

สมุดคู่มือของเหลว - ของเหลวของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล



นางสาวจินตนา

ภักดีกุล

นางสาวจิรัฐดา

อิษฎ์วิกรัย

นางสาวผุศนา

หิรัญสิทธิ์

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 42387
วัน, เดือน, ปี..... 20 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Liquid – Liquid Equilibria of Ethanol – Water – 2-Ethylhexanol System



A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปรินญาณินพนธ์เรื่อง สมดุลของเหลว – ของเหลว ของระบบ เอทานอล – น้ำ –
 2-เอทิลเฮกซานอล
 โดย นางสาวจินตนา ภักดีกุล
 นางสาวจิรัฐดา อิชฎิวิกรัย
 นางสาวผุศนา หิริญสิทธิ
 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ปรินญาณินพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปรินญาณินพนธ์

.....ประธานกรรมการ
 (ผศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ
 (ผศ.ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

.....กรรมการ
 (อ.รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง	สมมูลของเหลว – ของเหลว ของระบบเอทานอล – น้ำ – 2-เอทิลเฮกซานอล	
โดย	นางสาวจินตนา	ภัคดีกุล
	นางสาวจิรัฐดา	อิษฏวิกรัย
	นางสาวผศนา	หิรัญสิทธิ์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	คณะวิศวกรรมศาสตร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา
	ปริญญาานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	

บทคัดย่อ

เส้นโค้งแสดงขอบเขตการละลาย (Binodal Curve) สำหรับระบบของ เอทานอล – น้ำ – 2-เอทิลเฮกซานอลที่ 35 องศาเซลเซียส สามารถกำหนดได้โดยใช้วิธีการไทเทรตตามหลักการ Clear - point Technique และ Cloud - point Technique เส้นสมมูลการละลาย (Tie Line) ของระบบเดียวกันนี้สามารถกำหนดได้โดยใช้เครื่องวัดดัชนีหักเหแสง เมื่อเปรียบเทียบกับผลงานของ Ruiz ที่ทำการกำหนดข้อมูลสมมูลของระบบเดียวกันนี้ที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่า เส้นโค้งแสดงขอบเขตการละลายของระบบดังกล่าวที่ 35 องศาเซลเซียส อยู่ใต้เส้นโค้งขอบเขตการละลายที่ 25 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามข้อมูลสมมูลของระบบดังกล่าวที่ 35 องศาเซลเซียส และที่ 25 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันมาก แสดงว่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่อข้อมูลสมมูลของระบบนี้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากกระบวนการหมักเอทานอลซึ่งนำเสนอโดย Ruiz เมื่อดัดแปลงและใช้โปรแกรมไฮซีต เพื่อวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการแยกเอทานอลพบว่า พลังงานที่ใช้ในกระบวนการแยกเอทานอลในน้ำหมักที่มีเอทานอล 39 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าประมาณ 6.5 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ และสามารถผลิตเอทานอลได้ 99.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการแยกเอทานอลในน้ำหมักที่มีเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าประมาณ 5.62 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ และสามารถผลิตเอทานอลได้ 99.96 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Liquid – Liquid Equilibria of Ethanol – Water – 2-Ethylhexanol System

By Miss Chintana Phakdikul

 Miss Jeerisuda Idwigrai

 Miss Pussana Hirunsit

Advisor Asst.Prof.Dr.Prakob Kitchaiya

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering,
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Binodal curve for the ternary system, ethanol – water – 2-ethylhexanol, has been determined experimentally at 35 °C by using clear-point and cloud-point technique titrations. Tie lines were determined by using the refractometer to analyze the compositions in each phase. Comparing to Ruiz's results which were the equilibrium data for the same ternary system at 25 °C, the binodal curve at 35 °C is lower than that at 25 °C. However, slight difference between the liquid – liquid equilibrium data at 25 °C and at 35 °C was found. Therefore, temperature hardly affects the equilibrium data of this ternary system.

The extraction for separating ethanol and water using 2-ethylhexanol as the solvent proposed by Ruiz has been chosen to separate ethanol 39 and 10 weight percent. From the modification of Ruiz's extraction and simulated by the Hysys Program, the energy requirements to separate ethanol 39 weight percent is about $6.5 \times 10^7 \text{ J / m}^3$ obtaining ethanol of 99.97 weight percent, and $5.62 \times 10^7 \text{ J / m}^3$ for the separation of ethanol 10 weight percent obtaining ethanol of 99.96 weight percent .

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย จึงทำให้ปริญญาานิพนธ์สำเร็จสมบูรณ์ได้ ผู้เสนอปริญญาานิพนธ์ขอขอบพระคุณทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและแนะนำดังนี้คือ

ผศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา	
ผศ.ดร.อัญชลีพร	วาริทลวีส์ดี	หล่อทองคำ
ผศ.ดร.ไพศาล	นาคพิพัฒน์	
อ.สุรัตน์	อารีรัตน์	
อ.บุญชัย	โชติวิริยวาณิชย์	
คุณพิสันต์	ผลโพธิ์	
คุณธีระพล	บูรณะไอลถ	
คุณสุภัทร	บานเย็น	

ทั้งนี้ยังมีบุคคลที่มีพระคุณอีกหลายท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมา ผู้เสนอปริญญาานิพนธ์ขอขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวจินตนา ภัคดีกุล
นางสาวจรัสดา อิชฎิวิกรัย
นางสาวศุศนา หิรัญสิทธิ์
26 มีนาคม 2544

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 มूलเหตุจูงใจ	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ศักย์เคมี	3
2.2 ฟูกาซิติ	4
2.3 สารละลายอุดมคติ	4
2.4 สารละลายจริง	5
2.5 แอกติวิตีและสัมประสิทธิ์แอกติวิตี	5
2.5.1 แอกติวิตี	5
2.5.2 สัมประสิทธิ์แอกติวิตี	6
2.6 สมดุลวิภาคในระบบวิวิธพันธ์	6
2.6.1 อัตราส่วนสมดุล	7
2.6.2 ค่าการเลือก	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 สมดุลในระบบของเหลวไตรภาค	8
2.7.1 ระบบของเหลวไตรภาค	8
2.7.2 แผนภาพสมดุลวัฏภาค	9
2.7.3 วิธีทั่วไปในการหาข้อมูลสมดุล	10
บทที่ 3 มูลเหตุที่เลือกใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายในการแยก เอทานอลออกจากน้ำและการเลือกตัวทำละลาย	13
3.1 เหตุที่ใช้การสกัดเอทานอลด้วยตัวทำละลาย	13
3.2 การเลือกตัวทำละลายโดยทั่วไป	19
3.3 การเลือกตัวทำละลายในการสกัดเอทานอลออกจากน้ำ	23
บทที่ 4 การทดลอง	30
4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
4.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
4.3 การทดลองหาเส้นขอบเขตการละลาย	30
4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง	30
4.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล	32
4.4 การทดลองหาข้อมูลสมดุลการละลาย	32
4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง	32
4.4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล	32
บทที่ 5 ผลการทดลอง	33
5.1 ผลการทดลองหาเส้นขอบเขตการละลาย	33
5.2 ผลการทดลองหาข้อมูลสมดุลการละลาย	35
บทที่ 6 การจำลองกระบวนการแยกเอทานอลโดยใช้โปรแกรมไฮซิส	37
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง	57
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก ข้อมูลพื้นฐานของเอทานอล 2-เอทิลเฮกซานอล น้ำ	61
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 3.1	ปริมาณของวัตถุดิบที่ต้องใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร	13
ตารางที่ 3.2	อัตราการใช้น้ำในการกลั่นเอทานอล (หน่วยเป็นกิโลกรัม/ไอ)	15
ตารางที่ 3.3	อัตราการไหลและองค์ประกอบของแต่ละกระแส	18
ตารางที่ 3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของตัวถูกละลายกับ กลุ่มของตัวทำละลาย	22
ตารางที่ 3.5	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกเมื่อใช้ สารอินทรีย์ชนิดต่างๆ	24
ตารางที่ 3.6	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกของ ตัวทำละลายผสมชนิดต่างๆ	26
ตารางที่ 3.7	เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือก ของงานวิจัยต่างๆ	27
ตารางที่ 3.8	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกเมื่อใช้ ตัวทำละลายชนิดต่างๆ	28
ตารางที่ 5.1	ข้อมูลขอบเขตการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล ที่ได้จากการทดลอง ของ Ruiz และคณะ [8] ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	33
ตารางที่ 5.2	ข้อมูลขอบเขตการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล ที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	34
ตารางที่ 5.3	ข้อมูลสมดุลการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล ที่ได้จากการทดลอง ของ Ruiz และคณะ [8] ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ 5.4	ข้อมูลสมมูลที่ได้จากการทดลองของ ระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล ที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิตั้งที่ 35 องศาเซลเซียส	36
ตารางที่ 6.1	ชื่อกระแสที่เข้าออกในแต่ละหน่วยกระบวนการในรูปที่ 6.1	43
ตารางที่ 6.2	คุณสมบัติของกระแสในกระบวนการรูปที่ 6.1	44
ตารางที่ 6.3	ส่วนประกอบของกระแสและกระแสพลังงาน ในกระบวนการรูปที่ 6.1	45
ตารางที่ 6.4	คุณสมบัติของกระแสที่เข้าออกหอกลิ้นสก็ด ในกระบวนการรูปที่ 6.1	47
ตารางที่ 6.5	คุณสมบัติของกระแสที่เข้าออกหอกลิ้น ในกระบวนการรูปที่ 6.1	49
ตารางที่ 6.6	คุณสมบัติของกระแสในกระบวนการรูปที่ 6.4	51
ตารางที่ 6.7	ส่วนประกอบของกระแสและกระแสพลังงาน ในกระบวนการรูปที่ 6.4	52
ตารางที่ 6.8	คุณสมบัติของกระแสที่เข้าออกหอกลิ้นสก็ด ในกระบวนการรูปที่ 6.4	53
ตารางที่ 6.9	คุณสมบัติของกระแสที่เข้าออกหอกลิ้น ในกระบวนการรูปที่ 6.4	54
ตารางที่ ก.1	คุณสมบัติทางกายภาพของเอทานอล	62
ตารางที่ ก.2	อันตรายของไอของเอทานอล ณ ความเข้มข้นต่างๆ	66
ตารางที่ ก.3	คุณสมบัติต่างๆของ 2-เอทิลเฮกซานอล	67
ตารางที่ ก.4	คุณสมบัติต่างๆของน้ำ	68
ตารางที่ ข.1	ข้อมูลปริมาณของ น้ำ 2-เอทิลเฮกซานอล เอทานอล ที่ใช้ในการทดลองหาเส้นโค้งการละลาย	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ข.2	ข้อมูลปริมาณของ น้ำ 2-เอทิลเฮกซานอล เอทานอล ที่ใช้ในการทดลองหาเส้นสมมูลก ารละลาย	71
ตารางที่ ข.3	ค่าดัชนีหักเหแสงของวัฏภาคเอ็กแทรกซ์และวัฏภาคกราฟิเนต	71
ตารางที่ ข.4	ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล และค่าดัชนีหักเหแสง	72
ตารางที่ ข.5	ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ และค่าดัชนีหักเหแสง	73

สารบัญญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	เส้นโค้งการละลายของระบบของเหลว 3 ชนิด	8
รูปที่ 2.2	ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งการละลายสำหรับระบบ นอร์มอลเฮกเซน (H) – เมทิลไซโคลเพนเทน (M) – แอนนิลีน (A)	9
รูปที่ 2.3	ผลของเส้นโค้งการละลายต่อช่วงขององค์ประกอบของ สารป้อนที่ถูกสกัด	9
รูปที่ 2.4	สมดุลวิภาคของระบบของเหลวไตรภาคที่มีทุกพบโดยทั่วไป (a) ชนิดที่ 1 มีสารคู่หนึ่งที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน (b) ชนิดที่ 2 มีสารที่ไม่ละลายกันสองคู่	10
รูปที่ 2.5	การใช้เส้นคอนจูเกตเพื่อหาจุดเฟลท	12
รูปที่ 3.1	ข้อมูลสมดุลของระบบของเหลวไตรภาคของ เอทานอล – น้ำ – 2-เอทิลเฮกซานอลที่ 25 องศาเซลเซียส (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โมล)	16
รูปที่ 3.2	กระบวนการแยกเอทานอลจากน้ำโดยการสกัด ในหอสกัดของเหลวและการกลั่นของ Ruiz [8]	17
รูปที่ 5.1	แผนภาพเส้นการละลายและเส้นสมดุลการละลายของระบบ เอทานอล – น้ำ – 2-เอทิลเฮกซานอล ที่ได้จากการทดลองของ Ruiz [8] ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	37
รูปที่ 5.2	แผนภาพจุดขอบเขตการละลายของระบบ เอทานอล – น้ำ – 2-เอทิลเฮกซานอล ที่ได้จากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	38
รูปที่ 5.3	แผนภาพแนวโน้มเส้นขอบเขตการละลายและเส้นสมดุล การละลายของระบบ เอทานอล – น้ำ – 2-เอทิลเฮกซานอล ที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	38

สารบัญญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 6.1	แบบจำลองกระบวนการแยกเอทานอลที่ดัดแปลงมาจากกระบวนการของ Ruiz	42
รูปที่ 6.2	ขยายหอกลิ้นลัดในกระบวนการรูปที่ 6.1	43
รูปที่ 6.3	ขยายหอกลิ้นในกระบวนการรูปที่ 6.1	48
รูปที่ 6.4	แบบจำลองกระบวนการแยกเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	50
รูปที่ ก.1	กระบวนการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการไฮเดรชันโดยตรง	64
รูปที่ ข.1	กราฟมาตรฐานค่าดัชนีหักเหแสงและลัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล	75
รูปที่ ข.2	กราฟมาตรฐานค่าดัชนีหักเหแสงและลัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ	75

คำอธิบายสัญลักษณ์

a_i	=	ค่าแอกติวิตีของสาร i
$a_i^{(1)}$	=	ค่าแอกติวิตีของของสาร i ในวัฏภาคที่ 1
$a_i^{(2)}$	=	ค่าแอกติวิตีของของสาร i ในวัฏภาคที่ 2
$a_i^{(N)}$	=	ค่าแอกติวิตีของของสาร i ในวัฏภาคที่ N
C_E	=	ความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อน (เปอร์เซ็นต์โดยโมล)
E	=	อัตราการผลิตของสารในวัฏภาคเอกซ์แทรก
F	=	อัตราการไหลของสารป้อน
f_i	=	ค่าฟูกาซิตีของสาร i ในระบบที่เป็นสถานะไอ ของเหลว หรือของแข็ง
f_i^o	=	ค่าฟูกาซิตีของสารบริสุทธิ์ i ณ สภาวะอ้างอิง
f_i^α	=	ค่าฟูกาซิตีของสาร i ในวัฏภาค α
$f_i^{\alpha\alpha}$	=	ค่าฟูกาซิตีของสารบริสุทธิ์ i ณ ความดันและอุณหภูมิกำหนด (สภาวะอ้างอิง) ในวัฏภาค α
f_i^β	=	ค่าฟูกาซิตีของสาร i ในวัฏภาค β
$f_i^{o\beta}$	=	ค่าฟูกาซิตีของสารบริสุทธิ์ i ณ สภาวะอ้างอิง ในวัฏภาค β
$f_i^{(1)}$	=	ค่าฟูกาซิตีของสาร i ในวัฏภาคที่ 1
$f_i^{(2)}$	=	ค่าฟูกาซิตีของสาร i ในวัฏภาคที่ 2
$f_i^{(N)}$	=	ค่าฟูกาซิตีของสาร i ในวัฏภาคที่ N
K_D	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย
K_{Di}	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของสาร i
K_{Da}	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของสาร a
K_{Db}	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของสาร b
k_i	=	ค่าคงที่ของการเป็นสัดส่วน
P	=	ความดัน
P^f	=	ความดัน ณ สภาวะอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

$P^{(1)}$	=	ความดันของสารในภูมิภาคที่ 1
$P^{(2)}$	=	ความดันของสารในภูมิภาคที่ 2
$P^{(N)}$	=	ความดันของสารในภูมิภาค N
R	=	ค่าคงที่ของก๊าซ
R	=	อัตราการไหลของสารในภูมิภาคกราฟฟิเน็ต
S	=	อัตราการไหลของตัวทำละลาย
S_i	=	เอนโทรปีต่อโมลของสารบริสุทธิ์ i
T	=	อุณหภูมิ
T^r	=	อุณหภูมิ ณ สภาวะอ้างอิง
$T^{(1)}$	=	อุณหภูมิของสารในภูมิภาคที่ 1
$T^{(2)}$	=	อุณหภูมิของสารในภูมิภาคที่ 2
$T^{(N)}$	=	อุณหภูมิของสารในภูมิภาคที่ N
x_f	=	สัดส่วนโมลของสารในสารป้อน
x_i	=	สัดส่วนโมลของสาร i ในสถานะของเหลว
$x_i^{(1)}$	=	สัดส่วนโมลของสาร i ในภูมิภาคที่ 1
$x_i^{(2)}$	=	สัดส่วนโมลของสาร i ในภูมิภาคที่ 2
x_r	=	สัดส่วนโมลของสารในภูมิภาคกราฟฟิเน็ต
y_e	=	สัดส่วนโมลของสารในภูมิภาคเอกซ์แทรกค
y_i	=	สัดส่วนโมลของสาร i ในสถานะไอ
y_s	=	สัดส่วนโมลของสารในตัวทำละลาย
ϕ	=	ค่าสัมประสิทธิ์ฟูกาซีดี
α	=	ค่าการเลือก
δ	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
v_i	=	ปริมาตรต่อโมลของสารบริสุทธิ์
μ_i	=	ศักย์เคมีของสาร i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

μ^o_i	=	ดัชนีเคมีของสารบริสุทธิ์ i ณ สภาวะอ้างอิง
$\mu_i^{(1)}$	=	ศักย์ภาพอินเทนซีฟของสาร i ในวัฏภาคที่ 1
$\mu_i^{(2)}$	=	ศักย์ภาพอินเทนซีฟของสาร i ในวัฏภาคที่ 2
$\mu_i^{(N)}$	=	ศักย์ภาพอินเทนซีฟของสาร i ในวัฏภาคที่ N
μ_i^α	=	ดัชนีเคมีของสาร i ในวัฏภาค α
$\mu_i^{o\alpha}$	=	ดัชนีเคมีของสารบริสุทธิ์ i ในวัฏภาค α ณ สภาวะอ้างอิง
μ_i^β	=	ดัชนีเคมีของสาร i ในวัฏภาค β
$\mu_i^{o\beta}$	=	ดัชนีเคมีของสารบริสุทธิ์ i ในวัฏภาค β ณ สภาวะอ้างอิง
γ	=	ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตี
γ_i	=	ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของสาร i
γ_i^1	=	ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของสาร i ในวัฏภาคที่ 1
γ_i^2	=	ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของสาร i ในวัฏภาคที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันมีแนวความคิดที่จะนำเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม เอทานอลที่ได้มาจากการหมักผลผลิตทางการเกษตร มักจะมีความเข้มข้นของเอทานอลเจือจาง ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยปกติการแยกเอทานอลออกจากน้ำหมักจะใช้กระบวนการกลั่นซึ่งจะใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายสูงมากแปรตามปริมาณเอทานอลที่ต้องการแยกออกจากน้ำหมัก นอกจากนี้ยังทำให้ไม่สามารถกลั่นให้ได้เอทานอลบริสุทธิ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะเกิดเป็นสารประกอบอะซีโโทพรอป

ความสำคัญของเทคโนโลยีการแยกแบบการสกัดของเหลวด้วยของเหลวมีความโดดเด่นมากเมื่อการแยกโดยการกลั่นนั้นให้ประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ขั้นตอนยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายในการทำงานสูง ดังนั้นการสกัดของเหลวด้วยของเหลวจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง สำหรับการแยกหรือการนำสารอินทรีย์ที่ยังมีศักยภาพกลับมาใช้ใหม่ ทำให้เกิดข้อดีขึ้นคือมีความยืดหยุ่นในการแยกเอทานอลออกจากน้ำและลดการใช้พลังงานในกระบวนการโดยรวมได้ ประสิทธิภาพของการสกัดสามารถพัฒนาให้ดีขึ้นโดยการเลือกใช้สารสกัดที่เหมาะสม โดยพยายามให้มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient , K_D) และ แฟคเตอร์การแยก (Separation Factor) สูง สารที่เป็นตัวทำละลายมีหลากหลายที่นำมาเป็นสารสกัด เช่น แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ เอมีน เอไมด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น

