



ศึกษาวิเคราะห์ความไวการกลั่นสกัดแบบแบตช์  
สำหรับการแยกอะซิโตนกับเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์  
STUDY OF SENSITIVITY ANALYSIS FOR BATCH EXTRACTIVE  
DISTILLATION TO SEPARATE ACETONE-METHANOL BY USING WATER  
AS ENTRAINER

นายกฤตวัฒน์ เวชสุภากุล รหัสนิสิต 58365903  
นายอนันตชัย กาทา รหัสนิสิต 58366603

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2561



ชื่อหัวข้อโครงการงาน	ศึกษาวิเคราะห์ความไวการกลั่นสกัดแบบแบตซ์สำหรับการแยกอะซิโตนกับเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายกฤตวัฒน์ เวชสุภากุล รหัส 58365903 นายอนันตชัย กาทา รหัส 58366603
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ดร.วีรวรรณ วีรชัยพิเชษฐ์กุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2561

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์หัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์ ดังต่อไปนี้ อัตราการป้อนกลับ พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ อุณหภูมิของเอนเทรเนอร์ นอกจากนี้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์ของอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์

จากการศึกษาสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาอธิบายพฤติกรรมของกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์ของอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์จากผลการจำลองกระบวนการจะแสดงให้เห็นว่า พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ อัตราการป้อนกลับ อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ส่งผลต่อสัดส่วนของอะซิโตน นอกจากนี้พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ยังส่งผลต่อความเร็วในการกลั่นสกัดแบบแบตซ์ ดังนั้นการหาสภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบแบตซ์เพื่อให้ได้สัดส่วนโมลของอะซิโตนที่มากกว่า 0.94 และปริมาณมากขึ้นของผลิตภัณฑ์ที่ 0.01 กิโลโมล โดยใช้ระยะเวลาที่น้อยลงที่ 110 นาที นอกจากนี้ระบบจะใช้พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ลดลงที่ 1,450 จิกะวัตต์ชั่วโมง

<b>Project Title</b>	Study Of Sensitivity Analysis For Batch Extractive Distillation To Separate Acetone-Methanol By Using Water AS Entrainer
<b>Author</b>	Kittawat Wejsupakul ID 58365903 Anantachai Kaha ID 58366603
<b>Project Advisor</b>	Dr. Weerawan Weerachaipichasgul
<b>Major</b>	Chemical engineering
<b>Department</b>	Industrial engineering
<b>Academic Paper</b>	Undergraduate Thesis B.Eng. (Chemical Engineering Faculty of Engineering, Naresuan University)

---

### Abstract

This dissertation has studied the behavior of batch extractive distillation using a mathematical model based on MATLAB program to analyze the effect of process variables as reflux ratio, reboiler heat duty, entrainer feed flow rate, entrainer temperature, and entrainer feed tray. Moreover, the optimal condition of the batch extractive distillation of acetone and methanol by using water as entrainer has been studied.

From the study, the mathematical model can be used to describe the behavior of batch extractive distillation of acetone and methanol by using water as entrainer. The results of simulation process show reflux ratio, reboiler heat duty, entrainer feed flow rate, entrainer temperature, and entrainer feed tray that influence to the composition of acetone. Moreover, reboiler heat duty affects batch time to operate. The optimal operation condition of the batch extractive distillation can give the higher composition of acetone at 0.94 and the larger amount of product at 0.01 kmol with minimum bath time at 110 minutes. Furthermore, the reboiler heat duty all the process can be reduced to be 1,450 GW-hr.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย รวมถึงภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และความสะดวกในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ ดร.วีรวรรณ วีรชัยพิเชษฐ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา รวมถึงความคิดเห็นต่างๆ ในด้านการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยด้วยดีมาตลอด รวมถึงความเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงการวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การดูแล อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดจนการดำเนินโครงการจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายกฤตวัฒน์ เวชสุภากุล

นายอนันตชัย กาทา

เมษายน 2562

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3. ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4. สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	2
1.5. ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6. ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. การกลั่นอะซิโโทรป.....	4
2.2. การกลั่นสลับความดัน.....	5
2.3. กระบวนการเพอแวกพอเรชัน.....	6
2.4. การกลั่นสกัด.....	8
2.5. สมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการ.....	9
2.5.1. สมดุลระหว่างสถานะของเหลวและไอ.....	9
2.5.2. สมการรูปแบบทั่วไปของเอนทัลปี.....	11
2.5.3. สมบัติของสารและความเป็นพิษต่อร่างกาย.....	13
2.6. การเลือกเอนเทรเนอร์.....	15
2.7. แบบจำลองสำหรับการกลั่นสกัดแบบแบตช์.....	16
2.7.1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณ.....	17
2.8. MATLAB.....	22
2.9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	25
3.1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแยกสารผสมที่เป็นอะซิโโทรป.....	26
3.2. ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์.....	26

3.3. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์ .....	26
3.4. ศึกษาโปรแกรม MATLAB ที่ใช้จำลองกระบวนการ .....	26
3.5. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์ .....	28
3.6. สรุปและวิเคราะห์ผล .....	28
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย .....	29
4.1. ศึกษาแผนที่เส้นโค้งรีซิวิตอล .....	29
4.2. เปรียบเทียบแบบจำลองการกลั่นสกัดแบบแบตช์ .....	30
4.3. วิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นแบบแบตช์ .....	32
4.3.1 อัตราการป้อนกลับ (Reflux Ratio, Rf) .....	32
4.3.1.1 ปรับค่าอัตราการป้อนกลับ ขั้นตอนที่ 3 ของ Acetone .....	32
4.3.1.2 ปรับค่าอัตราการป้อนกลับ ขั้นตอนที่ 4 ของ Acetone และ Methanol ...	33
4.3.2 พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, Qr) .....	34
4.3.2.1 ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ที่ ขั้นตอนที่ 1 ของ Acetone .....	34
4.3.2.2 ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ที่ ขั้นตอนที่ 2 ของ Acetone .....	35
4.3.2.3 ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ที่ ขั้นตอนที่ 3 ของ Acetone .....	36
4.3.2.4 ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ที่ ขั้นตอนที่ 4 ของ Acetone .....	37
4.3.3 อัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Feed Flow Rate) (kmol/hr) .....	38
4.3.4 อุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Temperature) .....	40
4.3.5 ชั้นป้อนเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Feed Tray) .....	41
4.4. สภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบแบตช์ .....	43
4.4.1 แบบจำลองที่เหมาะสมต่อกระบวนการกลั่นสกัด .....	51
บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	52
5.1. สรุปงานวิจัย .....	52
5.1.1 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ .....	52
5.1.2 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกลั่นสกัดแบบแบตช์ .....	53
5.1. ข้อเสนอแนะ .....	53
เอกสารอ้างอิง .....	54
ภาคผนวก ก .....	56
ภาคผนวก ข .....	73

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การกลั่นอะซิโโทรป (โดยใช้ Decanter).....	5
รูปที่ 2.2 การกลั่นแบบสลัความดันแบบจุดเดือดต่ำที่สุด .....	6
รูปที่ 2.3 กระบวนการเพอแวปพอเรชันแบบสุญญากาศ .....	7
รูปที่ 2.4 กระบวนการเพอแวปพอเรชันแบบแก๊สตัวพา .....	7
รูปที่ 2.5 การกลั่นสกัด.....	8
รูปที่ 2.6 การกลั่นสกัดแบบแบตช์.....	16
รูปที่ 2.7 ขอบเขตของการดูลมวลที่ถึงสะสม .....	17
รูปที่ 2.8 ขอบเขตของการดูลมวลที่คอนเดนเซอร์และถังเก็บชั่วคราว .....	18
รูปที่ 2.9 ขอบเขตของการดูลมวลที่ขึ้นภายในหอกลั่น ( $J=2$ ถึง $N-1$ ).....	19
รูปที่ 2.10 ขอบเขตของการดูลมวลที่ขึ้นภายในหอกลั่นที่ใส่เอนทรเนอร์ .....	20
รูปที่ 2.11 ขอบเขตของการดูลมวลที่รีบอยเลอร์ .....	21
รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงาน.....	25
รูปที่ 3.2 แผนภาพการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ .....	27
รูปที่ 4.1 เส้นโค้งรีชีตวลของอะซิโตน-เมทานอล-น้ำ .....	29
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตน-เมทานอลและน้ำ ของผลการทดลอง .....	30
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตน-เมทานอลและน้ำ ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ...	30
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอัตรากาป้อนกลับ ในขั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง.....	32
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอัตรากาป้อนกลับ ในขั้นตอนที่ 4 ของแบบจำลอง.....	33
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของเมทานอลในการปรับเปลี่ยนอัตรากาป้อนกลับ ในขั้นตอนที่ 4 ของแบบจำลอง.....	33
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ ใน ขั้นตอนที่ 1 ของแบบจำลอง.....	34
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ ใน ขั้นตอนที่ 2 ของแบบจำลอง.....	35
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ ใน ขั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง.....	36
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิบนยอดหอกลั่นในขั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง.....	36



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ ใน ชั้นตอนที่ 4 ของแบบจำลอง .....	37
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของเมทานอลในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ใน ชั้นตอนที่ 4 ของแบบจำลอง .....	37
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อน เอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 2 และชั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง .....	38
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อน เอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 2 .....	39
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อน เอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 3 .....	39
รูปที่ 4.16 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสาร เอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 2 และ ชั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง .....	40
รูปที่ 4.17 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสาร เอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 2 ของแบบจำลอง .....	41
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสาร เอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง .....	41
รูปที่ 4.19 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 2 และ ชั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง .....	42
รูปที่ 4.20 อุณหภูมิของชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 2 และชั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง .....	42
รูปที่ 4.21 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตน-เมทานอลและน้ำ ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดย ใช้สภาวะที่เหมาะสม .....	51

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ของ Antoine .....	9
ตารางที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ใน NRTL equation สำหรับ อะซิโตน-เมทานอล-น้ำ.....	11
ตารางที่ 2.3 ค่าพารามิเตอร์ สำหรับ อะซิโตน-เมทานอล-น้ำ .....	12
ตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์ สำหรับ อะซิโตน-เมทานอล-น้ำ .....	13
ตารางที่ 2.5 ค่าคุณสมบัติของเมทานอล.....	13
ตารางที่ 2.6 ค่าคุณสมบัติของอะซิโตน .....	14
ตารางที่ 2.7 ค่าคุณสมบัติของน้ำ.....	15
ตารางที่ 4.1 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับอัตราการป้อนกลับ.....	43
ตารางที่ 4.2 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2.....	44
ตารางที่ 4.3 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ในขั้นตอนที่ 3 และ ขั้นตอนที่ 4.....	45
ตารางที่ 4.4 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ในขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 3 .....	46
ตารางที่ 4.5 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ในขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 3 .....	47
ตารางที่ 4.6 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ในขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 3 .....	48
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมของกลั่นสกัดแบบแบตช์ของแบบจำลอง และการทดลอง .....	50

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

กระบวนการกลั่นถือว่าเป็นกระบวนการแยกสารผสมที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคมีเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สามารถแบ่งการกลั่นได้เป็น การกลั่นแบบต่อเนื่อง (Continuous Distillation) และการกลั่นแบบเป็นแบตช์ (Batch Distillation)

ปัญหาหรือข้อจำกัดที่พบในกระบวนการกลั่นพบว่าไม่สามารถกลั่นแยกสารผสมประเภทอะซีโอโทรป (Azeotropic Mixture) ให้บริสุทธิ์ได้ เพราะสารผสมประเภทอะซีโอโทรปมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวใกล้เคียงเสมือนเป็นสารบริสุทธิ์ที่สัดส่วนของสารผสมและที่ความดันค่าหนึ่งที่เหมาะสม เรียกจุดนั้นว่า จุดอะซีโอโทรป (Azeotrope) (ซินิตพล, 2553) จึงได้มีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวซึ่งมีอยู่หลายวิธี เช่น การกลั่นสกัด (Extractive Distillation) การกลั่นอะซีโอโทรป (Azeotropic Distillation) การกลั่นแบบสลับความดัน (Pressure Swing Distillation) กระบวนการเพอแวกพอเรชัน (Pervaporation Process) เป็นต้น พบว่าวิธีการกลั่นสกัดได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเคมีมากกว่าเนื่องจากใช้พลังงานน้อยและไม่มีความซับซ้อนของกระบวนการอีกทั้งสารที่ใช้เป็นตัวเอนเทรเนอร์มีให้เลือกใช้ได้หลากหลายมากกว่าการกลั่นแบบอะซีโอโทรป (เลอสรวง เมฆสุด, 2551) ซึ่งการกลั่นสกัดแบบแบตช์ (Batch Extractive Distillation) นั้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกลั่นแบบต่อเนื่องแล้วพบว่ามีความสะดวกในการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นได้ง่ายและใช้หอกลั่นเพียงหอเดียวในการกลั่นซึ่งเหมาะกับในโลกปัจจุบันที่ต้องการกระบวนการที่สามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตได้หลากหลายเพื่อรองรับต่อความต้องการของตลาด

อะซีโตนและเมทานอลนิยมใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการผลิตพลาสติก และเครื่องสำอางค์ ทั้งยังใช้เป็นตัวทำละลายในห้องทดลอง ซึ่งพบว่าตัวทำละลายสารผสมอะซีโตนและเมทานอลเมื่อใช้งานแล้วจะถูกปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดเนื่องจากไม่สามารถแยกอะซีโตนและเมทานอลเพื่อนำกลับมาหมุนเวียนใช้ซ้ำได้เป็นผลมาจากสารผสมอะซีโตนและเมทานอลเป็นสารผสมอะซีโอโทรป ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีการกลั่นแบบปกติได้ จึงต้องอาศัยการกลั่นสกัดโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์และดำเนินการแบบแบตช์ เรียกวิธีการดังกล่าวว่า การกลั่นสกัดแบบแบตช์ (Batch Extractive Distillation)

สำหรับกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์ (Batch Extractive Distillation) เพื่อให้ได้องค์ประกอบตรงตามวัตถุประสงค์พบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญคือการหาสภาวะที่เหมาะสมของหอกลั่น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิเคราะห์ความไวของตัวแปรสำหรับกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์ (Batch Extractive Distillation) โดยการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความไวของกระบวนการและตัวแปรต่างๆ ที่เกิดขึ้นและสามารถบ่งบอกสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการทั้งยังสามารถป้องกันอันตรายจากสภาพการดำเนินการที่ไม่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแยกสารผสมดังกล่าวได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการของกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแยกอะซิโตน (Acetone) และเมทานอล (Methanol) ในกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการและสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการแยกอะซิโตนและเมทานอลในกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์

## 1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์สำหรับการแยกอะซิโตน (Acetone) และเมทานอล (Methanol) โดยใช้น้ำเป็นสารเอนเทรนเนอร์ (Entrainer)
- 1.3.2 ศึกษาการใช้ MATLAB Version 2017a และการจำลองกระบวนการด้วยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยวิธีการของออยเลอร์ (Euler's Method)
- 1.3.3 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์ ดังนี้ อัตราการป้อนกลับพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ อัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ อุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ ชั้นป้อนเอนเทรนเนอร์ และหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์สำหรับการแยกอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นสารเอนเทรนเนอร์

## 1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

## 1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2561 – เมษายน 2562

## 1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย
1.6.1 ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกระบวนการผสมที่เป็นอะซิโตรีป	←→								
1.6.2 ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์		←→							
1.6.1 ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB Version R2017a และการจำลองกระบวนการด้วยวิธีเชิงตัวเลข		←→							
1.6.4 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมการกลั่นสกัดแบบแบตช์					←→				
1.6.5 สรุปผลการศึกษาแบบจำลองและหาสภาวะที่เหมาะสม พร้อมจัดทำรายงาน								←→	

## บทที่ 2

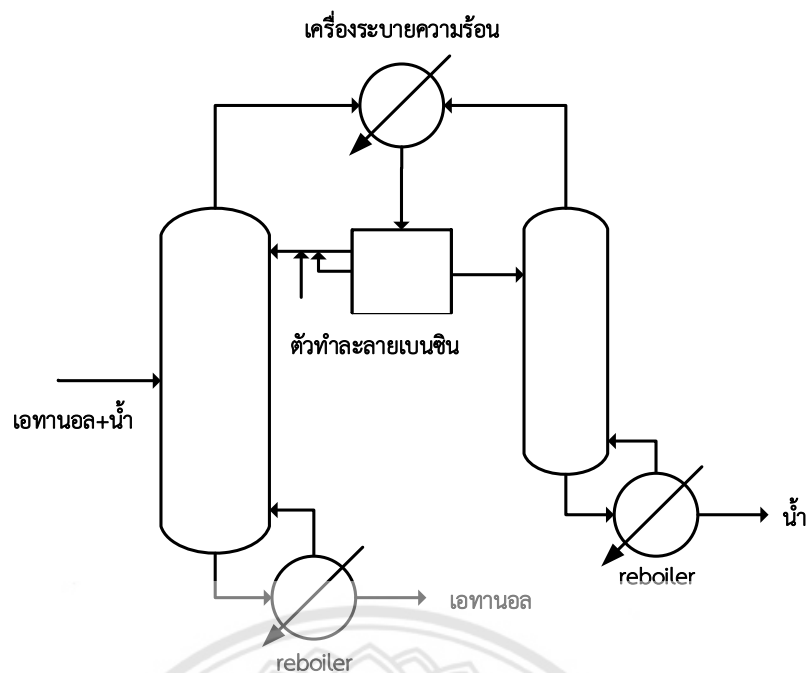
### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การกลั่น (Distillation) หมายถึงการแยกของเหลวผสมที่มีสารองค์ประกอบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยใช้หลักการที่ว่าสารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการระเหยเป็นไอได้ไม่เท่ากัน ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เมื่อให้ความร้อนจนของเหลวผสมกลายเป็นไอบางส่วน แล้วนำไอนั้นไปควบแน่นกลับให้เป็นของเหลว จะได้ของเหลวผสมหลังควบแน่นที่มีส่วนผสมแตกต่างจากของเหลวก่อนการกลั่น ด้วยเหตุนี้การกลั่นจึงสามารถใช้ในการทำให้ของเหลวมีความบริสุทธิ์ขึ้น หรือใช้แยกของเหลวผสมออกเป็นองค์ประกอบต่างๆ ได้

อนึ่ง สารองค์ประกอบในของเหลวผสมบางชนิดจะมีความสามารถในการระเหยได้ใกล้เคียงกัน จึงไม่สามารถแยกได้ด้วยการกลั่นธรรมดา ในกรณีนี้จะใช้วิธีซับซ้อน ได้แก่ การกลั่นสกัด (Extractive Distillation) การกลั่นอะซีโอโทรป (Azeotropic Distillation) การกลั่นแบบสลับความดัน (Pressure Swing Distillation) กระบวนการเพอแวพอเรชัน (Pervaporation Process) เป็นต้น (เลอสรวงเมฆสุด, 2551)

#### 2.1 การกลั่นอะซีโอโทรป (Azeotropic Distillation)

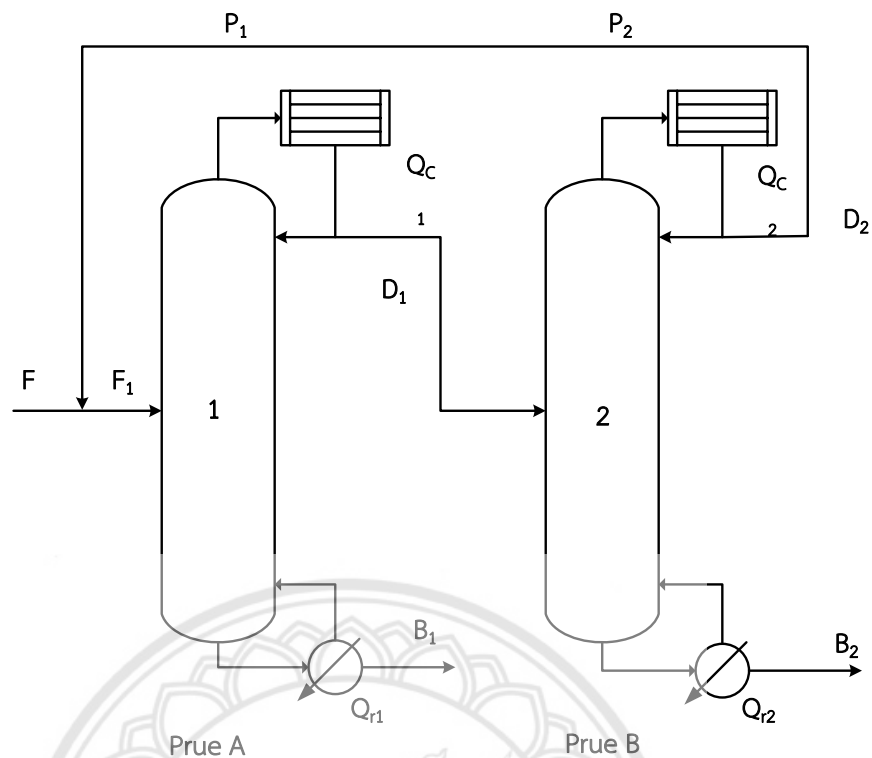
กรณีของเหลวผสมที่ต้องการแยกมีจุดอะซีโอโทรป (Azeotrope) หรือมีคู่สารที่มีการระเหยสัมพันธ์ (Relative Volatility) ใกล้เคียงกับ 1 จะไม่สามารถแยกสารให้บริสุทธิ์ได้โดยใช้หอกลั่นเพียงหอเดียว ดังนั้น จึงใช้วิธีเติมเอนเทรเนอร์ (Entrainer) ซึ่งเป็นองค์ประกอบตัวที่ 3 ที่มีสมบัติระเหยง่าย และสามารถทำให้เกิดสารผสมอะซีโอโทรป (Azeotropic Mixture) กับองค์ประกอบทั้งสองตัวหรือตัวใดตัวหนึ่งแล้วนำไปกลั่น ซึ่งจะได้สารผสมอะซีโอโทรปดังกล่าวจากยอดหอกลั่น และได้สารที่เกือบจะบริสุทธิ์จากก้นหอกลั่น โดยเอนเทรเนอร์ที่มีอยู่ในสารผสมอะซีโอโทรปที่ได้จากยอดหอกลั่นสามารถนำไปใช้ใหม่ได้ด้วยวิธีการที่เหมาะสม รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการกลั่นแบบอะซีโอโทรปที่ใช้เบนซีนเป็นเอนเทรเนอร์ในการแยกเอทานอลกับน้ำ (กระทรวงพลังงาน, 2550)



รูปที่ 2.1 การกลั่นอะซีโอโทรป Azeotropic Distillation (โดยใช้ Decanter)  
ที่มา:ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผขพ) ด้านความร้อน, กระทรวงพลังงาน.

## 2.2 การกลั่นสลับความดัน (Pressure Swing Distillation)

เป็นกระบวนการแยกสาร ผสมอะซีโอโทรปเนื้อเดียว ซึ่งกระบวนการกลั่นแบบสลับความดันจะใช้หลักการของความว่องไวของความดันสำหรับจุดอะซีโอโทรปของสารผสมทวิภาคคือ ถ้ามีการเพิ่มความดันจะทำให้จุดอะซีโอโทรปเลื่อนตำแหน่งจากจุดเดิมไปยังจุดที่ความเข้มข้นที่ต่ำกว่าขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำ และใช้หอกลั่น 2 หอ ซึ่งข้อได้เปรียบของกระบวนการกลั่นแบบสลับความดัน คือไม่ใช่เอนเทรนเนอร์ ทำให้ช่วยลดขั้นตอนและคอลัมน์ที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการรีไซเคิลเอนเทรนเนอร์ดังรูปที่ 2.2 แต่วิธีการนี้สิ้นเปลืองพลังงานมากเพราะต้องใช้พลังงานกลซึ่งมีราคาสูงกว่าพลังงานความร้อน (ผดุงเกียรติ ทวีการณ, 2557)

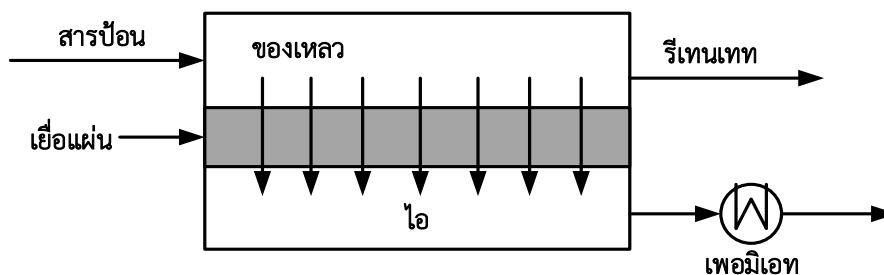


**รูปที่ 2.2** การกลั่นแบบสลับความดัน (Pressure Swing Distillation) แบบจุดเดือดต่ำที่สุด  
 ที่มา: การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟของกระบวนการกลั่นแบบความดันแกว่งที่มีการรวมความร้อน  
 ภายในสำหรับการแยกไอโอเอทานอล, ผดุงเกียรติ ทวีการณ.

