp((x1(i)*((A12/(x1(i)+(A12*x2(i))))-
(A21/((A21*x1(i))+x2(i)))))-log(x2(i)+(A21*x1(i))));
```

```
        end
        %คำนวณหา Ptotal
        for i=1:length(x1)
            Ptotal(i)=(A1(i)*x1(i)*Psat(1))+(A2(i)*x2(i)*Psat(2));
        end
        %คำนวณหา y1
        for i=1:length(x1)
            y1(i)=(A1(i)*x1(i)*Psat(1))/Ptotal(i);
            handles.y1=y1
        end

    else
    end
    plot(x1,x1,'-b',x1,y1,'-r')

end
guidata(hObject, handles);

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2
as a double
WF=str2num(get(handles.edit2,'string'))
handles.WF=WF
guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3
as a double
Re=str2num(get(handles.edit3,'string'))
handles.Re=Re
guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5
as a double
xB=str2num(get(handles.edit4,'string'))
handles.xB=xB
guidata(hObject, handles);


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5
as a double
xBf=str2num(get(handles.edit5,'string'))
handles.xBf=xBf
guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
Psat=handles.Psat
y1=handles.y1
T=handles.T
WF=handles.WF
Re=handles.Re
xB=handles.xB
xBf=handles.xBf
xBa=(xB+xBf)/2
xB=[xB xBf xBa]
R=8.314;
x1=[0:0.01:1];
x2=[1:-0.01:0];

z=get(handles.popupmenu1,'value');
if(z<5)
    %------------Universal Quasi Chemical (UNIQUAC) model----
    r=handles.r
    q=handles.q
    l=handles.l
    t=handles.t
    %-----------การคำนวณหา xD=xD(1) ; xDf=xD(2) ; xDa=xD(3)------------
    for i=1:length(xB)
        f1xB=(xB(i)*r(1))/((xB(i)*r(1))+((1-xB(i))*r(2)));
        f2xB=((1-xB(i))*r(2))/((xB(i)*r(1))+((1-xB(i))*r(2)));
        z1xB=(xB(i)*q(1))/((xB(i)*q(1))+((1-xB(i))*q(2)));
        z2xB=((1-xB(i))*q(2))/((xB(i)*q(1))+((1-xB(i))*q(2)));

A1xB=exp((log(f1xB/xB(i)))+(5*q(1)*log(z1xB/f1xB))+(f2xB*(l(1)-
((r(1)/r(2))*l(2))))-
(q(1)*log(z1xB+(z2xB*t(2))))+(z2xB*q(1)*((t(2)/(z1xB+(z2xB*t(2))))-
(t(1)/(z2xB+(z1xB*t(1)))))));
        A2xB=exp((log(f2xB/(1-
xB(i))))+(5*q(2)*log(z2xB/f2xB))+(f1xB*(l(2)-((r(2)/r(1))*l(1))))-
(q(2)*log(z2xB+(z1xB*t(1))))+(z1xB*q(2)*(-
(t(2)/(z1xB+(z2xB*t(2))))+(t(1)/(z2xB+(z1xB*t(1)))))));
        PtotalxB=(A1xB*xB(i)*Psat(1))+(A2xB*(1-xB(i))*Psat(2));
        yB=(A1xB*xB(i)*Psat(1))/PtotalxB
        xD(i)=(yB-((Re*xB(i))/(Re+1)))*(Re+1)
    end
    %----------------------หาค่าarea Wfinal D xDavg--------------------
    area=((xB(1)-xB(2))/6)*((1/(xD(2)-xB(2)))+(4/(xD(3)-
xB(3)))+(1/(xD(1)-xB(1))))
    Wfinal=WF*exp(-area)
    D=WF-Wfinal
    xDavg=((WF*xB(1))-(Wfinal*xB(2)))/D
    for i=1:length(x1)
        yi(i)=((Re*x1(i))/(Re+1))+(xD(1)/(Re+1));
        yii(i)=((Re*x1(i))/(Re+1))+(xD(2)/(Re+1));
    end

elseif(z>5)
    %----------------------Wilson model-------------------------------
    A12=handles.A12
    A21=handles.A21
    %-----------การคำนวณหา xD=xD(1) ; xDf=xD(2) ; xDa=xD(3)------------
    for i=1:length(xB)
        A1xB=exp(((1-xB(i))*((A12/(xB(i)+(A12*(1-xB(i))))))-
(A21/((A21*xB(i))+(1-xB(i))))))-log(xB(i)+(A12*(1-xB(i)))));
        A2xB=exp((xB(i)*((A12/(xB(i)+(A12*(1-xB(i))))))-
```

```
(A21/((A21*xB(i))+(1-xB(i))))))-log((1-xB(i))+(A21*xB(i))));
        PtotalxB=(A1xB*xB(i)*Psat(1))+(A2xB*(1-xB(i))*Psat(2));
        yB=(A1xB*xB(i)*Psat(1))/PtotalxB;
        xD(i)=(yB-((Re*xB(i))/(Re+1)))*(Re+1)
    end
    %----------------------หาค่าarea Wfinal D xDavg--------------------
    area=((xB(1)-xB(2))/6)*((1/(xD(2)-xB(2)))+(4/(xD(3)-
xB(3)))+(1/(xD(1)-xB(1))))
    Wfinal=WF*exp(-area)
    D=WF-Wfinal
    xDavg=((WF*xB(1))-(Wfinal*xB(2)))/D
    for i=1:length(x1)
        yi(i)=((Re*x1(i))/(Re+1))+(xD(1)/(Re+1));
        yii(i)=((Re*x1(i))/(Re+1))+(xD(2)/(Re+1));
    end
else
end
plot(x1,x1,'-b',x1,y1,'-r',x1,yi,':m',x1,yii,':m')
set(handles.text29,'string',Wfinal);
set(handles.text30,'string',D);
set(handles.text31,'string',xDavg);

% --- Executes on mouse press over figure background.
function figure1_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% --- Executes on key press with focus on popupmenu1 and none of its
controls.
function popupmenu1_KeyPressFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see UICONTROL)
%   Key: name of the key that was pressed, in lower case
%   Character: character interpretation of the key(s) that was
pressed
%   Modifier: name(s) of the modifier key(s) (i.e., control, shift)
pressed
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```