การแยกเอทานอลด้วยวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลวขึ้นกับข้อมูลพื้นฐานของการเกิดสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเอทานอลระหว่างวัฏภาคเอควียสและวัฏภาคตัวทำละลาย งานวิจัยนี้ศึกษาโดยมีจุดวัตถุประสงค์เพื่อหาข้อมูลสมดุลวัฏภาคของระบบของระบบของเหลวไตรภาคของ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

1.1 มุลเหตุจูงใจ

เนื่องจากเอทานอลถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นสาร ตั้งต้นผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง เป็นต้น วิธีการสกัดเอทานอลด้วยสารอินทรีย์เป็นวิธีทางหนึ่งในการแยกเอทานอลที่ได้จากการหมักชีวภาพซึ่งมีปริมาณเอทานอลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แทนที่วิธีการกลั่นโดยตรง เพื่อลดพลังงานและค่าใช้จ่ายลงแต่ได้เอทานอลนี้มีความบริสุทธิ์ใกล้เคียงกัน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาถึงระบบสมดุลวัฏภาคในระบบของเหลวไตรภาค

1.2.2 สร้างเส้นโค้งขอบเขตการละลายและเส้นสมดุลการละลายในระบบของเหลวไตรภาคของ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล

1.2.3 เพื่อศึกษาว่าในการแยกเอทานอลนั้นสามารถใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย แทนที่วิธีการกลั่นได้โดยใช้พลังงานน้อยกว่า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 หาข้อมูลสมดุลของระบบของเหลวไตรภาคของ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล

1.3.2 สร้างเส้นโค้งแสดงขอบเขตการละลาย (Binodal Curve) และเส้นสมดุลการละลาย (Tie Line) ของระบบของเหลวไตรภาคนี้

1.3.3 ใช้โปรแกรมไฮซิส (Hysys Program) คำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการแยกเอทานอลออกจากน้ำจนได้เอทานอลบริสุทธิ์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 สามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้ตัวทำละลายในการสกัดเอทานอล เพื่อให้ได้เอทานอลปริมาณและความเข้มข้นที่สูงขึ้น

1.4.2 เมื่อเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดได้ จะสามารถลดค่าใช้จ่ายและพลังงานในการสกัดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในบทนี้เป็นการนำเสนอความสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่จำเป็นต่อการพิจารณา ระบบสมดุลโดยทั่วไป ซึ่งมีอุณหภูมิ ความดันและองค์ประกอบในระบบเป็นตัวแปรอิสระในการ แสดงถึงสภาวะของระบบ เช่น สมดุลของเหลว-ของเหลว และของเหลว-ของแข็ง ซึ่งมีความ สำคัญสำหรับกระบวนการสกัด

เพื่อความเข้าใจกระบวนการและสมดุลที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องทราบแนวคิด ทางเทอร์โมได- นามิกส์ เกี่ยวกับ ศักย์เคมี ฟูกาซิตี และแอกติวิตี ความแตกต่างระหว่างสารละลายอุดมคติกับ สารละลายที่ไม่เป็นอุดมคติ และสมดุลวัฏภาค

2.1 ศักย์เคมี (Chemical potential, μ_i) [1]

สำหรับสมดุลวัฏภาคทางเทอร์โมไดนามิกส์นั้นจะเป็นการอธิบายถึงปริมาณการกระจาย ของทุกองค์ประกอบในทุกวัฏภาคที่สมดุล Gibbs ได้เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับศักย์เคมีขึ้นเพื่อ จะเชื่อมโยงเข้ากับปริมาณทางฟิสิกส์ที่สามารถวัดได้ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และองค์ประกอบ

สำหรับสารบริสุทธิ์ i จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$d\mu_i = -S_i dT + v_i dP \quad (2.1.1)$$

S คือ เอนโทรปีต่อโมล (Molar Entropy) ของสารบริสุทธิ์ i

v คือ ปริมาตรต่อโมล (Molar Volume) ของสารบริสุทธิ์ i

สำหรับ μ_i ที่อุณหภูมิและความดันหนึ่ง

$$\mu_i(T, P) = \mu_i(T^r, P^r) - \int_{T^r}^T S_i dT + \int_{P^r}^P V_i dP \quad (2.1.2)$$

ด้วย r หมายถึง ณ สภาวะอ้างอิงที่กำหนดขึ้น

2.2 ฟูกาซิตี (Fugacity , f) [1 - 2]

ถึงแม้ศักย์เคมีจะช่วยบอกถึงสถานะของสมดุลได้แต่เพื่อความสะดวกในการคำนวณเกี่ยวกับสมดุลวิภาคมากขึ้นและเนื่องจากศักย์เคมีจะมีค่าเข้าใกล้ลบอินฟินิตี้ในขณะที่ความดันเข้าใกล้ศูนย์ ด้วยเหตุนี้ศักย์เคมีจึงไม่เหมาะสมมากนักสำหรับการคำนวณสมดุลวิภาค จึงได้มีการกำหนดฟูกาซิตีขึ้นมาโดย G.N.Lewis ได้นิยามฟูกาซิตีขึ้นในรูปของศักย์เคมีสำหรับองค์ประกอบใดๆในระบบที่มีอุณหภูมิคงที่ ไม่ว่าจะระบบนั้นจะเป็นสารบริสุทธิ์ สารผสมแบบอุดมคติ หรือไม่อุดมคติ ดังนี้

$$\mu_i - \mu_i^o = RT \ln \frac{f_i}{f_i^o} \quad (2.2.1)$$

โดยที่ f_i คือ ค่าฟูกาซิตีของสาร i ระบบไม่ว่าจะเป็นสถานะไอ ของเหลวหรือของแข็ง
 f_i^o คือ ค่าฟูกาซิตีของสารบริสุทธิ์ i ณ สถานะอ้างอิง

สำหรับก๊าซอุดมคติบริสุทธิ์ ฟูกาซิตีจะเปรียบเสมือนความดัน และสำหรับสาร i ในก๊าซผสมอุดมคติ ฟูกาซิตีของแต่ละสารในก๊าซผสมอุดมคติจะเปรียบเสมือนความดันย่อย (Partial Pressure) โดยมีค่าเท่ากับ $y_i P$

เนื่องจาก สมการที่ (2.2.1) พิจารณาที่อุณหภูมิคงที่ ดังนั้นอุณหภูมิที่สถานะอ้างอิงควรจะเป็นอุณหภูมิเดียวกับอุณหภูมิของระบบ ส่วนองค์ประกอบและความดันอาจเปลี่ยนไปตามระบบที่กำลังศึกษา

เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันระหว่างฟูกาซิตี และความดัน เพื่อความสะดวกจึงได้กำหนดอัตราส่วนระหว่างฟูกาซิตีกับความดันขึ้น เรียกว่า สัมประสิทธิ์ฟูกาซิตี (Fugacity Coefficient , ϕ) โดยในทางปฏิบัติ จะนิยมใช้สัมประสิทธิ์ฟูกาซิตี แทนฟูกาซิตี

$$\phi = \frac{f_i}{x_i P} \quad (2.2.2)$$

โดยที่ x_i คือ สัดส่วนโมลของสาร i ในสถานะของเหลว

2.3 สารละลายอุดมคติ (Ideal Solution) [1 - 2]

จากการนิยามของ Lewis ที่ว่า " ในสารละลายอุดมคติค่าฟูกาซิตีของแต่ละสารจะเป็นสัดส่วนกับเศษส่วนโมล ตลอดช่วงของความเข้มข้นในทุกๆอุณหภูมิและทุกๆความดัน "

$$f_i = k_i x_i \quad (2.3.1)$$

โดยที่ k_i คือ ค่าคงตัวของสารเป็นสัดส่วนของสาร i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า k_i จะมีค่าเท่ากันตลอดช่วงของความเข้มข้น ณ อุณหภูมิและความดันที่กำหนดให้ และสำหรับ $x_i = 1$ จะได้ว่า

$$k_i = f_i^o \quad (2.3.2)$$

ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการ (2.3.1) ได้อีกรูปแบบ คือ

$$f_i = f_i^o x_i \quad (2.3.3)$$

2.4 สารละลายจริง (Nonideal Solution) [1 – 2]

สารละลายจริงหรือสารละลายไม่เป็นอุดมคติได้แก่ สารละลายที่ไม่เป็นไปตามสมการที่ (2.3.3) เพื่อความสะดวกในการบรรยายพฤติกรรมของสารละลายจริงจึงได้กำหนดสมบัติของสารละลายขึ้นมาอีกสมบัติหนึ่งเรียกว่า สัมประสิทธิ์แอกติวิตี (Activity Coefficient , γ) เพื่อแทนพฤติกรรมของสารละลายที่ผิดไปจากพฤติกรรมของสารละลายอุดมคติ โดยใช้สัมประสิทธิ์แอกติวิตีเป็นตัวปรับสมการ (2.3.3) ให้เป็น

$$f_i = \gamma_i x_i f_i^o \quad (2.4.1)$$

ดังนั้น ถ้าระบบเป็นสารละลายอุดมคติ จะได้ว่า $\gamma_i = 1$ ค่า γ_i จะเป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิ ความดันและองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารละลาย

$$\gamma_i = \gamma_i(T, P, x_i) \quad (2.4.2)$$

สารละลายอุดมคติเป็นเพียงกรณีที่เกิดขึ้นจริงจำนวนน้อยมาก แต่ในความเป็นจริงแล้วสารละลายโดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติต่างจากความเป็นอุดมคติมาก

2.5 แอกติวิตีและสัมประสิทธิ์แอกติวิตี (Activity and Activity Coefficient) [1 – 2]

2.5.1 แอกติวิตี

แอกติวิตี นิยาม เป็นอัตราส่วนระหว่างฟูกาซิตีของสารประกอบที่สถานะหนึ่ง กับฟูกาซิตีที่สถานะอ้างอิง

$$a_i = \frac{f_i}{f_i^o} \quad (2.5.1)$$

โดยที่ a_i คือ ค่าแอกติวิตีของสาร i

f_i^o คือ ค่าฟูกาซิตีของสารบริสุทธิ์ i ณ สภาวะอ้างอิง

เมื่อรวมสมการที่ (2.2.1) และ (2.5.1) จะเห็นได้ว่าค่าแอกติวิตี คือ ค่าความแตกต่างของศักย์เคมีที่สภาวะหนึ่งกับสภาวะอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_i - \mu_i^0 = RT \ln \frac{f_i}{f_i^0} = RT \ln a_i \quad (2.5.2)$$

แอกติวิตี คือ พารามิเตอร์ที่ไม่มีหน่วยซึ่งค่าของมันขึ้นกับสถานะมาตรฐาน ค่าแอกติวิตีนี้มีประโยชน์มากเนื่องจากสามารถเชื่อมโยงกับพารามิเตอร์ของส่วนประกอบ เช่น กับเศษส่วนโมล กับความเข้มข้น หรือกับความดันย่อย

2.5.2 สัมประสิทธิ์แอกติวิตี

สัมประสิทธิ์แอกติวิตีเป็นแฟกเตอร์แก้ไข (Correction Factor) ซึ่งเป็นการปรับเบน ของสารละลายจากพฤติกรรมอุดมคติสำหรับสถานะอ้างอิงหนึ่ง สัมประสิทธิ์แอกติวิตีถูกนิยามว่าเป็น อัตราส่วนอย่างง่ายระหว่างแอกติวิตีกับพารามิเตอร์ความเข้มข้น

$$\gamma_i = \frac{a_i}{x_i} \quad (2.5.3)$$

เนื่องจากทั้งค่าแอกติวิตีและสัมประสิทธิ์แอกติวิตีนั้นจัดว่าเป็นปริมาณทางเทอร์โมไดนามิกส์ ดังนั้นการปรับสมการจากระบบที่มีสององค์ประกอบที่สมดุลไปยังระบบหลายองค์ประกอบที่สมดุลย่อมสามารถกระทำได้ นอกจากนี้แล้วการแทนที่เทอม x_i ในสมการของระบบอุดมคติด้วยเทอม a_i หรือ $\gamma_i x_i$ จะเป็นการปรับสมการนั้นให้เข้ากับระบบสารละลายจริงได้ หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าการเบี่ยงเบนไปจากความเป็นอุดมคติของสารละลายจริงนั้นถูกรวมอยู่ในพจน์ของค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีนั่นเอง

2.6 สมดุลวิภาคในระบบวิวิธพันธุ์ (Phase Equilibrium in a Heterogeneous System) [1, 3 – 4]

ในระบบวิวิธพันธุ์จะประกอบด้วยวิภาคตั้งแต่สองวิภาคขึ้นไป โดยแต่ละวิภาคนั้นจะถือว่าเป็นระบบเปิด ในขณะที่เราทำการพิจารณาถึงสภาวะที่ระบบวิวิธพันธุ์อยู่ในสภาวะที่เกิดสมดุลภายในขึ้น สภาวะที่ทำให้เกิดสมดุลขึ้นในระบบวิวิธพันธุ์นั้นคือ สภาวะที่มีอุณหภูมิ และความดันเดียวกันทั้งระบบ ถ้า μ_i ในสมการ (2.6.1) คือ ศักยภาพอินเทนซีฟ (Intensive Potential) ที่สมดุลระบบจะต้องมีค่า μ_i เดียวกันทั้งระบบ ดังนั้นโดยทั่วไปสำหรับระบบวิวิธพันธุ์ที่ประกอบด้วย N วิภาค และ C องค์ประกอบ เมื่อระบบเกิดสมดุลขึ้น

$$\begin{aligned} T^{(1)} &= T^{(2)} = \dots = T^{(N)} \\ P^{(1)} &= P^{(2)} = \dots = P^{(N)} \\ \mu_i^{(1)} &= \mu_i^{(2)} = \dots = \mu_i^{(N)} \quad ; \quad i = 1, 2, 3, \dots, C \end{aligned} \quad (2.6.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการชุดนี้เป็นเกณฑ์พื้นฐานสำหรับสมดุลวิภาค สามารถประยุกต์ใช้กับสมดุลใดๆก็ได้ รวมทั้งระบบสมดุลของเหลวไตรภาคที่กำลังศึกษาอยู่ด้วย

บทบาทของฟูกาซิตีในฐานะที่เป็นเงื่อนไขหนึ่งของสมดุลสามารถนำมาพิจารณาจากวิภาคสองวิภาค ที่ประกอบด้วยหลายองค์ประกอบ เมื่อวิภาคทั้งสองอยู่ในสมดุลที่อุณหภูมิและความดันที่กำหนด พิจารณาสมการที่ (2.2.1) สำหรับวิภาค β และ α

$$\mu_i^\alpha - \mu_i^{o\alpha} = RT \ln \frac{f_i^\alpha}{f_i^{o\alpha}} \quad (2.6.2)$$

$$\mu_i^\beta - \mu_i^{o\beta} = RT \ln \frac{f_i^\beta}{f_i^{o\beta}} \quad (2.6.3)$$

เมื่อแทนสมการ (2.6.2) , (2.6.3) ลงในสมการ (2.6.1)

$$\mu_i^\alpha - \mu_i^\beta = 0 = RT \ln \frac{f_i^\alpha}{f_i^\beta} \quad (2.6.4)$$

จากสมการที่ (2.6.4) แสดงให้เห็นว่าแต่ละองค์ประกอบในแต่ละวิภาคจะมีฟูกาซิตีเท่ากัน

$$f_i^{(1)} = f_i^{(2)} = \dots = f_i^{(N)} \quad (2.6.5)$$

จากสมการ (2.5.1)
$$a_i = \frac{f_i}{f_i^o}$$

เนื่องจากเมื่อเกิดสมดุลวิภาคขึ้นนั้น ค่าของ f_i^o จะมีค่าเดียวกันสำหรับแต่ละวิภาค ดังนั้นทำให้ได้เงื่อนไขใหม่สำหรับสมดุลวิภาคขึ้น คือ

$$a_i^{(1)} = a_i^{(2)} = \dots = a_i^{(N)} \quad (2.6.6)$$

2.6.1 อัตราส่วนสมดุล (Equilibrium Ratio)

อัตราส่วนสมดุล คือ อัตราส่วนระหว่างสัดส่วนโมลขององค์ประกอบที่ปรากฏอยู่ในวิภาคทั้งสองวิภาค ณ สมดุล สำหรับกรณีสมดุลของเหลว-ของเหลว อัตราส่วนสมดุลจะหมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient, K_{Di})

$$K_{Di} = \frac{x_i^{(1)}}{x_i^{(2)}} \quad (2.6.1.1)$$

จากความสัมพันธ์ (2.4.1)
$$f_i = \gamma_i x_i f_i^o$$

และเมื่อเกิดสมดุลวิภาคขึ้น
$$f_i^{(1)} = f_i^{(2)} = \dots = f_i^{(N)}$$

ดังนั้นในกรณีของสมดุลของเหลวในระบบไตรภาคจะได้ว่า

$$\gamma_i^{(1)} x_i^{(1)} f_i^o = \gamma_i^{(2)} x_i^{(2)} f_i^o \quad (2.6.1.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma_i^{(1)} x_i^{(1)} = \gamma_i^{(2)} x_i^{(2)} \quad (2.6.1.3)$$

จากสมการที่ (2.6.1.1) จะได้ว่า

$$K_{Di} = \frac{x_i^{(1)}}{x_i^{(2)}} = \frac{\gamma_i^{(2)} f_i^{o(2)}}{\gamma_i^{(1)} f_i^{o(1)}} = \frac{\gamma_i^{(2)}}{\gamma_i^{(1)}} \quad (2.6.1.4)$$

2.6.2 ค่าการเลือก (Relative Separation หรือ Selectivity , α)

$$\alpha_{ab} = \frac{K_{Da}}{K_{Db}} \quad (2.6.2.1)$$

2.7 สมดุลในระบบของเหลวไตรภาค (Ternary Liquid - Liquid Equilibrium) [3]

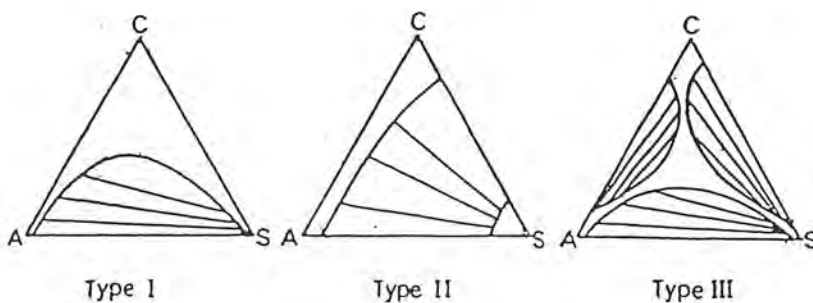
2.7.1 ระบบของเหลวไตรภาค

กระบวนการสกัดโดยส่วนใหญ่ตัวทำละลายจะมีคุณสมบัติเป็นกลางไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายในวัฏภาคของเหลว แต่สามารถละลายซึ่งกันและกันได้ ซึ่งการสกัดนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของการละลายและปฏิกิริยาที่นำไปสู่การสร้างสารประกอบที่ไม่แตกตัวด้วยตัวทำละลายที่นำมาสกัด ความสามารถในการแยกด้วยวิธีสกัดด้วยของเหลวนี้ขึ้นอยู่กับ การกระจายตัวของตัวถูกละลายในของเหลวทั้งสองชนิด ของเหลวสองชนิดนี้ต้องไม่ละลายซึ่งกันและกัน หรือละลายได้น้อยมาก จำนวนส่วนประกอบน้อยที่สุดที่รวมกันในกระบวนการคือ ของเหลวสามชนิด ระบบของเหลวสามชนิดที่น่าสนใจ ประกอบไปด้วย A,C และ S สามารถแบ่งออกเป็น

ชนิดที่ 1 ระบบที่มีเส้นโค้งการละลายเพียงโค้งเดียว ประกอบด้วย สารที่สามารถละลายเข้ากันได้ดี 2 คู่คือ A-C และ C-S และสารที่ละลายเข้าด้วยกันน้อยมาก 1 คู่คือ A-S