### 2.3 กระบวนการเพอแวนพอเรชัน (Pervaporation Process)

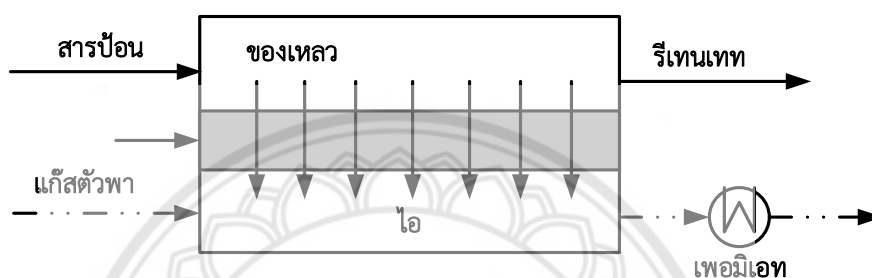
กระบวนการแยกสารละลายผ่านเยื่อแผ่นแบบแผ่น โดยสารที่ผ่านเยื่อแผ่น (เพอมีเอท) จะอยู่ในสภาพของไอ โดยการควบคุมความดันด้านขาออกให้ต่ำกว่าความดันไออิ่มตัวของสารดังกล่าว ตามกลไกการละลาย/แพร่ การแยกเกิดขึ้นได้เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ ในสารละลายมีความสามารถในการละลาย/แพร่ ผ่านเยื่อไม่เท่ากันโดยกระบวนการเพอแวนพอเรชันมีแบบสุญญากาศดังรูปที่ 2.3 และกระบวนการเพอแวนพอเรชันแบบแก๊สตัวพาดังรูปที่ 2.4 (Huang et al., 2002)





รูปที่ 2.3 กระบวนการเพอแวปพอเรชันแบบสุญญากาศ

ที่มา: Pervaporation separation of aqueous mixtures using crosslinked poly vinyl alcohol, Huang et al.



รูปที่ 2.4 กระบวนการเพอแวปพอเรชันแบบแก๊สตัวพา

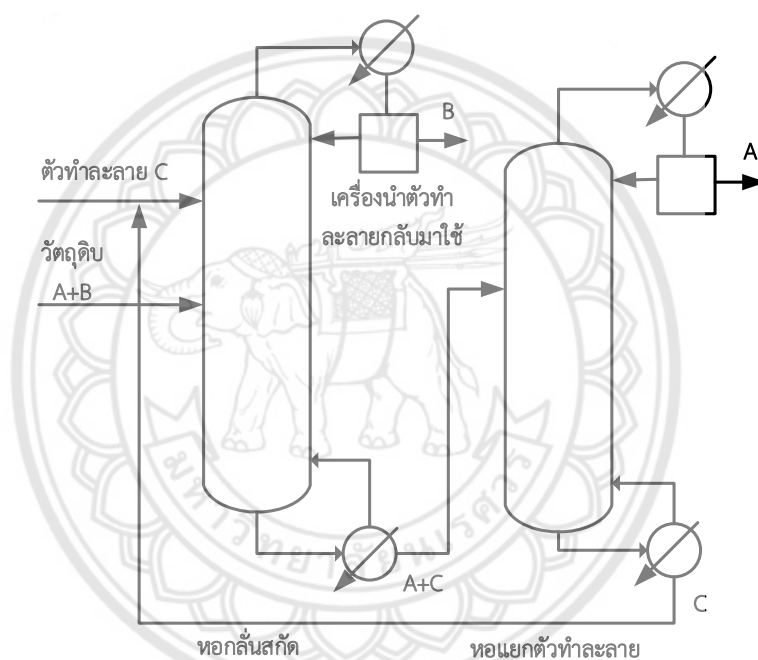
ที่มา: Pervaporation separation of aqueous mixtures using crosslinked poly vinyl alcohol, Huang et al.

1. การแยกน้ำ (Dehydration) ออกจากของเหลวอินทรีย์ ด้วยเยื่อแผ่นชอบน้ำ เช่นการแยกน้ำจากสารละลายแอลกอฮอล์เพื่อผลิตแอลกอฮอล์บริสุทธิ์
2. การแยกสารอินทรีย์ออกจากสารละลาย (เจือจาง) ของสารอินทรีย์-น้ำ ด้วยเยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำ เช่นการแยกฟีนอลจากน้ำทิ้ง การแยกสารให้กลิ่นรส (Aroma Compound) จากน้ำผลไม้
3. การแยกของผสมอินทรีย์ ด้วยเยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำ เช่น การแยก O-xylene จาก P-xylene

ดังนั้นเยื่อแผ่นที่ใช้สำหรับกระบวนการเพอแวปพอเรชัน (Pervaporation Process) มี 2 ชนิด เยื่อแผ่นชอบน้ำ ซึ่งให้น้ำผ่านได้ดีกว่าสารอินทรีย์ และเยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำหรือ (Organophilic) ซึ่งเลือกผ่านสารอินทรีย์

## 2.4 การกลั่นสกัด (Extractive Distillation)

จะเติมองค์ประกอบที่ 3 ที่เรียกว่าเอนเทรเนอร์ (Entrainer) ที่มีจุดเดือดสูงกว่าองค์ประกอบของสารผสมอะซิโตรีปรวมทั้งมีความคล้ายคลึงทางเคมี (Chemical Affinity) กับองค์ประกอบตัวใดตัวหนึ่งที่สูงมาก เพื่อลดการระเหยขององค์ประกอบตัวนั้น แล้วจึงนำไปกลั่นซึ่งจะได้องค์ประกอบที่ไม่ได้รวมกับเอนเทรเนอร์ออกมาจากยอดหอและของเหลวผสมระหว่างเอนเทรเนอร์กับองค์ประกอบนั้นจะออกมาจากก้นหอ แล้วนำของเหลวจากก้นหอขึ้นไปกลั่นหรือใช้วิธีอื่นในการแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากเอนเทรเนอร์ การกลั่นสกัด (Extractive Distillation) โดยทั่วไปจะมีความสิ้นเปลืองความร้อนน้อยกว่าการกลั่นอะซิโตรีป (Azeotropic Distillation) และสามารถแยกองค์ประกอบที่ 3 ออกมาได้ดังรูปที่ 2.5 (กระทรวงพลังงาน, 2550)



รูปที่ 2.5 การกลั่นสกัด (Extractive Distillation)

ที่มา: ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ) ด้านความร้อน, กระทรวงพลังงาน.

ในอุตสาหกรรมการกลั่นสกัดถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง เช่น

1. การแยกกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริกจากน้ำโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวทำละลาย
2. การแยกโทลูอีนออกจากพาราฟินโดยใช้ฟินอลเป็นตัวทำละลาย
3. การใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการแยกอะซิโตนและเมทานอล

## 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารที่ใช้ในกระบวนการ

ในกระบวนการกลั่นสกัดนี้ใช้ สารผสมอะซิโตนระหว่างอะซิโตนและเมทานอล โดยใช้น้ำเป็น เอนเทรเนอร์ สามารถหาค่าต่างๆได้ดังนี้

### 2.5.1 สมดุลระหว่างสถานะของเหลวและไอ (Vapor-Liquid Phase Equilibrium)

จากสารผสมทวิสารกำหนดให้สารลำดับที่ 1 เป็นสารระเหยง่ายกว่า และสารลำดับที่ 2 เป็นสารระเหยยากกว่าในระบบที่อุณหภูมิ (T) และความดัน (P) อัตราส่วนโดยโมลในสถานะของเหลว (x) และอัตราส่วนโดยโมลในสถานะไอ (y) (Luyben & Chien., 2013) ซึ่งสามารถคำนวณเพื่อหา ดังกล่าวที่สภาวะสมดุล (Equilibrium Data) ได้ดังนี้

จากสมการ Antoine's Equation (Luyben & Chien., 2013)

$$\text{Log}_{10}(P^{sat}) = A - \frac{B}{T + C(^{\circ}C)} \quad (2.1)$$

กำหนดให้  $P^{sat}$  คือ ความดันไออิ่มตัว (กิโลปาสกาล)  
 T คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)  
 A, B, C คือ ค่าคงที่ของ Antoine แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ของ Antoine

องค์ประกอบ	A	B	C
อะซิโตน	7.02447	$1.16000 \times 10^3$	$2.2400 \times 10^2$
เมทานอล	7.87886	$1.47311 \times 10^3$	$2.2300 \times 10^2$
น้ำ	7.96681	$1.66821 \times 10^3$	$2.2800 \times 10^2$

ที่มา: Correction of Vapor-Liquid Equilibrium Using Wilson Equation with Parameters Estimated from Solubility Parameters and Molar Volumes, Luyben & Chien.

ดุลองค์ประกอบ (Composition Balance) (Luyben & Chien., 2013)

$$\text{สภาวะของเหลว} \quad \sum x_i = 1$$

$$\text{สภาวะไอ} \quad \sum y_i = 1$$

กำหนดให้  $x_i$  คือ สัดส่วนโมลของเหลว

$y_i$  คือ สัดส่วนโมลของไอ

$i$  คือ เลขบอกลำดับของสาร (1,2,3,...)

สมการสมดุลไอและของเหลว (Vapor-Liquid Equilibrium Equation)

$$y_i P = \gamma_i x_i P_i^{sat} \quad (2.2)$$

กำหนดให้  $\gamma_i$  คือ Activity Coefficient

$P$  คือ ความดันรวม (กิโลปาสกาล)

$p^{sat}$  คือ ความดันไออิ่มตัว (กิโลปาสกาล)

โดยมีการประยุกต์สมการมาจากเทอร์โมไดนามิกส์นั้นคือ สมการ NRTL (Non-Random Two Liquid Equation) เพื่อนำมาใช้หาค่า Activity Coefficient (Luyben & Chien., 2013) ดังสมการ (2.3) และค่าพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 2.2

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^c x_j \tau_{ji} G_{ji}}{\sum_{k=1}^c x_k G_{ki}} + \sum_{j=1}^c \frac{x_j G_{ij}}{\sum_{k=1}^c x_k G_{ki}} \left[ \tau_{ij} - \frac{\sum_{k=1}^c x_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_{k=1}^c x_k G_{kj}} \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ  $G_{ij} = \exp(\alpha_{ij} \tau_{ij})$

$$\tau_{ij} = a_{ij} + \left( \frac{b_{ij}}{T} \right)$$

$$\alpha_{ij} = c_{ij}, \tau_{ii} = 0, G_{ii} = 1$$

ตารางที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ใน NRTL equation สำหรับ อะซิโตน-เมทานอล-น้ำ

องค์ประกอบ i	อะซิโตน	อะซิโตน	เมทานอล
องค์ประกอบ j	เมทานอล	น้ำ	น้ำ
$a_{ij}$	0	6.3981	-0.6930
$a_{ji}$	0	0.0544	2.7322
$b_{ij}$	101.8859	-1808.9900	172.9871
$b_{ji}$	114.1347	419.9700	-617.2690
$c_{ij}$	0.3	0.3	0.3

ที่มา: Correction of Vapor-Liquid Equilibrium Using Wilson Equation with Parameters Estimated from Solubility Parameters and Molar Volumes, Luyben & Chien.

## 2.5.2 สมการรูปแบบทั่วไปของเอนทัลปี (Enthalpy of Formation)

โดยสามารถแบ่งออกได้ 2 สมการ คือ เอนทัลปีของไอ และเอนทัลปีของของเหลว (Luyben & Chien., 2013)

### 2.5.2.1 เอนทัลปีของไอ (Enthalpy of Formation of Gas)

$$h^V = (1.05506 \times 2.2046) \cdot \sum (h_i^V f) \cdot y_i \quad (2.4)$$

เมื่อ  $h^V$  คือ เอนทัลปีของไอ (กิโลจูลต่อกิโลโมล)

$y_i$  คือ สัดส่วนไอโดยโมลขององค์ประกอบ i

เอนทัลปีของไอขององค์ประกอบ i

$$h_i^V f = a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4 \quad (2.5)$$

เมื่อ  $h_i^V f$  คือ เอนทัลปีของไอขององค์ประกอบ i (ปิกิวต์ออนปอนด์  
โมล)

T คือ อุณหภูมิ (องศาแรงคิน)

a, b, c, d, e คือ ค่าคงที่ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ สำหรับ อะซิโตน-เมทานอล-น้ำ

องค์ประกอบ	อะซิโตน	เมทานอล	น้ำ
a	$0.86733210^4$	$0.117411910^5$	$0.154587110^5$
b	$0.473579910^1$	$0.712149510^1$	$0.802252610^1$
c	$0.145286010^{-1}$	$0.557944210^{-2}$	$-0.474572210^{-3}$
d	$-0.112139710^{-5}$	$-0.450617010^{-6}$	$0.687804710^{-6}$
e	$-0.201817310^{-9}$	$-0.209190410^{-10}$	$-0.143975210^{-9}$

ที่มา: Desing and Control of Distillation Systems for Separating Azeotropes. New Jersey, John Wiley and sons Ch13, Luyben & Chien.

### 2.5.2.2 เอนทัลปีของของเหลว (Enthalpy of Formation of Liquid)

$$h^L = (1.05506 \times 2.2046) \cdot \sum(h_i^L f) \cdot x_i \quad (2.6)$$

เมื่อ  $h^L$  คือ เอนทัลปีของของเหลว (กิโลจูลต่อกิโลโมล)  
 $x_i$  คือ สัดส่วนของเหลวโดยโมลขององค์ประกอบ  $i$   
 เอนทัลปีของของเหลวขององค์ประกอบ  $i$

$$h_i^L f = a + bT + cT^2 \quad (2.7)$$

เมื่อ  $h_i^L f$  คือ เอนทัลปีของของเหลวขององค์ประกอบ  $i$  (บีที่ยุติต่อปอนด์โมล)

T คือ อุณหภูมิ (องศาแรงคิน)

a, b, c คือ ค่าคงที่ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์ สำหรับ อะซีโตน-เมทานอล-น้ำ

องค์ประกอบ	อะซีโตน	เมทานอล	น้ำ
a	$-0.11533410^5$	$-0.311943610^4$	$-0.878305910^4$
b	$0.177034810^2$	$-0.414519810^1$	$0.175845010^2$
c	$0.116643510^{-1}$	$0.213110610^{-1}$	$0.365136910^{-3}$

ที่มา: Design and Control of Distillation Systems for Separating Azeotropes. New Jersey, John Wiley and sons Ch13, Luyben & Chien.

### 2.5.3 สมบัติของสารและความเป็นพิษต่อร่างกาย

2.5.3.1 เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol) หรือเมทานอล (Methanol) มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{CH}_3\text{OH}$  เป็นของเหลวใส ระเหยง่าย เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นทางปิโตรเคมีนิยมใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมการทำเฟอร์นิเจอร์ เช่น สีทาไม้ น้ำมันเคลือบเงา ยาลอกสี ฯลฯ และใช้เป็นเชื้อเพลิงในธรรมชาติ ความเป็นพิษต่อร่างกายถือว่า มีพิษมาก โดยเมทานอลเข้าสู่สามารถดูดซึมได้ทางผิวหนัง ลมหายใจ ผู้ที่สูดดมเข้าไปจะระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ ทำให้หลอดลมอักเสบ หลอดคออักเสบ มีการระคายเคืองต่อเยื่อเมือกทำให้เยื่อเมือกอักเสบหากหายใจเข้าไปมากๆ ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.5 (Siamchemi, 2014)

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของเมทานอล

น้ำหนักโมเลกุล	32 กรัม/โมล
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
กลิ่น	มีกลิ่นคล้ายแอลกอฮอล์
จุดเดือด	$64.9\text{ }^{\circ}\text{C}$
จุดหลอมเหลว	$-97.8\text{ }^{\circ}\text{C}$
ความหนาแน่น	0.79 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร at $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
ความสามารถในการละลายน้ำ	ละลายได้ดี

ที่มา: <https://www.siamchemi.com/เอทานอล/>, Siamchemi.

**2.5.3.2 อะซิโตน (Acetone)** มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ระเหยกลายเป็นได้ง่าย ติดไฟง่าย ผสมกับน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม เอทานอล และ อีเทอร์ ได้ทุกสัดส่วน ประโยชน์หลักของ อะซิโตนใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมเคมี และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบ้านเรือนหลายชนิด เช่น สี น้ำยาขัดเงา น้ำยาทำความสะอาด และกาว ความเป็นพิษ อะซิโตนมีพิษต่อเย็บปล้นน้อยต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั้งโดยการให้ทางปาก ป้ายบนผิวหนัง และการสูดดม อะซิโตนมีฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลาง การได้รับอะซิโตน โดยการสูดดมที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้เวียนศีรษะ มึนงงและสูญเสียความรู้สึก อะซิโตนไม่เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ และไม่เป็นสารก่อมะเร็ง ประเทศไทยได้มีการประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2546 ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 กำหนดให้ อะซิโตนที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 หมายความว่า การผลิต การนำเข้า ส่งออก หรือการมีในครอบครองต้องได้รับการอนุญาต โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นหน่วยงานรับผิดชอบ ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.6 (Siamchemi, 2014)

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของอะซิโตน

น้ำหนักโมเลกุล	58.08 กรัม/โมล
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
กลิ่น	มีกลิ่นคล้ายมินท์
จุดเดือด	56.53 °C
จุดหลอมเหลว	-94.9 °C
ความหนาแน่น	0.79กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร at 20 °C
ความสามารถในการละลายน้ำ	ละลายได้ดี

ที่มา: <https://www.siamchemi.com/อะซิโตน/>, Siamchemi.



**2.5.3.3 น้ำ (Water)** มีสูตรทางเคมีคือ  $H_2O$  มีสมบัติเป็นกลาง เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ซึ่งสามารถใช้รับประทาน ใช้หุงต้มชำระสิ่งสกปรก อีกทั้งใช้ในภาคอุตสาหกรรมคือใช้แลกเปลี่ยนความในโรงงาน ใช้หล่อเย็น ใช้ทำเป็นไอน้ำ และสามารถใช้เป็นตัวทำละลายสารเคมีได้ หลากหลายมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.7 (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2553)

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของน้ำ

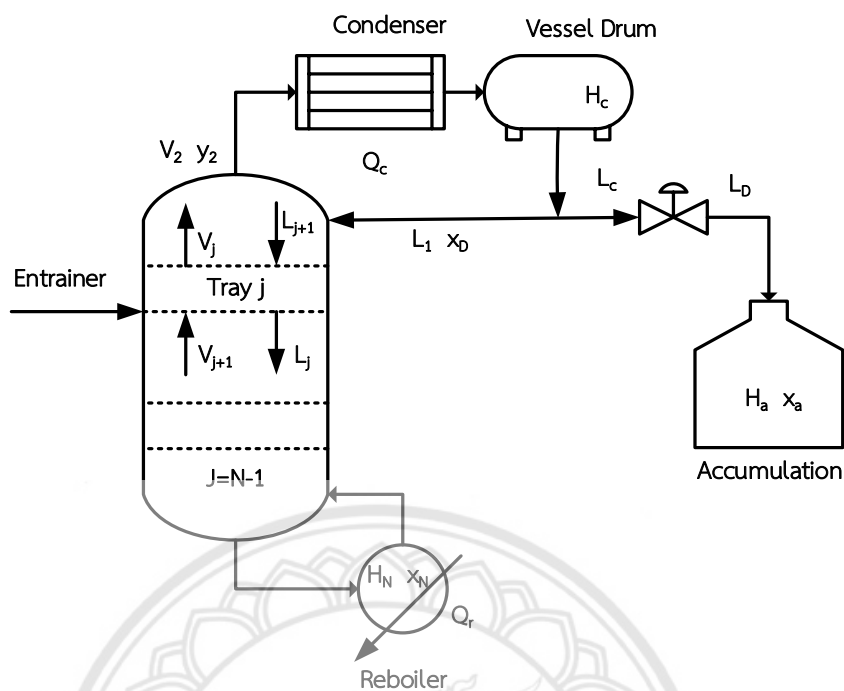
น้ำหนักโมเลกุล	18.02 กรัม/โมล
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
จุดเดือด	100 °C
จุดหลอมเหลว	0 °C
ความหนาแน่น	1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร at 20 °C

ที่มา: <http://www.lesa.biz/earth/hydrosphere/water-properties>, ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์.

## 2.6 การเลือกเอนเทรนเนอร์ (Entrainer)

การเลือกเอนเทรนเนอร์นั้นมีความสำคัญมากในการกลั่นสกัดเพื่อทำให้สารผสมอะซิโทรปได้ โดยสามารถพิจารณาได้โดย เอนเทรนเนอร์นั้นจะต้องมีจุดเดือดหรือความดันไอที่แตกต่างกับสารผสมอะซิโทรป และมีความคล้ายคลึงทางเคมี (Chemical Affinity) กับองค์ประกอบของสารผสมอะซิโทรปตัวใดตัวหนึ่งที่สูงมากเพื่อลดการระเหยขององค์ประกอบของสารนั้นๆ ฉะนั้นควรเลือกเอนเทรนเนอร์ที่มีจุดเดือดมากกว่าสารผสมอะซิโทรป เพราะเมื่อกลั่นสกัดจนได้สารผสมอะซิโทรปออกจากกันจนมีความบริสุทธิ์แล้ว สารเอนเทรนเนอร์ก็จะเหลืออยู่ในหอกลั่นสกัดได้นำกลับไปใช้กลั่นสกัดในครั้งต่อไปได้ (Hégyely, 2013)

## 2.7 แบบจำลองสำหรับการกลั่นสกัดแบบแบตช์ (Batch Extractive distillation)



รูปที่ 2.6 การกลั่นสกัดแบบแบตช์ (Batch Extractive Distillation)

ที่มา: Neural Network Based Model Predictive Control of Batch Extractive Distillation Process for Improving Purity of Acetone, Daosud et al.

โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- ดำเนินการภายใต้ อัตราการป้อนกลับหมด (Total Reflux) โดยที่ไม่มีเอนเทรเนอร์ ที่สภาวะคงที่จนถึงจุดอะซิโโทรอป
- ดำเนินการภายใต้ อัตราการป้อนกลับหมด (Total Reflux) โดยที่ใส่สารเอนเทรเนอร์ แล้วดำเนินการไปจนได้ความบริสุทธิ์ที่สุด
- ดำเนินการภายใต้ อัตราการป้อนกลับที่กำหนด (Finite Reflux) โดยที่ยังใส่สารเอนเทรเนอร์ อยู่ จัดเก็บสารที่มีความบริสุทธิ์ที่ต้องการ บริเวณด้านบนของหอกลั่น
- ดำเนินการภายใต้ อัตราการป้อนกลับที่กำหนด (Finite Reflux) โดยที่ยังใส่สารเอนเทรเนอร์ อยู่ จัดเก็บสารที่เหลืออีกตัวตามความบริสุทธิ์ที่ต้องการ บริเวณด้านบนของหอกลั่น

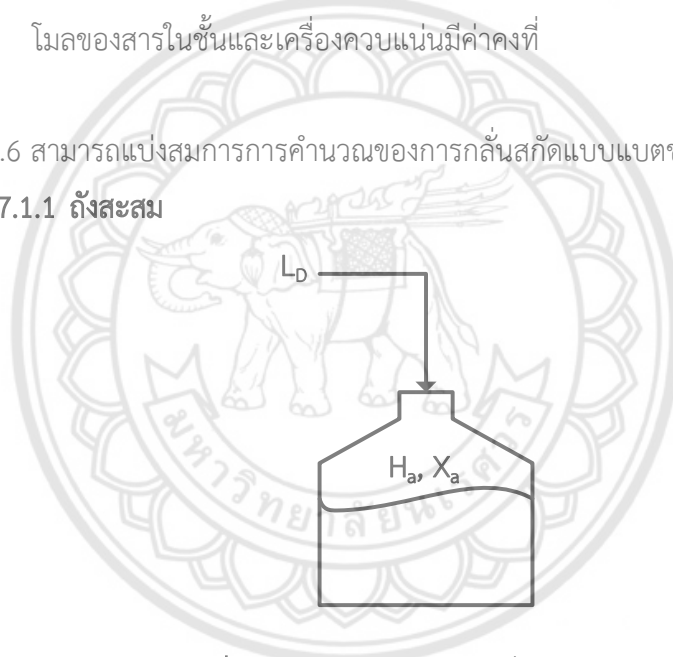
## 2.7.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณ

### ข้อสมมุติฐาน (Assumption)

- ประสิทธิภาพของชั้นในหอกลับคงที่
- ไม่พิจารณาไอที่เกิดภายในระบบ
- ไม่เกิดความร้อนสูญเสีย
- ความดันในระบบคงที่
- การผสมกันอย่างสมบูรณ์ในทุกชั้นและถังเก็บ
- เครื่องควบแน่นเป็นแบบควบแน่นทั้งหมด
- สารผสมทั้งหมดใช้หลักการของก๊าซอุดมคติ
- ความร้อนที่รีบอยเลอร์มีค่าคงที่
- พลังงานเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว
- โมลของสารในชั้นและเครื่องควบแน่นมีค่าคงที่

จากรูปที่ 2.6 สามารถแบ่งสมการการคำนวณของการกลั่นสัปดาห์แบบแบตช์ออกเป็น 5 ส่วนดังนี้

#### 2.7.1.1 ถังสะสม



รูปที่ 2.7 ขอบเขตของการดุลที่ถังสะสม

ดุลมวลในระบบ

$$\frac{dH_a}{dt} = L_D \quad (2.8)$$

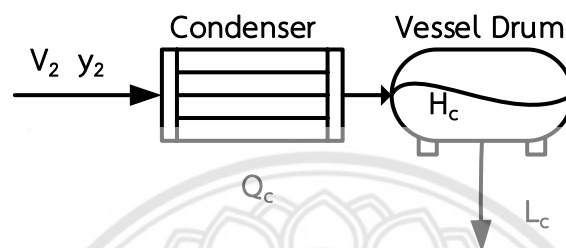
ดุลองค์ประกอบสาร i

$$\frac{dH_a x_{ai}}{dt} = L_D x_{Di} \quad (2.9)$$

จาก  $R_f = \frac{L_1}{L_c}$

$$\frac{dH_a x_{ai}}{dt} = (x_{Di} - x_{ai})(1 - R_f)L_c \quad (2.10)$$

### 2.7.1.2 คอนเดนเซอร์และถังเก็บชั่วคราว



รูปที่ 2.8 ขอบเขตของการตุลที่คอนเดนเซอร์และถังเก็บชั่วคราว  
ตุลมวลในระบบ

$$\frac{dH_c}{dt} = V_2 - L_c \quad (2.11)$$

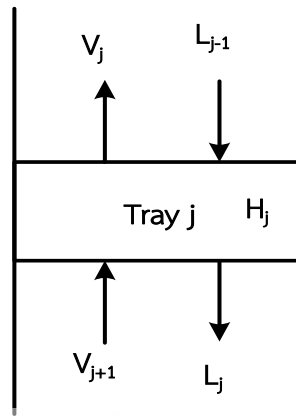
ตุลองค์ประกอบสาร i

$$\frac{dH_c x_{Di}}{dt} = V_2 y_{2i} - L_c x_{Di} \quad (2.12)$$

ตุลพลังงาน

$$\frac{dH_c h_1^L}{dt} = V_2 h_2^V - L_c h_1^L - Q_c \quad (2.13)$$

### 2.7.1.3 ชั้นภายในของหอกถั่ว (j=2 ถึง N-1)



รูปที่ 2.9 ขอบเขตของการคิดที่ชั้นภายในของหอกถั่ว (j=2 ถึง N-1)