ชนิดที่ 2 ระบบที่มีสารละลายที่สามารถละลายเข้ากันได้ดี 1 คู่คือ A-C และสารที่สามารถละลายเข้าด้วยกันน้อยมาก 2 คู่คือ A-S และ C-S

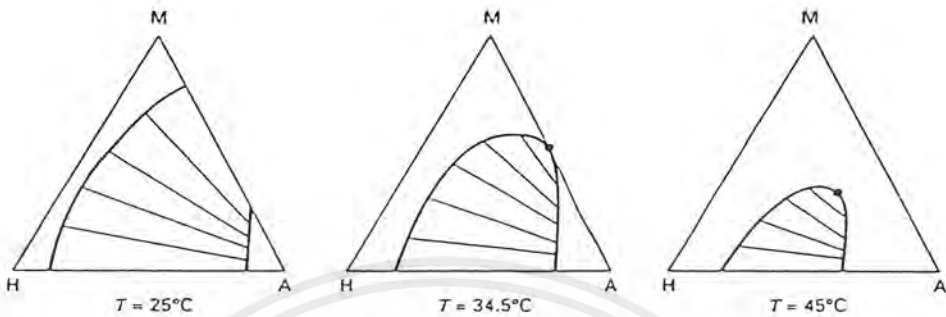
ชนิดที่ 3 ระบบที่สารทั้งหมดละลายซึ่งกันและกันได้น้อยมาก



รูปที่ 2.1 เส้นโค้งการละลายของระบบของเหลว 3 ชนิด [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

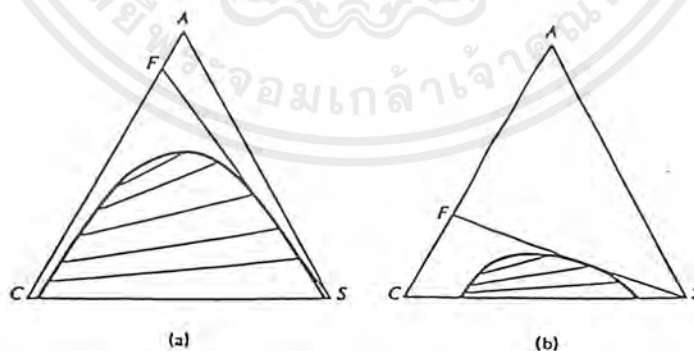
โดยชนิดที่ 1 และ 2 ขึ้นกับอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งการละลายสำหรับระบบ

นอร์มอลเฮกเซน (H) - เมทิลไซโคลเพนเทน (M) - แอนนิลีน (A) [3]

จากรูปที่ 2.3 เนื่องจาก C และ S ไม่ละลายซึ่งกันและกันทำให้ค่าการเลือกเฉพาะสูง แต่มีขีดจำกัดของความสามารถในการสกัดของตัวทำละลาย โดยการสกัดสารละลายป้อนนั้นจะทำได้ดีในช่วงที่สารละลายป้อนมีองค์ประกอบของ C และ A ในช่วง CF เท่านั้น เพราะว่าองค์ประกอบของสารละลายป้อนในช่วง FA ไม่สามารถเกิดเป็นของเหลวสองวัฏภาคได้ แม้ว่า จะเติมตัวทำละลายเท่าใดก็ตาม



รูปที่ 2.3 ผลของเส้นโค้งการละลายต่อช่วงขององค์ประกอบของสารป้อนที่ถูกสกัด [3]

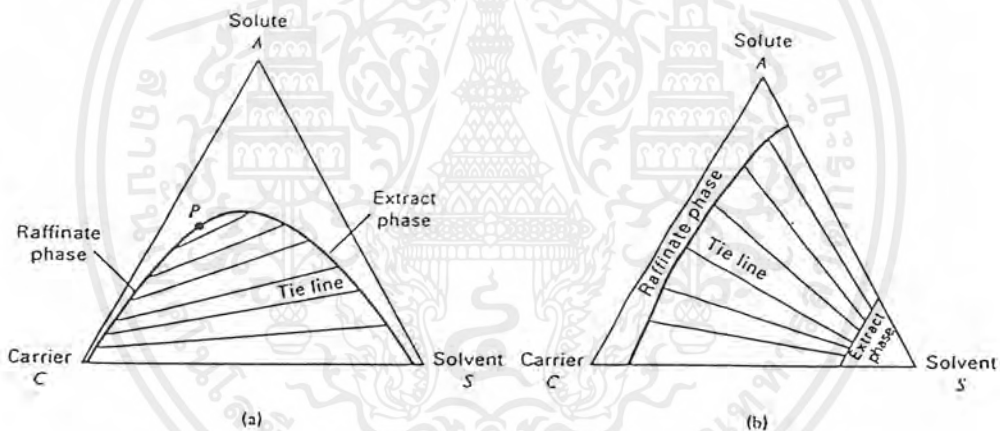
2.7.2 แผนภาพสมดุลวัฏภาค

ระบบของเหลวไตรภาคที่สามารถละลายกันได้นี้ อาจแสดงข้อมูลดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมุมทั้งสามมุมของสามเหลี่ยมด้านเท่าหมายถึงสารบริสุทธิ์ A C และ S แต่ละด้านของสามเหลี่ยมด้านเท่าหมายถึง องค์ประกอบของของเหลว 2 ชนิด เนื่องจากที่นำสามเหลี่ยมด้านเท่ามาใช้ นั่นเพราะว่า สามารถอ่านส่วนผสมของสารละลายได้ง่าย

ภายในรูปสามเหลี่ยมนั้นจะมีเส้นโค้งการละลายเป็นสิ่งบ่งบอกถึงความสมดุลระหว่างสารละลายทั้ง 3 ชนิด โดยพื้นที่เหนือเส้นโค้งการละลายแสดงถึงระบบที่มีวัฏภาคเดียวคือ A C และ S ละลายซึ่งกันและกันได้หมดเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนพื้นที่ใต้เส้นโค้งการละลาย แสดงถึงระบบที่มี 2 วัฏภาคอยู่ร่วมกันที่สมดุล วัฏภาคหนึ่งประกอบด้วย A ละลายใน C เป็นส่วนใหญ่ มี S เพียงเล็กน้อย วัฏภาคนี้เรียกว่า วัฏภาคราฟไฟเนต (Raffinate Phase) อีกวัฏภาคหนึ่งประกอบด้วย A ละลายใน S เป็นส่วนใหญ่ มี C เพียงเล็กน้อย วัฏภาคนี้เรียกว่า วัฏภาคเอกซ์แทรค (Extract Phase)



รูปที่ 2.4 สมดุลวัฏภาคของระบบของเหลวไตรภาคที่มักพบโดยทั่วไป

- (a) ชนิดที่ 1 มีสารคู่หนึ่งที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน
(b) ชนิดที่ 2 มีสารที่ไม่ละลายกันสองคู่ [3]

2.7.3 วิธีทั่วไปในการหาข้อมูลสมดุล [4]

Clear – point Technique

ใส่ตัวทำละลายของสารป้อนกับตัวทำละลายที่เป็นตัวสกัด (Extractant) เข้าด้วยกัน ค่อยๆเติมตัวถูกละลายจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกันองค์ประกอบของทุกส่วนผสมจะเป็นจุดๆหนึ่งบนเส้นโค้งการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cloud – point Technique

ค่อยๆเติมตัวทำละลายที่เป็นตัวสกัด ลงในสารละลายป้อน เติมจนกระทั่งถึงหยดที่สารละลายเริ่มขุ่น

ของเหลวผสม A, S และ C ไต่ๆที่มีส่วนประกอบ อยู่ภายใต้เส้นโค้งการละลาย จะแยกออกเป็น 2 ภูมิภาค คือ ภูมิภาคกราฟฟิเน็ต และ ภูมิภาคเอกซ์แทรก ซึ่งอยู่รวมกันอย่างสมดุลนี้เรียกว่า ภูมิภาคคอนจูเกต (Conjugate Phase)

เส้นตรงที่เชื่อมต่อกจุดของส่วนประกอบของของเหลว ณ ภาวะสมดุล 2 จุด นั้น เรียกว่า เส้นสมดุลการละลาย (Tie Line) ทุกๆจุดของระบบของเหลว 2 ภูมิภาคภายใต้พื้นที่เส้นโค้งการละลายจะมีเส้นสมดุลการละลายที่สามารถบอกส่วนประกอบของแต่ละภูมิภาคได้ โดยอ่านค่าที่ปลายจุดเส้นสมดุลการละลายทั้งสองนั้น ซึ่งปริมาณของของเหลวในแต่ละภูมิภาคหาได้จากกฎ Lever-Arm แนวเส้นทางของเส้นสมดุลการละลายนั้นสามารถหาได้จากการทดลองในแต่ละกรณีไป เมื่อเติมตัวถูกละลาย A (Solute) ลงไปในของเหลวที่มี 2 ภูมิภาค ซึ่ง A สามารถละลายได้ทั้งใน C และ S ดังนั้นสาร A ที่เติมลงไปจะกระจายเข้าไปในระหว่างภูมิภาค C และ S ทำให้สาร C และ S ละลายซึ่งกันและกันได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดที่ละลายกันได้อย่างสมบูรณ์ที่จุดเพลต (Plait Point) โดยจุดเพลตนี้ไม่จำเป็นต้องอยู่บนจุดยอดของเส้นโค้งการละลาย แต่ขึ้นอยู่กับการณ์เอียงของเส้นสมดุลการละลาย

วิธีการหาจุดเพลตสามารถหาได้หลายวิธี เช่น

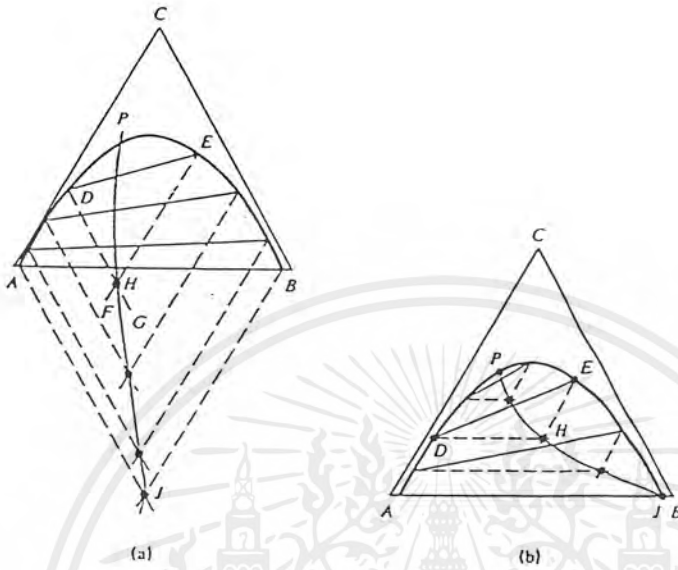
วิธีที่ 1

1. เมื่อทราบเส้นสมดุลการละลายของสารผสมที่มีองค์ประกอบต่างๆกันของระบบ ลากเส้นตรงขนานกับด้าน AB ที่จุดปลายของเส้นสมดุลการละลายด้านภูมิภาคกราฟฟิเน็ตทุกเส้น ดังรูปที่ 2.5 (b)
2. สร้างเส้นตรงขนานกับด้าน CA ที่จุดปลายของเส้นสมดุลการละลายด้านภูมิภาคเอกซ์แทรก ตัดกับเส้นตรงที่สร้างขึ้นจากข้อ 1.
3. ลากเส้นเชื่อมจุดตัดที่เกิดขึ้นจนกระทั่งตัดเส้นโค้งการละลายเกิดจุดเพลตขึ้น

วิธีที่ 2

1. สร้างเส้นขนานกับด้าน BC ที่จุดปลายของเส้นสมดุลการละลาย ด้านภูมิภาคกราฟฟิเน็ต
2. สร้างเส้นขนานกับด้าน AC ที่จุดปลายของเส้นสมดุลการละลาย ด้านภูมิภาคเอกซ์แทรก ตัดกับเส้นตรงที่สร้างขึ้นจากข้อ 1. ดังรูปที่ 2.5 (a)
3. ลากเส้นเชื่อมจุดตัดที่เกิดขึ้นจนกระทั่งตัดเส้นโค้งการละลายเกิดจุดเพลตขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การใช้เส้นคอนจูเกตเพื่อหาจุดเฟลต [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

มูลเหตุในการเลือกใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายในการแยก เอทานอลออกจากน้ำและการเลือกตัวทำละลาย

3.1 มูลเหตุที่ใช้การสกัดเอทานอลด้วยตัวทำละลาย [6 - 8]

ในอดีตเบนซินจากปิโตรเลียมมีราคาถูก แต่ปัจจุบันมีราคาสูงขึ้นทำให้มีราคาใกล้เคียงกับเอทานอล ดังนั้นการลดต้นทุนในการผลิตเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เอทานอลสามารถแข่งขันได้กับน้ำมันจากปิโตรเลียม เอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิด ประเภทที่ง่ายที่สุดก็คือน้ำตาลหรือกากน้ำตาลจากอ้อย หัวบีทรูทหรือพืชที่ให้ความหวานอื่นๆ ซึ่งสามารถนำเข้าสู่กระบวนการหมักได้เลย ส่วนพืชแป้งเช่นข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ นั้นจะต้องนำมาบดแล้วหมักให้แป้งกลายเป็นน้ำตาลก่อน นอกจากนี้เรายังสามารถนำเอาเศษชี้เลี้ยง เศษไม้ ฟางข้าว ผักตบชวา หญ้าแฝกหรือเยื่อใยจากพืชอื่นๆ มาผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดหรือบักเตรีให้กลายเป็นน้ำตาลเพื่อหมักเป็นเอทานอลได้เช่นกัน แต่ทุกกระบวนการผลิตจะต้องลงท้ายด้วยการหมักด้วยสาหร่ายยีสต์เสมอ จากนั้นก็จะนำไปกลั่นเพื่อแยกเอาเอทานอลออกมาจากส่วนผสมและนำไปผ่านกระบวนการแยกน้ำให้กลายเป็นเอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพื่อนำมาใช้งานในรูปแบบน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไป โดยใช้ปริมาณวัตถุดิบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของวัตถุดิบที่ต้องใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร [6]

วัตถุดิบ	ปริมาณ (กก.)
กากน้ำตาล	4.0
มันสำปะหลัง	6.5
ข้าว	2.5
ข้าวโพด	2.5
ข้าวฟ่าง	14.3
น้ำมันมะพร้าว	12.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศไทยเราเองมีวัตถุดิบอยู่มากมายและน่าจะสามารถผลิตเอทานอลได้ในราคาที่ดีกว่าสหรัฐอเมริกาที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบซึ่งมีราคาประมาณ 3.5-4 บาทต่อกก. แต่มีสินค้าปะหลังไทยเรานั้นมีราคาประมาณ 0.7-0.8 บาทต่อกก.เท่านั้น จากการวิจัยในอดีตสามารถประเมินว่าราคาเอทานอลน่าจะอยู่ที่ประมาณ 12 บาทต่อลิตร แต่มีแนวโน้มว่าจะสามารถลดต้นทุนการผลิตลงมาอยู่ราวๆ 7-8 บาทต่อลิตร ทั้งนี้จะมีรายได้จากการขายผลพลอยได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหัวอาหารสัตว์ ในปัจจุบันมีรายงานว่าไทยส่งออกเอทานอลไปประเทศญี่ปุ่นอยู่ที่ราคาลิตรละประมาณ 8-9 บาทเท่านั้นเอง

ในการผลิตเอทานอลตามที่กล่าวถึงนั้นมีผลพลอยได้หลายอย่างที่มียุทธศาสตร์ที่ขึ้นอยู่กัวัตถุดิบด้วย เช่นถ้าใช้ข้าวโพด ข้าวหรือมันสำปะหลังจะได้หัวอาหารสัตว์โปรตีนสูง (ประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์) อีกประมาณ 2 กก. ต่อเอทานอล 1 ลิตร และจากกระบวนการหมักของทุกวัตถุดิบจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกประมาณ 1.5-2 กก. ต่อเอทานอล 1 ลิตรอีกด้วย ก๊าซนี้สามารถนำไปทำเป็นน้ำแข็งแห้ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลวหรืออัดซึ่งสามารถใช้แช่แข็งอาหาร ใช้ในน้ำอัดลมและโซดา หรือในอุตสาหกรรมเชื่อมและหล่อโลหะอีกด้วย

เมื่อพิจารณาในด้านพลังงานของเอทานอลที่ได้จากการเผาไหม้ต่อพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลพบว่า พลังงานจากการเผาไหม้เอทานอลคือ 23.55 ล้านจูลต่อลิตร ในขณะที่พลังงานที่ต้องใช้ในการกลั่นเพื่อผลิตเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะอยู่ในช่วง 7 ถึง 14 ล้านจูลต่อลิตร นอกจากนี้ในการกลั่นเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพื่อผลิตเป็นแอลกอฮอล์เอทานอลโดยวิธีการกลั่นอะซีโโทรปจะต้องใช้พลังงานในการกลั่นเพิ่มเติมอีก 3 ล้านจูลต่อลิตร จะเห็นได้ว่าพลังงานที่ใช้ในการกลั่นแอลกอฮอล์ (ซึ่งใช้ผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นก๊าซไฮดรอล) จะมีปริมาณประมาณครึ่งหนึ่งจากพลังงานที่ได้รับจากการเผาไหม้เอทานอล ตารางที่ 2.2 แสดงอัตราการใช้น้ำในระบบการกลั่นประหยัดพลังงานเพื่อผลิตเอทานอล ในระบบการกลั่นประหยัดพลังงานดังกล่าว จะมีระบบ Vapor Recompression ซึ่งจะช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการกลั่นได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.2 อัตราการใช้ไอน้ำในการกลั่นเอทานอล (หน่วยเป็นกิโลกรัมไอน้ำ) [7]

	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่น	
	เอทานอล – น้ำ- อะซิโโททรป	แอนไฮดริสเอทานอล
ความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อน (เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร)	10	96
ความเข้มข้นเอทานอลในผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร)	96	100
อัตราการใช้ไอน้ำต่อลิตรเอทานอล ที่ผลิตได้	4.1	1.4

หมายเหตุ ความร้อนของการกลายเป็นไอของน้ำประมาณ 2.2 ล้านจูลต่อกิโลกรัมไอน้ำ

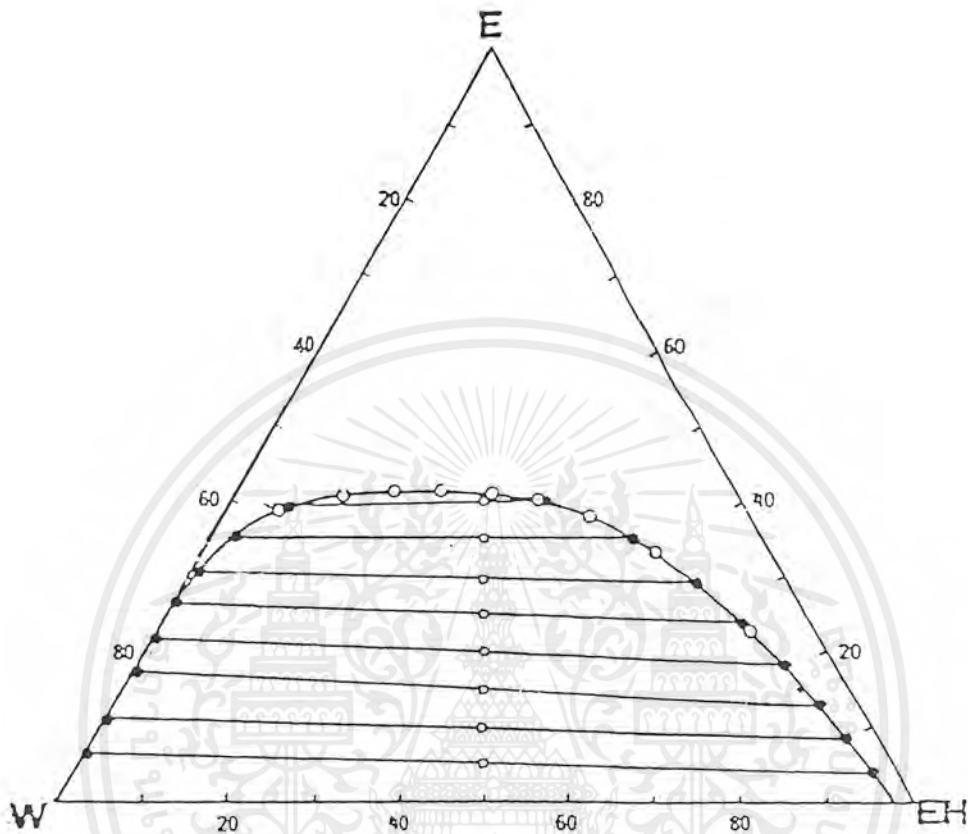
ถึงแม้การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของการกลั่นทำได้หลายวิธี เช่น การกลั่นที่ความดันสูงจะลดการใช้ไอน้ำได้ 40 เปอร์เซ็นต์ และจะได้เอทานอลที่บริสุทธิ์ 96 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ถ้านำระบบ Vapor Recompression มาใช้จะลดพลังงานที่ใช้ในการกลั่นได้ไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการลงทุนถึง 50 เปอร์เซ็นต์