ดุลมวลในระบบ

$$\frac{dH_j}{dt} = L_{j-1} + V_{j+1} - L_j - V_j \quad (2.14)$$

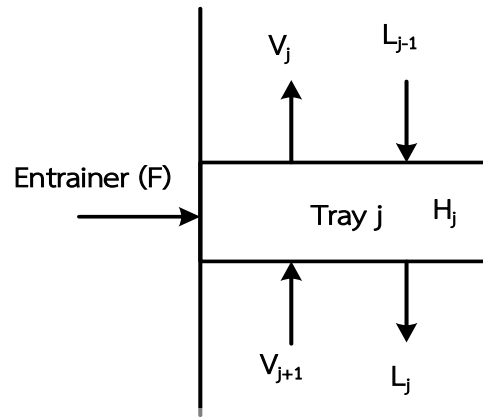
ดุลองค์ประกอบสาร i

$$\frac{dH_j x_{ji}}{dt} = L_{j-1} x_{j-1,i} + V_{j+1} y_{j+1,i} - L_j x_{ji} - V_j y_{ji} \quad (2.15)$$

ดุลพลังงาน

$$\frac{dH_j h_j^L}{dt} = L_{j-1} h_{j-1}^L + V_{j+1} h_{j+1}^V - L_j h_j^L - V_j h_j^V \quad (2.16)$$

### 2.7.1.4 ชั้นภายในหอกลั่นที่ใส่เอนเทรเนอร์



รูปที่ 2.10 ขอบเขตของการดุลที่ชั้นภายในหอกลั่นที่ใส่เอนเทรเนอร์

ดุลมวลในระบบ

$$\frac{dH_j}{dt} = L_{j-1} + V_{j+1} - L_j - V_j + F \quad (2.17)$$

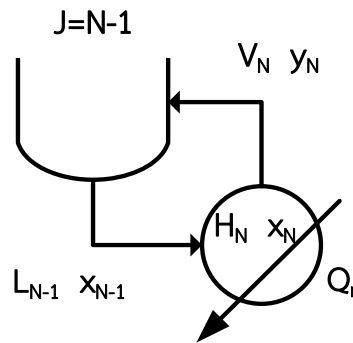
ดุลองค์ประกอบสาร i

$$\frac{dH_j x_{ji}}{dt} = L_{j-1} x_{j-1,i} + V_{j+1} y_{j+1,i} - L_j x_{ji} - V_j y_{ji} + F x_F \quad (2.18)$$

ดุลพลังงาน

$$\frac{dH_j h_j^L}{dt} = L_{j-1} h_{j-1}^L + V_{j+1} h_{j+1}^V - L_j h_j^L - V_j h_j^V + F h_F^L \quad (2.19)$$

## 2.7.1.5 รีบอยเลอร์



รูปที่ 2.11 ขอบเขตของการตุลมวลที่รีบอยเลอร์

ตุลมวลในระบบ (เมื่อ  $j=N$ )

$$\frac{dH_N}{dt} = L_{N-1} - V_N \quad (2.20)$$

ตุลองค์ประกอบสาร  $i$ 

$$\frac{d(H_N x_{Ni})}{dt} = L_{N-1} x_{N-1,i} - V_N y_{N,i} \quad (2.21)$$

ตุลพลังงาน

$$\frac{d(H_N h_N^L)}{dt} = L_{N-1} h_{N-1}^L - V_N h_N^V + Q_r \quad (2.22)$$

กำหนดให้

- $h^L$  = เอนทัลปีของของเหลวที่ชั้น  $j$  (กิโลจูล/กิโลโมล)  
 $h^V$  = เอนทัลปีของไอที่ชั้น  $j$  (กิโลจูล/กิโลโมล)  
 $h_F^L$  = เอนทัลปีของเอนเทรเนอร์ (กิโลจูล/กิโลโมล)  
 $H_a$  = ปริมาณสารในถังสะสม (กิโลโมล)  
 $H_j$  = ปริมาณสารในชั้น  $j$  (กิโลโมล)  
 $H_N$  = ปริมาณสารในรีบอยเลอร์ (กิโลโมล)  
 $L_j$  = อัตราการไหลของของเหลวที่ชั้น  $j$  (กิโลโมล/ชั่วโมง)  
 $V_j$  = อัตราการไหลของไอที่ชั้น  $j$  (กิโลโมล/ชั่วโมง)  
 $L_c$  = อัตราการไหลของของเหลวที่คอนเดนเซอร์ (กิโลโมล/ชั่วโมง)  
 $x_{j,i}$  = สัดส่วนของเหลวโดยโมลขององค์ประกอบ  $i$  ที่ชั้น  $j$   
 $y_{j,i}$  = สัดส่วนของไอโดยโมลขององค์ประกอบ  $i$  ที่ชั้น  $j$   
 $x_F$  = สัดส่วนของเหลวโดยโมลของเอนเทรเนอร์  
 $R_f$  = อัตราส่วนการป้อนกลับภายในหอกลั่น  
 $Q_r$  = พลังงานที่ให้แกรีบอยเลอร์ (กิโลจูล/ชั่วโมง)  
 $Q_c$  = พลังงานที่คายออกคอนเดนเซอร์ (กิโลจูล/ชั่วโมง)

## 2.8 MATLAB

MATLAB เป็นโปรแกรมที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ โดยโครงสร้างพื้นฐานการคำนวณของโปรแกรม MATLAB อยู่ในรูปของเวกเตอร์หรือเมทริกซ์ ซึ่งก็เป็นที่มาของชื่อโปรแกรมด้วย กล่าวคือ MATLAB เป็นคำย่อของสองคำในภาษาอังกฤษคือ Matrix Laboratory (MATLAB) จุดเด่นของโปรแกรม MATLAB คือ การที่มีชุดคำสั่งจำนวนมาก สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่บรรจุอยู่เมทริกซ์ครอบคลุม ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ทั้งที่เป็นพื้นฐานและการประยุกต์อย่างกว้างขวาง ที่สำคัญสามารถใช้โปรแกรมในการแก้ไขปัญหาต่างๆได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงมาก นอกจากนี้ MATLAB ยังได้พัฒนา GUI (Graphical User Interface) เป็นระบบระเบียบทำให้การสร้างโปรแกรมประยุกต์เฉพาะตามผู้ใช้ต้องการสามารถทำได้ง่าย นอกจากนี้ MATLAB ยังได้พัฒนาโปรแกรมสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่เรียกว่า Simulink เพื่อใช้จำลองการทำงานของระบบหรือกระบวนการที่เราสนใจ โดยผู้ใช้งานสามารถเชื่อมต่อองค์ประกอบย่อยแต่ละส่วนของระบบหรือกระบวนการเข้าด้วยกันในรูปของบล็อกที่ง่ายสะดวกต่อการใช้งาน แทนที่จะพิมพ์ชุดคำสั่ง MATLAB จำนวนมาก การทดสอบระบบต่างๆ จึงทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันมีการใช้งาน Simulink แพร่หลายมากขึ้นโดยเฉพาะงานด้านการควบคุมอุตสาหกรรม คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ในปัจจุบันมีการนำ MATLAB มาใช้



เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอนหรือนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอย่างแพร่หลาย (ประมอทย์ เดชะอำไพ, 2560)

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1994 Lang P และคณะ (Lang et al., 1994) ได้ทำการศึกษากระบวนการกลั่นสกัดแบบแบบตซ์ของการแยกอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายโดยการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ชื่อว่า “PROSIM BATCH” ในการหาแบบจำลองที่ถูกต้องซึ่งใช้วิธีการ Runge-Kutta ในการสร้างกราฟ 2 มิติ สำหรับการคำนวณ VLE

ในปี ค.ศ. 2006 Lang P และคณะ (Lang et al., 2009) ได้ทำการศึกษาของเสียจากอุตสาหกรรมยาได้แก่ สารผสมของอะซิโตน-เมทานอล-เอทานอล-น้ำ โดยใช้การกลั่นสกัดแบบแบบตซ์ โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายซึ่งการกลั่นแบบนี้ส่งผลให้มีการใช้พลังงานและสารละลายที่น้อยลงทั้งนี้ได้มีการประยุกต์ใช้ในห้องทดลองและอุตสาหกรรมโดยทำสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งหลังจากแบบจำลองและการทดลองนั้นออกมาพบว่าอะซิโตน-เมทานอล-เอทานอล-น้ำ จะถูกแยกออกจากกันโดยใช้การกลั่นสกัดแบบแบบตซ์ ในระดับอุตสาหกรรมนั้นจะใช้น้ำเป็นตัวทำละลายตั้งแต่ขั้นตอนให้ความร้อนในช่วงแรกด้วย ถ้าไม่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะทำให้มีผลเสียต่อการแยกอะซิโตนและเมทานอลทำให้ได้สารที่ไม่มีความบริสุทธิ์ การใส่ตัวทำละลายนั้นจะดำเนินการหลังสารผสมที่ต้องการแยกถึงจุดเดือดแล้วซึ่งวิธีการดำเนินการแบบนี้สามารถประหยัดพลังงานและสามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ได้

ในปี ค.ศ. 2009 Ivan D. Gil และคณะ (Gil et al., 2009) ได้ทำการศึกษาการกลั่นสกัดอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์ถูกจำลองบนชุดซอฟต์แวร์ Aspen Plus การคำนวณความสมดุลของไอและของเหลวสำหรับระบบ 3 องค์ประกอบทำได้โดยใช้แบบจำลอง UNIQUAC ตามผลการทดลองที่ได้จากการทำงานก่อนหน้า โดยศึกษาผลกระทบอัตราส่วนของเอนเทรเนอร์ต่อสารป้อนเข้า อัตราส่วนการป้อนกลับ ชั้นของหอกกลั่นในการป้อนสารเข้า ชั้นของหอกกลั่นในการป้อนเอนเทรเนอร์ อุณหภูมิของเอนเทรเนอร์ที่ป้อนเข้า ทั้งนี้เพื่อการออกแบบที่ดีที่สุดของคอลัมน์กลั่นสกัดที่ใช้พลังงานน้อยที่สุด โดยชั้นของหอกกลั่นสกัดที่เหมาะสมที่สุดคือ 52 ชั้นตามทางทฤษฎี พบว่าสารผสม 2 สารที่ดีที่สุดจะมี 48 ชั้นและเอนเทรเนอร์จะถูกป้อนที่ชั้น 22 โดยมีค่าอัตราส่วนของเอนเทรเนอร์ต่อสารป้อนเข้า 2.0 และอัตราส่วนการป้อนกลับภายในหอกกลั่น 5.0 ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของตัวแปรหลักในกระบวนการกลั่นสกัด

ในปี ค.ศ. 2011 Gabor Modla และ Lang P (Modla & Lang., 2009) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการกลั่นสกัดแบบแบบตซ์และการกลั่นสลับความดัน 2 คอลัมน์แบบแบบตซ์สำหรับการแยกสารผสมอะซิโตนและเมทานอล โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลายหรือเอนเทรเนอร์ สำหรับการกลั่นสลับความดันจะใช้คอลัมน์แบบ 2 หอ ซึ่งการคำนวณนั้นจะได้อะซิโตนที่มีความบริสุทธิ์เท่ากัน ทั้ง 2 แบบจะแตกต่างที่พลังงานในการดำเนินงานและการนำสารเอนเทรเนอร์กลับมาใช้ใหม่

ในปี ค.ศ 2013 P. Kittisupakorn, และคณะ (Kittisupakorn et al., 2013) ได้ทำการศึกษากาการวิธีการผลิตอะซิโตนที่มีความบริสุทธิ์ 94.0% โดยโมล ซึ่งใช้คอลัมน์กลั่นสกัดแบบแบตช์ในการดำเนินการทำงานเป็นแบบกึ่งต่อเนื่องเพื่อสามารถปรับปรุงความบริสุทธิ์ของอะซิโตนได้และมีการใช้อัตราส่วนการป้อนกลับแบบป้อนกลับหมด เมื่อเครื่องถึงสถานะที่คงที่หรือได้ความบริสุทธิ์สูงสุด น้ำจะถูกใช้เป็นตัวทำละลายและได้มีการนำการเพิ่มประสิทธิภาพแบบพลวัตเข้ามาช่วยหลังจากดำเนินการเสร็จสิ้น ทั้งนี้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ปริมาณมากที่สุดของอะซิโตนนั้นจะขึ้นอยู่กับความร้อนที่ให้กับรีบอยเลอร์และเวลาในการดำเนินการ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าความบริสุทธิ์ 94.0% ของอะซิโตนสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมการเพิ่มประสิทธิภาพแบบพลวัตที่มีช่วงเวลาสองช่วงหรือมากกว่า นอกจากนี้ช่วงเวลาที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นสูงขึ้น

ในปี ค.ศ. 2014 Le Cao Nhien, และคณะ (Nhien et al., 2014) ได้ทำการศึกษากาการกลั่นสกัดอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้การอัดความดันของไอจนสูงแล้วควบแน่นเมื่อคลายความร้อนออกโดยสัมผัสโดยตรงกับแหล่งความร้อน จากผลการดำเนินงานพลังงานทั้งหมดที่ใช้้น้อยกว่าการกลั่นสกัดแบบทั่วไปถึง 62%

ในปี ค.ศ. 2015 Xinqiang และคณะ (Xinqiang et al., 2015) ได้ทำการศึกษากาการแยกอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์ ซึ่งจากการวิเคราะห์กราฟ RCM ของสาร 3 ตัวนี้แสดงให้เห็นว่าความดันของคอลัมน์ที่ 0.6 atm จะสามารถใช้น้ำน้อยลงในเครื่องคอนเดนเซอร์และหาอัตราการไหลของสารเอนเทรเนอร์ที่เข้าหอและใช้พลังงานน้อยกว่า ความสามารถในชั้นหอกลั่นสกัดนั้น ไม่ว่าจะย้ายตำแหน่งที่ป้อนสารเข้าไปบนหรือล่างจะส่งผลต่อการแยกสารออกแม้ว่าจะใช้เอนเทรเนอร์ที่น้อยลงก็ตาม

ในปี ค.ศ. 2016 Wachira Daosud และคณะ (Daosud et al., 2016) ได้ทำการศึกษากาการกลั่นสกัดอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์ได้มีการใช้การเพิ่มประสิทธิภาพแบบพลวัตเพื่อปริมาณของอะซิโตนที่มีความบริสุทธิ์ที่ 94% โดยโมล ซึ่งได้มีการใช้การควบคุมแบบ NNDIC และ NN MPC ซึ่งเมื่อได้ ความบริสุทธิ์ 94% โดยโมลในระยะเวลา 9.5 ชั่วโมง พบว่า การคุมแบบ NN MPC ให้ประสิทธิภาพที่น่าพอใจ มีการควบคุมที่คงที่ ไม่มีความผันแปรเลย เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบ NNDIC

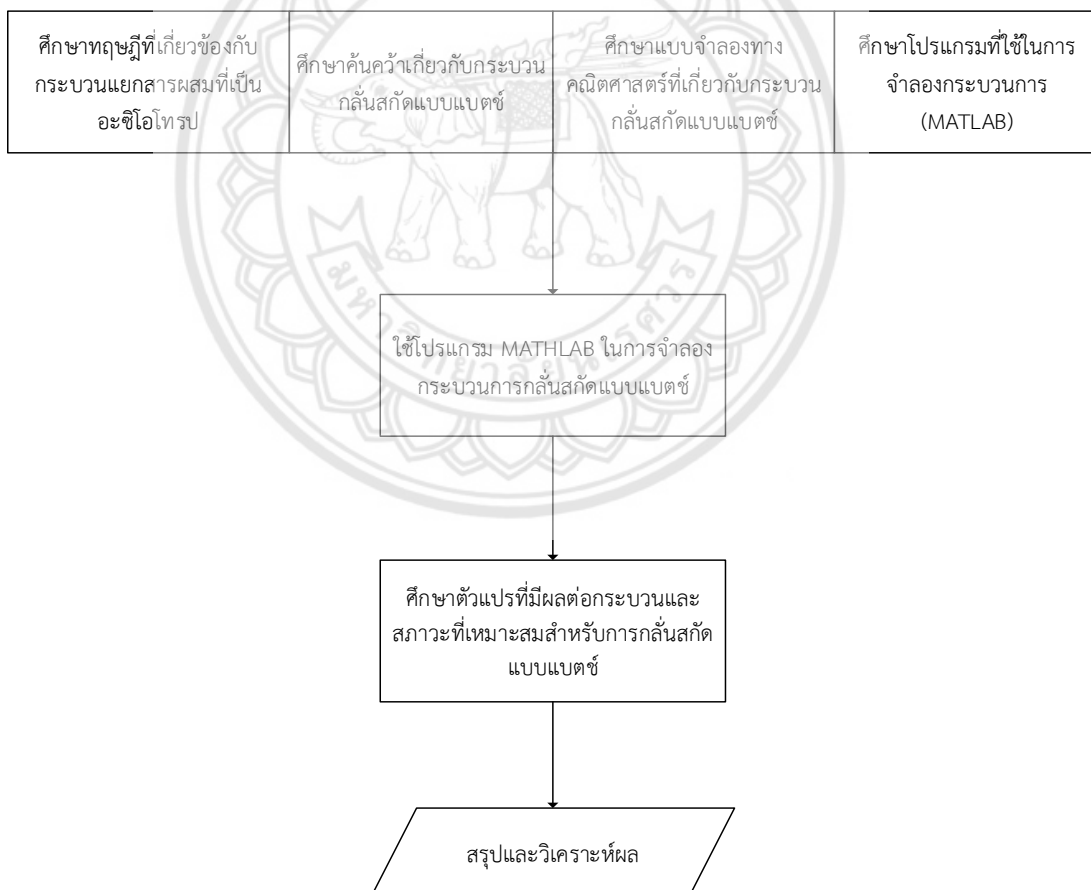
อย่างไรก็ตามยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์น้อยดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ รวมถึงศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

# บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### แผนการดำเนินงาน

ทำศึกษาทฤษฎีเกี่ยวข้องกับกระบวนการแยกสารผสมที่เป็นอะซิโโทรป กระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์และโปรแกรมที่ใช้ในกระบวนการ MATLAB เพื่อนำข้อมูลมาจำลองกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์โดยใช้โปรแกรม MATHLAB ซึ่งจะนำไปสู่การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์โดยตัวแปรที่ศึกษามี ดังนี้ อัตราการป้อนกลับ พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ และนำตัวแปรที่ศึกษามาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นสารเอนเทรเนอร์ ซึ่งจะนำผลมาทำการสรุปและวิเคราะห์ผล จากแผนการดำเนินงานที่กล่าวมาจะแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงาน

### 3.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวข้องกับกระบวนการแยกสารผสมที่เป็นอะซิโโทรป

ศึกษาข้อมูลทฤษฎีและหลักการกระบวนการแยกสารผสมที่เป็นอะซิโโทรป เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมถึงการวิเคราะห์สารที่ใช้เป็นเอนเทรเนอร์

### 3.2 ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการกลั่นแบบแบตช์

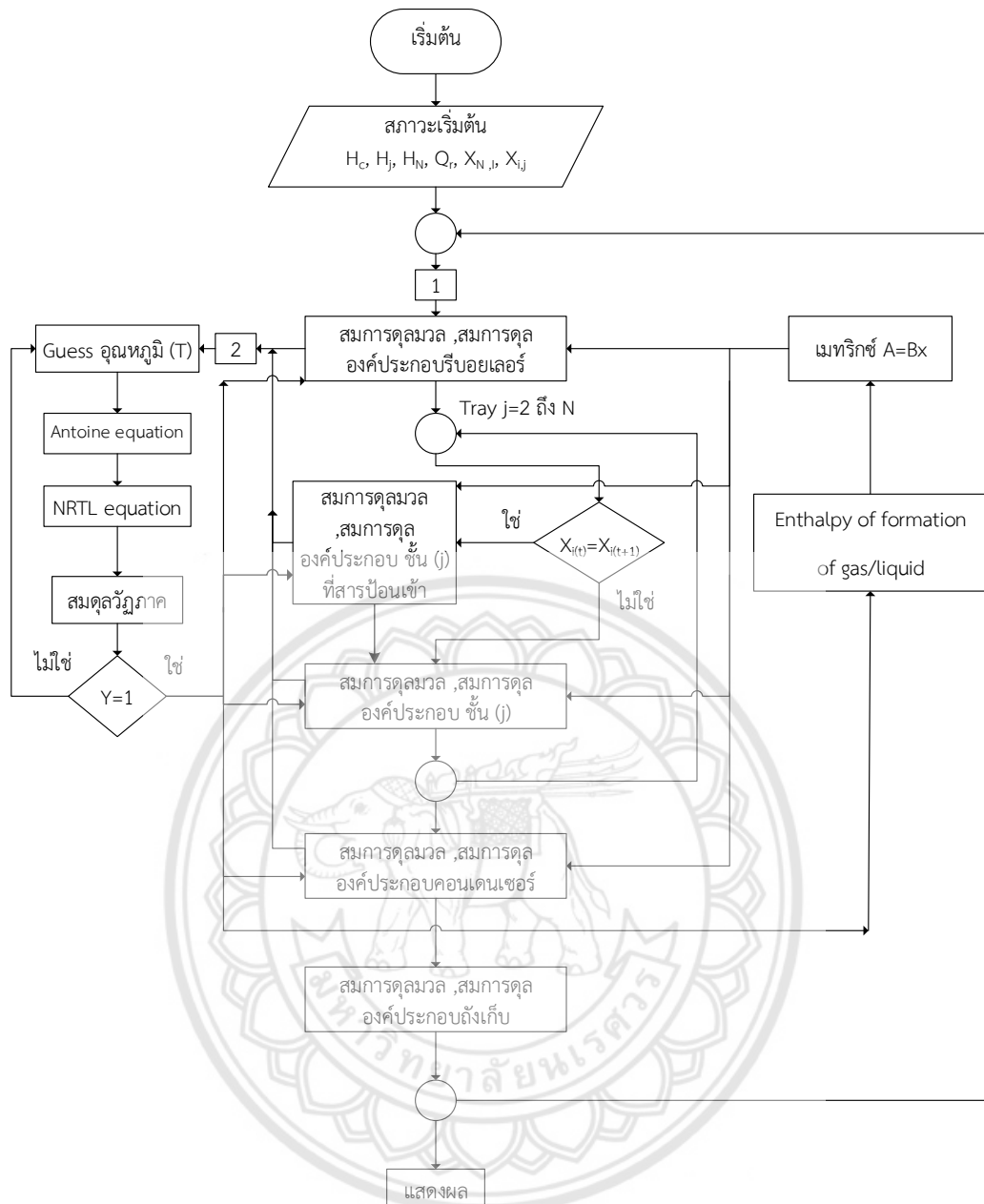
ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการกลั่นแบบแบตช์ สำหรับสารผสมอะซิโตนและเมทานอล โดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และตัวแปรที่มีผลต่อการกลั่นแบบแบตช์

### 3.3 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับกระบวนการกลั่นสัปดาห์แบบแบตช์

ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลั่นสัปดาห์แบบแบตช์เพื่อใช้ในการจำลองกระบวนการ โดยใช้วิธีการระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยวิธีการของออยเลอร์ (Euler's Method) เพื่อทำนายค่าสัดส่วนโมลของสารที่เวลาถัดไปโดยอาศัยค่า ณ ตำแหน่งปัจจุบัน ซึ่งนำไปใช้ที่สมการดุลมวล (Mass Balance Equation) สมการดุลองค์ประกอบ (Component Balance Equation) และดุลพลังงาน (Energy Balance Equation)

### 3.4 ศึกษาโปรแกรม MATLAB ที่ใช้จำลองกระบวนการ

ศึกษาแบบการทำงานและการใช้ฟังก์ชันต่างๆ ของโปรแกรม MATLAB เช่น คำสั่งการวนลูป (for, While) คำสั่งเงื่อนไขทดสอบความสัมพันธ์ (if, switch, case) คำสั่งให้แสดงข้อมูลเป็นกราฟ เป็นต้น โดยขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของกระบวนการกลั่นสัปดาห์แบบแบตช์ใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการและสถานะที่เหมาะสมสำหรับการแยกอะซิโตนและเมทานอลโดยมีน้ำเป็นเอนเทรเนอร์แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 3.2 ที่สถานะเริ่มต้นทำการดำเนินการกระบวนการที่สถานะสมดุล (Equilibrium) ข้อมูลเข้า (Input) คือ สัดส่วนโมลของของเหลวที่เวลาเริ่มต้น การเกิดขึ้นของโมลที่คอนเดนเซอร์ การเกิดขึ้นของโมลที่รีบอยเลอร์ การเกิดขึ้นของโมลที่ขึ้น พลังงานความร้อนที่ป้อนให้รีบอยเลอร์ อุณหภูมิ ความดัน จากนั้นข้อมูลเข้าทั้งหมดจะเข้าไปที่เส้นทางที่ 1 คือ สมการดุลมวล และสมการดุลองค์ประกอบ ของรีบอยเลอร์ โดยจะต้องเข้าไปในเส้นทางที่ 2 เริ่มจากคาดคะเนอุณหภูมิ ใช้สมการ Antoine จะได้ความดันไออิ่มตัว นำไปเข้าสมการ NRTL จะได้ค่า Activity Coefficient นำค่านี้ไปใช้ในสมการสมดุลไอและของเหลวซึ่งค่าผลรวมสัดส่วนโมลของไอจะต้องมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าไม่เท่าจะต้องกลับไปเริ่ม คาดคะเนอุณหภูมิใหม่ ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 แล้วแสดงว่า อุณหภูมินั้นคืออุณหภูมิ