ทางเลือกหนึ่งในการแยกเอทานอลที่ได้จากการหมักซึ่งจะมีปริมาณน้ำเป็นจำนวนมาก (90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ทำได้โดยการสกัดแยกเอทานอลออกมาในตัวทำละลาย โดยวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว ซึ่งวิธีนี้จะลดปริมาณน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลั่นในขั้นตอนหลังจากการสกัดได้เป็นปริมาณมาก และได้มีงานวิจัยเสนอแนะวิธีดังกล่าวไว้มากมาย

Ruiz และคณะ [8] ได้ทำการทดลองหาข้อมูลสมดุลของเหลว-ของเหลว ของระบบเอทานอล – น้ำ – 2-เอทิลเฮกซานอล ได้ข้อมูลดังรูปที่ 3.1 นอกจากนี้ Ruiz และคณะได้เสนอกระบวนการแยกเอทานอลออกจากน้ำ โดยการสกัดด้วย 2-เอทิลเฮกซานอลในหอสกัดของเหลว P ดังรูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.2 กระแสที่ 1 มีเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เข้าสู่หอสกัด P เป็นสารป้อน กระแสที่ 3 เป็นวัฏภาคกราฟฟิเนตมีเอทานอลน้อยกว่า 0.0002 เปอร์เซ็นต์โดยโมล กระแสที่ 2 เป็นวัฏภาคเอ็กซ์แทรก จะผ่านการให้ความร้อนจนใกล้จุดเกิดฟอง (Bubble Point) เข้าสู่หอกลั่นสกัด Q ซึ่ง Q จะทำหน้าที่แยกน้ำออกจากยอดหอ (กระแส 6) ส่วนผลิตภัณฑ์ก้นหอ (กระแส 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ข้อมูลสมดุลของเหลว-ของเหลวของระบบ เอทานอล-น้ำ-
2-เอทิลเฮกซานอลที่ 25°C (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยโมล) [8]

จะประกอบไปด้วยเอทานอลและตัวทำละลาย เข้าสู่หอกลั่น R ซึ่งจะกลั่นแยกได้แอลกอฮอล์ เอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ (กระแส 9) และตัวทำละลายเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอ (กระแส 11) กระแส 11 นี้ส่วนหนึ่งนำกลับไปใช้เป็นตัวทำละลายที่หอสกัด P (กระแส 4) โดยผ่านการลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ 25 องศาเซลเซียสก่อน อีกส่วนจะถูกทำให้เย็นลงใกล้อุณหภูมิจุดเกิดฟอง บ๊องเข้าสู่หอกลั่นสกัด Q (กระแส 5) เพื่อที่ส่วนผลิตภัณฑ์ยอดหอ Q จะได้มีแต่ไอน้ำและไอของเอทานอล

เครื่องหล่อเย็น (Cooler) ที่ 1 และ 2 ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของกระแส 4 และ 7 ให้เหลือ 25 องศาเซลเซียสก่อนเข้าสู่หอสกัด P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการดังกล่าวถูกประเมินว่ามีค่า 7 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ ซึ่งปริมาณพลังงานนี้ยังมีได้คำนึงถึงการใช้ระบบ Vapor Recompression อันอาจลดพลังงานที่ต้องการในการกลั่นได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้กระบวนการนี้ใช้พลังงานน้อยกว่า 3 ล้านจูลต่อลิตร

ตารางที่ 3.3 อัตราการไหลและองค์ประกอบของแต่ละกระแส [8]

กระแส ที่	อัตราการไหล (โมลต่อวินาที)	เปอร์เซ็นต์โดย โมลของน้ำ	เปอร์เซ็นต์โดยโมล ของเอทานอล	เปอร์เซ็นต์โดยโมล ของ 2-เอทิล -1-เฮกซานอล
1	5	80	20	-
2	4.83	22	28	50
3	4	99.97	0.02	0.01
4	2.45	-	-	100
5	5.93	-	-	100
6	5.36	75	25	-
7	1.41	75	25	-
8	2.20	-	100	-
9	1	-	100	-
10	6.93	-	14.4	85.6
11	8.35	-	-	100

การคำนวณพลังงานที่ต้องใช้ พลังงานที่ต้องการมากที่สุดของกระบวนการคือ

1. ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของกระแส 6 ในหอกกลั่นสก็ด Q อัตราการไหลของกระแส 6 เท่ากับ 5.36 โมลต่อวินาที ความร้อนแฝงของน้ำและเอทานอลประมาณ 40 กิโลจูลต่อโมล ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการทำให้กลายเป็นไอของหอกกลั่นสก็ด Q คือ $5.36 \times 40 = 224$ กิโลจูลต่อวินาที กระแส 9 มีเอทานอล 100 เปอร์เซ็นต์โดยโมล นั่นคือใช้พลังงาน 224 กิโลจูลต่อโมลของเอทานอลที่ได้

2. พลังงานที่ใช้ในการทำให้เป็นไอของหอกกลั่น R คือ $2.2 \times 40 = 88$ กิโลจูลต่อโมลของเอทานอลที่ได้ (กระแส 8 มีอัตราการไหล 2.2 โมลต่อวินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Sensible Heat ของกระแส 4 = $0.26 \times 2.45 \times (184 - 25) = 101$ กิโลจูลต่อโมล ของเอทานอลที่ได้ (ค่าความจุความร้อนของ 2-เอทิลเฮกซานอล = 0.26 กิโลจูลต่อโมลต่อองศาเซลเซียส จุดเดือดของ 2-เอทิลเฮกซานอล = 184 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของกระแส 4 = 2.45 โมลต่อวินาที)

รวมแล้วเท่ากับ 413 กิโลจูลต่อโมล เปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้รับจากการใช้แอลกอฮอล์ เป็นเชื้อเพลิงซึ่งเท่ากับ 1360 กิโลจูลต่อโมล

คุณสมบัติของตัวทำละลายที่ดีจะสามารถลดอัตราการไหลของกระแส 4, 6 และ 8 ได้ นั่นคือสามารถลดพลังงานที่ต้องใช้ได้ ดังนั้นตัวทำละลายที่เหมาะสมควรมี

- 1) ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเอทานอลมากๆ จะลดอัตราส่วนตัวทำละลายที่ต้องใช้นั้นคือลดอัตราการไหลของกระแส 4
- 2) ค่าการเลือก (Selectivity) ถ้ามากจะช่วยลดอัตรารีฟลักซ์ในหอกกลั่นสกัด Q นั่นคือลดอัตราการไหลของกระแส 6
- 3) ตัวทำละลายควรทำให้ค่าการระเหยของน้ำและเอทานอลต่างกันมากๆ เพื่อลดอัตรารีฟลักซ์ (กระแส 6) และกระแส 5
- 4) ตัวทำละลายควรมีค่าความจุความร้อนต่ำ และจุดเดือดต่ำ เพื่อลดเอนทาลปีของกระแส 11 และ 4 อาจลดค่าเหล่านี้โดยการเติมตัวทำละลายอีกตัวเป็นตัวเจือจาง
- 5) การละลายของตัวทำละลายในน้ำควรต่ำมากจนกระทั่งอาจไม่จำเป็นต้องเอาตัวทำละลายที่ปนไปในราฟพิเนต (กระแส 3) วนกลับมาใช้ใหม่

3.2 การเลือกตัวทำละลายโดยทั่วไป [3 - 4 , 9]

การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุด เป็นปัญหายุ่งยากอย่างหนึ่งของการสกัดและจะมีอิทธิพลทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการมาเกี่ยวข้องด้วย ตัวทำละลายจะต้องมีคุณสมบัติพื้นฐานคือ ต้องมีความสามารถที่จะละลายตัวถูกละลายได้ดีกว่าที่ละลายได้ในสารละลาย ปัจจุบันที่ใช้พิจารณาในการเลือกตัวทำละลาย มีดังนี้

1. ค่าการเลือก (Selectivity, α)

การที่จะแสดงว่าตัวทำละลายมีประสิทธิภาพ จะต้องสกัดตัวถูกละลายมาอยู่ในวัฏภาคของสารละลายได้มาก โดยค่าการเลือกที่มีค่าสูงมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดมากขึ้น โดยต้องเลือกตัวทำละลายที่สัมประสิทธิ์การกระจายของสารที่ต้องการสกัด (ในงานนี้คือเอทานอล) มีค่าสูง ขณะที่สัมประสิทธิ์การกระจายของสารที่ไม่ต้องการสกัด (ในงานนี้คือน้ำ) มีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการที่ตัวทำละลายมีค่าในลักษณะนี้คือ มีค่าการเลือกสูง เช่น ในการสกัดกรดเอทานอลจากน้ำ ตัวทำละลายจะต้องสกัดเอทานอลได้มาก แต่สกัดน้ำได้เล็กน้อย

2. สัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient , K_D)

สัมประสิทธิ์การกระจายคือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในส่วนสกัด (เอกซ์แทรค) กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายในส่วนคงเหลือ (ราฟิเนต) โดยสัมประสิทธิ์การกระจายที่เราต้องการควรจะมีค่ามากๆ

3. จุดเดือดของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ใช้ควรมีจุดเดือดที่เหมาะสม และจะต้องมีจุดเดือดที่แตกต่างกับจุดเดือดของตัวถูกละลายพอสมควร เพราะเมื่อแยกส่วนสกัดออกมาแล้วจะต้องนำส่วนสกัดมาแยกเอาตัวทำละลายออก เพื่อนำตัวทำละลายกลับไปใช้ใหม่ ซึ่งวิธีการแยกตัวทำละลายและตัวถูกละลายในอุตสาหกรรมนั้นจะทำโดยวิธีการกลั่น

4. ความง่ายต่อการนำกลับไปใช้ใหม่

สิ่งนี้มีความสำคัญเท่ากับค่าการเลือก เพราะว่าในทุกกระบวนการสกัดจะต้องนำตัวทำละลายมาแยกออกจากตัวถูกละลาย แล้วนำตัวทำละลายกลับไปใช้ใหม่เพื่อความประหยัด

5. ความสามารถในการผสมกันได้ต่ำกับสารละลายที่ป้อนเข้า

เมื่อต้องการค่าการเลือกสูง เพื่อที่จะให้สารที่ไม่ต้องการในสารป้อนมีการผสมเข้าไปในตัวทำละลายน้อยที่สุด ดังนั้นต้องทำการหาตัวทำละลายที่มีการผสมเข้ากับสารป้อนต่ำ เพื่อลดปริมาณของตัวทำละลายที่จะออกกับส่วนคงเหลือให้น้อยที่สุด และตัวทำละลายจะถูกนำกลับไปใช้ใหม่เพื่อความประหยัดทางเศรษฐศาสตร์

6. ความหนาแน่นที่ต่างกันพอสมควรกับสารป้อนที่เข้า

ในการสกัดของเหลวจะผสมของเหลว 2 ภูมิภาคเข้าด้วยกัน โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของแต่ละภูมิภาค เป็นแรงทำให้เกิดการไม่ผสมกันระหว่างภูมิภาคทั้งสอง

7. แรงตึงระหว่างผิวหน้า (Interfacial Tension)

แรงตึงระหว่างผิวหน้ามีค่าต่ำ เพื่อต้องการพลังงานน้อยในการแยกสารให้กระจายออกไป อย่างไรก็ตาม ค่าที่ต่ำเกินไปจะทำให้ยากในการแยกชั้น เราจึงต้องการค่าที่ปานกลาง

8. ความหนืดต่ำ

โดยทั่วไปส่วนใหญ่ค่าความหนืดใช้ในระบบการสกัดจะมีค่าน้อยกว่า 10 เซนติพอยท์ในการเลือกตัวทำละลายที่มีความหนืดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้ง่ายต่อการแยกภูมิภาค ลดความดันลด และให้อัตราการถ่ายเทมวลสูง แต่ค่าความหนืดดังกล่าวมีอิทธิพลน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การกัดกร่อนตัว

การกัดกร่อนของสารป้อนจะถูกกำหนดโดยกระบวนการ ถึงแม้ว่าอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าไป เนื่องจากการปรับสภาวะการทำงานทั้งอุณหภูมิและค่า pH สิ่งที่จะต้องพิจารณาเลือกตัวทำละลายที่กัดกร่อนน้อยกว่าสารป้อน

10. การติดไฟต่ำและมีความเป็นพิษน้อย

ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงตัวทำละลายที่มีการติดไฟได้ การเลือกเครื่องมือและสภาวะการทำงานควรพิจารณาอย่างรอบคอบเพื่อลดปริมาณตัวทำละลาย และถ้าตัวทำละลายมีความเป็นพิษมาก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงการแยกออกหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ

11. ราคาถูกและหาได้ง่าย

ในทางอุตสาหกรรมตัวทำละลายต้องมีราคาต่ำและหาได้ง่ายจึงจะเหมาะสมกับการผลิต

12. ความเสถียร (Stability)

ความเสถียรดีจะมีอายุการใช้งานนาน และลดความต้องการการเติมตัวทำละลายทดแทน ความเสถียรต่อความร้อนของตัวทำละลายมีความสำคัญมากจะต้องมีค่าสูง จึงต้องพิจารณาค่าความเสถียรต่อความร้อนของตัวทำละลายเป็นพิเศษ

เมื่อมีตัวทำละลายที่เหมาะสมให้เลือกหลายตัวอาจต้องทำการเลือกอีกครั้งเพื่อให้ได้ตัวทำละลายที่ดีที่สุด

วิธีการเลือกตัวทำละลายโดยทั่วไป อาจดูจาก ตารางที่ 3.4 ซึ่งให้คำแนะนำเบื้องต้น โดยสัญลักษณ์ต่างๆในตารางมีความหมาย ดังนี้

เครื่องหมายลบ (-) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของตัวถูกละลายในตัวทำละลายต่ำกว่าในสารป้อน นั่นคือ สัดส่วนโมลของตัวถูกละลายในตัวทำละลายมากกว่าในสารละลายป้อน

เครื่องหมายบวก (+) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของตัวถูกละลายในตัวทำละลายสูงกว่าในสารป้อน

ตัวอย่างเช่น ต้องการสกัดอะซิโตนออกจากน้ำ อะซิโตนเป็นคีโตนอยู่ในตัวถูกละลายกลุ่มที่ 3 จากตารางจะเห็นว่าตัวทำละลายที่ควรเลือกใช้ คือ กลุ่มที่ 1 และ 6

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของตัวถูกละลายกับกลุ่มของตัวทำละลาย [3]

Group	Solute	Solvent								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Acid, aromatic OH (phenol)	0	-	-	-	-	0	+	+	+
2	Paraffinic OH (alcohol), water, imide or amide with active H	-	0	+	+	+	+	+	+	+
3	Ketone, aromatic nitrate, tertiary amine, pyridine, sulfone, trialkyl phosphate, or phosphine oxide	-	+	0	+	+	-	0	+	+
4	Ester, aldehyde, carbonate, phosphate, nitrite or nitrate, amide without active H; intramolecular bonding, e.g., o-nitrophenol	-	+	+	0	+	-	+	+	+
5	Ether, oxide, sulfide, sulfoxide, primary secondary amine or imine	-	+	+	+	0	-	0	+	+
6	Multihaloparaffin with active H	0	+	-	-	-	0	0	+	0
7	Aromatic, halogenated aromatic, olefin	+	+	0	+	0	0	0	0	0
8	Paraffin	+	+	+	+	+	+	0	0	0
9	Monohaloparaffin or olefin	+	+	+	+	+	0	0	+	0

จากตารางจะทดลองเบื้องต้นโดยใช้กรวยแยก ถ้าตัวถูกละลายมีความเข้มข้นต่ำ ค่า K_D อาจคำนวณโดยใช้สมการสมดุลมวลรวมด้วย [7]

$$F x_f + S y_s = E y_e + R x_r \quad (3.2.1)$$

$$K_D = \frac{y_e}{x_r} = \frac{R}{E} \left[\frac{F x_f}{R x_r} - 1 \right] \quad (3.2.2)$$

การทดลองเบื้องต้นจะระบุตัวทำละลายที่ดีที่สุดได้ 2-3 กลุ่ม ต่อไปก็จะทดลองตรงไปที่ตัวทำละลายในกลุ่มเหล่านั้น หลังจากทีทางเลือกตัวทำละลายแคบลงเหลือ 1 หรือ 2 ก็จะเริ่มหาข้อมูลสมดุลที่เชื่อถือได้เพื่อออกแบบการคำนวณ และเพื่อประเมินการทำงานของเครื่องมือการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่สำคัญทางเศรษฐศาสตร์อย่างหนึ่ง คือ ปริมาณตัวถูกละลายที่สามารถถูกพาออกไปกับตัวทำละลาย ความเข้มข้นสูงสุดของตัวทำละลาย (Solvent Loading) มักถูกจำกัดโดยจุดเฟลต

3.3 การเลือกตัวทำละลายในการสกัดเอทานอลออกจากน้ำ

ได้มีผู้ทำการวิจัยไว้หลายรายเกี่ยวกับการเลือกตัวทำละลายชนิดต่างๆมาใช้ในการสกัดเอทานอลออกจากน้ำ

Leeper et al. [15] ผลิตก๊าซไฮฮอล (Gasohol) จากการใช้ก๊าซโซลีน (Gasoline) เป็นสารสกัดเอทานอล Brandani et al. [16] ทดลองหาสมดุลวัฏภาคของระบบของเหลวไตร - ภาคของน้ำ-เอทานอล-เบนซีน ที่อุณหภูมิ 30,40 และ 55 องศาเซลเซียส Mehta et al. [17] ได้หาข้อมูลสมดุลวัฏภาคระบบของเหลวไตรภาคของ น้ำ-เอทานอล-น้ำมันพาราฟิน (Paraffins oil) ที่ อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส Ruiz et al. [8] ทดลองหาข้อมูลสมดุลวัฏภาคระบบของเหลวไตรภาคของ น้ำ-เอทานอล-2 เอทิลเฮกซานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส Garcia et al. [18] รายงานข้อมูลสมดุลวัฏภาคระบบของเหลวไตรภาคของ น้ำ-เอทานอล-กรดอินทรีย์ (โดยกรดอินทรีย์ทั้งสามชนิดคือ เฮกซาโนอิก ออกทาโนอิก โนนาโนอิก) และน้ำ-เอทานอล-กรดฟาทาลิก ไดอิลคิลเอสเทอร์ (โดยเอสเทอร์ทั้งสามชนิดคือ ไดเอทิล ไดบิวทิล และไดออกทิล เอสเทอร์) ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส Solimo et al. [13] แสดงให้เห็นว่าเอมิลอะซิเตตเป็นสารสกัดเอทานอลในน้ำดีกว่า เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน และ เบนซิลแอลกอฮอล์ Letcher et al. [19] ทดลองหาข้อมูลสมดุลวัฏภาคระบบของเหลวไตรภาคของ น้ำ-เอทานอล-โทลูอีน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส Letcher et al. [20] ทดลองหาข้อมูลสมดุลวัฏภาคระบบของเหลวไตรภาคของ น้ำ-เอทานอล-1-เฮปทีน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Roddy [10] ได้หาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของตัวทำละลายหลายๆชนิด ที่อุณหภูมิ 20, 25 และ 40 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของเอทานอล 0.1 โมลต่อลิตรและ 1.0 โมลต่อลิตร ใช้ตัวทำละลาย 5 มิลลิลิตร สารละลายเอทานอล 1 - 2 มิลลิลิตร สรุปความสามารถในการสกัดเอทานอลออกจากน้ำ ดังนี้ ไฮโดรคาร์บอน = ฮาโลคาร์บอน < อีเทอร์ < คีโตน < เอมีน < เอสเทอร์ < แอลกอฮอล์ = ฟอสเฟต ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่สูงที่สุดคือ 0.69 เมื่อใช้ 2-เอทิล - 1- บิวทานอล ส่วนค่าการเลือกได้จากการคำนวณ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกเมื่อใช้สารอินทรีย์ชนิด
ต่างๆ [10]

ตัวทำละลาย	อุณหภูมิ (°ซ)	[EtOH] เริ่มต้น	$K_{D,EtOH}$	K_{D,H_2O}	S.F.
Cyclohexane	20	0.1	4.7 - 3 ^d	2.6 - 5	1.8 + 2
Cyclohexane	40	0.1	1.4 - 2	8.4 - 5	1.7 + 2
Cyclohexane	25	1.0	6.6 - 3	2.1 - 5	3.1 + 2
Benzene	20	0.1	3.9 - 2	4.6 - 4	8.5 + 1
Benzene	40	0.1	7.1 - 2	8.4 - 4	8.5 + 1
Benzene	25	1.0	4.6 - 2	4.3 - 4	1.1 + 2
Toluene	40	0.1	5.7 - 2	6.2 - 4	9.2 + 1
Toluene	25	1.0	3.4 - 2	3.4 - 4	1.0 + 2
Xylene	20	0.1	2.5 - 2	2.2 - 4	1.1 + 2
Xylene	40	0.1	4.7 - 2	4.4 - 4	1.1 + 2
Xylene	25	1.0	3.0 - 2	3.3 - 4	9.1 + 1
Ethylbenzene	25	1.0	2.9 - 2	3.0 - 4	9.7 + 1
Diethylbenzene	20	0.1	2.0 - 2	1.9 - 4	1.1 + 2
Diethylbenzene	40	0.1	3.6 - 2	3.6 - 4	1.0 + 2
Diethylbenzene	25	1.0	2.2 - 2	1.8 - 4	1.2 + 2
Cumene	25	1.0	2.8 - 2	2.6 - 4	1.1 + 2
Phenylcyclohexane	25	1.0	7.8 - 3	9.4 - 5	8.3 + 1
1,2,3,4-Tetrahydronaphthalene	25	1.0	2.9 - 3	2.1 - 5	1.4 + 2
Tri-n-butyl phosphate	25	1.0	5.4 - 1	6.5 - 2	8.3 + 0
Triisobutyl phosphate	25	1.0	6.5 - 1	6.3 - 2	1.0 + 1
Tris (2-methylbutyl) phosphate	25	1.0	4.4 - 1	3.5 - 2	1.2 + 1
Tri-2-ethylhexyl phosphate	25	1.0	2.3 - 1	1.2 - 2	1.9 + 1
Diamyl amyl phosphonate	25	1.0	5.6 - 1	6.3 - 2	8.9 + 0
Adogen 364 (Tertiary amine)	25	1.0	1.7 - 2	1.2 - 3	1.4 + 1

ตารางที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกเมื่อใช้สารอินทรีย์ชนิด
ต่างๆ (ต่อ)

ตัวทำละลาย	อุณหภูมิ (°ซ)	[EtOH] เริ่มต้น	$K_{D,EtOH}$	K_{D,H_2O}	S.F.
Adogen 464 (Quaternary amine)	25	1.0	4.8 - 1	2.1 - 1	2.2 + 0
2,6-Dimethyl -4-heptanone	25	1	8.8 - 2	4.6 - 3	1.9 + 1
n - Hexyl ether	25	1	3.7 - 2	7.4 - 4	5.0 + 1
n - Decylbromide	25	1	9.9 - 3	4.8 - 4	2.1 + 1
Chloroform	20	0.1	1.2 - 1	7.2 - 4	1.7 + 2
Trichlorofluoromethane	20	0.1	1.6 - 2	-	-
1,1,2-Trichlorotrifluoroethene	20	0.1	9.4 - 3	-	-
1,2-Dichlorotetrafluoroethane	20	0.1	8.7 - 3	-	-
n - Butyl acetate	25	1	3.4 - 1	2.5 - 2	1.4 + 1
Isobutyl acetate	25	1	2.1 - 1	1.1 - 2	1.9 + 1
Tert - butyl acetate	25	1	2.4 - 1	1.2 - 2	2.0 + 1
1 - Octanol	25	1	5.0 - 1	4.3 - 2	1.2 + 1
1 - Tridecanol	20	0.1	2.2 - 1	1.1 - 2	2.0 + 1
4 - Decanol	25	1	3.2 - 1	1.4 - 2	2.3 + 1
2-Ethyl -1-butanol	25	1.0	6.9 - 1	2.3 - 2	3.0 - 1
2-Ethyl -1-heptanol	25	1	4.8 - 1	2.1 - 2	2.3 + 1
3-Ethyl -3-heptanol	25	1	4.4 - 1	1.0 - 2	4.4 + 1
2,4-Dimethyl-3-heptanol	25	1	3.8 - 1	1.0 - 2	3.8 + 1
2,2-Dimethyl-3-octanol	25	1	3.1 - 1	9.0 - 3	3.4 + 1
3,7-Dimethyl-3-octanol	25	1	4.0 - 1	1.1 - 2	3.6 + 1
Texanol	25	1	3.6 - 1	-	-
1-Dodecanol	25	1	2.1 - 1	1.0 - 2	2.1 + 1
3-Phenyl-1- propanol	25	1	6.4 - 1	2.2 - 2	2.9 + 1
2,4-Dimethyl-3-pentanol	25	1	5.9 - 1	1.9 - 2	3.1 + 1

หมายเหตุ ${}^a K_{D,EtOH} = [EtOH]_{org} / [EtOH]_{aq}$, ${}^b K_{D,H_2O} = [H_2O]_{org} / [H_2O]_{aq}$, ${}^c S.F.$
 $= K_{D,EtOH} / K_{D,H_2O}$, ${}^d 4.7 - 3 = 4.7 \times 10^{-3}$

Mitchell et al.[11] ใช้ตัวทำละลายผสมเพื่อสกัดเอทานอลออกจากสารละลายเจือจาง 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร ต่อตัวทำละลาย 40 มิลลิลิตร ได้ผลดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกของตัวทำละลายผสมชนิดต่างๆ [11]

ตัวทำละลายชนิดที่ 1	ตัวทำละลายชนิดที่ 2	%โดยน้ำหนักของตัวทำละลายชนิดที่ 1	อุณหภูมิ (°ซ)	$K_D (\delta)$	α
Toluene	-	-	25	0.045(0.003)	100
Hexan -1 - ol	-	-	30	1.07(0.08)	14.76
2-Ethylhexanoic acid	-	-	30	0.55(0.025)	39.18
2-Ethyl -1-butanol	-	-	30	0.94(0.12)	14.59
Hexan -1 - ol	Toluene	85	30	0.87(0.096)	18.83
Hexan -1 - ol	Toluene	75	30	0.72(0.034)	20.54
2-Ethyl -1-butanol	2-Ethylhexanoic acid	85	30	0.88(0.05)	21.45
Hexan -1 - ol	2-Ethyl -1-butanol	50	30	1.03(0.09)	6.07
Toluene	2-Ethylhexanoic acid	52	30	0.39(0.02)	59.56
Hexan -1 - ol	2-Ethylhexanoic acid	85	30	0.83(0.025)	16.05
2-Ethyl -1-butanol	Toluene	85	30	0.89(0.027)	24.64

เมื่อ α คือ ค่าการเลือก , δ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกของงานวิจัยต่างๆ

[11]

ตัวทำละลาย	Mitchell และคณะ (1986)					Munson และ King (1984)				
	$K_{D,EtOH}$	K_{D,H_2O}	α	T ($^{\circ}C$)	C_E	$K_{D,EtOH}$	K_{D,H_2O}	α	T ($^{\circ}C$)	C_E
Toluene	0.045	0.0005	100	25	8	0.04	0.0005	100	25	0.78
Hexan-1-ol	1.07	0.073	14.8	30	8	1	0.105	9.5	25	0.78
2-Ethyl-1-butanol	0.94	0.064	14.6	30	8	0.97	0.0487	19.6	30	0.78
2-Ethylhexanoic acid	0.55	0.014	39.2	30	8	0.52	0.012	44	30	0.7
52% Toluene 48% 2-Ethylhexanoic	0.39	0.007	59.6	30	8	0.27	0.004	67	30	0.78
ตัวทำละลาย	Roddy (1981)									
Toluene	0.039	0.0005	100	25	4.6					
2-Ethyl-1-butanol	0.83	0.028	30	25	4.6					

C_E คือ ความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

Egan et al. [12] ได้หาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิขณะทดลองอยู่ในช่วง 21 – 24 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิคงที่สำหรับการทดลองหนึ่งๆ ใช้ เอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราส่วนตัวทำละลายต่อสารป้อนคือ 1:1 ผลการทดลองดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกเมื่อใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ [12]

ตัวทำละลาย	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (K_D)		ค่าการเลือก (α)	แหล่งอ้างอิง
	น้ำ	เอทานอล		
2,4-Dimethyl- 3 -heptanol	0.0076	0.40	53	Egan, Lee and Mcwhirter
2-Ethyl -1 - butanol	0.025	0.73	29	Egan, Lee and Mcwhirter
		0.94	14.6	Mitchell et al., 1987
		0.97	19.6	Munson and King, 1984
		0.69	30	Roddy, 1981
2-Ethyl -1 - hexanol	0.0189	0.43	23	Egan, Lee and Mcwhirter
		0.47	21	Dadgar and Foutch, 1986
		0.66	24	Munson and King, 1984
3- Ethyl -3 - heptanol	0.0118	0.51	-	Egan, Lee and Mcwhirter
1 - Octanol	0.0411	0.46	11	Egan, Lee and Mcwhirter
		0.53	11	Dadgar and Foutch, 1986
		0.64	11	Munson and King, 1984
1 - Octanol	0.0411	0.46	11	Egan, Lee and Mcwhirter
		0.53	11	Dadgar and Foutch, 1986
		0.64	11	Munson and King, 1984
		0.50	12	Roddy, 1981
1 - Tridecanol	0.0131	0.25	19	Egan, Lee and Mcwhirter
Di - n - butyl phthalate	0.00385	0.13	34	Egan, Lee and Mcwhirter
n - Butyl acetate	0.0093	0.26	28	Egan, Lee and Mcwhirter
Isobutyl acetate	0.0092	0.21	23	Egan, Lee and Mcwhirter
Chloroform	0.00178	0.22	124	Egan, Lee and Mcwhirter

Solimo et al. [13] ได้ศึกษาการสกัดเอทานอลจากน้ำโดยใช้ เอมีลอะซิเตต (AA) เบนซิล-แอลกอฮอล์ (BA) และเมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (MIK) ที่อุณหภูมิ 298.15 เคลวิน จากผลการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลอง แผนภาพแสดงสมมูลวัฏภาคของ AA มีพื้นที่ในส่วนที่เป็นสองวัฏภาคกว้างที่สุดทั้งฐานและความสูง รองลงมาเป็น MIK และ BA ตามลำดับ เพราะฉะนั้นความสามารถในการสกัดเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้ $AA > MIK > BA$

Arce et al. [14] ได้ศึกษาหาข้อมูลสมมูลของระบบ เอทิลอะซิเตต - เอทานอล - น้ำ บิวทิลอะซิเตต - เอทานอล - น้ำ และเอทิลอะซิเตต - บิวทิลอะซิเตต - น้ำ ที่อุณหภูมิ 25 ,35 และ 45 องศาเซลเซียส จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงแล้วโครงสร้างและเส้นสมมูลการละลายจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากทั้งสามระบบ และเมื่อเปรียบเทียบสามระบบที่อุณหภูมิเดียวกัน ระบบบิวทิลอะซิเตต-เอทานอล-น้ำ จะมีพื้นที่ส่วนที่เป็นสองวัฏภาคกว้างกว่าระบบเอทิลอะซิเตต-เอทานอล-น้ำ สรุปได้ว่าเมื่อมวลโมเลกุลของเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจะสกัดเอทานอลออกจากน้ำได้ดีขึ้น

เมื่อพิจารณาจากปัจจัยการเลือกตัวทำละลายในข้อ 3.2 และจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยสิ่งที่ใช้พิจารณาเป็นหลักคือ การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือก ที่สภาวะเดียวกัน อุณหภูมิ ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น และอัตราส่วนตัวทำละลายต่อสารป้อนเท่ากัน จากงานวิจัยที่ผ่านมาจากของ Roddy [10] จะเห็นว่าในการสกัดเอทานอลออกจากร้านั้น ควรจะเลือกใช้สารจำพวกแอลกอฮอล์หรือฟอสเฟต จาก Egan et al. [12] แอลกอฮอล์ที่น่าสนใจได้แก่ 2-เอทิล -1-เฮกซานอล และ 2-เอทิล-1-บิวทานอล รองลงไปคือ 1-ออกทานอล และเนื่องจาก Ruiz et al. [8] ได้ทำการสกัดเอทานอลออกจากน้ำโดยใช้ 2-เอทิล -1-เฮกซานอล แล้วได้ผลเป็นที่น่าพอใจ งานวิจัยนี้จึงเลือกหาสมมูลของระบบที่ใช้ 2-เอทิล -1-เฮกซานอลเป็นตัวทำละลาย เพื่อจะได้มีข้อมูลในการเปรียบเทียบ โดย Ruiz et al. [8] ได้ทำการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส ขณะที่งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่ 35 องศาเซลเซียสเพื่อให้เหมาะสมกับภูมิอากาศของประเทศไทย

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) บิวเรต	1 อัน
2) บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร	2 ใบ
3) บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร	1 ใบ
4) สายยาง	1 ชุด
5) บีเปต	2 อัน
6) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร	3 ใบ
7) หลอดหยด	3 หลอด
7) ชุดกวนแม่เหล็ก	1 ชุด
8) ขวดมีฝาปิดสนิท	30 ขวด
9) เครื่องเขย่า (Shaker)	1 เครื่อง
10) เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง	1 เครื่อง
11) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)	1 ชุด
12) เครื่องวัดดัชนีหักเหแสง (Refractometer)	1 เครื่อง

4.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เอทานอล
- 2) 2-เอทิลเฮกซานอล
- 3) น้ำกลั่น

4.3 การทดลองหาเส้นขอบเขตการละลาย

4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

4.3.1.1 การหาเส้นขอบเขตการละลายสำหรับช่วงที่สกัดส่วนโดยน้ำหนักของ

2-เอทิลเฮกซานอล น้อยกว่า 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 35 องศาเซลเซียส
- 1) จัดตั้งอุปกรณ์ในการไทเทรตให้สามารถควบคุมการไทเทรตที่อุณหภูมิ
 - 2) ชั่งน้ำหนักน้ำและเอทานอลตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ ข.1 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ใส่แท่งกวนแม่เหล็ก ปิดปากขวดด้วยจุกยาง บันทึกน้ำหนัก
 - 3) นำขวดรูปชมพู่จากข้อสองแช่ไว้ในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 35 องศาเซลเซียสประมาณ 10 – 15 นาที เพื่อให้สารในขวดมีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
 - 4) ทำการไทเทรตโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็ก โดยค่อยๆเติม 2-เอทิลเฮกซานอลจากบิวเรต ลงไปในขวดรูปชมพู่ในข้อ 3) จนกระทั่งสารละลายมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สังเกตได้จากสารละลายจะเปลี่ยนจากใสเป็นขุ่น
 - 5) ชั่งน้ำหนักรวมที่ได้หลังจากการไทเทรต
 - 6) คำนวณหาน้ำหนัก 2-เอทิลเฮกซานอลที่เติมลงไป ได้ผลดังตารางที่
 - 7) นำสารที่ได้ไปวัดค่าดัชนีหักเหแสง

ข. 1

4.3.1.2 การหาเส้นขอบเขตการละลายสำหรับช่วงที่สกัดด้วยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล มากกว่า 0.1

- 35 องศาเซลเซียส
- 1) จัดตั้งอุปกรณ์ในการไทเทรตให้สามารถควบคุมการไทเทรตที่อุณหภูมิ
 - 2) ชั่งน้ำหนักน้ำและ 2-เอทิลเฮกซานอลตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ ข.1 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ใส่แท่งกวนแม่เหล็ก ปิดปากขวดด้วยจุกยาง บันทึกน้ำหนัก
 - 3) นำขวดรูปชมพู่จากข้อสองแช่ไว้ในน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 35 องศาเซลเซียสประมาณ 10 – 15 นาที เพื่อให้สารในขวดมีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
 - 4) ทำการไทเทรตโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็ก โดยค่อยๆเติมเอทานอลจากบิวเรต ลงไปในขวดรูปชมพู่ในข้อ 3) จนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียว สังเกตได้จากสารละลายจะเปลี่ยนจากขุ่นเป็นใส
 - 5) ชั่งน้ำหนักรวมที่ได้หลังจากการไทเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) คำนวณหาน้ำหนักเอทานอลที่เติมลงไปได้ผลดังตารางที่ ข.1

7) นำสารที่ได้ไปวัดค่าดัชนีหักเหแสง

4.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1) คำนวณหาสัดส่วนโดยน้ำหนักของเอทานอล น้ำ และ 2-เอทิลเฮกซานอล ที่ใช้ใน

ข้อ 4.3.1

2) นำสัดส่วนโดยน้ำหนักที่คำนวณได้จากข้อ 1) เขียนเส้นขอบเขตการละลาย

3) เขียนกราฟระหว่างสัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอลกับค่าดัชนีการหักเหแสงที่ได้จากข้อ 4.3.1 ได้ดังรูปที่ ข.1

4) เขียนกราฟระหว่างสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ กับค่าดัชนีการหักเหแสงที่ได้จากข้อ 4.3.1 ได้ดังรูปที่ ข.2

4.4 การทดลองหาข้อมูลสมดุลการละลาย

4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1) ชั่งน้ำหนัก น้ำ เอทานอล และ 2-เอทิลเฮกซานอล ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ ข.2 ใส่ลงในขวดและปิดฝาให้สนิท

2) นำเข้าเครื่องเขย่าที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วันเพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุล

3) นำขวดออกจากเครื่องเขย่า ตั้งทิ้งไว้ในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 35 องศาเซลเซียสโดย่างควบคุมอุณหภูมิ

4) ใช้ปิเปตดูดแยกสารจากชั้นบน (วัฏภาคเอกซ์แทรก) และสารชั้นล่าง (วัฏภาคกราฟิเฟนต) เก็บไว้แยกออกจากกัน

5) นำสารตัวอย่างทั้งสองวัฏภาคที่เกิดขึ้นไปวัดค่าดัชนีหักเหแสง ได้ผลดัง ตารางที่ ข.3

4.4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1) นำค่าดัชนีหักเหแสงของทั้งสองวัฏภาคไปหาค่าสัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอลและน้ำ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานในรูปที่ ข.1 และรูปที่ ข.2

2) คำนวณหาค่าสัดส่วนโดยน้ำหนักของเอทานอล

3) นำค่าสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ เอทานอลและ 2-เอทิลเฮกซานอลของสารแต่ละวัฏภาคไปสร้างเส้นสมดุลการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลองที่ได้รับไว้ในบทที่ 4 โดยมีผลการทดลองดังนี้

5.1 ผลการทดลองหาเส้นขอบเขตการละลาย

จากขั้นตอนการทดลองในหัวข้อ 4.3 ได้ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 ผลดังกล่าวนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับผลของ Ruiz และคณะ [8] ซึ่งได้ทำการทดลองในระบบเดียวกันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 และในรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลขอบเขตการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล ที่ได้จากการทดลองของ Ruiz และคณะ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [8]

สัดส่วนโดยน้ำหนัก		
น้ำ	2-เอทิลเฮกซานอล	เอทานอล
0.078	0.695	0.227
0.134	0.537	0.329
0.190	0.432	0.378
0.238	0.360	0.402
0.292	0.294	0.414

สัดส่วนโดยน้ำหนัก		
น้ำ	2-เอทิลเฮกซานอล	เอทานอล
0.351	0.233	0.416
0.407	0.178	0.415
0.474	0.120	0.406
0.550	0.060	0.390