ของหอกลั่น เมื่อได้อุณหภูมิและสัดส่วนโมลของไอ โดยจะนำไปใช้ในตอนที่สมการดุลพลังงานเพื่อคำนวณหาค่าเอนทัลปีของของเหลวและไอ แล้วเข้าไปที่เมทริกซ์ เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของของเหลวและอัตราการไหลของไอ จากนั้นกลับไปแทนในสมการดุลองค์ประกอบจะได้ค่าสัดส่วนโมลของของเหลวของที่รีบอยเลอร์จะไปใช้ต่อในสมการดุลมวลและสมการดุลองค์ประกอบของชั้นที่ 2 ถึง N-1 (N=ชั้นรีบอยเลอร์) โดยจะต้องเข้าไปในเส้นทางที่ 2 และจะทำเหมือนกับที่กล่าวในข้างต้น จะได้ค่าสัดส่วนโมลของของเหลวที่ชั้นที่ 2 ถึง N-1 และนำไปใช้ต่อในสมการดุลมวลและสมการดุลองค์ประกอบของคอนเดนเซอร์ จะได้ค่าสัดส่วนโมลของของเหลวที่คอนเดนเซอร์ และนำไปใช้ต่อในสมการดุลมวลและสมการดุลองค์ประกอบของถังเก็บจะได้ค่าสัดส่วนโมลของของเหลวในถังเก็บ ค่าที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดเป็นเพียงที่เวลาเริ่ม ต้องใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) เพื่อหาที่เวลาถัดไปแต่ถ้าสัดส่วนโมลของของเหลวที่เวลาถัดไปมีค่าเท่ากับเวลาที่ผ่านมานั้นในชั้นที่สมการดุลมวลและองค์ประกอบของชั้นที่ 2 ถึง N-1 จะต้องเพิ่มสมการดุลมวลและองค์ประกอบที่ชั้นที่สารถป้อนเข้าด้วยและจากนั้นก็ทำเหมือนข้างต้นจนถึงสมการดุลองค์ประกอบที่ถังเก็บจนถึงเวลาสิ้นสุด

### 3.5 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์

ทำการปรับเปลี่ยนขอบเขตของตัวแปร เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์มากที่สุด โดยตัวแปรที่ทำการศึกษามี ดังนี้

- 3.5.1 อัตราการป้อนกลับ (Reflux Ratio,  $R_p$ )
- 3.5.2 พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty,  $Q_r$ )
- 3.5.3 อัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Feed Flow Rate) (กิโลโมล/ชั่วโมง)
- 3.5.4 อุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Temperature,  $T_f$ )
- 3.5.5 ชั้นป้อนเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Feed Tray)

ซึ่งสังเกตจากค่าสัดส่วนโมลของของเหลวสารผลิตภัณฑ์จะมีความเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อมีค่าตัวแปรที่ทำการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงและนำค่าตัวแปรมาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสกัดแบบแบตซ์

### 3.6 สรุปและวิเคราะห์ผล

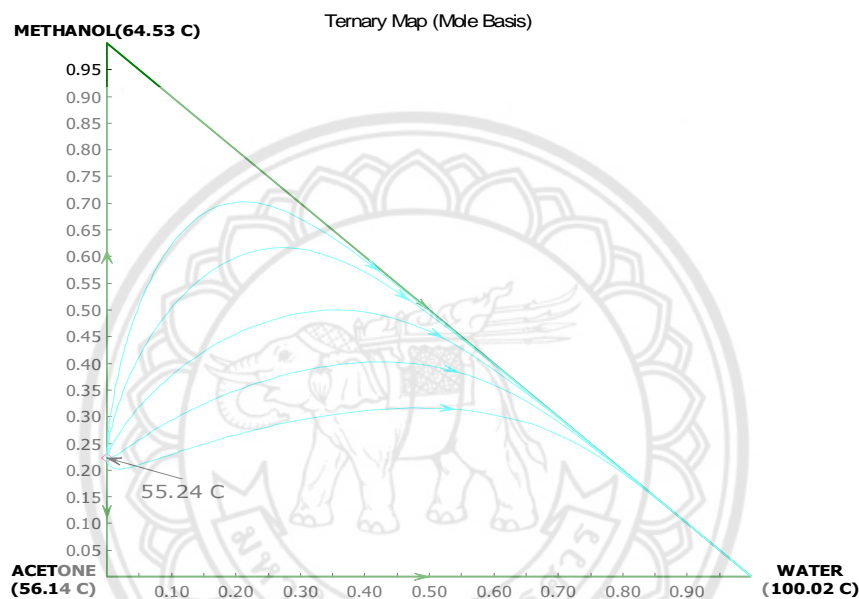
3.6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกลั่นสกัดแบบแบตซ์

3.6.2 พิจารณาวิเคราะห์กระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม

## บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

### 4.1 ศึกษาแผนที่เส้นโค้งรีซิดิวล

การกลั่นสกัดจำเป็นต้องศึกษาแผนที่เส้นโค้งรีซิดิวล (Residue Curve Map; RCM) ของอะซิโตน-เมทานอล-น้ำ เพื่อนำคุณสมบัติทางกายภาพของสารไปใช้ประโยชน์ โดยใช้ข้อมูลสมมูลไอและของเหลวดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เส้นโค้งรีซิดิวลของอะซิโตน-เมทานอล-น้ำ

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าสารผสมเมทานอลและอะซิโตนมีจุดอะซิโตรีปที่ 55.24 องศาเซลเซียส และความบริสุทธิ์ของอะซิโตนและเมทานอลมีสัดส่วนโดยโมลที่ 0.7775 และ 0.225 ตามลำดับ เมื่อน้ำเพิ่มขึ้นจะสังเกตว่าอะซิโตนจะมีความบริสุทธิ์มากขึ้น แสดงว่าน้ำสามารถใช้เป็นเอนเทรเนอร์ได้ เพราะมีความคล้ายคลึงทางเคมี (Chemical Affinity) และมีจุดเดือดที่ 100.02 องศาเซลเซียสและสูงกว่าสารบริสุทธิ์อะซิโตนมีจุดเดือดที่ 56.14 องศาเซลเซียส สารบริสุทธิ์เมทานอลมีจุดเดือดที่ 64.53 องศาเซลเซียส สารที่จะระเหยก่อนคืออะซิโตนซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์เราต้องการซึ่งมีจุดเดือดที่ต่ำที่สุด จุดอะซิโตรีปที่อยู่บนขอบของกราฟนี้เรียกว่า จุดเอกพจน์ (Singular Point) ของเส้นโค้งรีซิดิวล ซึ่งแสดงพฤติกรรมของเส้นโค้งรีซิดิวลเป็นแบบโหนดไม่เสถียร (Unstable Node) เนื่องจากสารทั้งสองมีค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalues) เป็นบวก (W.L. Luyben, 1992)

## 4.2 เปรียบเทียบแบบจำลองการกลั่นสกัดแบบแบตช์

การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองการกลั่นสกัดแบบแบตช์ สำหรับกระบวนการแยกอะซิโตนกับ เมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์ จะทำการศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ (Lang et al.,1994) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการจำลองกระบวนการร่วมกับการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 แสดงใน ขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 4 เป็นการกลั่นหลังจากขั้นตอนที่ 1 โดยกำหนดให้อัตราการไหลของไอที่ ยอดหอ และปริมาณของเหลวในชั้นหอกลั่นคงที่ สำหรับงานวิจัยนี้จะกำหนดให้พลังงานที่ป้อนเข้า รีบอยเลอร์ และโมลของของเหลวในชั้นหอกลั่นคงที่ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของการจำลอง กระบวนการ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้จำลองกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์โดยใช้แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองจะแบ่งเป็น 4 ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จะดำเนินการภายใต้ อัตราการป้อนกลับหมด พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 30 เมกะวัตต์ ระยะเวลา 60 นาที ที่สภาวะคงที่จนถึงจุดอะซิโตนที่สัดส่วนโมลของอะซิโตน 0.7838

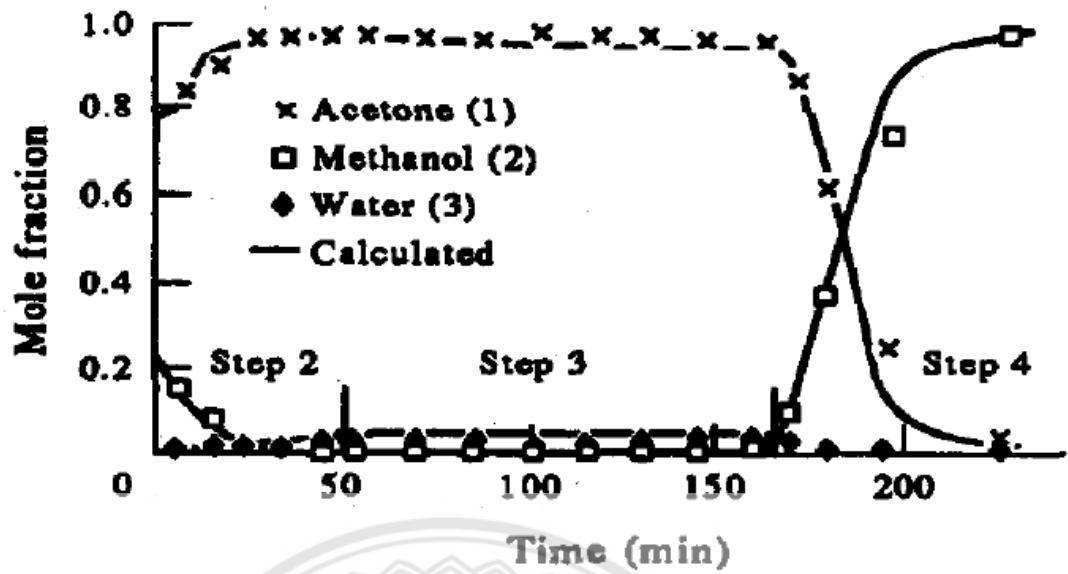
ขั้นตอนที่ 2 จะดำเนินการภายใต้ อัตราการป้อนกลับหมด พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 30 เมกะวัตต์ ระยะเวลา 50 นาที จนได้สัดส่วนโมลที่เกินจุดอะซิโตนที่ 0.9405

ขั้นตอนที่ 3 จะดำเนินการภายใต้ อัตราการป้อนกลับ 0.8 พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 100 เมกะวัตต์ ระยะเวลา 115 นาที เป็นช่วงที่จัดเก็บอะซิโตนที่มีสัดส่วนโมล 0.9414

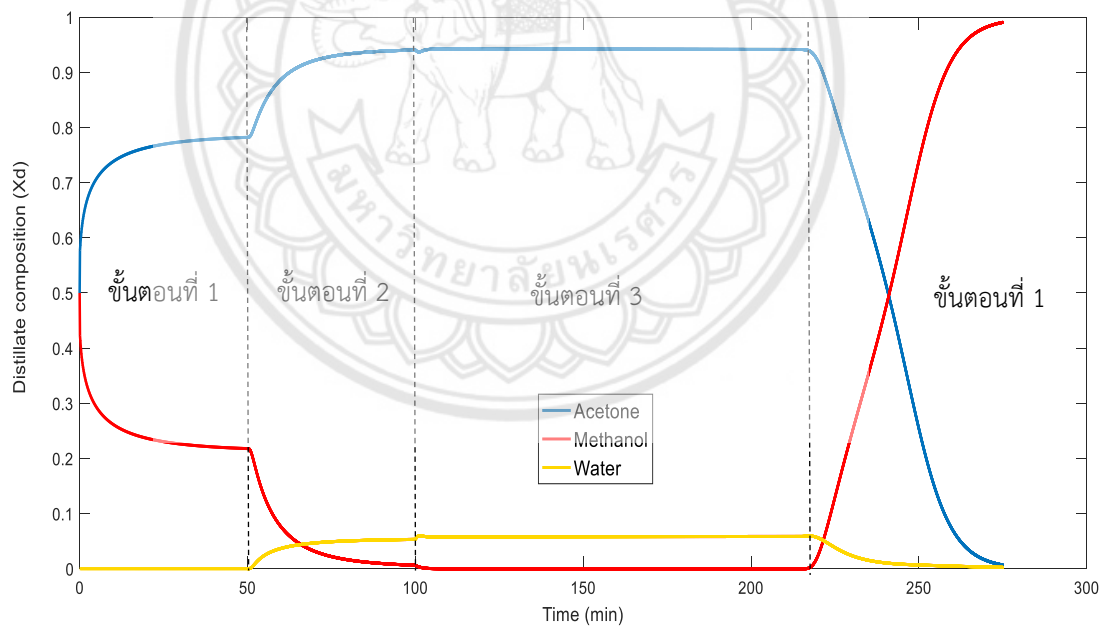
ขั้นตอนที่ 4 จะดำเนินการภายใต้ อัตราการป้อนกลับ 0.6 พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 10 เมกะวัตต์ ระยะเวลา 60 นาที เป็นช่วงที่อะซิโตนในหอกลั่นเริ่มที่จะหมดลงและเมทานอลถูกกลั่น ขึ้นมาจึงทำให้มีสัดส่วนโมลของเมทานอลมากขึ้น

ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองแสดงดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนของแบบจำลอง มีความคล้ายกับทดลอง ทำให้แบบจำลองนี้สามารถนำมาอธิบายพฤติกรรมของกระบวนการกลั่นสกัด แบบแบตช์เพื่อใช้วิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์นี้ได้





รูปที่ 4.2 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตน-เมทานอลและน้ำ ของผลการทดลอง  
ที่มา: Batch Extractive Distillation Under Constant Reflux Ratio, P Lang.



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตน-เมทานอลและน้ำ ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### 4.3 วิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์

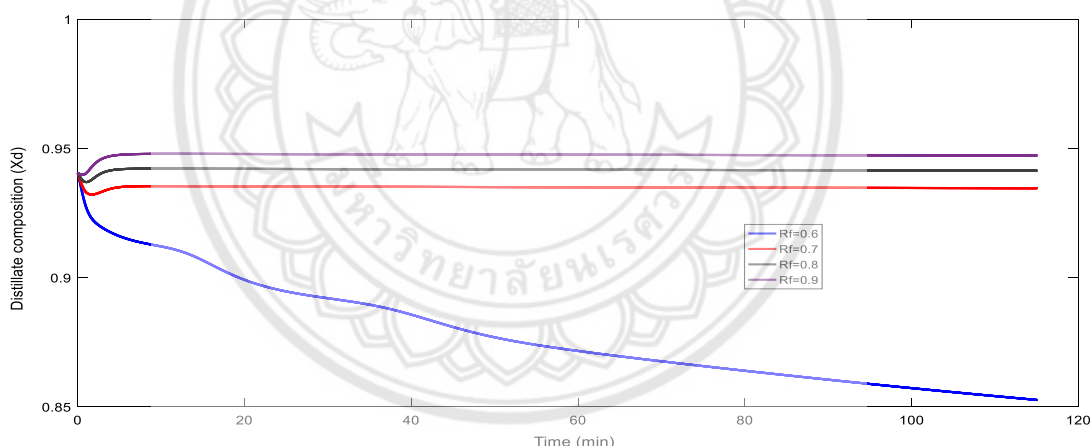
การศึกษาวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์ ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย อัตราการป้อนกลับ พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์

#### 4.3.1 อัตราการป้อนกลับ (Reflux Ratio, Rf)

ศึกษาอัตราการป้อนกลับในขั้นตอนที่ 3 และ ขั้นตอนที่ 4 โดยจะแยกศึกษาที่ละขั้นตอน ดังนี้

##### 4.3.1.1 ปรับค่าอัตราการป้อนกลับขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 100 เมกะวัตต์ ชั้นที่ป้อนเอนเทรเนอร์ชั้นที่ 6 ในอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 115 นาที ให้คงที่ และปรับอัตราการป้อนกลับที่ 0.6 0.7 0.8 และ 0.9 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.4

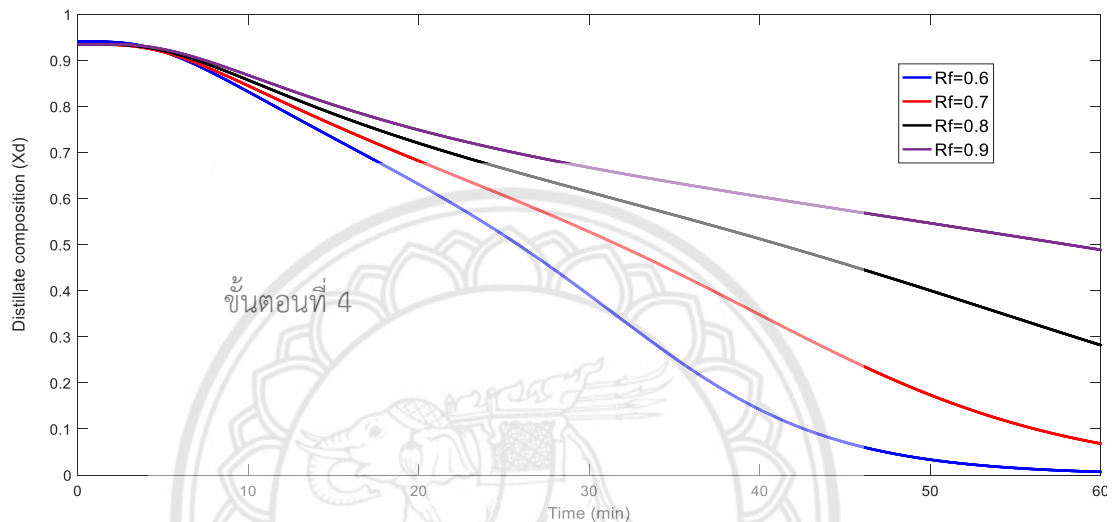


รูปที่ 4.4 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนกลับในขั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง

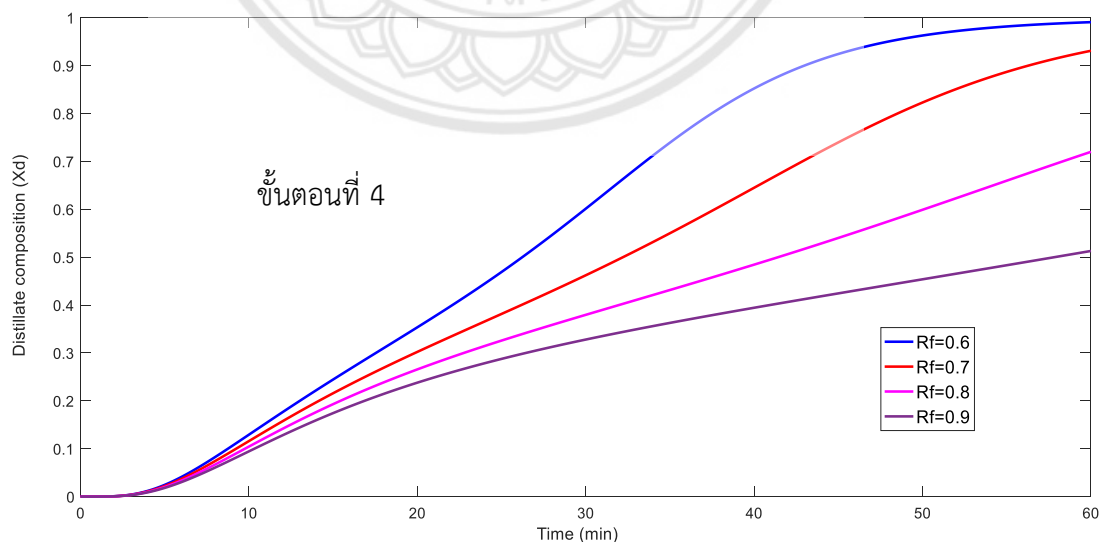
พบว่าค่าสัดส่วนโมลของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการป้อนกลับเพิ่มขึ้น มีการป้อนกลับเข้าหอกั่นมากทำให้เกิดสมดุลไอและของเหลว (Vapor-Liquid Equilibrium) มากขึ้นส่งผลให้อะซิโตนมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ในขณะเดียวกันอัตราการป้อนกลับที่ 0.6 ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนมีค่าน้อยลง และมีค่าเท่ากับ 0.8527 ดังแสดงในภาคผนวก ก เนื่องจากการป้อนกลับเข้าหอกั่นน้อยเกินไปจึงทำให้เกิดสมดุลไอและของเหลวไม่เพียงพอ ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จัดเก็บดังนั้นควรที่จะทำให้อะซิโตนมีความบริสุทธิ์ที่สุด

#### 4.3.1.2 ปรับค่าอัตราการป้อนกลับขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 10 เมกะวัตต์ ชั้นที่ป้อนเอนเทรเนอร์ชั้นที่ 6 ในอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที ให้คงที่ และปรับอัตราการป้อนกลับที่ 0.6 0.7 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตน ในการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนกลับในขั้นตอนที่ 4 ของแบบจำลอง



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของเมทานอล ในการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนกลับในขั้นตอนที่ 4 ของแบบจำลอง

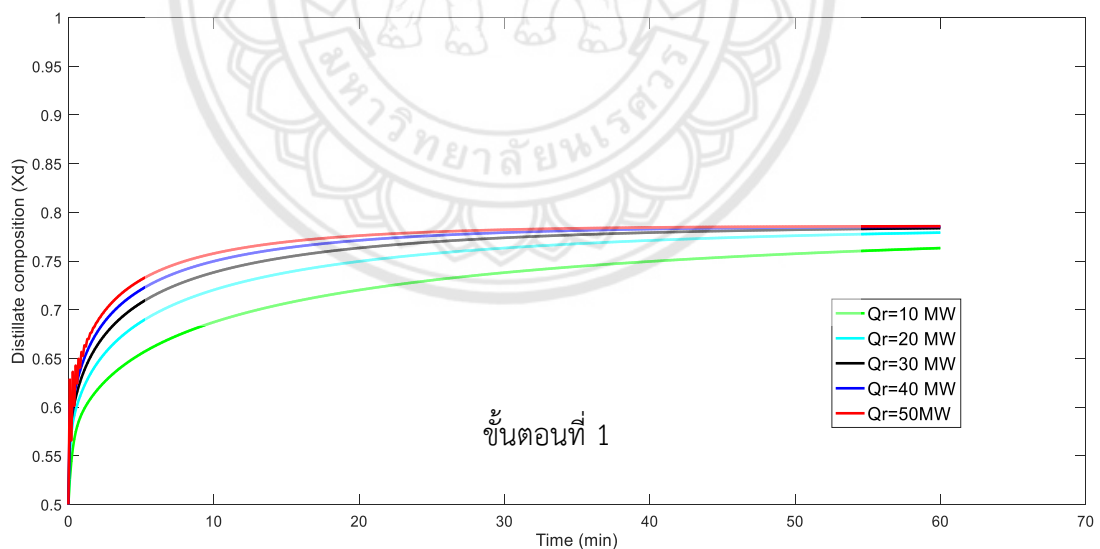
จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน พบว่าเมื่ออัตราการป้อนกลับมากทำให้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนมีค่ามากขึ้น เนื่องจากที่อัตราการป้อนกลับมากทำให้ยังคงเกิดสมดุลไอและของเหลวภายในหอกลั่นอยู่มากส่งผลให้ยังคงได้ความบริสุทธิ์ของอะซิโตนสูงในทางกลับกันที่อัตราการป้อนกลับน้อยคือที่ 0.6 ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนจะมีค่าที่น้อยลง เนื่องจากมีการป้อนกลับเข้าหอกลั่นน้อยในขั้นตอนนี้จึงเหลืออะซิโตนในหอกลั่นน้อย ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.6 ซึ่งแสดงถึงค่าสัดส่วนโดยโมลของเมทานอลโดยจะมีแนวโน้มที่มากขึ้น เนื่องจากอะซิโตนในหอกลั่นและเมทานอลที่มีจุดเดือดสูงกว่าอะซิโตนจึงถูกกลั่นขึ้นมาที่ยอดของหอกลั่น

#### 4.3.2 พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, $Q_r$ )

ทำการศึกษาพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ในขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนที่ 4 โดยแยกศึกษาที่ละขั้นตอนดังนี้

##### 4.3.2.1 ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 1 จะดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับหมด ระยะเวลา 60 นาที และปรับค่าพลังงานความร้อนที่ 10 20 30 40 และ 50 เมกะวัตต์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.7