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลขอบเขตการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล
ที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

การทดลองที่	สัดส่วนโดยน้ำหนัก		
	น้ำ	2-เอทิลเฮกซานอล	เอทานอล
1	0.70514	0.00668	0.28818
2	0.66840	0.01387	0.31773
3	0.63346	0.02107	0.34548
4	0.58779	0.05072	0.36150
5	0.51984	0.09463	0.38553
6	0.44643	0.14770	0.40586
7	0.43746	0.15939	0.40314
8	0.43733	0.16155	0.40112
9	0.39589	0.20176	0.40234
10	0.35560	0.23642	0.40798
11	0.35765	0.24106	0.40129
12	0.29395	0.29609	0.40996
13	0.28691	0.31541	0.39768
14	0.23646	0.35764	0.40590
15	0.18798	0.42714	0.38488
16	0.13674	0.54098	0.32228
17	0.07966	0.64219	0.27815
18	0.07569	0.67296	0.25136
19	0.06310	0.70987	0.22704
20	0.04308	0.75484	0.20208
21	0.04059	0.76492	0.19449
22	0.04230	0.77324	0.18446
23	0.03498	0.80368	0.16135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลขอบเขตการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล
ที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

การทดลองที่	สัดส่วนโดยน้ำหนัก		
	น้ำ	2-เอทิลเฮกซานอล	เอทานอล
24	0.01591	0.86675	0.11734
25	0.00376	0.95435	0.04189
26	0.00314	0.98825	0.00860

5.2 ผลการทดลองหาข้อมูลสมดุลการละลาย

ข้อมูลสมดุลการละลายที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.4 ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.3 นอกจากนี้ยังได้แสดงผลการทดลองของ Ruiz และคณะ [8] ซึ่งทำการทดลองในระบบเดียวกันนี้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสดังตารางที่ 5.3 เพื่อการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลสมดุลการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล ที่
ได้จากการทดลองของ Ruiz และคณะ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [8]

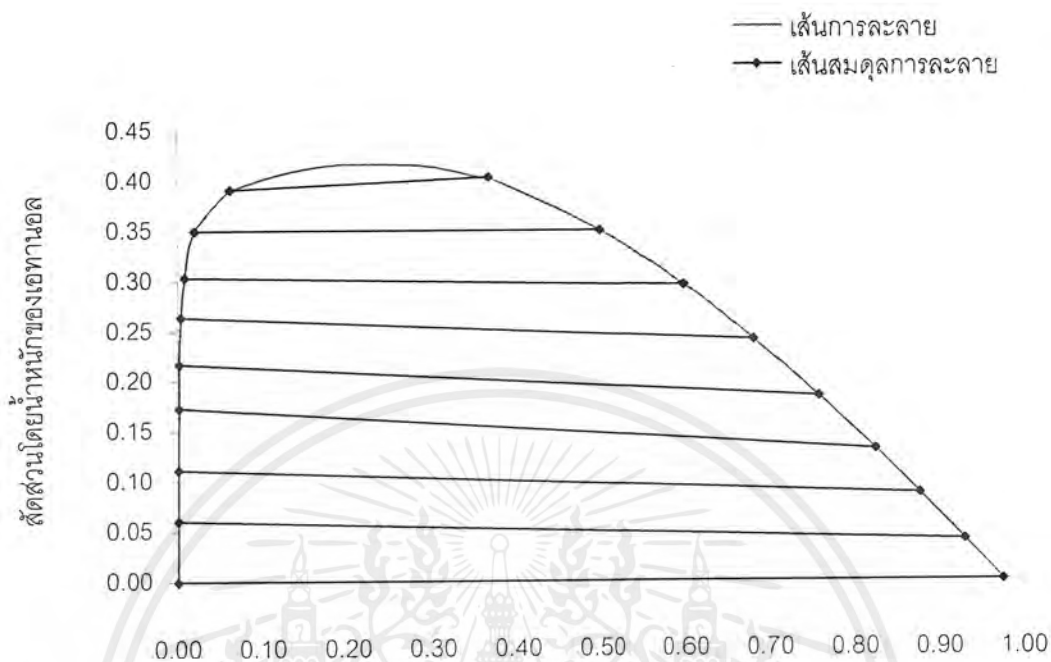
ภูมิภาคเอ็กซ์แทรก			ภูมิภาคราฟิเนต		
สัดส่วนโดยน้ำหนัก			สัดส่วนโดยน้ำหนัก		
น้ำ	2-เอทิลเฮกซานอล	เอทานอล	น้ำ	2-เอทิลเฮกซานอล	เอทานอล
0.0242	0.9760	0.0000	0.9990	0.00085	0.0000
0.0300	0.9300	0.0400	0.9390	0.00100	0.0603
0.0375	0.8770	0.0860	0.8880	0.00120	0.1110
0.0463	0.8240	0.1300	0.8250	0.00170	0.1730
0.0590	0.7580	0.1830	0.7810	0.00240	0.2170
0.0793	0.6810	0.2400	0.7320	0.00450	0.2640
0.1060	0.5990	0.2950	0.6870	0.00880	0.3040
0.1530	0.497	0.350	0.630	0.02030	0.3500
0.2320	0.365	0.403	0.547	0.06160	0.3910

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลสมดุลการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล ที่
ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

การทดลอง ที่	วัฏภาคเอกซ์แทรก			วัฏภาคกราฟิเนต		
	สัดส่วนโดยน้ำหนัก			สัดส่วนโดยน้ำหนัก		
	น้ำ	2-เอทิลเฮกซานอล	เอทานอล	น้ำ	2-เอทิลเฮกซานอล	เอทานอล
1	0.0263	0.8500	0.1237	0.84	0	0.16
2	0.0433	0.7750	0.1817	0.81833	0	0.18167
3	0.0630	0.7150	0.2220	0.77367	0	0.22633
4	0.08115	0.6525	0.26635	0.738	0	0.262
5	0.0993	0.59	0.3107	0.70233	0	0.29767
6	0.13067	0.51	0.35933	0.66867	0.0135	0.31783
7	0.15967	0.4626	0.37783	0.6273	0.03	0.3427
8	0.2233	0.3675	0.4092	0.5433	0.08	0.3767

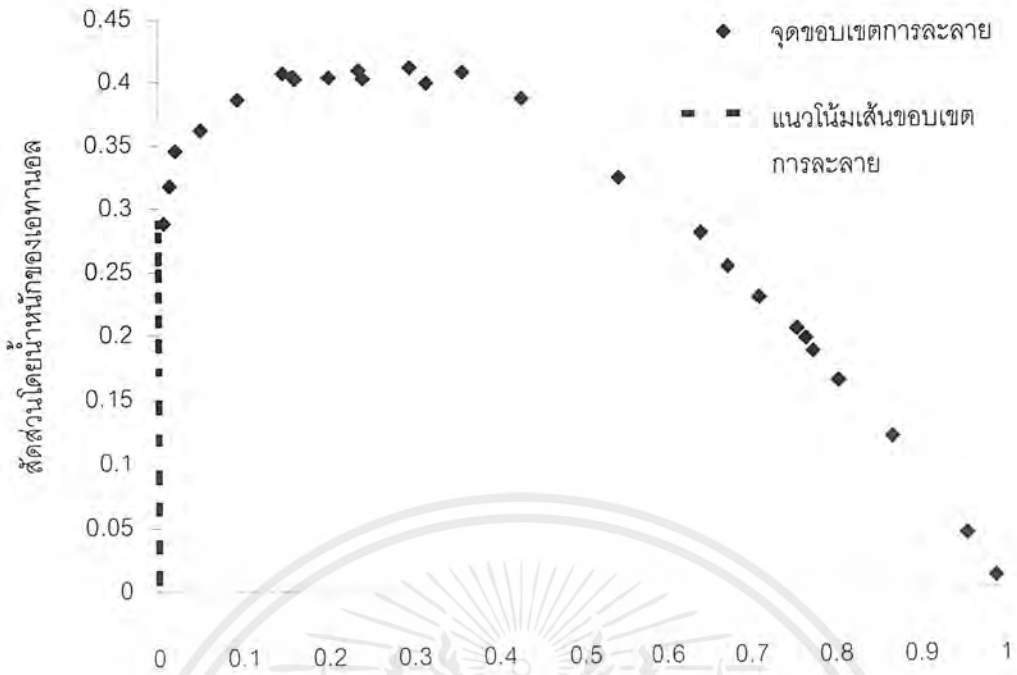
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



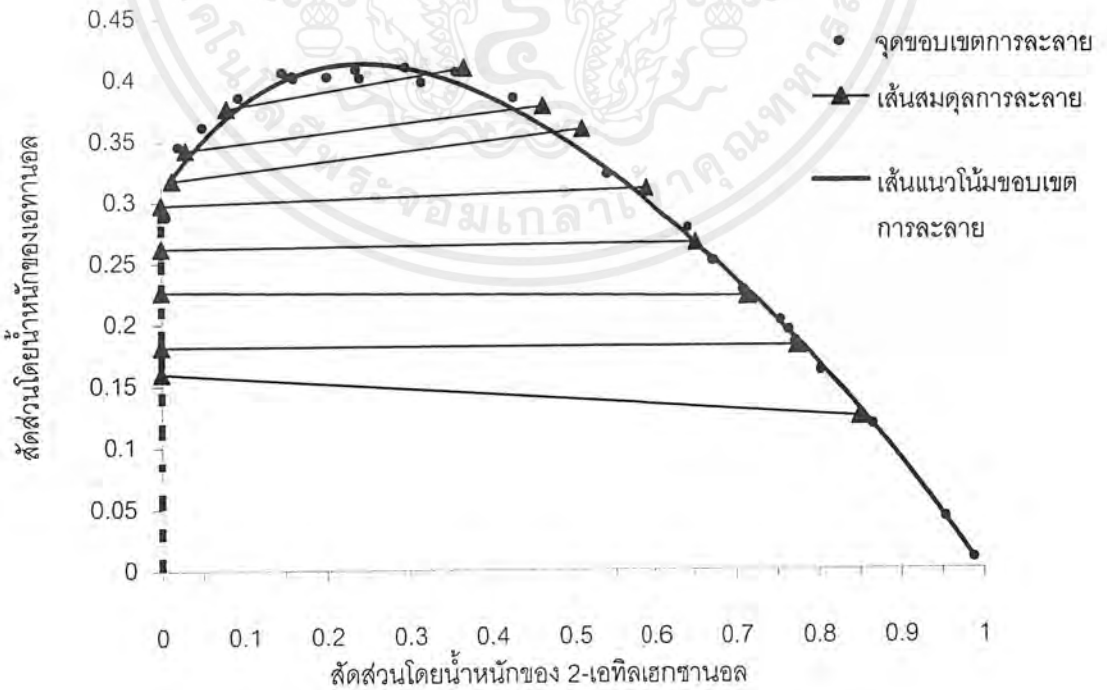
สัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล

รูปที่ 5.1 แผนภาพเส้นการละลายและเส้นสมดุกลการละลายของระบบ
น้ำ - เอทานอล - 2-เอทิลเฮกซานอล
ที่ได้จากการทดลองของ Ruiz และคณะที่อุณหภูมิ 25 °ซ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แผนภาพจุดขอบเขตการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล จากการทดลองที่อุณหภูมิ 35 °ซ



รูปที่ 5.3 แผนภาพแนวโน้มน้ำขอบเขตการละลายและ

เส้นสมมูลการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อสงสัยประการใด กรุณาติดต่อเจ้าหน้าที่ประชาสัมพันธ์ โทร. 02-426-5000 หรือ 02-426-5001 ในวันและเวลาราชการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งจากการทดลองที่อุณหภูมิ 35 °ซ

บทที่ 6

การจำลองกระบวนการแยกเอทานอลโดยใช้โปรแกรมไฮซิส (Hysys program)

ในบทนี้มีความมุ่งหมายที่จะทดลองนำโปรแกรมการคำนวณกระบวนการชื่อ Hysys.Process มาคำนวณแบบจำลองในการแยกเอทานอลเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์เอทานอลโดยจะเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลที่มีการรายงานในเอกสารอ้างอิงต่างๆ

Ruiz และคณะ [8] ได้เสนอแนะกระบวนการแยกเอทานอลออกจากน้ำเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์เอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์โดยการสกัดด้วย 2-เอทิลเฮกซานอล ตามด้วยการกลั่นสกัด และการกลั่น ดังรูปที่ 3.2 คณะผู้วิจัยได้จำลองกระบวนการนี้โดยใช้โปรแกรมไฮซิส และมีการดัดแปลงเล็กน้อยคือ กระแสที่ออกจากกันหอกลั่นนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองกระแส กระแสหนึ่งป้อนเข้าสู่หอกลั่นสกัดโดยตรง และอีกกระแสหนึ่งป้อนเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อใช้เป็นกระแสร้อนในการแลกเปลี่ยนความร้อน (ดังรูปที่ 6.1) โดยจากเดิมที่ Ruiz และคณะ [8] นำเสนอนั้นแบ่งกระแสหนึ่งเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อใช้เป็นกระแสร้อนในการแลกเปลี่ยนความร้อน ส่วนอีกกระแสหนึ่งเข้าสู่เครื่องหล่อเย็น (ดังรูปที่ 3.2) เนื่องจากถ้าใช้แบบเดิมนั้นกระแสที่ผ่านเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อใช้เป็นกระแสร้อนจะมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนน้อยมาก เพราะอัตราการไหลของกระแสร้อนและกระแสเย็นที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใกล้เคียงกัน แต่กระแสร้อนที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้เล็กน้อย เนื่องจากยังคงต้องมีอุณหภูมิสูงประมาณ 180 องศาเซลเซียส ขณะที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จึงไม่สามารถทำให้กระแสเย็นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากพอเพื่อป้อนเข้าสู่หอกลั่นสกัด เมื่อแบ่งกระแสแบบใหม่จะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดพลังงานที่สูญเสียที่เครื่องหล่อเย็นที่ 1 ลงได้มาก

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการที่ Ruiz และคณะ นำเสนอนั้นถูกประเมินว่ามีค่าประมาณ 7.1 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ โดยพลังงานที่ต้องการมากที่สุดของกระบวนการ คือ พลังงานความร้อนของการกลายเป็นไอของกระแสที่ออกจากยอดหอกลั่นสกัด หอกลั่น และความร้อนของกระแสที่ออกจากเครื่องหล่อเย็นที่ 1 ซึ่งมีค่าประมาณ 224, 88 และ 101 กิโลจูลต่อวินาทีตาม

ลำดับ นั้นคือเมื่อสามารถลดอัตราการไหลของกระแสทั้งสามดังกล่าวได้จะสามารถลดพลังงานที่ใช้โดยส่วนใหญ่ได้

เมื่อทำการจำลองกระบวนการที่ดัดแปลงแล้วโดยใช้โปรแกรมไฮซิสพบว่า ความร้อนของกระแสที่ออกจากเครื่องควบแน่นของหอกลั่นสกัด หอกลั่น และความร้อนของกระแสที่ออกจากเครื่องหล่อเย็นที่ 1 มีค่าประมาณ 201.7, 123.8 และ 54.38 กิโลจูลต่อวินาทีตามลำดับ (ดังตารางที่ 6.3) เมื่อพิจารณาตารางที่ 6.2 อัตราการไหลของกระแส 7 ที่ออกจากยอดหอกลั่นสกัดลดลง ทำให้พลังงานที่ใช้ในเครื่องควบแน่นที่ 1 ลดลง กระแส 9 ที่ออกจากยอดหอกลั่นมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานที่ใช้ในเครื่องควบแน่นที่ 2 เพิ่มขึ้น กระแส 8-4 ที่ออกจากเครื่องหล่อเย็นที่ 1 มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากกระแสนี้ได้ผ่านการถ่ายเทความร้อนให้กับกระแสที่ 4 ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่วนหนึ่งแล้ว ทำให้พลังงานที่ใช้ในเครื่องหล่อเย็นที่ 1 ลดลง เมื่อคำนวณพลังงานรวมพบว่า มีค่าประมาณ 6.5 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ จะเห็นว่าใช้พลังงานร่วมน้อยกว่ากระบวนการของ Ruiz และคณะ โดยเอทานอลที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.93 เปอร์เซ็นต์โดยโมล (99.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ขณะที่กระบวนการของ Ruiz ผลิตเอทานอลได้บริสุทธิ์ 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาในด้านพลังงานของเอทานอลที่ได้จากการเผาไหม้ต่อพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล พบว่า พลังงานจากการเผาไหม้เอทานอลคือ 23.55 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอล ในขณะที่พลังงานที่ต้องใช้ในการกลั่นเพื่อผลิตเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะอยู่ในช่วง 7 ถึง 14 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ [12] นอกจากนี้ในการกลั่นเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเพื่อผลิตแอลกอฮอล์เอทานอลโดยวิธีการกลั่นอะซีโโทรปต์ต่ออีก จะต้องใช้พลังงานในการกลั่นเพิ่มเติมอีก 3 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอล นั่นคือเมื่อต้องการผลิตแอลกอฮอล์เอทานอลโดยการกลั่นต้องใช้พลังงานประมาณ 10 ถึง 17 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ ซึ่งมีปริมาณประมาณครึ่งหนึ่งจากพลังงานที่ได้รับจากการเผาไหม้เอทานอล ในขณะที่กระบวนการดังรูปที่ 6.1 สามารถผลิตเอทานอลได้ถึง 99.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (99.978 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) โดยใช้พลังงานเพียง 6.5 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้

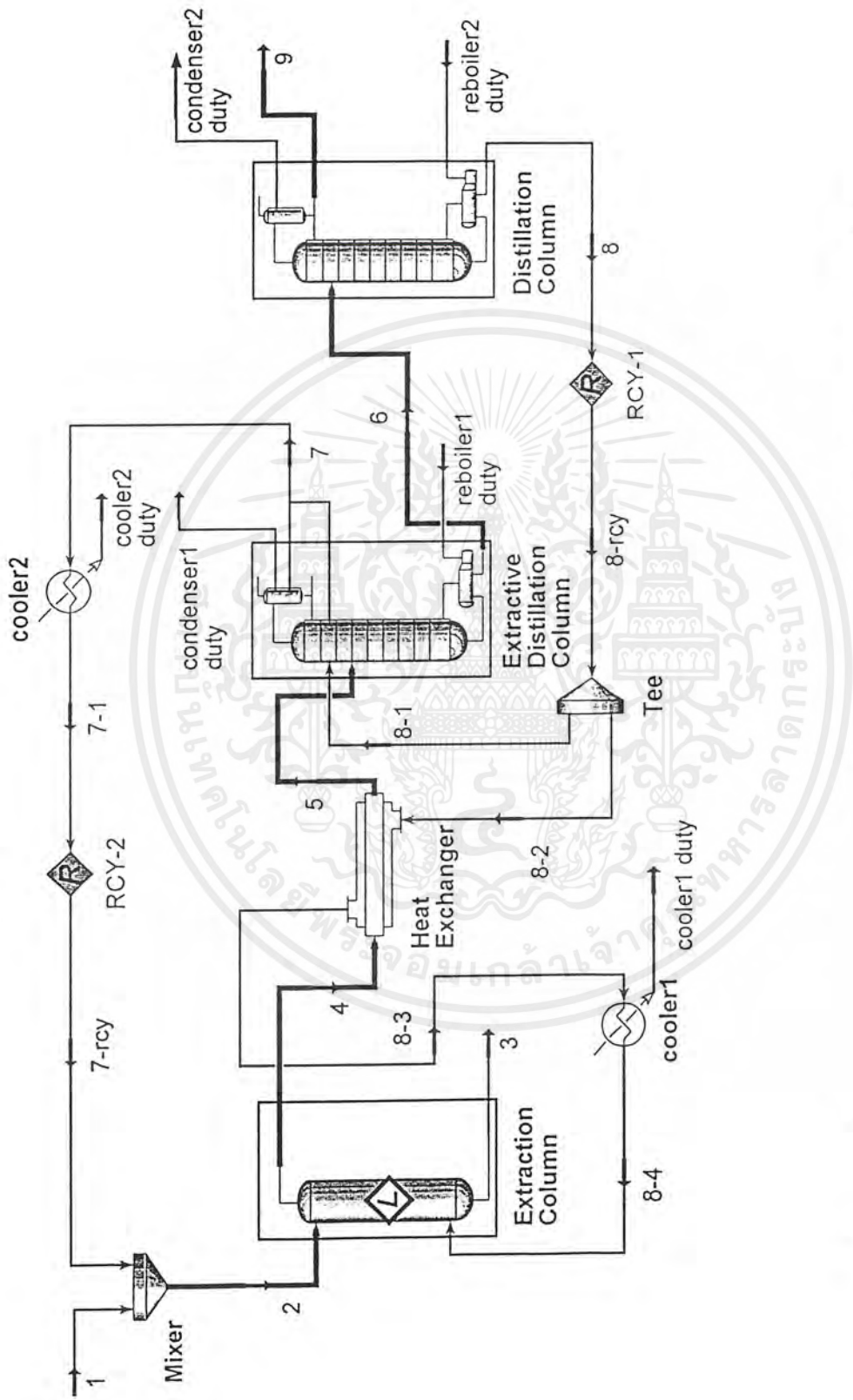
กระบวนการดังรูปที่ 6.1 นั้นได้กำหนดให้เอทานอลที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการมีปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยโมล (39 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อย่างไรก็ตามเอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมักมักจะประกอบด้วยเอทานอลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จึงได้ทำการจำลองกระบวนการอีกครั้งและมีการดัดแปลงกระบวนการเล็กน้อยจากกระบวนการในรูปที่ 6.1 โดยได้มีการเพิ่มกระแสดั่วที่ทาละลายก่อนเข้าสู่หอสกัด ดังรูปที่ 6.4 และกำหนดให้น้ำหมักที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการมีเอทา-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าพลังงานที่ใช้มีค่าประมาณ 5.62 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ โดยความร้อนของกระแสที่ออกจากยอดหอกลั่นสก็ด หอกลั่น และความร้อนของกระแสที่ออกจากเครื่องหล่อเย็นที่ 1 (ดังรูปที่ 6.4) มีค่าประมาณ 132.5, 78.59 และ 56.01 กิโลจูลต่อวินาทีตามลำดับ สามารถผลิตเอทานอลได้ 99.96 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ดังตารางที่ 6.7) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบตารางที่ 6.2 และ 6.6 พบว่าอัตราการไหลของกระแสทั้งสามลดลง

จะเห็นว่ากระบวนการแยกเอทานอลจากน้ำหมักที่มีเอทานอลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถแยกเอทานอลได้บริสุทธิ์ใกล้เคียงกับกระบวนการแยกเอทานอลจากน้ำหมักที่มีเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยโมล โดยใช้พลังงานน้อยกว่า ขณะที่อัตราการไหลของกระแส 9 ที่ออกจากยอดหอกลั่นลดลงจาก 1.286 เป็น 0.816 โมลต่อวินาที





รูปที่ 6.1 แบบจำลองกระบวนการแยกเอทานอลที่ตัดแปลงมาจากกระบวนการของ Ruiz และคณะ (รูปที่ 3.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ชื่อกระแสที่เข้าออกในแต่ละหน่วยกระบวนการในรูปที่ 6.1

Unit Ops						
Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level	
Extraction Column	Liquid-Liquid Extractor	2	3	No	2500	
		8-4	4			
		8-1	6			
Extractive Distillation Colum	Distillation	5	7	No	2500	
		reboiler1 duty	condenser1 duty			
Distillation Column	Distillation	6	8	No	2500	
		reboiler2 duty	9			
			condenser2 duty			
RCY-1	Recycle	8	8-rcy	No	3500	
RCY-2	Recycle	7-1	7-rcy	No	3500	
Tee	Tee	8-rcy	8-1	No	500.0	
			8-2			
cooler2	Cooler	7	7-1	No	500.0	
			cooler2 duty			
cooler1	Cooler	8-3	8-4	No	500.0	
			cooler1 duty			
Mixer	Mixer	1	2	No	500.0	
		7-rcy				
Heat Exchanger	Heat Exchanger	4	5	No	500.0	
		8-2	8-3			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

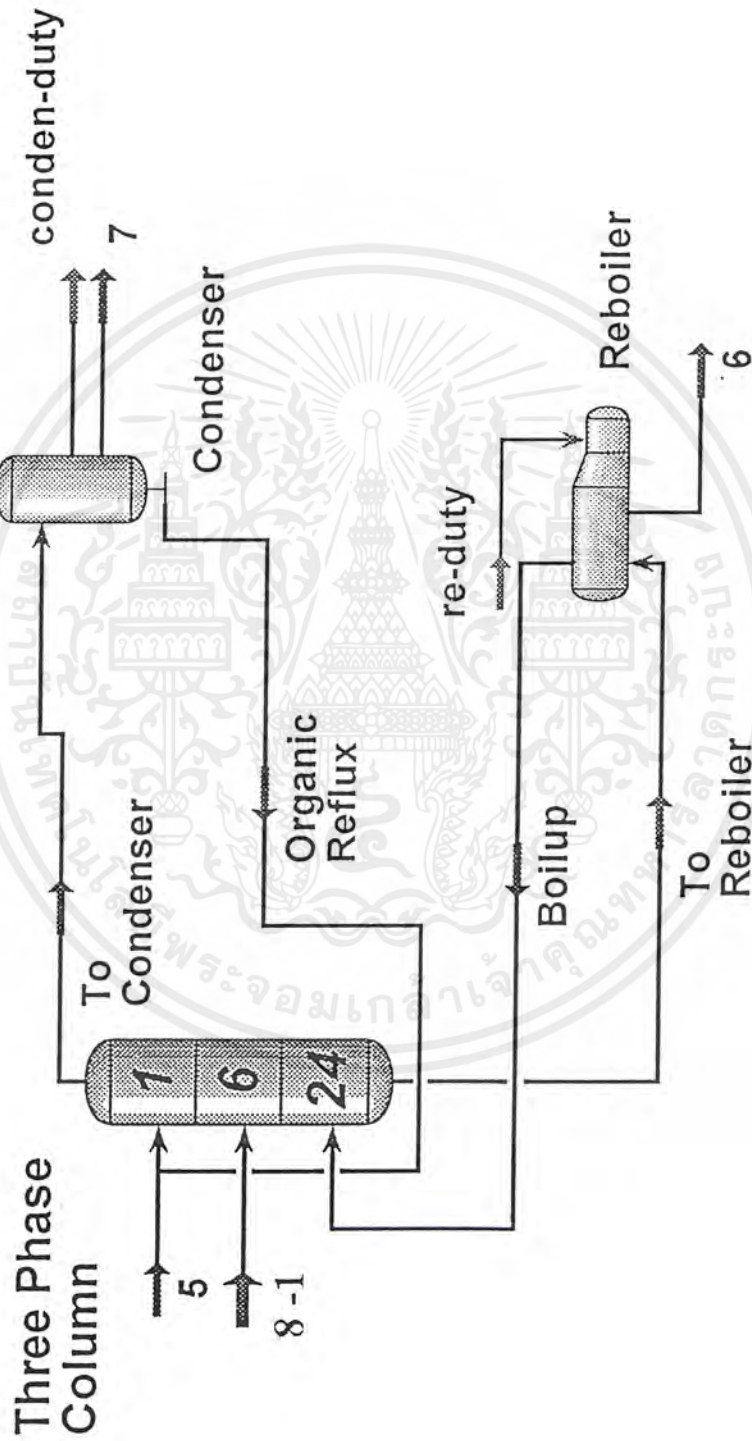
ตารางที่ 6.2 คุณสมบัติของกระแสในกระบวนการรูปที่ 6.1

Material Streams										
Name	2	4	3	5	8-1	7-1	8	9	7	8-3
Vapour Fraction	0.0000*	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000*	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature (C)	25.00*	25.00*	25.00*	25.00*	92.26	174.1*	174.1*	174.1*	25.00*	92.70
Pressure (atm)	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9870*	0.9870*
Molar Flow (gmole/s)	7.465	4.830	4.830	5.146	4.830*	4.830*	4.830*	4.830*	1.029*	2.518
Mass Flow (g/s)	174.4	409.0	409.0	92.77	409.0	409.0	409.0	409.0	327.9	327.9
Liquid Volume Flow (mL/s)	191.4	489.7	489.7	92.97	489.7	489.7	489.7	489.7	391.9	391.9
Heat Flow (kJ/s)	-2121	-1738	-1738	-1470	-1665	-2263	-2263	-2263	-1089	-1035
Name	6	9	8	8-rcy	7-1	8	9	7	8-4	8-3
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature (C)	138.6	77.84	174.1	174.1	25.00*	174.1*	174.1*	25.00*	84.80	92.70
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869	0.9870*
Molar Flow (gmole/s)	9.730	1.286	8.444	8.444	8.445*	8.445*	8.445*	8.445*	1.030	2.518
Mass Flow (g/s)	1159	59.20	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	22.43
Liquid Volume Flow (mL/s)	1388	74.37	1314	1314	1314	1314	1314	1314	1314	24.05
Heat Flow (kJ/s)	-3667	-346.9	-3223	-3223	-3223	-3223	-3223	-3223	-288.1	-293.4
Name	1	7	8-4	7-rcy	8-3	8	9	7	8-4	8-3
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature (C)	25.00*	84.80	84.80	25.00*	25.00*	25.00*	25.00*	25.00*	84.80	92.70
Pressure (atm)	0.9869*	0.9869	0.9869	0.9870*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869	0.9870*
Molar Flow (gmole/s)	6.435*	1.030	1.030	2.518*	1.029*	1.029*	1.029*	1.029*	1.030	2.518
Mass Flow (g/s)	152.0	22.43	22.43	327.9	22.40	22.40	22.40	22.40	22.43	327.9
Liquid Volume Flow (mL/s)	167.4	24.05	24.05	391.9	24.02	24.02	24.02	24.02	24.05	391.9
Heat Flow (kJ/s)	-1878	-288.1	-288.1	-1089	-293.2	-293.2	-293.2	-293.2	-288.1	-1035
Name	8-2	8-2	8-4	7-rcy	8-3	8	9	7	8-4	8-3
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature (C)	174.1	174.1	174.1	25.00*	92.26	174.1*	174.1*	25.00*	84.80	92.70
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869*	0.9869	0.9870*
Molar Flow (gmole/s)	2.518	2.518	2.518	1.029*	4.830*	4.830*	4.830*	1.029*	1.030	2.518
Mass Flow (g/s)	327.4	327.4	327.4	327.9	409.0	409.0	409.0	327.9	327.9	327.9
Liquid Volume Flow (mL/s)	391.3	391.3	391.3	391.9	489.7	489.7	489.7	391.9	391.9	391.9
Heat Flow (kJ/s)	-959.7	-959.7	-959.7	-1035	-2263	-2263	-2263	-1035	-1035	-1035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 ส่วนประกอบของกระแสและกระแสน้ำในกระบวนการรูปที่ 6.1

Compositions									
Name	2	4	3	5	8-1				
Comp Mole Frac (H2O)	0.8098	0.1859	0.9999	0.1859	0.0000				
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.1900	0.2933	0.0000	0.2933	0.0002				
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.0002	0.5208	0.0001	0.5208	0.9998				
Name	6	9	8	8-1cy	7-1				
Comp Mole Frac (H2O)	0.0001	0.0007	0.0000	0.0000	0.8706				
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.1322	0.9993	0.0002	0.0002	0.1279				
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.8677	0.0000	0.9998	0.9998	0.0015				
Name	1	7	8-4	7-1cy	8-3				
Comp Mole Frac (H2O)	0.8000	0.8706	0.0000	0.8709	0.0000				
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.2000	0.1279	0.0001	0.1276	0.0001				
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.0000	0.0015	0.9999	0.0015	0.9999				
Name	8-2								
Comp Mole Frac (H2O)	0.0000								
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0001								
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.9999								
Energy Streams									
Name	condenser1_duty	reboiler1_duty	cooler2_duty	condenser2_duty	rebc: r2_duty				
Heat Flow (kJ/s)	201.7	174.0	5.347	123.8	221.7				
Name	cooler1_duty								
Heat Flow (kJ/s)	54.38								



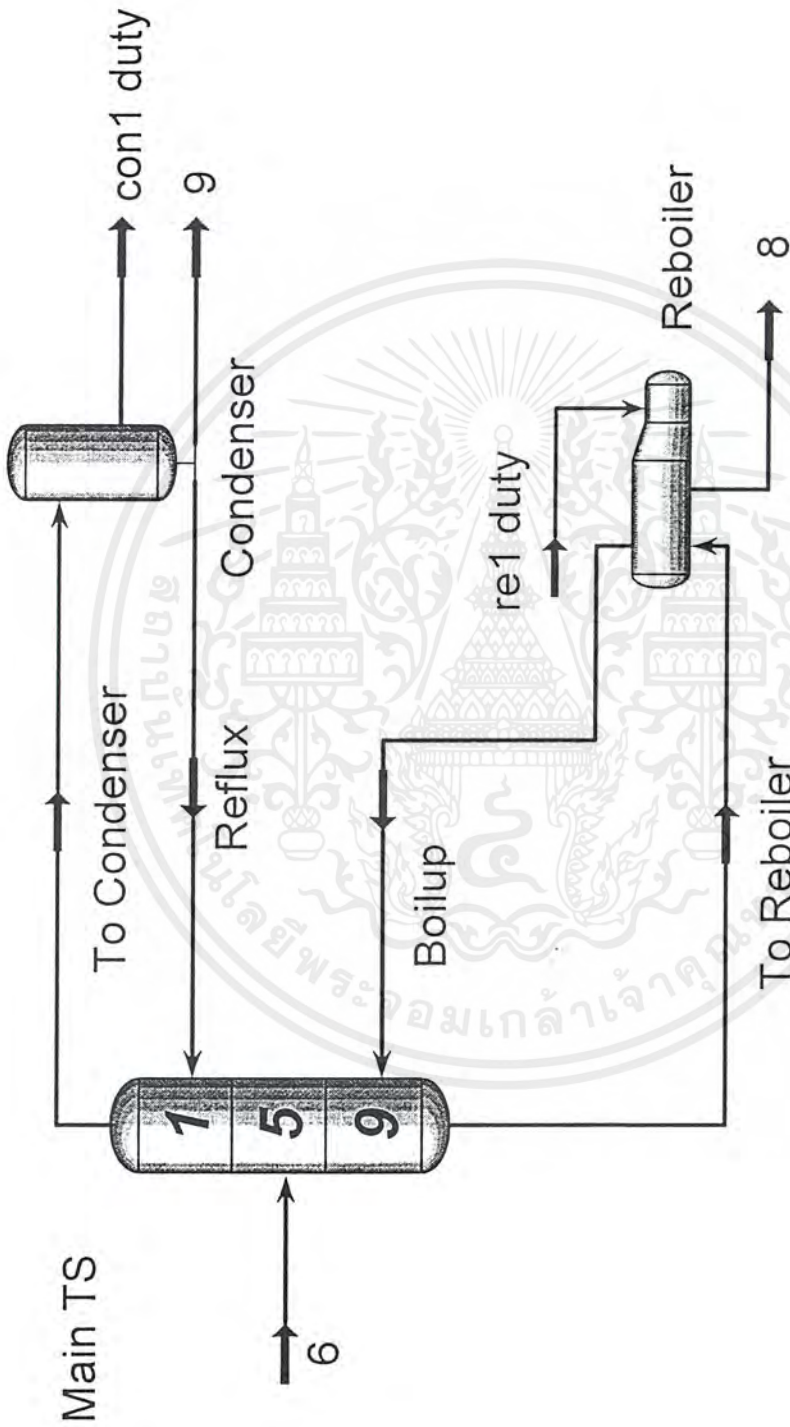
รูปที่ 6.2 ขยายหกถันสกัดในกระบวนการรูปที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 คุณสมบัติของกระแสที่เข้าออกหอกลั่นสกัดในกระบวนการรูปที่ 6.1

Workbook: Extractive Distillation Column (COL2)						
Material Streams						
Name	To Condenser	Organic Reflux	To Reboiler	Boilup		10
Vapour Fraction	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000		0.0000
Temperature (C)	129.1	84.80	120.7	138.6		138.6
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869		0.9869
Molar Flow (gmole/s)	4.169	3.139	12.39	2.663		9.730
Mass Flow (g/s)	213.0	190.6	1346	187.0		1159
Liquid Volume Flow (mL/s)	252.3	228.3	1617	228.8		1388
Heat Flow (kJ/s)	-1066	-979.3	-4531	-689.5		-3667
Name	5	2-1	7			
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000			
Temperature (C)	174.1	92.26	84.80			
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869			
Molar Flow (gmole/s)	5.930	4.830	1.030			
Mass Flow (g/s)	772.2	409.0	22.43			
Liquid Volume Flow (mL/s)	922.8	489.7	24.05			
Heat Flow (kJ/s)	-2263	-1665	-288.1			
Compositions						
Name	To Condenser	Organic Reflux	To Reboiler	Boilup		10
Comp Mole Frac (H2O)	0.4400	0.2986	0.0004	0.0015		0.0001
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.3537	0.4278	0.2566	0.7112		0.1322
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.2063	0.2736	0.7430	0.2873		0.8677
Name	5	2-1	7			
Comp Mole Frac (H2O)	0.0000	0.1859	0.8706			
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0002	0.2933	0.1279			
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.9998	0.5208	0.0015			
Energy Streams						
Name	conden-duty	re-duty				
Heat Flow (kJ/s)	201.7	174.0				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



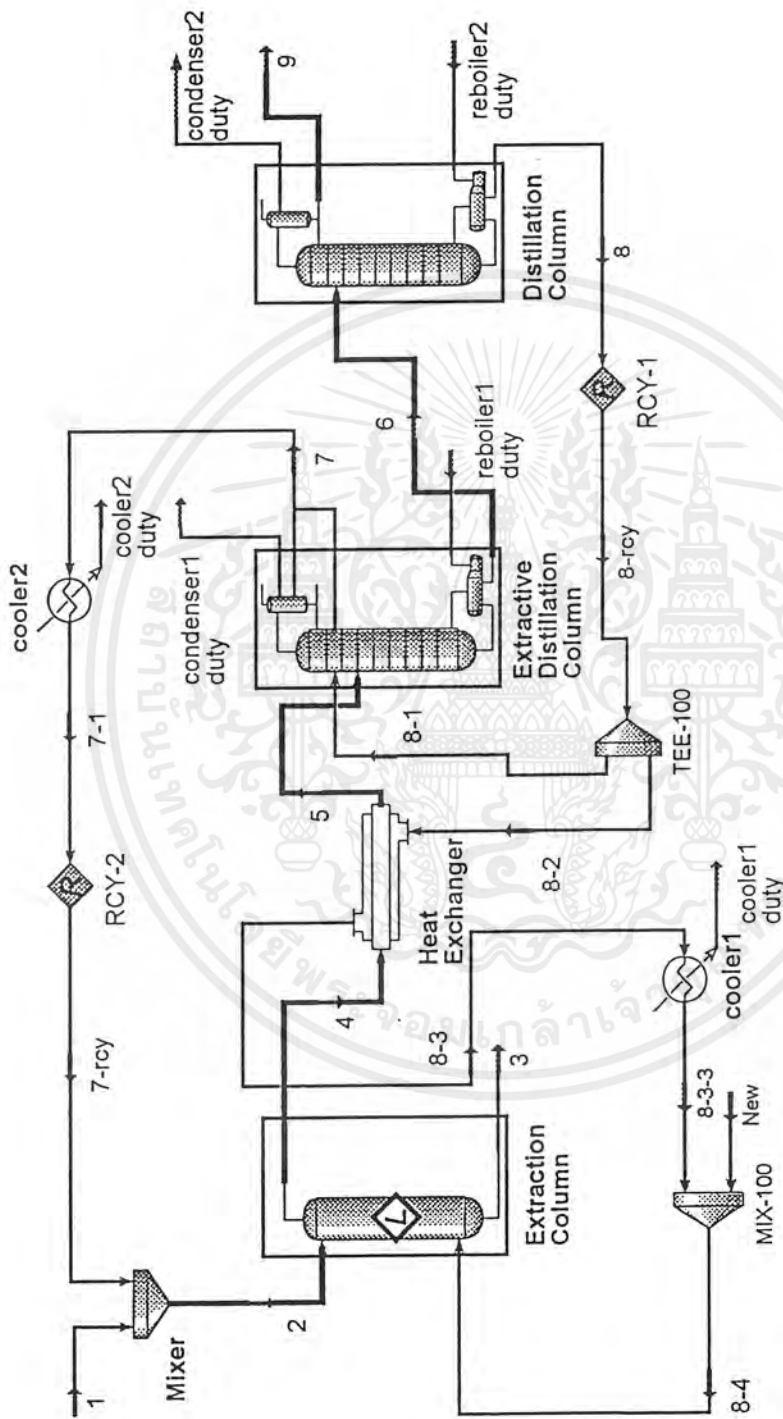
รูปที่ 6.3 ขยายทอกตันในกระบวนการรูปที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 คุณสมบัติของกระแสที่เข้าออกหอกลั่นในกระบวนการรูปที่ 6.1