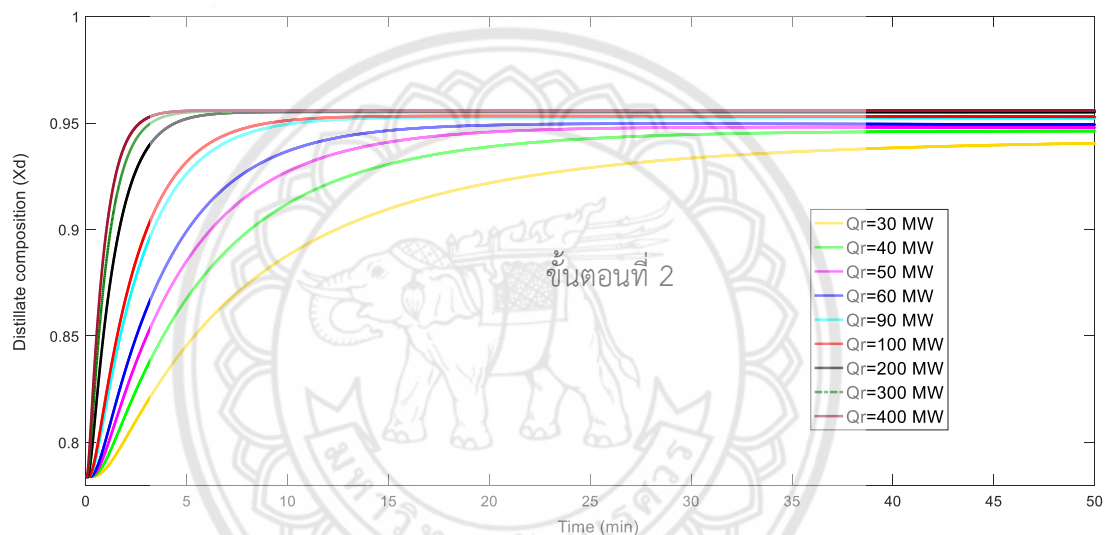


รูปที่ 4.7 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ในขั้นตอนที่ 1 ของแบบจำลอง

จากรูปที่ 4.7 แสดงถึงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน พบว่าเมื่อให้ที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ พบว่าเมื่อพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์เพิ่มขึ้นค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนมีค่าเพิ่มขึ้นและใช้เวลาเร็วขึ้น ดังแสดงในภาคผนวก ก

#### 4.3.2.2 ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 จะดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับหมด ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ที่ 6 ในอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 50 นาทีและปรับค่าพลังงานความร้อนที่ 30 40 50 60 90 100 200 300 และ 400 เมกะวัตต์ ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.8

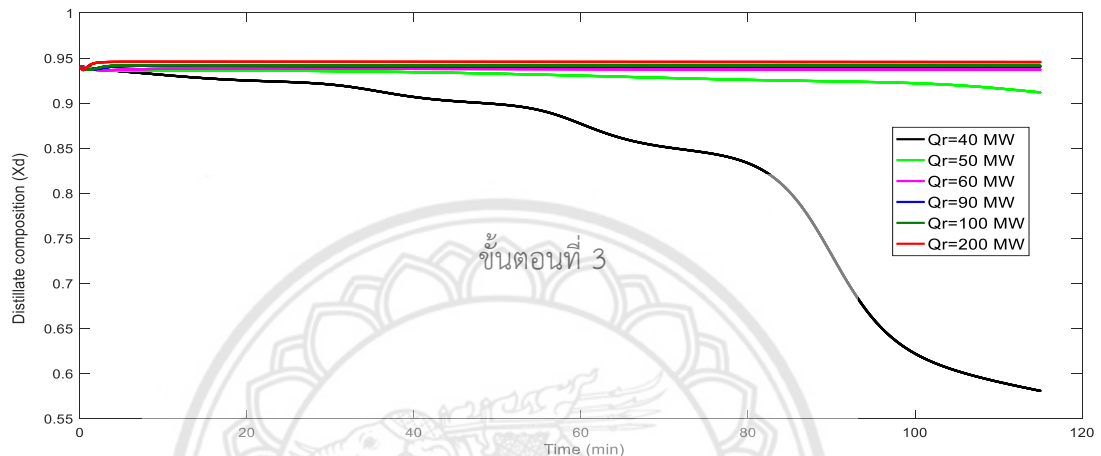


รูปที่ 4.8 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ในขั้นตอนที่ 2 ของแบบจำลอง

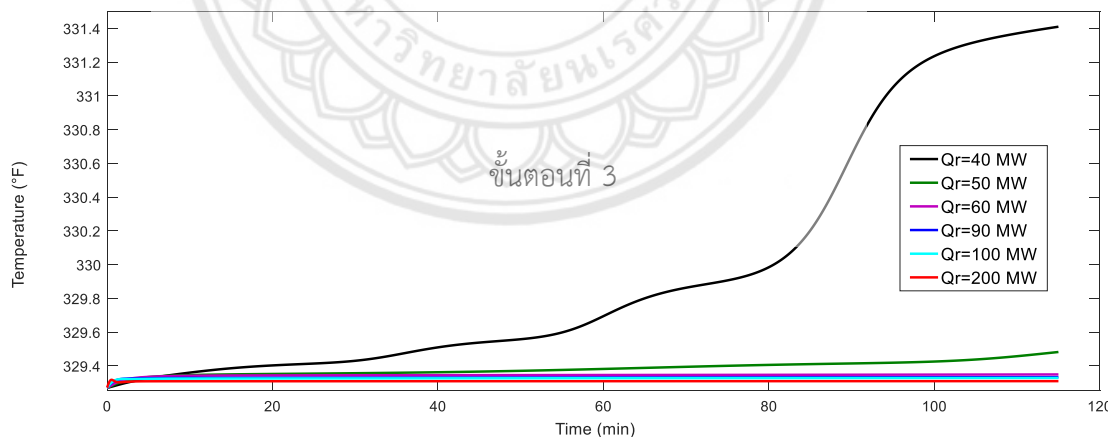
จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน พบว่าเมื่อพลังงานความร้อนที่รีบอยเลอร์เพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนโมลของอะซิโตนมากขึ้นและใช้เวลาเร็วขึ้นซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับในขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4.7 แต่จะมีค่าสัดส่วนอะซิโตนที่มากกว่าเนื่องจากขั้นตอนมีการป้อนน้ำซึ่งเป็นเอนเทรเนอร์เข้าไปช่วยลดการระเหยของเมทานอลส่งผลให้อะซิโตนระเหยได้มากขึ้น

### 4.3.2.3 ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 จะดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับ 0.8 ขั้นป้อนเอนเทอร์เนอร์ที่ 6 ในอัตราการป้อนเอนเทอร์เนอร์ 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเอนเทอร์เนอร์ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 115 นาที และปรับค่าพลังงานความร้อนที่ 40 50 60 90 100 และ 200 เมกะวัตต์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ ในขั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง

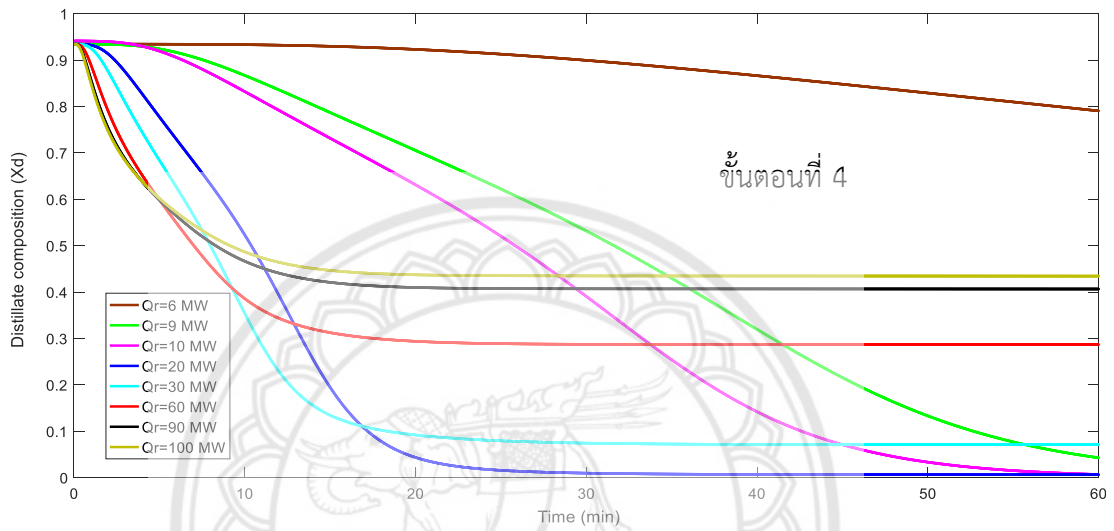


รูปที่ 4.10 อุณหภูมิบนยอดหอกลั่นในขั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง

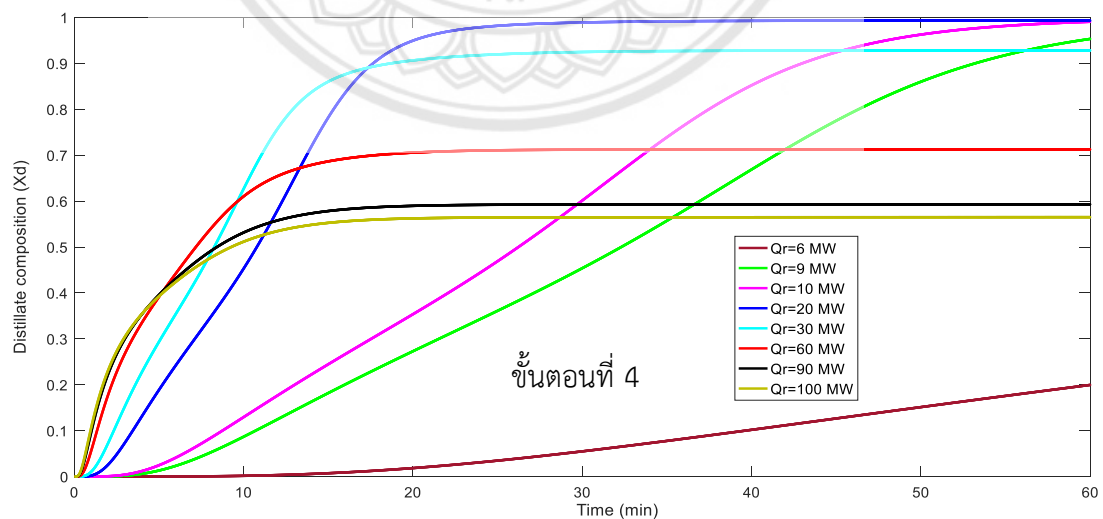
จากรูปที่ 4.9 แสดงถึงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน พบว่าเมื่อพลังงานป้อนเข้ารีบอยเลอร์เพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนโมลอะซิโตนเพิ่มขึ้น ถ้าปรับพลังที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์น้อยเกินไปเช่นที่ 40 เมกะวัตต์ จะทำให้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนลดลง เนื่องจากพลังที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ไม่เพียงพอส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิในระบบมีค่าไม่คงที่ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.10 ที่แสดงถึงอุณหภูมิบนยอดหอกลั่น

#### 4.3.2.4 ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ชั้นตอนที่ 4

ชั้นตอนที่ 4 จะดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับ 0.6 ชั้นป้อนเอนเทอร์เนอร์ที่ 6 ในอัตราการป้อนเอนเทอร์เนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเอนเทอร์เนอร์ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที และปรับค่าพลังงานความร้อนที่ 6 9 10 20 30 60 90 และ 100 เมกะวัตต์ ตามลำดับ จะแสดงดังรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ในชั้นตอนที่ 4 ของแบบจำลอง

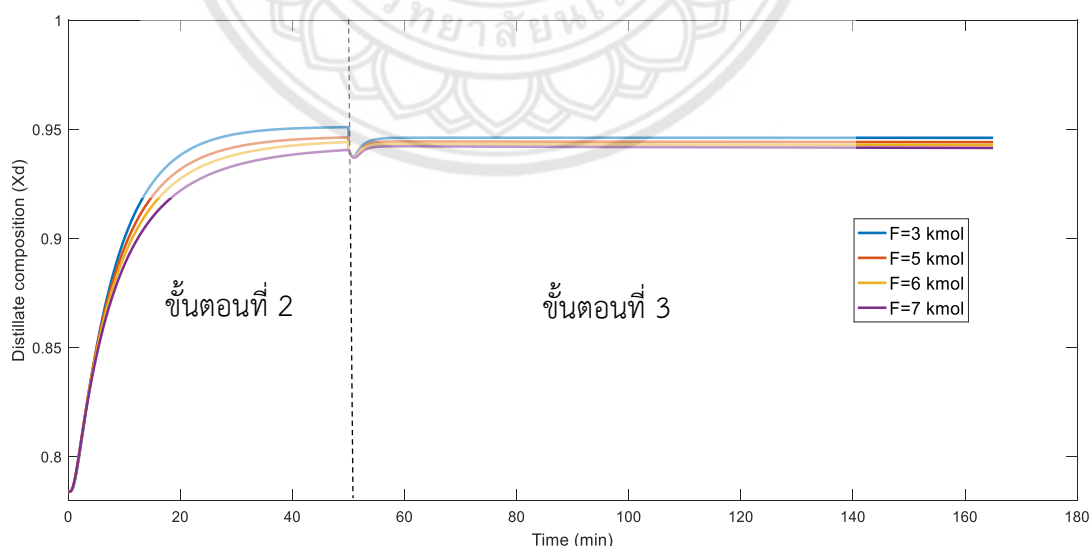


รูปที่ 4.12 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของเมทานอลในการปรับเปลี่ยนพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ ในชั้นตอนที่ 4 ของแบบจำลอง

จากรูปที่ 4.11 แสดงถึงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน พบว่าพลังงานความร้อนที่ 6 9 10 และ 20 เมกะวัตต์ เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนลดลงตามลำดับ ซึ่งพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ที่ 20 เมกะวัตต์จะทำให้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนลดลงเร็วที่สุด ถ้าปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์มากเกินไปจะทำให้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจากพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 30 60 90 และ 100 เมกะวัตต์ ทำให้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนเพิ่มขึ้นตามลำดับ จึงส่งผลให้สอดคล้องกับรูปที่ 4.11 จากพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 6 9 10 และ 20 เมกะวัตต์ ทำให้สัดส่วนโมลของเมทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับแต่พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 30 60 90 และ 100 เมกะวัตต์ ทำให้ค่าสัดส่วนโมลของเมทานอลลดลงตามลำดับ

#### 4.3.3 อัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Feed Flow Rate)

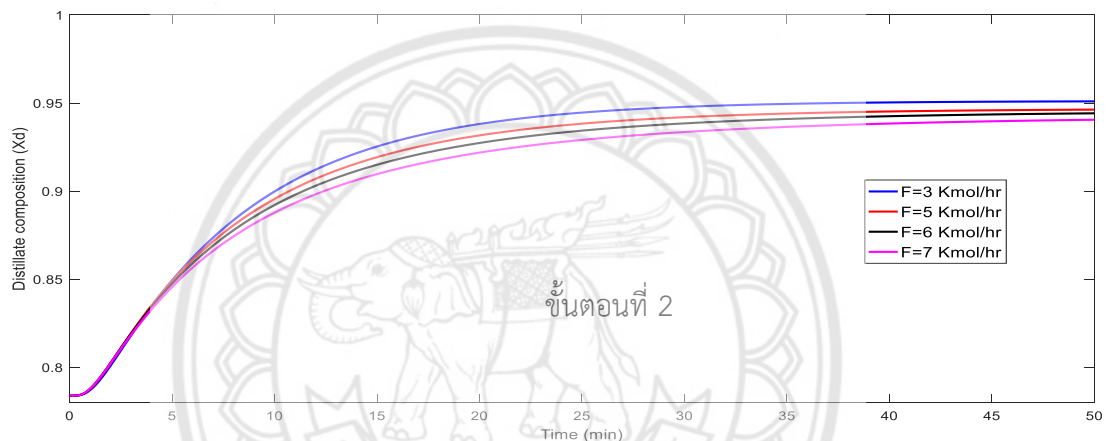
ศึกษาการปรับค่าอัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ ขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 3 ซึ่งจะแยกศึกษาทีละขั้น โดยขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับหมด และพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 30 เมกะวัตต์ ขั้นป้อนเอนเทรนเนอร์ที่ 6 ในอัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 50 นาที และ ในขั้นตอนที่ 3 จะดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับ 0.8 และพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 10 เมกะวัตต์ ขั้นป้อนเอนเทรนเนอร์ที่ 6 ในอัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 115 นาที จะแสดงดังรูปที่ 4.13



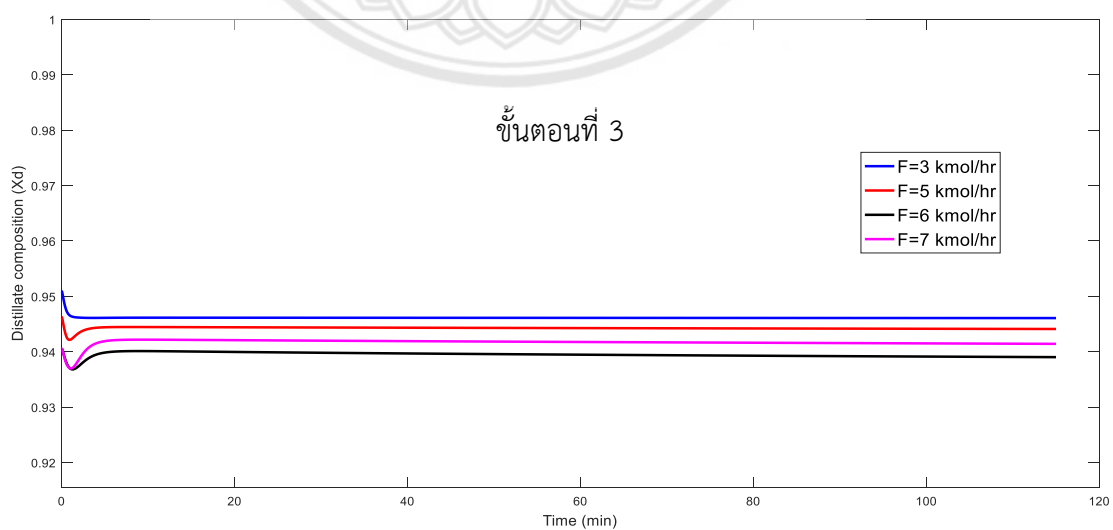
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ ในขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง



จากการปรับอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ที่ 3 5 6 และ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง ในขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 4.14 แสดงถึงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน พบว่าที่อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ที่น้อยลงส่งผลให้สัดส่วนโมลของอะซิโตนมากขึ้น เนื่องจากแผ่นที่เส้นโค้งรีซีคิวลของอะซิโตน เมทานอล และน้ำ แสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่น้ำเข้าไปในระบบจะทำให้จุดอะซิโตรีไซเคิลเปลี่ยนแปลงซึ่งเมื่อใส่น้ำในปริมาณที่น้อยจะทำให้สัดส่วนโมลของอะซิโตนมากขึ้นแต่ในทางกลับกันเมื่อใส่น้ำในปริมาณมากจะทำให้สัดส่วนโมลของอะซิโตนมีค่าน้อยลงและในการปรับอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ที่ขั้นตอนที่ 3 ดังรูปที่ 4.15 แสดงถึงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน พบว่ามีแนวโน้มที่เหมือนกับในขั้นตอนที่ 2 แต่มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก



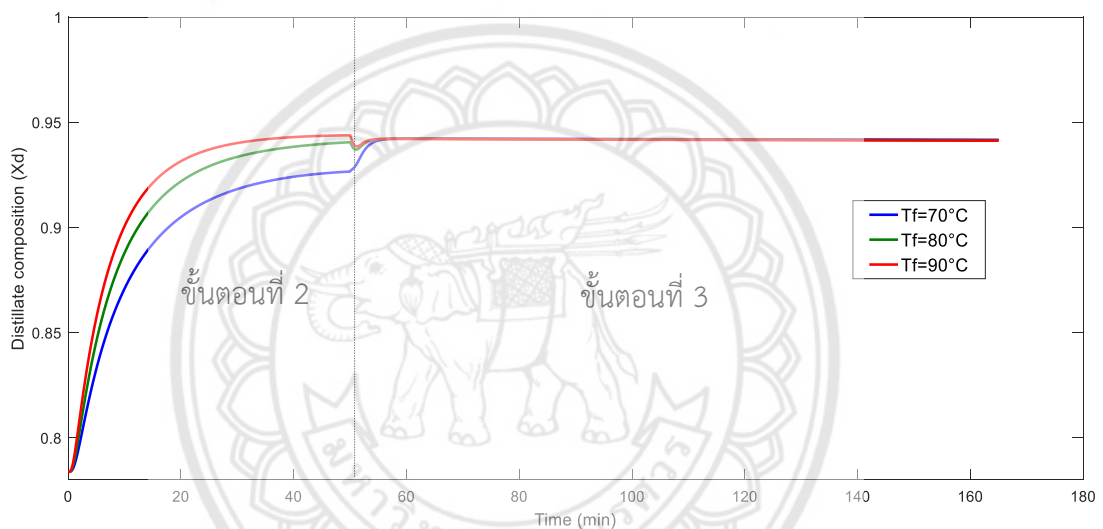
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ ในขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ ในขั้นตอนที่ 3

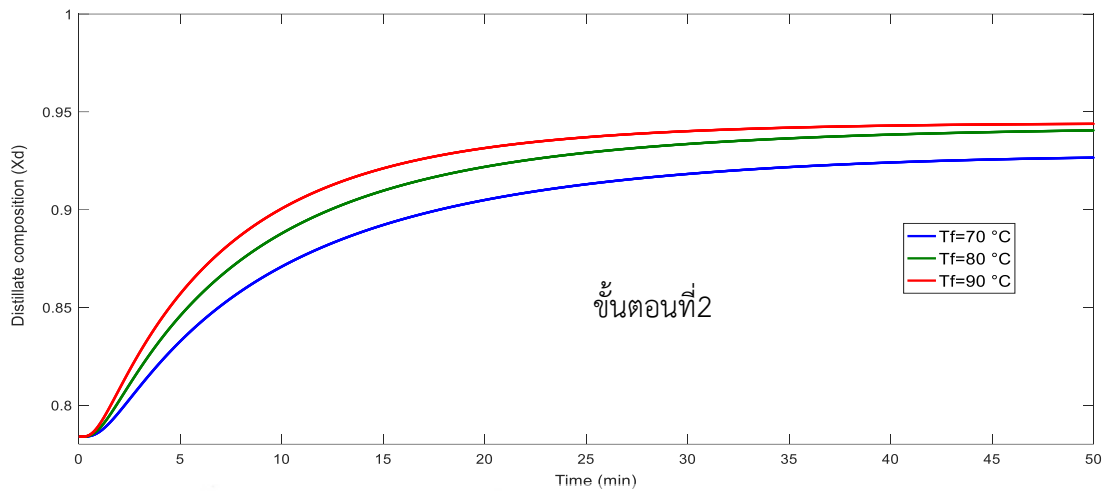
#### 4.3.4 อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ (Entrainer Temperature)

ศึกษาการปรับค่าอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ในขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 3 ซึ่งจะแยกศึกษาที่ละขั้นตอนโดยในขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับหมด และพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 30 เมกะวัตต์ ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ชั้นที่ 6 ในอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง และระยะเวลา 50 นาที และ ในขั้นตอนที่ 3 จะดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับ 0.8 และพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 10 เมกะวัตต์ ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ชั้นที่ 6 ในอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง และ ระยะเวลา 115 นาที จะแสดงดังรูปที่ 4.16 โดยปรับค่าอุณหภูมิของเอนเทรเนอร์ที่ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสารเอนเทรเนอร์ ในขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง

รูปที่ 4.17 แสดงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนในขั้นตอนที่ 2 พบว่าอุณหภูมิของเอนเทรเนอร์ที่สูงจะทำให้สัดส่วนโมลของอะซิโตนมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงของเอนเทรเนอร์ทำให้อุณหภูมิในชั้นที่ป้อนเอนเทรเนอร์นั้นสูงขึ้นส่งผลทำให้อะซิโตนระเหยเป็นไอและทำให้สามารถกลั่นอะซิโตนให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น และในการปรับค่าอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ที่ขั้นตอนที่ 3 ดังรูปที่ 4.18 แสดงถึงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน พบว่า ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก



รูปที่ 4.17 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสาร  
เอนเทรเนอร์ ในขั้นตอนที่ 2 ของแบบจำลอง

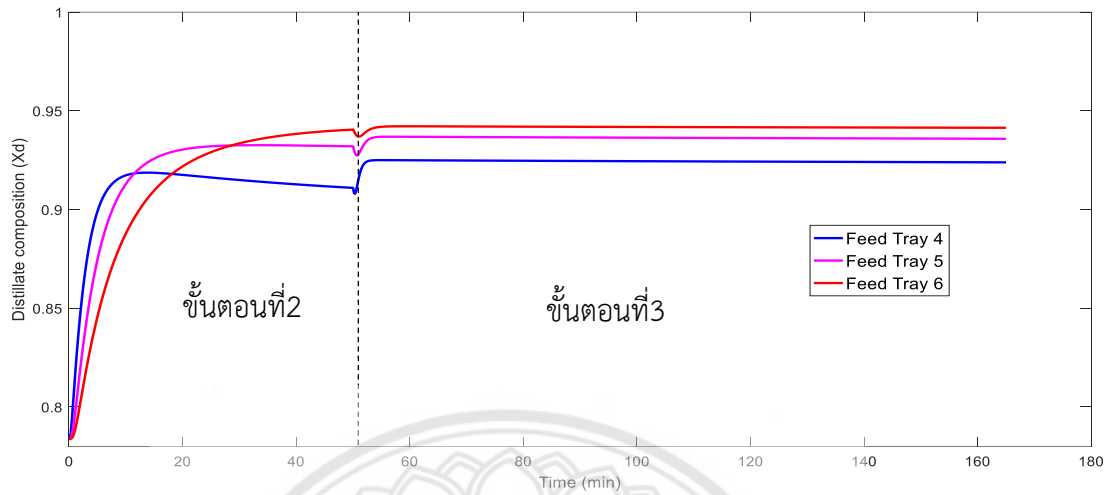


รูปที่ 4.18 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสาร  
เอนเทรเนอร์ใน ขั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง

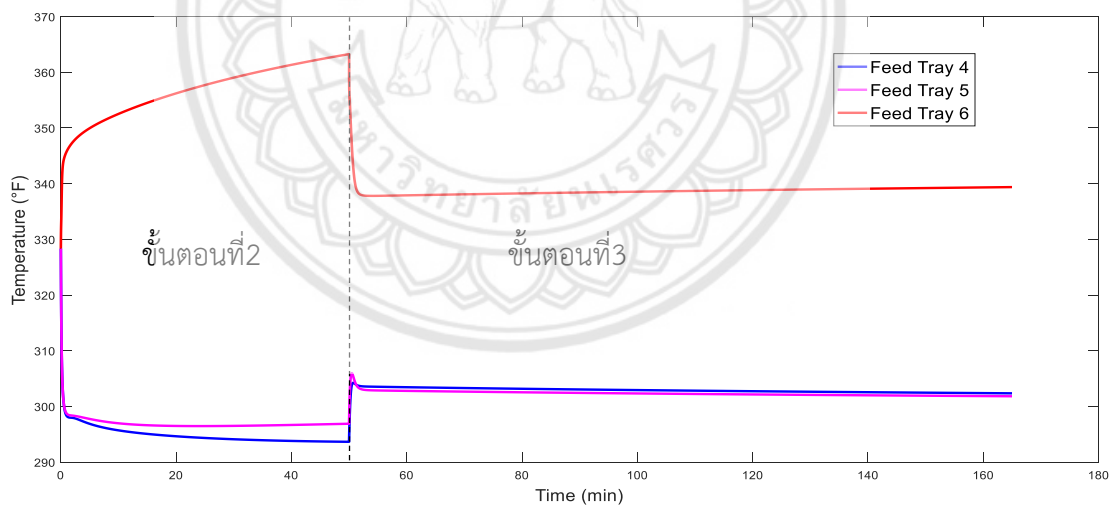
#### 4.3.5 ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ (Entrainer Feed Tray)

ศึกษาการปรับค่าชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ในขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 3 โดยในขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับหมด และพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 30 เมกะวัตต์ในอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 50 นาที และ ในขั้นตอนที่ 3 จะดำเนินการภายใต้อัตราการป้อนกลับ 0.8 และพลังงานที่ป้อนเข้า

รีบอยเลอร์ 10 เมกะวัตต์ในอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 7 กิโลโมลต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 115 นาที แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตนในการปรับเปลี่ยนชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ในชั้นตอนที่ 2 และ ชั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง



รูปที่ 4.20 อุณหภูมิของชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ในชั้นตอนที่ 2 และชั้นตอนที่ 3 ของแบบจำลอง

จากการปรับค่าชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ในชั้นที่ 4 5 และ 6 ในชั้นตอนที่ 2 และชั้นตอนที่ 3 ดังรูปที่ 4.19 แสดงถึงค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน พบว่า ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ชั้นที่ 6 จะได้สัดส่วนโมลของอะซิโตนที่มากที่สุด เนื่องจากในแต่ละชั้นจะมีอุณหภูมิที่ไม่เท่ากันส่งผลต่อการระเหยเป็นไอของอะซิโตน ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.20 จะเห็นว่าในชั้นที่ 6 มีอุณหภูมิที่สูงจึงส่งผลต่อการระเหยไอของอะซิโตนได้มากขึ้นการกลั่นจึงได้สัดส่วนอะซิโตนที่สูงขึ้น

ดังนั้นจากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ พบว่าอัตราการป้อนกลับ อัตราการป้อน เอนเทอร์เนอร์ อุณหภูมิเอนเทอร์เนอร์ พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ ชั้นป้อนเอนเทอร์เนอร์ ส่งผลต่อ สัดส่วนโมลของอะซิโตน อีกทั้งพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ส่งผลความไวต่อการกลั่นสกัดแบบแบตซ์

#### 4.4 สภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบแบตซ์

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตซ์ของอะซิโตนและเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทอร์เนอร์นั้นสามารถหาค่าที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดในกลั่นสกัดอะซิโตนและเมทานอล เพื่อให้ได้สัดส่วนโมลของอะซิโตนและปริมาณอะซิโตนในถังสะสมที่มากที่สุด แต่สามารถใช้ระยะเวลาที่ดำเนินงานและพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ที่น้อยลงจะแสดงดัง ตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.1 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับอัตราการป้อนกลับ

อัตราการป้อนกลับ (Reflux Ratio, Rf)			
ปรับอัตราการป้อนกลับ (Reflux Ratio, Rf) ในขั้นตอนที่ 3			
	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอด หอ (Xd)	สัดส่วนโมลของอะ ซิโตน ในถังสะสม (Xa)	ปริมาณสารใน ถังสะสม (Ha)
0.6	0.8527	0.8527	0.0050
0.7	0.9346	0.9346	0.0051
0.8	0.9414	0.9414	0.0047
0.9	0.9473	0.9473	0.0037
ปรับอัตราการป้อนกลับ (Reflux Ratio, Rf) ในขั้นตอนที่ 4			
0.6	0.0069	0.0071	-
0.7	0.0677	0.0693	-
0.8	0.2793	0.2824	-
0.9	0.4866	0.4890	-

จากตารางที่ 4.1 จะนำอัตราการป้อนกลับมาหาสภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบแบตซ์ โดยขั้นตอนที่ 3 จะเลือกอัตราการป้อนกลับที่ 0.8 เพราะทำให้ได้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนมากที่สุด และปริมาณสารในถังสะสมมากที่สุด และในขั้นตอนที่ 4 จะเลือกอัตราการป้อนกลับที่ 0.6 เพราะใช้ระยะเวลาและได้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนน้อยที่สุดโดยสังเกตจากรูปที่ 4.5 ที่ระยะเวลาเดียวกัน

ตารางที่ 4.2 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2

พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, Qr)				
ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, Qr) ขั้นตอนที่ 1	สัดส่วนโมลของอะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	เวลาที่ใช้ (นาที)	ส่วนเบี่ยงเบน	พลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
10 เมกะวัตต์	0.7633	-	2.6154	-
20 เมกะวัตต์	0.7792	-	0.5868	-
30 เมกะวัตต์	0.7838	60	100	180,000
40 เมกะวัตต์	0.7853	45	0.1917	180,000
50 เมกะวัตต์	0.7858	36	0.2552	180,000
ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, Qr) ขั้นตอนที่ 2	สัดส่วนโมลของอะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	เวลาที่ใช้ (นาที)	ส่วนเบี่ยงเบน	พลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
30 เมกะวัตต์	0.9405	50	100	150,000
40 เมกะวัตต์	0.9462	22	0.6060	88,000
50 เมกะวัตต์	0.9478	15	0.7761	75,000
60 เมกะวัตต์	0.9492	15	0.9251	90,000
90 เมกะวัตต์	0.9523	12	1.2547	108,000
100 เมกะวัตต์	0.9529	7	1.3185	70,000
200 เมกะวัตต์	0.9552	4	1.5629	80,000
300 เมกะวัตต์	0.9557	3	1.6161	90,000
400 เมกะวัตต์	0.9559	2	1.6374	80,000

จากตารางที่ 4.2 จะนำพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์มาหาสภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบแบตช์ โดยขั้นตอนที่ 1 จะเลือกพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 50 เมกะวัตต์ เพราะพลังงานที่ใช้ในระบบมีค่าเท่ากันแต่ได้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนมากที่สุดและเวลาที่ใช้ในกระบวนการน้อยที่สุด แต่ในขั้นตอนที่ 2 จะเลือกพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 100 เมกะวัตต์ เพราะพลังงานที่ใช้ภายในระบบมีค่าน้อยที่สุดและค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่ได้มีความแตกต่างกันไม่มากเมื่อเทียบกับพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์สูงๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ในขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนที่ 4

พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, Qr)			
ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, Qr) ขั้นตอนที่ 3	สัดส่วนโมลของอะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสม (Xa)	ปริมาณสารในถังสะสม (Ha)
40 เมกะวัตต์	0.5807	0.5809	0.0022
50 เมกะวัตต์	0.9119	0.9119	0.0027
60 เมกะวัตต์	0.9370	0.9370	0.0031
90 เมกะวัตต์	0.9405	0.9405	0.0043
100 เมกะวัตต์	0.9414	0.9414	0.0047
200 เมกะวัตต์	0.9456	0.9456	0.0088
ปรับค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, Qr) ขั้นตอนที่ 4	สัดส่วนโมลของอะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสม (Xa)	ปริมาณสารในถังสะสม (Ha)
6 เมกะวัตต์	0.7714	0.7756	-
9 เมกะวัตต์	0.0425	0.0440	-
10 เมกะวัตต์	0.0069	0.0071	-
20 เมกะวัตต์	0.0065	0.0065	-
30 เมกะวัตต์	0.0718	0.0719	-
60 เมกะวัตต์	0.2893	0.2873	-
90 เมกะวัตต์	0.4071	0.4071	-
100 เมกะวัตต์	0.4349	0.4349	-

จากตารางที่ 4.3 จะนำพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์มาหาสภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบแบตช์ โดยขั้นตอนที่ 3 จะเลือกพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 200 เมกะวัตต์ เพราะทำให้ได้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนมากที่สุดและปริมาณผลิตภัณฑ์ในถังสะสมมากที่สุด และในขั้นตอนที่ 4 จะ

เลือกพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 20 เมกะวัตต์ เพราะใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุดและได้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนน้อยที่สุดโดยสังเกตจากรูปที่ 4.11 ที่ระยะเวลาเดียวกัน

**ตารางที่ 4.4** แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ในขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 3

อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ (Entrainer Feed Flow Rate)			
อัตราการป้อน เอนเทรเนอร์ (kmol/hr) ในขั้นตอนที่ 2	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)		
3	0.9509		
5	0.9462		
6	0.9441		
7	0.9405		
อัตราการป้อน เอนเทรเนอร์ (kmol/hr) ในขั้นตอนที่ 3	สัดส่วนโมล ของอะซิโตนบน ยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตน ในถังสะสม (Xa)	ปริมาณสาร ในถังสะสม (Ha)
3	0.9461	0.9461	0.0056
5	0.9441	0.9441	0.0052
6	0.9428	0.9428	0.0050
7	0.9414	0.9414	0.0047

จากตารางที่ 4.4 จะนำอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์มาหาสภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบแบตช์ โดยขั้นตอนที่ 2 จะเลือกอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ที่ 3 กิโลโมลต่อชั่วโมง เพราะทำให้ได้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนมากที่สุด และในขั้นตอนที่ 3 จะเลือกอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ที่ 3 กิโลโมล/ชั่วโมง เพราะทำให้ได้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนมากที่สุดและได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ถังสะสมมากที่สุด



ตารางที่ 4.5 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ในชั้นตอนที่ 2 และชั้นตอนที่ 3

ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ (Entrainer Feed Tray)		
ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 2	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	
4	0.9110	
5	0.9320	
6	0.9405	
ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ ในชั้นตอนที่ 3	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอด หอ (Xd)	ปริมาณสารในถัง สะสม (Ha)
4	0.9245	0.0050
5	0.9359	0.0047
6	0.9414	0.0047

จากตารางที่ 4.5 จะนำชั้นป้อนเอนเทรเนอร์มาหาสภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบ  
แบตช์ โดยชั้นตอนที่ 2 จะเลือกชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ชั้นที่ 6 เพราะทำให้ได้ค่าสัดส่วนโมลของ  
อะซิโตนมากที่สุด และในชั้นตอนที่ 3 จะเลือกชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ชั้นที่ 6 เพราะทำให้ได้ค่าสัดส่วน  
โมลของอะซิโตนมากที่สุดและได้ปริมาณสารถึงสะสมมากที่สุด

ตารางที่ 4.6 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตน เมื่อปรับอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ในขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3

อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ (Entrainer Temperature)			
อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ (°C) ในขั้นตอนที่ 2	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)		
70	0.9266		
80	0.9405		
90	0.9483		
อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ (°C) ในขั้นตอนที่ 3	สัดส่วนโมล ของอะซิโตนบน ยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนในถัง สะสม (Xa)	ปริมาณสาร ในถังสะสม (Ha)
70	0.9416	0.9416	0.0045
80	0.9414	0.9414	0.0047
90	0.9412	0.9412	0.0049

จากตารางที่ 4.6 จะนำอุณหภูมิเอนเทรเนอร์มาหาสภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบ  
แบตช์ โดยขั้นตอนที่ 2 จะเลือกอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ที่ 90 องศาเซลเซียส เพราะทำให้ได้ค่าสัดส่วน  
โมลของอะซิโตนมากที่สุด และในขั้นตอนที่ 3 จะเลือกอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ที่ 90 องศาเซลเซียส  
เพราะทำให้ได้ค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิที่น้อยกว่าและได้ปริมาณ  
ผลิตภัณฑ์ในถังสะสมมากที่สุดและสามารถอธิบายตามขั้นตอนได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นที่ต้องการกลับให้ถึงจุดอะซิโทรปได้เร็วที่สุดที่สัดส่วนโมลของอะซิโตนที่ 0.7838 ภายใต้อัตราการป้อนกลับหมด ค่าที่พิจารณาคือ พลังงานรีบอยเลอร์ โดยดูค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์จากตารางที่ 4.2 ดังนั้น ค่าที่เหมาะสมคือ พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ที่ 40 เมกะวัตต์ ระยะเวลา 45 นาที

- ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นที่ต้องการกลับให้ได้สัดส่วนโมลของอะซิโตนที่มากที่สุดเนื่องมาจากมีการใส่เอนเทรเนอร์ทำให้สามารถกลับได้เกินจุดอะซิโทรปได้ภายใต้อัตราการป้อนกลับหมด ค่าที่พิจารณาคือ ค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ จากตารางที่ 4.2 4.4 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ค่าที่เหมาะสมคือ พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ที่ 100 เมกะวัตต์ อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 3 กิโลโมลต่อชั่วโมง อุณหภูมิของเอนเทรเนอร์ 90 องศาเซลเซียส ในชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ชั้นที่ 6 ระยะเวลา 7 นาที

- ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นที่ต้องการจัดเก็บอะซิโตนในปริมาณมากโดยที่มีสัดส่วนโมลมากที่สุด ค่าที่พิจารณาคือ อัตราการป้อนกลับ ค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ จากตารางที่ 4.1 4.2 4.3 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ ค่าที่เหมาะสมคือ อัตราการป้อนกลับที่ 0.8 พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 200 เมกะวัตต์ อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 3 กิโลโมลต่อชั่วโมง อุณหภูมิของเอนเทรเนอร์ 90 องศาเซลเซียส ในชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ชั้นที่ 6 ระยะเวลา 28 นาที

- ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นที่อะซิโตนในหอกลับหมด โดยที่ใช้เวลาที่เร็วที่สุด ค่าที่พิจารณาคือ อัตราการป้อนกลับ ค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ โดยดูจากตารางที่ 4.1 4.2 4.3 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ ค่าที่เหมาะสมคือ อัตราการป้อนกลับที่ 0.8 พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ 20 เมกะวัตต์ ระยะเวลา 30 นาที

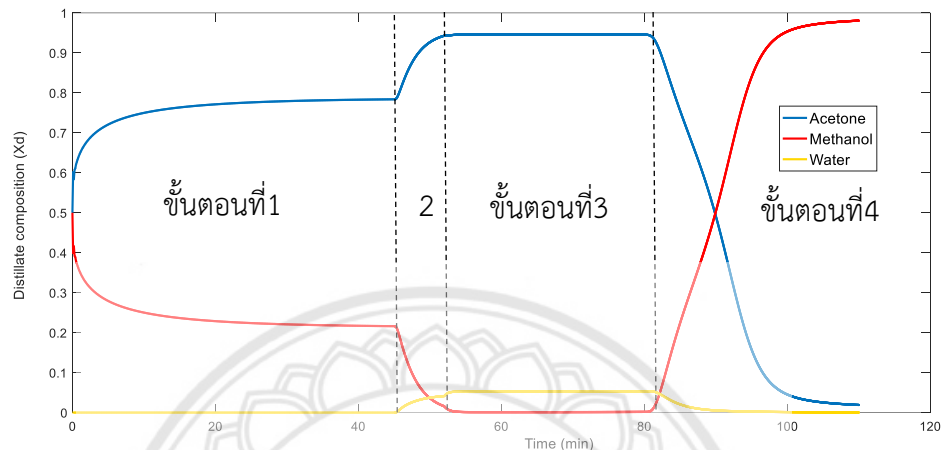
ซึ่งเมื่อนำค่าสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนไปดำเนินงานจะสามารถทำการเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบสถานะที่เหมาะสมของลักษณะกักแบบแบคทีเรียของแบบจำลองและการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1	สถานะที่เหมาะสม	การทดลอง	
อัตราการป้อนกลับ	1	1	
พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	40	30	
ระยะเวลา (นาที)	45	60	
ขั้นตอนที่ 2			
อัตราการป้อนกลับ	1	1	
พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	100	30	
อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	3	7	
อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ (องศาเซลเซียส)	90	80	
ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์	6	6	
ระยะเวลา (นาที)	7	50	
ขั้นตอนที่ 3			
อัตราการป้อนกลับ	0.8	0.8	
พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	200	100	
อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	3	7	
อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ (องศาเซลเซียส)	90	80	
ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์	6	6	
ระยะเวลา (นาที)	28	115	
ขั้นตอนที่ 4			
อัตราการป้อนกลับ	0.6	0.6	
พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	20	10	
ระยะเวลา (นาที)	30	60	
สัดส่วนโมลของอะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	0.9458	0.9414	
สัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังผสม (Xa)	0.9458	0.9414	ผลต่าง
ปริมาณสารในถังผสม (กิโลโมล)	0.01	0.0047	0.0053
พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ทั้งหมด(จิกะวัตต์-ชั่วโมง)	1,450	2,570	1,120
ระยะเวลาดำเนินการ (นาที)	110	285	175

#### 4.4.1 แบบจำลองที่เหมาะสมต่อกระบวนการกลั่นสกัด

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB จะได้สัดส่วนโมลของอะซิโตน เมทานอล และน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงกราฟสัดส่วนโมลของอะซิโตน-เมทานอลและน้ำ ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสม

การนำค่าสภาวะที่เหมาะสมมาจำลองกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะดำเนินการ 4 ขั้นตอน ดังตารางที่ 4.7 จะได้ว่าในขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนการกลั่นสกัดให้ถึงจุดอะซิโทรปโดยสัดส่วนโมลอะซิโตนมีค่าเท่ากับ 0.78 และใช้เวลาการกลั่นที่ 45 นาที ในขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการกลั่นสกัดให้ได้สัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เกินจุดอะซิโทรปที่ 0.94 ใช้เวลาการกลั่นที่ 7 นาที ในขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนที่จัดเก็บอะซิโตนในสัดส่วนโมลที่ 0.94 ใช้เวลาการกลั่นที่ 28 นาที และในขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนที่อะซิโตนในหอกลั่นเริ่มลดลงจนหมดและเมทานอลถูกกลั่นขึ้นมาที่ยอดหอ ใช้เวลาการกลั่นที่ 30 นาที

จึงสามารถปริมาณอะซิโตนในถังสะสม 0.01 กิโลโมล ใช้พลังงานที่ป้อนรีบอยเลอร์ทั้งหมดที่ 1,450 จิกะวัตต์-ชั่วโมง ระยะเวลา 110 นาที และจากการทดลองดังตารางที่ 4.7 จะได้อะซิโตนในถังสะสม 0.0027 กิโลโมล โดยใช้พลังงานที่ป้อนรีบอยเลอร์ทั้งหมดที่ 2,570 จิกะวัตต์-ชั่วโมง ระยะเวลา 285 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากสภาวะที่เหมาะสมนั้นสามารถทำให้ลดระยะเวลาดำเนินการอีกทั้งใช้พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ทั้งหมดที่ลดลงและได้ปริมาณอะซิโตนที่มากขึ้น ดังนั้น ระบบที่ใช้สภาวะที่เหมาะสมนั้นจะมีความไวในการกลั่นสกัดแบบแบตช์และได้ปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้น สำหรับการแยกอะซิโตนกับเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์

## บทที่ 5

### สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปงานวิจัย

##### 5.1.1 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแยกอะซิโตน (Acetone) และ เมทานอล (Methanol) ในกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์ พบว่า

- ในการศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้โปรแกรม MATLAB เปรียบเทียบกับการทดลอง พบว่าสัดส่วนโมลอะซิโตนของการทดลองนั้นมีความคล้ายคลึงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้วิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์นี้ได้

- การปรับอัตราการป้อนกลับส่งผลต่อค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตน เนื่องจาก เมื่ออัตราการป้อนกลับเพิ่มขึ้น จะมีการป้อนสารเข้าหอกถ่านมากขึ้น ทำให้สามารถถ่านอะซิโตนมีความบริสุทธิ์มากขึ้น แต่ถ้าปรับอัตราการป้อนกลับที่น้อยเกินไป ส่งผลให้เมทานอลระเหยกลายเป็นไอน้ำติดมากับอะซิโตนบนยอดหอมาก ซึ่งจะทำให้สัดส่วนโมลของอะซิโตนลดลงและไม่ตรงตามที่ต้องการ

- การปรับพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ส่งผลต่อสัดส่วนของอะซิโตนอีกทั้งยังส่งผลต่อความเร็วในการกลั่นสกัด เพราะเมื่อปรับพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์จะส่งผลต่ออุณหภูมิ และอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับการระเหยกลายเป็นไอของอะซิโตน แต่ถ้าใช้พลังงานที่มากเกินไปจะทำให้สัดส่วนโมลของเมทานอลปะปนขึ้นมากับอะซิโตน

- การปรับค่าอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ส่งผลต่อสัดส่วนโมลของอะซิโตน โดยอธิบายได้จากแผนที่เส้นโค้งรีซีติวัลของอะซิโตน-เมทานอล-น้ำ สังเกตจากพฤติกรรมเส้นโค้งรีซีติวัลคือ เมื่อปริมาณน้ำที่น้อยจะส่งผลให้สัดส่วนโมลอะซิโตนจะมีปริมาณมาก และถ้าเมื่อปริมาณน้ำมากปริมาณอะซิโตนจะมีปริมาณน้อย ดังนั้นจึงควรเลือกอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ให้เหมาะสมกับค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่ต้องการ

- การปรับค่าอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ เมื่ออุณหภูมิเอนเทรเนอร์ที่สูงจะทำให้สามารถได้สัดส่วนโมลของอะซิโตนที่มากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงของเอนเทรเนอร์ทำให้ในชั้นที่ป้อนเอนเทรเนอร์นั้นมีอุณหภูมิสูงทำให้อะซิโตนระเหยเป็นไอและทำให้สามารถถ่านให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น

- ในการปรับค่าชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ส่งผลต่อสัดส่วนโมลของอะซิโตน เนื่องจากในแต่ละชั้นจะมีอุณหภูมิที่ไม่เท่ากันส่งผลต่อการระเหยเป็นไอของอะซิโตนในชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ ดังนั้นจึงควรเลือกชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ให้เหมาะสมกับค่าสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่ต้องการ

### 5.1.2 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกลั่นสกัดแบบแบตช์

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการกลั่นสกัดแบบแบตช์กำหนดให้สัดส่วนโมลของอะซิโตนที่มากที่สุดที่จะให้ได้อะซิโตนที่มากขึ้น ใช้ระยะเวลาทั้งกระบวนการที่ลดลงและใช้พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ที่น้อยลง โดยจะได้อะซิโตนในถังสะสมที่ 0.01 กิโลโมล (เพิ่มขึ้น 0.0053 กิโลโมล) ใช้ระยะเวลา 110 นาที (น้อยลง 175 นาที) และใช้พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ทั้งหมดที่ 1,450 จิกะวัตต์-ชั่วโมง (ลดลง 1,120 จิกะวัตต์-ชั่วโมง) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบที่ใช้สภาวะที่เหมาะสมนั้นจะมีความไวในการกลั่นสกัดแบบแบตช์สำหรับการแยกอะซิโตนกับเมทานอลโดยใช้น้ำเป็นเอนเทรเนอร์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

สามารถนำตัวควบคุมหรือวิธีการควบคุมแบบต่างๆเข้ามาทำการควบคุมตัวแปรในระบบที่ส่งผลต่อการกลั่นสกัดแบบแบตช์นี้ได้และได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ



## เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. **ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ) ด้านความร้อน**. 2550.
- ชนิตพล. (2553). **Ethanol Energy of Thailand**. สืบค้นเมื่อ 29 กันยายน 2561, จาก [http://www.tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_topic.php?bookID=1619&pageid=13&read=true&count=true](http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=1619&pageid=13&read=true&count=true).
- ประโมทย์ เดชะอำไพ. (2560). **พื้นฐานแมทแลบ (Matlab Fundamentals)**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ผดุงเกียรติ ทวีการณ. (2557). **การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟของกระบวนการกลั่นแบบความดันแกว่งที่มีการรวมความร้อนภายในสำหรับการแยกไอโอเอทานอล**. วิทยานิพนธ์. สาขาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- เลอสรวง เมฆสุด. (2551). **การกลั่น การดูดซึม และการแยกสกัด**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (2553) **น้ำ (Water)**. สืบค้นเมื่อ 29 กันยายน 2561, จาก <http://www.lesa.biz/earth/hydrosphere/water-properties>.
- สุติตรา ดวงศรี. (2554). **สมดุลวัฏภาคของเหลว-ของเหลวของของผสมสามองค์ประกอบสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล**. วิทยานิพนธ์. สาขาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Gabor MODLA & Peter LANG. (2011). **Comparison of Extractive and Pressure-Swing Batch Distillation for Acetone-Methanol Separation**. 21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE 21.PP.2-6.
- Huang, R.Y.M. & Yeom, C.K. (2002). **Pervaporation separation of aques mixtures using crosslinked poly (vinyl alcohol)**. 2. Permeation of ethanol-water mixtures. J. Membr.Sci.51.PP.273-292.
- Ivań D. Gil, Diana C. Botía, Pablo Ortiz & Oscar F. Sańchez. (2009). **Extractive Distillation of Acetone/Methanol Mixture Using Water as Entrainer**. Ind. Eng. Chem. Res.PP.4858–4865.
- Lang P, H Yatim, (1994). **Batch Extractive Distillation Under Constant Reflux Ratio**. Computers Chem Engng, Vol.18, No.11/12.PP.1057-1069.



- Lang P, Gy. Kovacs, B. Kotai, J. Gaal-Szilagyi & G. Modla. (2006). **Industrial application of a new batch extractive distillation operational policy i**. Symposium series no. 152.PP.830-839.
- László Hégyel. (2013). **Improvement of batch distillation separation of azeotropic mixtures. Doctoral Thesis Booklet. Department of building services and process engineering.** Faculty of mechanical engineering. Budapest university of technology and economics.
- Le Cao Nhien, Gyeongmin Kim, Riezqa Andika, Yuli Amalia Husnil, & Moonyong Lee. (2014). **Application of Mechanical Vapor Recompression to Acetone – Methanol Separation.** International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 5, No.3.PP.215-217.
- P. Kittisupakorn, K. Jariyaboon & W. Weerachaipichasgul. (2013). **Optimal High Purity Acetone Production in a Batch Extractive Distillation Column.** Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2013.Vol.1.PP.1-5.
- Siamchemi.com. (2557). **อะซิโตน (Acetone)** สืบค้นเมื่อ 29 กันยายน 2561, จาก <https://www.siamchemi.com/อะซิโตน/>.
- Siamchemi.com. (2557). **เอทานอล/เอทิลแอลกอฮอล์** สืบค้นเมื่อ 29 กันยายน 2561, จาก <https://www.siamchemi.com/เอทานอล/>.
- W. L. Luyben & Editor. (1992). **Practical Distillation Control.** United States of America.
- W. L. Luyben & L.L Chien. (2013). **Batch extractive distillation (Acetone-methanol with water as entrainer. Design and Control of Distillation Systems for Separating Azeotropes.** New Jersey, John Wiley and sons.Ch13.PP.77-78.
- Wachira Daosud, Kosit Jariyaboon, Paisan Kittisupakorn & Mohd Azlan Hussain. (2016). **Neural Network Based Model Predictive Control of Batch Extractive Distillation Process for Improving Purity of Acetone.** Engineering journal Vol.20.PP.47-59.
- Xinqiang You, Ivonne Rodriguez-Donis & Vincent Gerbaud. (2015). **Improved Design and Efficiency of the Extractive Distillation Process for Acetone–Methanol with Water.** Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol.54.PP.491-501.



ภาคผนวก ก

แสดงข้อมูลจากการวิจัย

วิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการกลั่นสกัดแบบแบตช์

ตารางที่ ก.1 ปรับอัตราการป้อนกลับ (Reflux Ratio, Rf) ในขั้นตอนที่ 3 และ ขั้นตอนที่ 4

	ชั้นหอกลิ้น	อัตราการป้อนกลับ	พลังงานที่ป้อนเข้า รีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ (องศาเซลเซียส)	ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์	ระยะเวลา (นาที)
ขั้นตอนที่ 1	20	1	30	-	-	-	60
ขั้นตอนที่ 2	20	1	30	7	80	6	50
ขั้นตอนที่ 3	20	0.6	100	7	80	6	115
	20	0.7	100	7	80	6	115
	20	0.8	100	7	80	6	115
	20	0.9	100	7	80	6	115
ขั้นตอนที่ 4	20	0.6	10	-	-	-	60
	20	0.7	10	-	-	-	60
	20	0.8	10	-	-	-	60
	20	0.9	10	-	-	-	60

ตารางที่ ก.2 พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, Qr)

	ชั้นหอกลับ	อัตราการป้อนกลับ	พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	อัตราการป้อนเอนเทอร์เนอร์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	อุณหภูมิเอนเทอร์เนอร์ (องศาเซลเซียส)	ชั้นป้อนเอนเทอร์เนอร์	ระยะเวลา (นาที)
ขั้นตอนที่ 1	20	1	10	-	-	-	60
	20	1	20	-	-	-	60
	20	1	30	-	-	-	60
	20	1	40	-	-	-	60
	20	1	50	-	-	-	60
ขั้นตอนที่ 2	20	1	30	7	80	6	50
	20	1	40	7	80	6	50
	20	1	50	7	80	6	50
	20	1	60	7	80	6	50
	20	1	90	7	80	6	50
	20	1	100	7	80	6	50
	20	1	200	7	80	6	50
	20	1	300	7	80	6	50
	20	1	400	7	80	6	50

ตารางที่ ก.3 พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (Reboiler Heat Duty, Qr)

	ชั้นหอกลับ	อัตราการป้อนกลับ	พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	อัตราการป้อนเอนเทอร์เนอร์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	อุณหภูมิเอนเทอร์เนอร์ (องศาเซลเซียส)	ชั้นป้อนเอนเทอร์เนอร์	ระยะเวลา (นาที)
ชั้นตอนที่ 3	20	0.8	40	7	80	6	115
	20	0.8	50	7	80	6	115
	20	0.8	60	7	80	6	115
	20	0.8	90	7	80	6	115
	20	0.8	100	7	80	6	115
	20	0.8	200	7	80	6	115
ชั้นตอนที่ 4	20	0.6	6	-	-	-	60
	20	0.6	9	-	-	-	60
	20	0.6	10	-	-	-	60
	20	0.6	20	-	-	-	60
	20	0.6	30	-	-	-	60
	20	0.6	60	-	-	-	60
	20	0.6	90	-	-	-	60
	20	0.6	100	-	-	-	60

ตารางที่ ก.4 อัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Feed Flow Rate)

	ชั้นหอกลับ	อัตราการป้อนกลับ	พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	อัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	อุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ (องศาเซลเซียส)	ชั้นป้อนเอนเทรนเนอร์	ระยะเวลา (นาที)
ชั้นตอนที่ 1	20	1	30	-	-	-	60
ชั้นตอนที่ 2	20	1	30	3	80	6	50
	20	1	30	5	80	6	50
	20	1	30	6	80	6	50
	20	1	30	7	80	6	50
ชั้นตอนที่ 3	20	0.8	100	3	80	6	115
	20	0.8	100	5	80	6	115
	20	0.8	100	6	80	6	115
	20	0.8	100	7	80	6	115
ชั้นตอนที่ 4	20	0.6	10	-	-	-	60

ตารางที่ ก.5 ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์ (Entrainer Feed Tray)

จากการทดลอง	ชั้นหอกลับ	อัตราการป้อนกลับ	พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	อัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	อุณหภูมิเอนเทรเนอร์ (องศาเซลเซียส)	ชั้นป้อนเอนเทรเนอร์	ระยะเวลา (นาที)
ชั้นตอนที่ 1	20	1	30	-	-	-	60
ชั้นตอนที่ 2	20	1	30	7	80	4	50
	20	1	30	7	80	6	50
ชั้นตอนที่ 3	20	0.8	100	7	80	4	115
	20	0.8	100	7	80	6	115
ชั้นตอนที่ 4	20	0.6	10	-	-	-	60

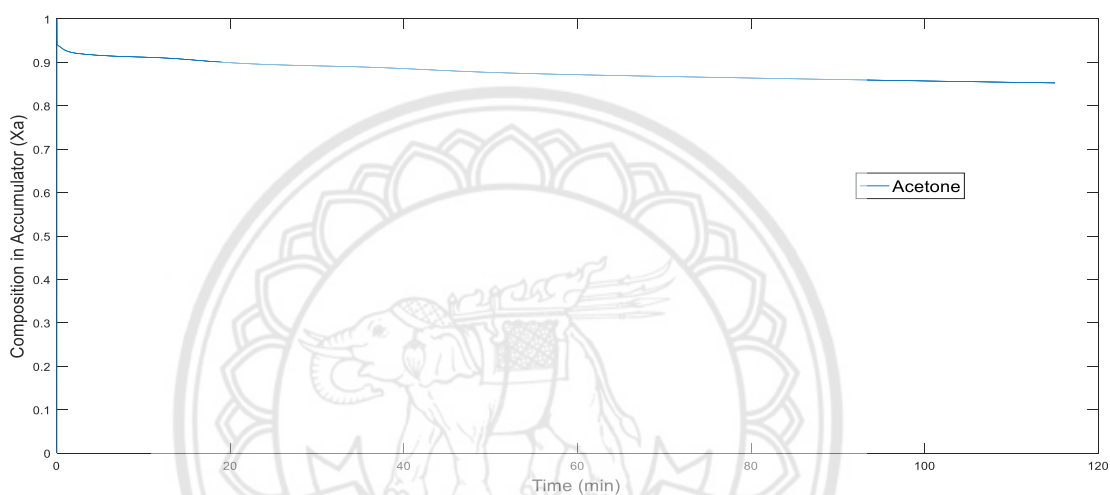
ตารางที่ ก.6 อุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Temperature)

	ชั้นหอกลับ	อัตราการ ป้อนกลับ	พลังงานที่ป้อนเข้า รีบอยเลอร์ (เมกะวัตต์)	อัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	อุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ (องศาเซลเซียส)	ชั้นป้อนเอนเทรนเนอร์	ระยะเวลา (นาที)
ขั้นตอนที่ 1	20	1	30	-	-	-	60
ขั้นตอนที่ 2	20	1	30	7	70	6	50
	20	1	30	7	80	6	50
	20	1	30	7	90	6	50
ขั้นตอนที่ 3	20	0.8	100	7	70	6	115
	20	0.8	100	7	80	6	115
	20	0.8	100	7	90	6	115
ขั้นตอนที่ 4	20	0.6	10	-	-	-	60

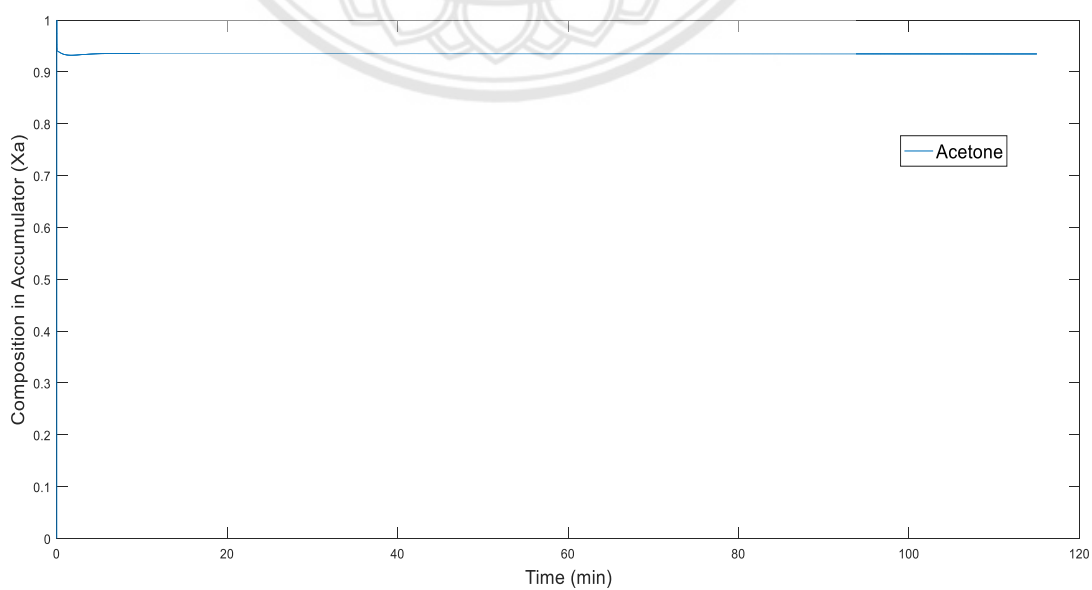


ตารางที่ ก.7 แสดงอัตราการป้อนกลับในขั้นตอนที่ 3 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

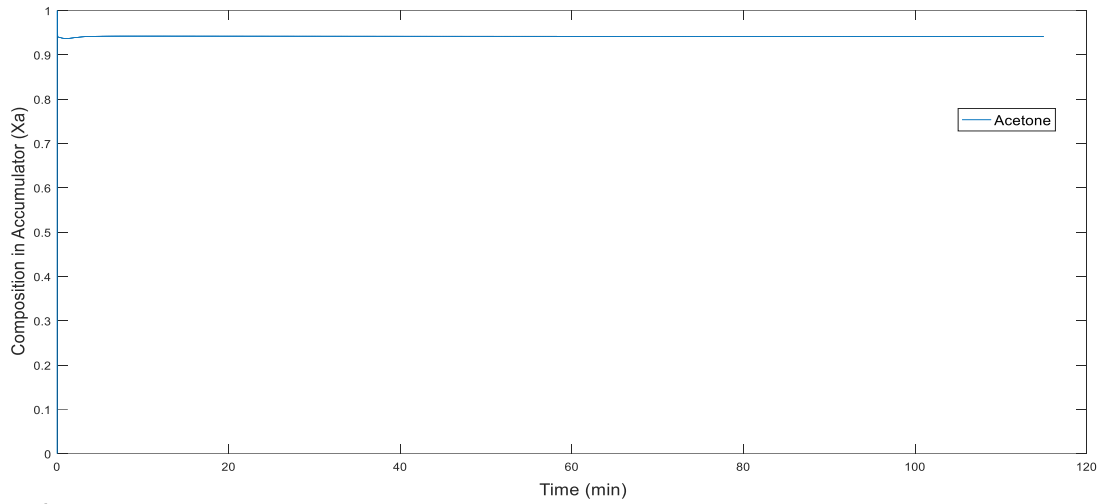
อัตราการป้อนกลับ (Reflux Ratio)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของอะซิโตน ในถังสะสม (Xa)
0.6	0.8527	0.8527
0.7	0.9346	0.9346
0.8	0.9414	0.9414
0.9	0.9473	0.9473



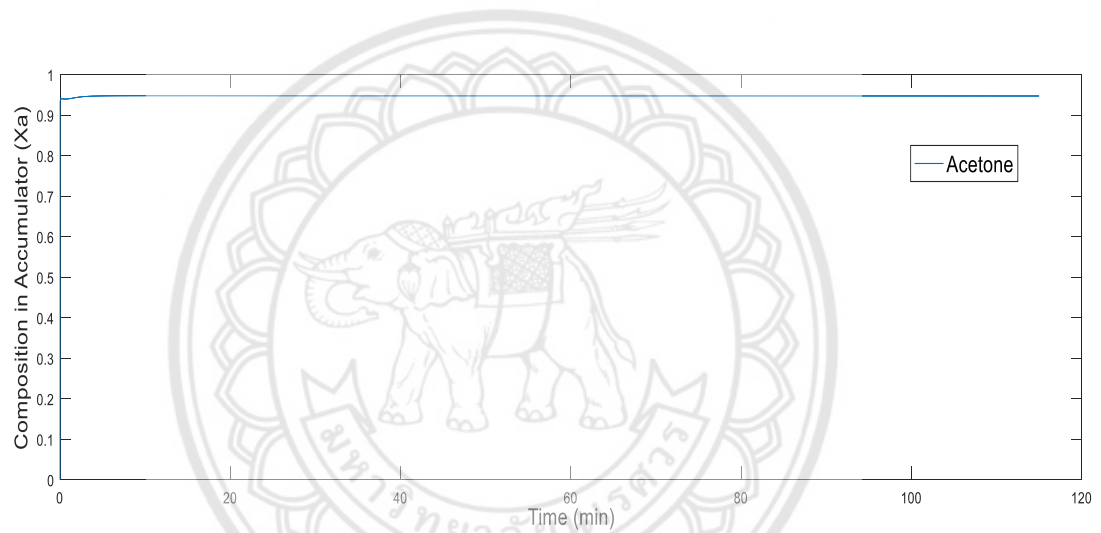
รูปที่ ก.1 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนกลับเท่ากับ 0.6



รูปที่ ก.2 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนกลับเท่ากับ 0.7



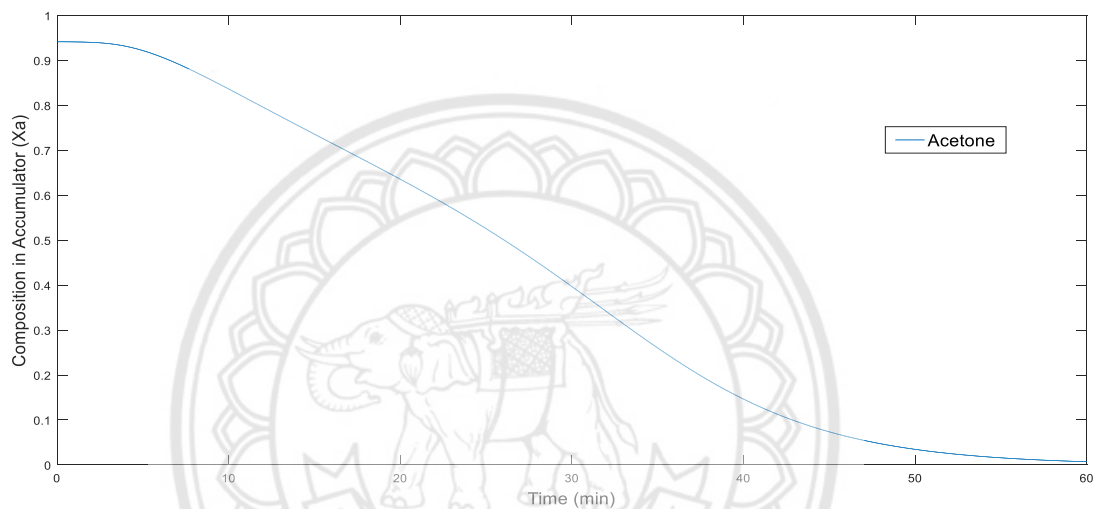
รูปที่ ก.3 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนกลับเท่ากับ 0.8



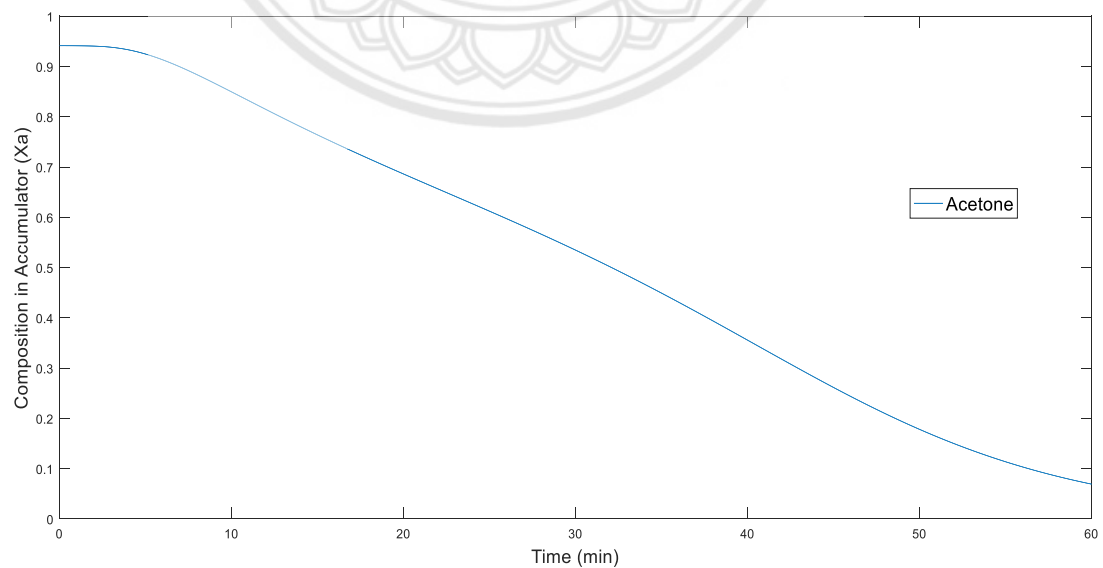
รูปที่ ก.4 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนกลับเท่ากับ 0.9

ตารางที่ ก.8 แสดงอัตราการป้อนกลับในขั้นตอนที่ 4 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

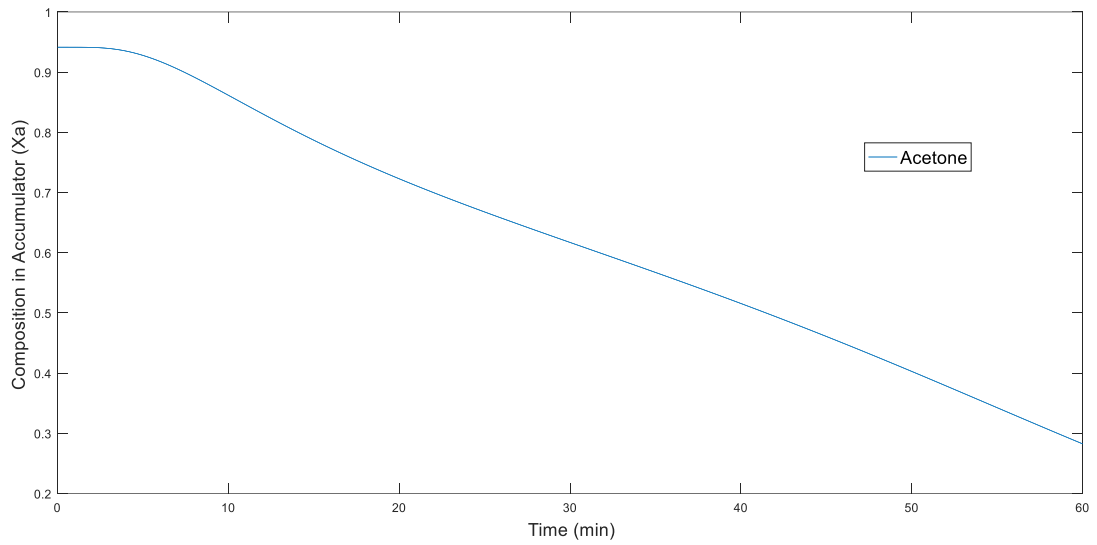
อัตราการป้อนกลับ (Reflux Ratio)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของอะซิโตน ในถังสะสม (Xa)
0.6	0.0069	0.0071
0.7	0.0677	0.0693
0.8	0.2793	0.2824
0.9	0.4866	0.4890



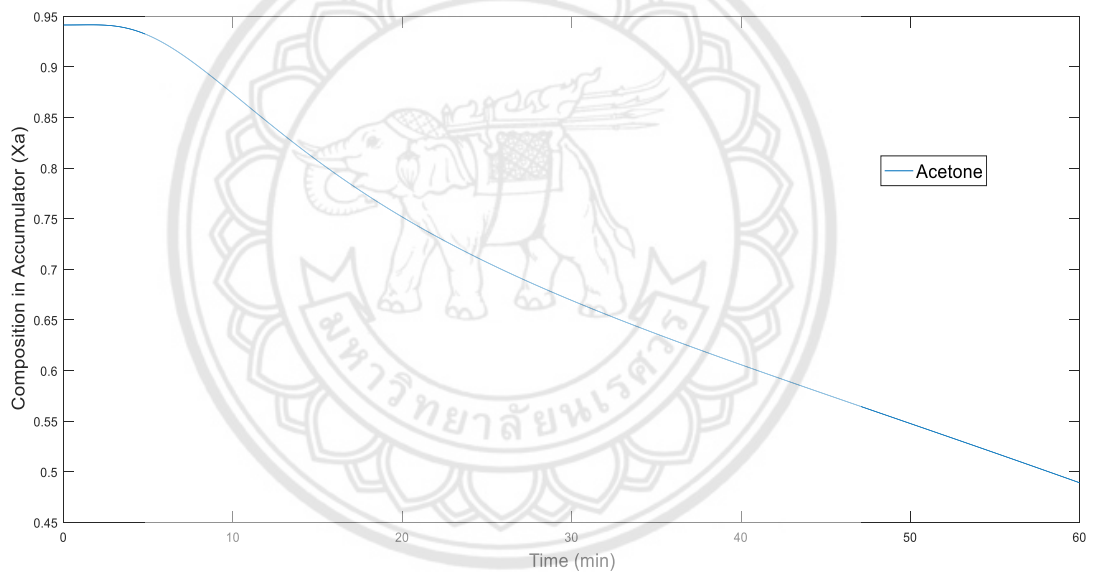
รูปที่ ก.5 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนกลับเท่ากับ 0.6



รูปที่ ก.6 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนกลับเท่ากับ 0.7



รูปที่ ก.7 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนกลับเท่ากับ 0.8



รูปที่ ก.8 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนกลับเท่ากับ 0.9

ตารางที่ ก.9 แสดงค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) ในขั้นตอนที่ 1 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)
1,000	0.7633
2,000	0.7792
3,000	0.7838
4,000	0.7853
5,000	0.7858

ตารางที่ ก.10 แสดงค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) ในขั้นตอนที่ 2 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)
3,000	0.9405
4,000	0.9462
5,000	0.9478
6,000	0.9492
9,000	0.9523
10,000	0.9529
20,000	0.9552
30,000	0.9557
40,000	0.9559

**ตารางที่ ก.11** แสดงค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) ในขั้นตอนที่ 3 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของอะซิโตน ในถังสะสม (Xa)
4,000	0.5807	0.5807
5,000	0.9119	0.9119
6,000	0.9370	0.9370
9,000	0.9405	0.9405
10,000	0.9414	0.9414
20,000	0.9456	0.9456

**ตารางที่ ก.12** แสดงค่าพลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) ในขั้นตอนที่ 4 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

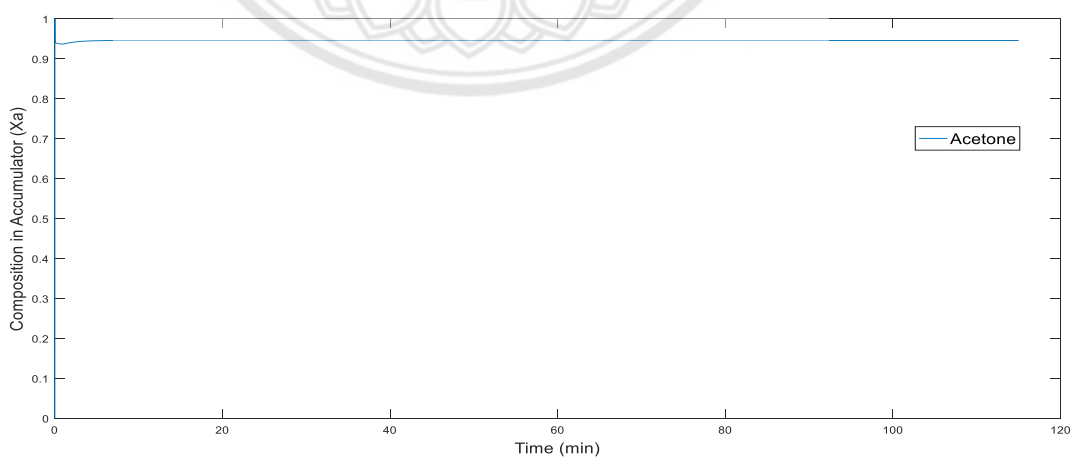
พลังงานที่ป้อนเข้ารีบอยเลอร์ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของอะซิโตน ในถังสะสม (Xa)
600	0.7714	0.7756
900	0.0425	0.0440
1,000	0.0069	0.0071
2,000	0.0065	0.0065
3,000	0.0718	0.0719
6,000	0.2893	0.2873
9,000	0.4071	0.4071
10,000	0.4349	0.4349

ตารางที่ ก.13 แสดงค่าอัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ ในขั้นตอนที่ 2 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

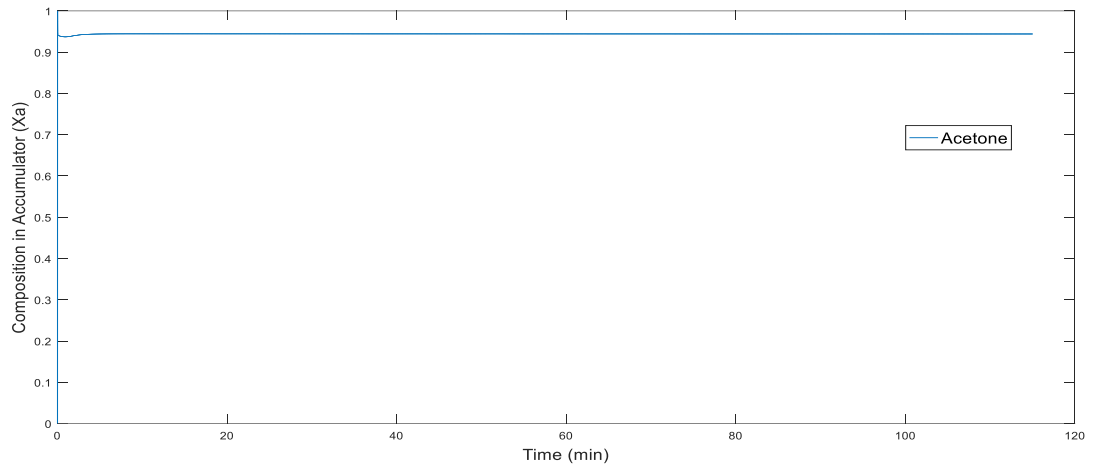
อัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Feed Flow Rate) (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)
3	0.9509
5	0.9462
6	0.9441
7	0.9405

ตารางที่ ก.14 แสดงค่าอัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ ในขั้นตอนที่ 2 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

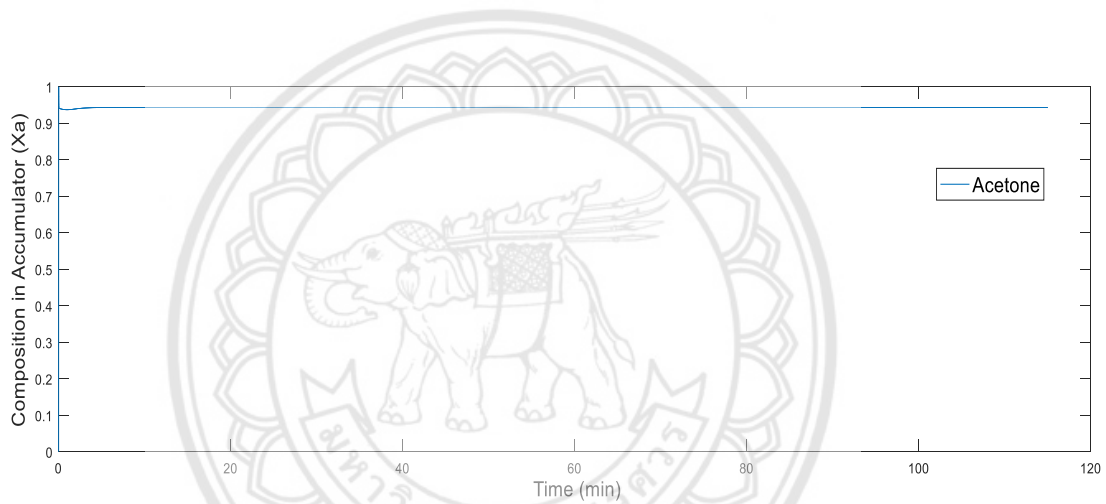
อัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	สัดส่วนโมลของ อะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของอะซิโตน ในถังสะสม (Xa)
3	0.9461	0.9461
5	0.9441	0.9441
6	0.9428	0.9428
7	0.9414	0.9414



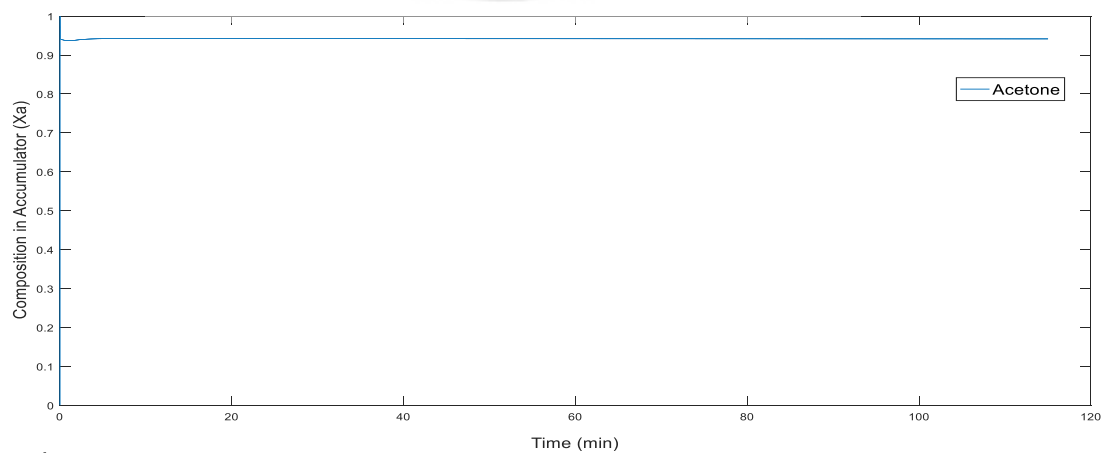
รูปที่ ก.9 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนเอนเทรนเนอร์ 3 kmol/hr ที่ขั้นตอนที่ 3



รูปที่ ก.10 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 5 kmol/hr ที่ขั้นตอนที่ 3



รูปที่ ก.11 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 6 kmol/hr ที่ขั้นตอนที่ 3



รูปที่ ก.12 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าอัตราการป้อนเอนเทรเนอร์ 7 kmol/hr ที่ขั้นตอนที่ 3



ตารางที่ ก.15 แสดงค่าชั้นป้อนเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Feed Tray) ในขั้นตอนที่ 2 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

ชั้นป้อนเอนเทรนเนอร์	สัดส่วนโมลของอะซิโตนบนยอดหอ (Xd)
4	0.9110
6	0.9405

ตารางที่ ก.16 แสดงค่าชั้นป้อนเอนเทรนเนอร์ (Entrainer Feed Tray) ในขั้นตอนที่ 3 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

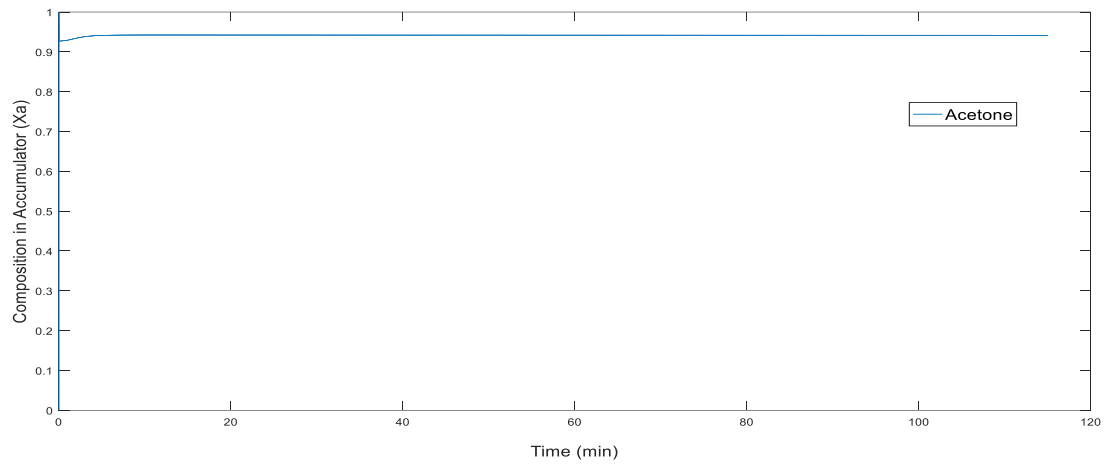
ชั้นป้อนเอนเทรนเนอร์	สัดส่วนโมลของอะซิโตนบนยอดหอ (Xd)
4	0.9245
6	0.9414

ตารางที่ ก.17 แสดงค่าอุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ ในขั้นตอนที่ 2 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

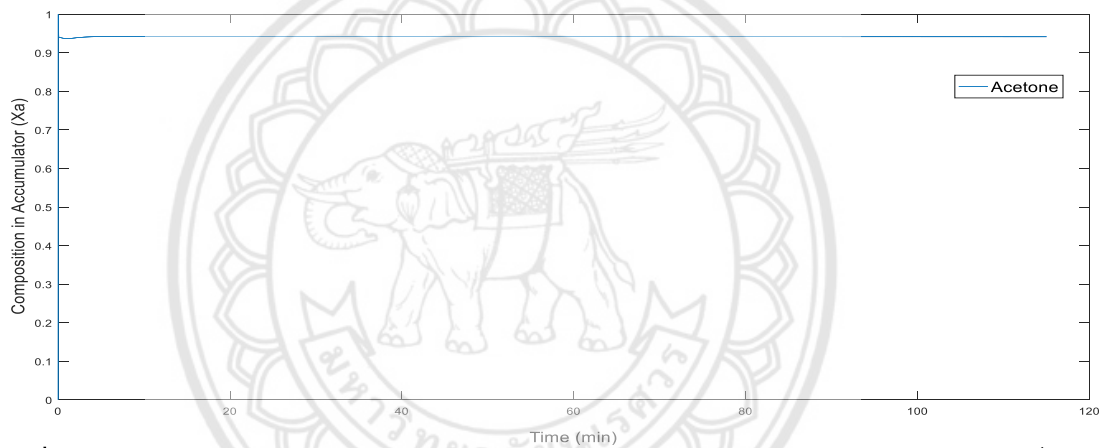
อุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ (องศาเซลเซียส)	สัดส่วนโมลของอะซิโตนบนยอดหอ (Xd)
70	0.9266
80	0.9405
90	0.9483

ตารางที่ ก.18 แสดงค่าอุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ ในขั้นตอนที่ 3 กับสัดส่วนโมลของอะซิโตนที่เวลาสุดท้าย

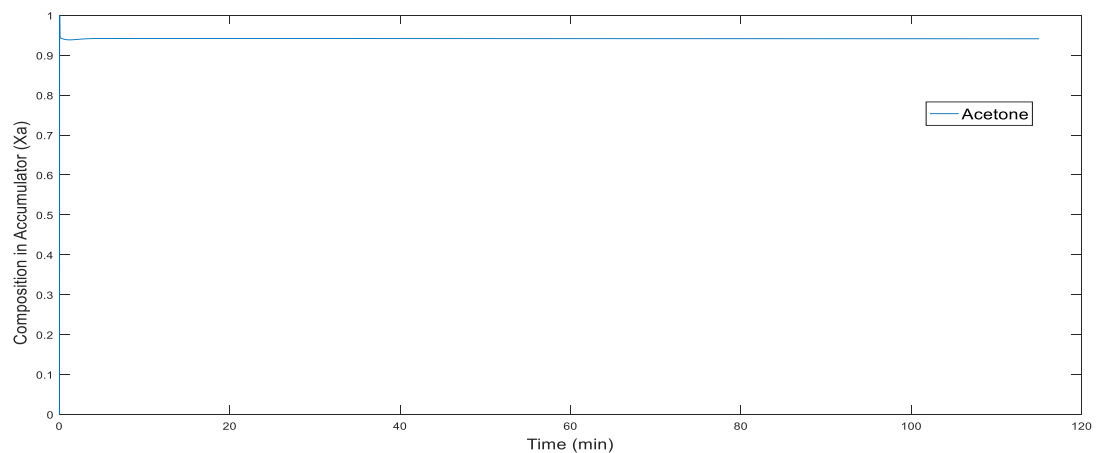
อุณหภูมิเอนเทรนเนอร์ (องศาเซลเซียส)	สัดส่วนโมลของอะซิโตนบนยอดหอ (Xd)	สัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสม (Xa)
70	0.9416	0.9416
80	0.9414	0.9414
90	0.9412	0.9412



รูปที่ ก.13 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าค่าอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ ที่ 70 °C ชั้นตอนที่ 3



รูปที่ ก.14 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าค่าอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ ที่ 80 °C ชั้นตอนที่ 3



รูปที่ ก.14 แสดงสัดส่วนโมลของอะซิโตนในถังสะสมกับเวลา โดยมีค่าค่าอุณหภูมิเอนเทรเนอร์ ที่ 90 °C ชั้นตอนที่ 3



ภาคผนวก ข

แสดงโค้ดของโปรแกรม

```

%Initial Conditions
N = 20; %Tray
Hn(1) = 52; %Reboiler capacity (kmol)
Hc = 0.1; %Condenser capacity (kmol)
Hj = 0.5; %Internal plates (kmol)
x1(1:N,1) = 0.5; %Composition Acetone
x2(1:N,1) = 0.5; %Composition Methanol
x3(1:N,1) = 0; %Composition Water
Qr = 3e+4; %Reboiler heat duty (Mj/hr)
dt = 0.1; %Range time
tb = 50; %Batch operate time (min)
n = tb/dt; %loop
time(1)=0 ;

F = 0; %Feed Entrainer flow rate (kmol/hr)
xF1 = 0; %Feed Composition Acetone
xF2 = 0; %Feed Composition Methanol
xF3 = 0; %Feed Composition Water
Rf = 1; %Reflux Ratio
xa1(1) = 0; %Composition Acetone in Accumulator
xa2(1) = 0; %Composition Methanol in Accumulator
xa3(1) = 0; %Composition Water in Accumulator
Ha(1) = 2e-3; %Accumulator capacity
%----Enthalpy of formation of liquid feeding----%
%%%%(Hlf = a + bT + cT^2) ( T in degree R ) ( BTU / lbmol)
a_H10 = -0.87838059e4;
b_H10 = 0.1758450e2;
c_H10 = 0.3651369e-3;

Tp0=76;

for t=1:n

    for m = 1:N
        %calculate Tj at each plate
        liquid = [x1(m,t), x2(m,t), x3(m,t)];

        [Temp, vapor] = BP_T1(liquid, Tp0);

        Tp = Temp + 273.15;
        Tt(m,t) = Tp;
        y1(m,t) = vapor(1,1);
        y2(m,t) = vapor(1,2);
        y3(m,t) = vapor(1,3);
        Tp0 = Tp;

        %Enthalpy calculation

        [VE, LE] = Enthalpy(Tp, liquid, vapor);
        hv(m,1) = VE; %% KJ/Kmol
        hl(m,1) = LE; %% KJ/Kmol

    end

    [Ld, L, V] = EnergyB(hl, hv, Rf);

```

```

    %Accumulator
    Ha(t+1)=Ha(1)+((1-Rf)*L(1)*Rf)*dt; %Accumulator capacity Next
Time
    xa1(t+1)=xa1(t)+(((x1(1,t)-xa1(t))*(1Rf)*L(1)*Rf)/Ha(t))*dt;
%Component balance Acetone
    xa2(t+1)=xa2(t)+(((x2(1,t)-xa2(t))*(1-Rf)*L(1)*Rf)/Ha(t))*dt;
%Component balance Methanol
    xa3(t+1)=xa3(t)+(((x3(1,t)-xa3(t))*(1-Rf)*L(1)*Rf)/Ha(t))*dt;
%Component balance Water

    for j=1:N
        Hn(t+1)= Hn(t)+(L(N-1)-V(N))*dt; %Reboiler capacity Next
Time

        if j==N %Reboiler
            x1(j,t+1)=x1(j,t) + ((L(j-1)*x1(j-1,t)-V(j)*y1(j,t))/Hn(t))*dt;
%Component balance Acetone
            x2(j,t+1)=x2(j,t) + ((L(j-1)*x2(j-1,t)-V(j)*y2(j,t))/Hn(t))*dt;
%Component balance Methanol
            x3(j,t+1)=x3(j,t) + ((L(j-1)*x3(j-1,t)-V(j)*y3(j,t))/Hn(t))*dt;
%Component balance Water
            elseif j==1 %Condenser&Vesel
                x1(j,t+1)=x1(j,t) + (((y1(j+1,t)-x1(j,t))*V(j+1))/Hc)*dt;
%Component balance Acetone
                x2(j,t+1)=x2(j,t) + (((y2(j+1,t)-x2(j,t))*V(j+1))/Hc)*dt;
%Component balance Methanol
                x3(j,t+1)=x3(j,t) + (((y3(j+1,t)-x3(j,t))*V(j+1))/Hc)*dt;
%Component balance Water
            elseif j==6 %feed tray Entrainer
                x1(j,t+1)=x1(j,t) + ((L(j-1)*x1(j-1,t)+V(j+1)*y1(j+1,t)-
L(j)*x1(j,t)-V(j)*y1(j,t)+F*xF1)/Hj)*dt; %Component balance Acetone
                x2(j,t+1)=x2(j,t) + ((L(j-1)*x2(j-1,t)+V(j+1)*y2(j+1,t)-
L(j)*x2(j,t)-V(j)*y2(j,t)+F*xF2)/Hj)*dt; %Component balance
Methanol
                x3(j,t+1)=x3(j,t) + ((L(j-1)*x3(j-1,t)+V(j+1)*y3(j+1,t)-
L(j)*x3(j,t)-V(j)*y3(j,t)+F*xF3)/Hj)*dt; %Component balance Water
            else %tray
                x1(j,t+1)=x1(j,t) + ((L(j-1)*x1(j-1,t)+V(j+1)*y1(j+1,t)-
L(j)*x1(j,t)-V(j)*y1(j,t))/Hj)*dt; %Component balance Acetone
                x2(j,t+1)=x2(j,t) + ((L(j-1)*x2(j-1,t)+V(j+1)*y2(j+1,t)-
L(j)*x2(j,t)-V(j)*y2(j,t))/Hj)*dt; %Component balance Methanol
                x3(j,t+1)=x3(j,t) + ((L(j-1)*x3(j-1,t)+V(j+1)*y3(j+1,t)-
L(j)*x3(j,t)-V(j)*y3(j,t))/Hj)*dt; %Component balance Water
            end
        end

    end

end
end

```

```

%%%%ANTOINE EQUATION(T = C)%%
A = [7.02447, 7.87863, 7.96681]; %Acetone
B = [1.16e3, 1.47311e3, 1.66821e3];%Methanol
C = [2.24e2, 2.3e2, 2.280e2]; %Water
P = 761.654; %Absolute pressure (mmHg)

T0 = Tp0'; %Initial Temperature
%
% % if T0 >= 100;
% % T0 = 100;end
% T0 = 200;

T = fzero(@ (T) yFunc(T, liquid), T0);

Ps(1,1) = 10^(A(1,1) - B(1,1)/(T + C(1,1)));
Ps(1,2) = 10^(A(1,2) - B(1,2)/(T + C(1,2)));
Ps(1,3) = 10^(A(1,3) - B(1,3)/(T + C(1,3)));
[G] = GG(liquid,T);
R(1,1) = G(1,1);
R(1,2) = G(1,2);
R(1,3) = G(1,3);
K(1,1) = Ps(1,1)*R(1,1)/ P;
K(1,2) = Ps(1,2)*R(1,2)/ P;
K(1,3) = Ps(1,3)*R(1,3)/ P;

y(1,1) = liquid(1,1)*K(1,1);
y(1,2) = liquid(1,2)*K(1,2);
y(1,3) = liquid(1,3)*K(1,3);

function f = yFunc(T, liquid)
global A B C P

Ps(1,1) = 10^(A(1,1) - B(1,1)/(T + C(1,1)));
Ps(1,2) = 10^(A(1,2) - B(1,2)/(T + C(1,2)));
Ps(1,3) = 10^(A(1,3) - B(1,3)/(T + C(1,3)));
[G] = GG(liquid,T);

R(1,1) = G(1,1);
R(1,2) = G(1,2);
R(1,3) = G(1,3);
K(1,1) = Ps(1,1)*R(1,1)/ P;
K(1,2) = Ps(1,2)*R(1,2)/ P;
K(1,3) = Ps(1,3)*R(1,3)/ P;

f = 1-(liquid(1,1)*K(1,1))-(liquid(1,2)*K(1,2))-
(liquid(1,3)*K(1,3));

```

```

function [Hv Hl] = Enthalpy(Tp,liquid,vapor)

T = Tp*1.8; % conversion factor Kelvin to Rankin
%% Acetone : Methanol: Water
%----Enthalpy of formation of gas
%%%%%%%%(Hvf = a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4) ( T in degree R )
%%%%%%%%( BTU / lbmol)

a_Hv0 = [0.867332e4,    0.1174119e5,    0.1545871e5];
b_Hv0 = [0.4735799e1,  0.7121495e1,    0.8022526e1];
c_Hv0 = [0.1452860e-1, 0.5579442e-2,   -0.4745722e-3];
d_Hv0 = [-0.1121397e-5, -0.4506170e-6,  0.6878047e-6];
e_Hv0 = [-0.2018173e-9, -0.2091904e-10, -0.1439752e-9];

%----Enthalpy of formation of liquid
%%%%%%%%(Hlf = a + bT + cT^2 ) ( T in degree R )
%%%%%%%%( BTU / lbmol)
a_Hl0 = [-0.115334e5,  -0.3119436e4,  -0.87838059e4];
b_Hl0 = [0.1770348e2,  -0.4145198e1,  0.1758450e2];
c_Hl0 = [0.1166435e-1, 0.2131106e-1,  0.3651369e-3];
%for i = 1:Nc
    % -----Gas enhalpy calculation-----

%     hv(1,i) = a_Hv0(1,i) + b_Hv0(1,i)*T + c_Hv0(1,i)*T^2 + ...
%             d_Hv0(1,i)*T^3 + e_Hv0(1,i)*T^4;%( BTU / lbmol)
%     Hv(1,i)  = hv(1,i)*1.05506*2.2046*vapor(1,i);%( kJ/kmol)

    % -----Liquid enhalpy calculation-----

%     hl(1,i) = a_Hl0(1,i) + b_Hl0(1,i)*T + c_Hl0(1,i)*T^2 ;%( BTU
% / lbmol)
%     Hl(1,i)  = hl(1,i)*1.05506*2.2046*liquid(1,i);%( kJ/kmol)
%
% end

hv(1,1) = a_Hv0(1,1) + b_Hv0(1,1)*T + c_Hv0(1,1)*T^2 + ...
          d_Hv0(1,1)*T^3 + e_Hv0(1,1)*T^4;    %( BTU/lbmol)
Hv(1,1) = hv(1,1)*1.05506*2.2046*vapor(1,1); %( kJ/kmol)

hl(1,1) = a_Hl0(1,1) + b_Hl0(1,1)*T + c_Hl0(1,1)*T^2 ;%( BTU/lbmol)
Hl(1,1) = hl(1,1)*1.05506*2.2046*liquid(1,1);    %( kJ/kmol)

hv(1,2) = a_Hv0(1,2) + b_Hv0(1,2)*T + c_Hv0(1,2)*T^2 + ...
          d_Hv0(1,2)*T^3 + e_Hv0(1,2)*T^4;    %( BTU/lbmol)
Hv(1,2) = hv(1,2)*1.05506*2.2046*vapor(1,2); %( kJ/kmol)

hl(1,2) = a_Hl0(1,2) + b_Hl0(1,2)*T + c_Hl0(1,2)*T^2 ;%( BTU/lbmol)
Hl(1,2) = hl(1,2)*1.05506*2.2046*liquid(1,2);    %( kJ/kmol)

hv(1,3) = a_Hv0(1,3) + b_Hv0(1,3)*T + c_Hv0(1,3)*T^2 + ...
          d_Hv0(1,3)*T^3 + e_Hv0(1,3)*T^4;    %( BTU/lbmol)
Hv(1,3) = hv(1,3)*1.05506*2.2046*vapor(1,3); %( kJ/kmol)

hl(1,3) = a_Hl0(1,3) + b_Hl0(1,3)*T + c_Hl0(1,3)*T^2 ;%( BTU/lbmol)
Hl(1,3) = hl(1,3)*1.05506*2.2046*liquid(1,3);    %( kJ/kmol)

    Hv = sum(Hv);
    Hl = sum(Hl);

```