Workbook: Distillation Column (COL3)						
Material Streams						
Name	Reflux	To Condenser	Boilup	To Reboiler	9	
Vapour Fraction	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	
Temperature (C)	77.84	77.88	174.1	173.8	77.84	
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	
Molar Flow (gmole/s)	1.928	3.214	4.246	12.69	1.286	
Mass Flow (g/s)	88.80	148.0	552.3	1652	59.20	
Liquid Volume Flow (mL/s)	111.6	185.9	660.0	1974	74.37	
Heat Flow (kJ/s)	-520.3	-743.4	-1399	-4843	-346.9	
Name	11		6			
Vapour Fraction	0.0000	0.0000				
Temperature (C)	174.1	138.6				
Pressure (atm)	0.9869	0.9869				
Molar Flow (gmole/s)	8.444	9.730				
Mass Flow (g/s)	1100	1159				
Liquid Volume Flow (mL/s)	1314	1388				
Heat Flow (kJ/s)	-3223	-3667				
Compositions						
Name	Reflux	To Condenser	Boilup	To Reboiler	9	
Comp Mole Frac (H2O)	0.0007	0.0007	0.0000	0.0000	0.0007	
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.9993	0.9993	0.0019	0.0007	0.9993	
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.0000	0.0000	0.9981	0.9993	0.0000	
Name	11		6			
Comp Mole Frac (H2O)	0.0000	0.0001				
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0002	0.1322				
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.9998	0.8677				
Energy Streams						
Name	con1_duty		re1_duty			
Heat Flow (kJ/s)	123.8		221.7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แบบจำลองกระบวนการแยกแอมโมเนียจากน้ำหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 คุณสมบัติของกระแสในกระบวนการรูปที่ 6.4

Material Streams									
Name	2	4	3	5	8-1	6	8-icy	7-1	8-1
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature (C)	25.00	25.01	25.01	25.00	95.38	174.1	174.1	174.1	174.1
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869
Molar Flow (gmole/s)	20.82	4.132	4.132	19.18	4.132	380.3	380.3	380.3	3.500
Mass Flow (g/s)	401.5	380.3	380.3	346.2	380.3	454.6	454.6	454.6	455.8
Liquid Volume Flow (mL/s)	413.3	454.6	454.6	347.1	454.6	544.7	544.7	544.7	544.7
Heat Flow (kJ/s)	-5939	-1540	-1540	-5478	-1470	-1336	-1336	-1336	-1336
Name	6	9	8	8-icy	7-1	6	8-icy	7-1	8-1
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature (C)	140.9	77.84	77.84	174.0	174.1	174.0	174.0	174.1	25.00
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869
Molar Flow (gmole/s)	6.811	0.8160	0.8160	5.995	5.984	5.995	5.995	5.984	0.8212
Mass Flow (g/s)	818.2	37.58	37.58	780.6	779.2	780.6	780.6	779.2	17.85
Liquid Volume Flow (mL/s)	980.1	47.20	47.20	932.9	931.2	932.9	932.9	931.2	19.14
Heat Flow (kJ/s)	-2573	-220.2	-220.2	-2288	-2284	-2288	-2288	-2284	-233.9
Name	1	7	8-2	8-4	7-icy	8-2	8-4	7-icy	8-1
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature (C)	25.00	84.84	84.84	174.1	25.00	174.1	174.1	25.00	25.00
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869
Molar Flow (gmole/s)	20.00	0.8212	0.8212	2.484	2.500	2.484	2.484	2.500	0.8204
Mass Flow (g/s)	383.7	17.85	17.85	323.4	325.5	323.4	323.4	325.5	17.82
Liquid Volume Flow (mL/s)	394.2	19.14	19.14	386.5	389.1	386.5	386.5	389.1	19.10
Heat Flow (kJ/s)	-5705	-229.6	-229.6	-947.9	-1081	-947.9	-947.9	-1081	-233.7
Name	8-3	8-3-3	New	8-3	8-3	New	8-3	8-3	8-3
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature (C)	95.53	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869
Molar Flow (gmole/s)	2.484	2.484	2.484	0.01635	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484
Mass Flow (g/s)	323.4	323.4	323.4	2.129	323.4	323.4	323.4	323.4	323.4
Liquid Volume Flow (mL/s)	386.5	386.5	386.5	2.544	386.5	386.5	386.5	386.5	386.5
Heat Flow (kJ/s)	-1018	-1074	-1074	-7.072	-1074	-1074	-1074	-1074	-1074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 ส่วนประกอบของกระแสและกระแสดัดแปลงงานในกระบวนการรูปที่ 6.4

Compositions						
Name	2	4	3	5	8-1	
Comp Mole Frac (H ₂ O)	0.9550	0.1734	0.9991	0.1734	0.0000	
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0450	0.2227	0.0008	0.2227	0.0001	
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.0001	0.6039	0.0001	0.6039	0.9999	
Name	6	9	8	8-rcy	7-1	
Comp Mole Frac (H ₂ O)	0.0001	0.0009	0.0000	0.0000	0.8718	
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.1199	0.9991	0.0002	0.0001	0.1268	
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.8800	0.0000	0.9998	0.9999	0.0015	
Name	1	7	8-2	8-4	7-rcy	
Comp Mole Frac (H ₂ O)	0.9584	0.8718	0.0000	0.0000	0.8722	
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0416	0.1268	0.0001	0.0001	0.1264	
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.0000	0.0015	0.9999	0.9999	0.0015	
Name	8-3	8-3:3	New			
Comp Mole Frac (H ₂ O)	0.0000	0.0000	0.0000			
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0001	0.0001	0.0007			
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.9999	0.9999	0.9993			
Energy Streams						
Name	condenser1.duty	reboiler1.duty	cooler2.duty	condenser2.duty	reboiler2.duty	
Heat Flow (kJ/s)	132.5	134.9	4.261	78.59	143.7	
Name	cooler1.duty					
Heat Flow (kJ/s)	56.01					

ตารางที่ 6.8 คุณสมบัติของกระแสที่เข้าออกหอกลั่นสกัดในกระบวนการรูปที่ 6.4

Workbook: Extractive Distillation Column (COL2)						
Material Streams						
Name	To Condenser	Organic Reflux	To Reboiler	Boilup	10	
Vapour Fraction	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
Temperature (C)	127.6	84.84	121.5	140.9	140.9	140.9
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869
Molar Flow (gmole/s)	2.766	1.945	8.849	2.037	6.811	818.2
Mass Flow (g/s)	136.3	118.5	966.1	147.9	479.9	818.2
Liquid Volume Flow (mL/s)	161.0	141.9	1161	180.6	980.1	980.1
Heat Flow (kJ/s)	-704.5	-607.3	-3242	-533.4	-2573	-2573
Name	5	7	51			
Compositions						
Vapour Fraction	0.0000*	0.0000	0.0000			
Temperature (C)	174.1	84.84	95.38			
Pressure (atm)	0.9869*	0.9869	0.9869			
Molar Flow (gmole/s)	3.500	0.8212	4.132			
Mass Flow (g/s)	455.8	17.85	380.3			
Liquid Volume Flow (mL/s)	544.7	19.14	454.6			
Heat Flow (kJ/s)	-1336	-229.6	-1470			
Energy Streams						
Name	To Condenser	Organic Reflux	To Reboiler	Boilup	10	
Comp Mole Frac (H2O)	0.4682	0.2978	0.0005	0.0018	0.0001	0.0001
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.3375	0.4265	0.2495	0.6827	0.1199	0.1199
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.1943	0.2757	0.7500	0.3155	0.8800	0.8800
Name	5	7	51			
Comp Mole Frac (H2O)	0.0000	0.8718	0.1734			
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0001	0.1268	0.2227			
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.9999	0.0015	0.6039			
Energy Streams						
Name	conden+-duty	re-duty				
Heat Flow (kJ/s)	132.5	134.9				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.9 คุณสมบัติของกระแสที่เข้าออกหอกลั่นในกระบวนการรูปที่ 6.4

Workbook: Distillation Column (COL3)						
Material Streams						
Name	Reflux	To Condenser	Boilup	To Reboiler	9	
Vapour Fraction	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	
Temperature (C)	77.84	77.88	174.0	173.7	77.84	
Pressure (atm)	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	0.9869	
Molar Flow (gmole/s)	1.224	2.040	2.745	8.741	0.8160	
Mass Flow (g/s)	56.36	93.94	356.9	1137	37.58	
Liquid Volume Flow (mL/s)	70.81	118.0	426.5	1359	47.20	
Heat Flow (kJ/s)	-330.3	-471.9	-904.2	-3336	-220.2	
Name	11					
Compositions						
Vapour Fraction	0.0000	0.0000				
Temperature (C)	174.0	140.9				
Pressure (atm)	0.9869	0.9869				
Molar Flow (gmole/s)	5.995	6.811				
Mass Flow (g/s)	780.6	818.2				
Liquid Volume Flow (mL/s)	932.9	980.1				
Heat Flow (kJ/s)	-2288	-2573				
Name	Reflux	To Condenser	Boilup	To Reboiler	9	
Comp Mole Frac (H2O)	0.0009	0.0009	0.0000	0.0000	0.0009	
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.9991	0.9991	0.0030	0.0011	0.9991	
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.0000	0.0000	0.9970	0.9989	0.0000	
Name	11					
Comp Mole Frac (H2O)	0.0000	0.0001				
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0002	0.1199				
Comp Mole Frac (2-E-1-C6ol)	0.9998	0.8800				
Name	Energy Streams					
Heat Flow (kJ/s)	con1.duty	ref1.duty				
	78.59	143.7				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองหาเส้นโค้งแสดงขอบเขตการละลาย สำหรับระบบของ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอล ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีไทเทรตโดยอาศัยหลักการที่เรียกว่า Cloud-point Technique สำหรับองค์ประกอบที่มีสัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล น้อยกว่า 0.1 เนื่องจากสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระบบจากหนึ่งวิภาคไปเป็นสองวิภาค (โดยสังเกตจากสารละลายเริ่มเปลี่ยนจากใสเป็นขุ่น) ได้ง่ายกว่าวิธี Clear-point Technique ซึ่งต้องสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระบบจากสองวิภาคไปเป็นหนึ่งวิภาค (โดยสังเกตจากสารละลายเริ่มเปลี่ยนจากขุ่นเป็นใส) และหลักการ Clear-point Technique นี้จะเหมาะสำหรับองค์ประกอบที่มีสัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล มากกว่า 0.1 ทั้งนี้คณะผู้วิจัยไม่สามารถหาเส้นขอบเขตการละลายในช่วงที่มีสัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอลน้อยกว่า 0.67 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักได้ เนื่องจากขีดจำกัดด้านอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อพิจารณาเส้นโค้งแสดงขอบเขตการละลายของระบบ เอทานอล - น้ำ - 2-เอทิลเฮกซานอลที่ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้จากการทดลอง (ดังรูปที่ 5.2) มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับระบบเดียวกันนี้ที่ 25 องศาเซลเซียส [8] (ดังรูปที่ 5.1) โดยเส้นโค้งแสดงขอบเขตการละลายของระบบดังกล่าวที่ 35 องศาเซลเซียส อยู่ใต้เส้นโค้งที่ 25 องศาเซลเซียส เพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าระบบนี้เป็นระบบดูดความร้อน อย่างไรก็ตามข้อมูลสมมูลของระบบดังกล่าวที่ 35 องศาเซลเซียส และที่ 25 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่าอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อข้อมูลสมมูลของระบบนี้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เส้นสมมูลการละลาย ของระบบเดียวกันนี้ สามารถกำหนดได้โดยใช้เครื่องวัดดัชนีหักเหแสงทำการวิเคราะห์ องค์ประกอบของสารในแต่ละวิภาคหลังจากที่ระบบเข้าสู่สมมูลแล้ว ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 5.2 พบว่าองค์ประกอบที่มีสัดส่วนโดยน้ำหนักของเอทานอลมากกว่า 0.25 ลักษณะของเส้นสมมูลการละลายจะเอียงขึ้นไปทางด้านที่มีสัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอลมาก นั่นคือ ในวิภาคเอกซ์แทรกจะมีสัดส่วนโดยน้ำหนักของเอทานอลมากกว่าวิภาคกราฟิเฟนิต

พิจารณารูปที่ 5.1 จะเห็นว่าจุดปลายของเส้นสมมูลการละลายทั้งสองข้างจะอยู่บนเส้นขอบเขตการละลายแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองของ Ruiz และคณะแม่นยำมาก พิจารณารูปที่ 5.3 ที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จุดปลายของเส้นสมมูลการละลายจะเบี่ยงเบนจากเส้นแนวโน้มขอบเขตการละลายเล็กน้อย

จากที่ได้ทำการจำลองกระบวนการแยกเอทานอลในน้ำหมักที่มีเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยโมล (39 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ซึ่งถูกนำเสนอบน Ruiz และคณะ [8] ด้วยโปรแกรมไฮซีลโดยมีการดัดแปลงเล็กน้อย พบว่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการดังกล่าว มีค่าประมาณ 6.5 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ และสามารถผลิตเอทานอลได้ 99.93 เปอร์เซ็นต์โดยโมล (99.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

นอกจากนี้ยังได้ทำการจำลองกระบวนการแยกเอทานอลโดยทำการแยกเอทานอลในน้ำหมักที่มี 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้ มีค่าประมาณ 5.62 ล้านจูลต่อลิตรเอทานอลที่ผลิตได้ และสามารถผลิตเอทานอลได้ 99.91 เปอร์เซ็นต์โดยโมล (99.96 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

จะเห็นว่ากระบวนการแยกเอทานอลจากน้ำหมักที่มีเอทานอลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถแยกเอทานอลได้บริสุทธิ์ใกล้เคียงกับกระบวนการแยกเอทานอลจากน้ำหมักที่มีเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยโมล โดยใช้พลังงานน้อยกว่า ขณะที่อัตราการไหลของกระแส 9 ที่ออกจากยอดหอกลั่นลดลงจาก 1.286 เป็น 0.816 โมลต่อวินาที

รายการอ้างอิง

1. Prausnitz, J.M., Lichtenthaler, R.N., and Azevedo, E.G., *Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria*, Prentice Hall International, 1999.
2. Kyle, B.G., *Chemical and Process Thermodynamics*, 3rd ed., Prentice Hall International, 1999.
3. Seader, J.D., Henley, E.J., *Separation Process Principles*, John Wiley & Sons, 1998.
4. Schweitzer, P.A., *Separation Techniques for Chemical Engineers*, 2nd ed., McGraw-Hill.
5. Laddha, G.S., Degaleesan, T.E., *Transport Phenomena in Liquid Extraction*, McGraw-Hill, 1976.
6. www.ethanol-thailand.com
7. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Ethanol, V.A9, 1989.
8. Ruiz, F., Gomis, V., and Botella, R.F., *Extraction of Ethanol from Aqueous Solution. 1. Solvent Less Volatile than Ethanol: 2-Ethylhexanol*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, V.26, 1987, pp.696-699
9. *Encyclopedia of Chemical Technology*, Ethanol, V.10, 4th ed., John Wiley & Sons.
10. Roddy, J.W., *Distribution of Ethanol-Water Mixtures to Organic Liquids*, *Ind.Eng.Chem.Process Des.Dev.*, V.20, 1981, pp.104-108
11. Mitchell, R.J., Arrowsmith, A., and Ashton, N., *Mixed Solvent Systems for Recovery of Ethanol from Dilute Aqueous Solution by Liquid-Liquid Extraction*, *Biotechnology and Bioengineering*, V.30, 1987, pp.348-351
12. Egan, B.Z., Lee, D.D., and McWhirter, D.A., *Solvent Extraction and Recovery of Ethanol from Aqueous Solution*, *Ind.Eng.Chem.Res.*, V.27, 1988, pp.1330-1332
13. Solimo, H.N., Martinez, H.E., and Riggio, R., *Liquid-Liquid Extraction of Ethanol from Aqueous Solution with Amyl Acetate, Benzyl Alcohol, and Methyl Isobutyl Ketone at 298.15 K*, *J. Chem. Eng. Data*, V.34, 1989, pp.176-179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง (ต่อ)

14. Arce, A., Alonso, L., and Vidal, I., *Liquid – Liquid Equilibria of the System Ethyl Acetate-Ethanol-Water, Butyl Acetate-Ethanol-Water, and Ethyl Acetate-Butyl Acetate-Water*, Journal of Chemical Engineering of Japan, V.32, No.4, 1999, pp. 440-444
15. Leeper, S.A., and Wankat, P.C., *Gasohol Production by Extraction from Water Using Gasoline as Solvent*, Ind.Eng.Chem.Process Des.Dev., V.21, 1982, pp.331-334
16. Brandani, V., Chianesr, A., and Rossi, M., *Ternary Liquid – Liquid Equilibrium Data for the Water-Ethanol-Benzene System*, J.Chem.Eng.Data, V.30, 1985, pp.27-29
17. Mehta, G., and Fraser, M., *A Novel Extraction Process for Separation Ethanol and Water*, Ind. Eng. Process Des. Dev., V.24, 1985, pp.556-560
18. Garcia, I.G., Perez, A.C., and Calero, F.C., *Liquid-Liquid Equilibrium Data for the Ternary Systems Water-Ethyl Alcohol-Organic Acid (Hexanoic, Heptanoic, Octanoic, and Nonanoic Acid) and Water-Ethyl Alcohol-Phthalic Acid Dialkyl Ester (Diethyl, Dibuthyl, and Diocthyl Ester)*, J.Chem.Eng.Data, V.33, No.40, 1988, pp.468-472
19. Letcher, T.M., and Siswana, P.M., *Liquid-liquid equilibria for mixture of an alkanol-water-a methyl substituted benzene at 25 °C*, Fluid Phase Equilibria., V.74, 1992, pp.203-217
20. Letcher, T.M., Bricknell, B.C., Sewry, J.D., and Radloff, S.E., *Liquid-liquid Equilibria for Mixture of an Alkanol+Hept-1-ene+Water at 25 °C*, J.Chem.Eng.Data, V.39, 1994, pp.320-323

รายการอ้างอิง (ต่อ)

21. Considine, D.M., *Chemical and Process Technology Encyclopedia*, McGraw-Hill.
22. *Encyclopedia of Chemical Technology*, Ethanol, V.8, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1967.
23. Dean, J., *Handbook of Organic Chemistry*, McGraw-Hill, 1987.
24. Howard, P.H., Moylan, W.M., *Handbook of Physical Properties of Organic Chemicals*, Luwis, 1997.
25. Geankoplis, C.J., *Transport Process and Unit Operation*, 3rd ed., Prentice Hall International, 1993.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลพื้นฐานของเอทานอล 2-เอทิลเฮกซานอล น้ำ

คุณสมบัติของเอทานอล [21 – 22]

เอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ มีสูตรโมเลกุล คือ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ เป็นที่รู้จักกันดีในฐานะที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เอทานอลยังเป็นสารที่มีความต้องการอย่างมากในอุตสาหกรรมเคมี เนื่องจากเอทานอลเป็นสารที่มีคุณสมบัติเฉพาะในการประพฤติตัวเป็น ตัวทำละลาย และสามารถเผาไหม้ได้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารตัวกลางในการผลิตสารประกอบอินทรีย์ชนิดอื่นอีกด้วย

ก่อนปี 1930 สามารถผลิตเอทานอลได้โดยการหมัก และในปี 1930 ได้มีการก่อตั้งโรงงานผลิตเอทานอลจากเอทิลีนขึ้นเป็นครั้งแรก ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาในตลาดอุตสาหกรรม การผลิตเอทานอลโดยการสังเคราะห์ขึ้นมาก็ได้เข้ามาแทนที่การผลิตเอทานอลโดยการหมัก

ก่อนปี 1948 เอทานอลได้ถูกผลิตขึ้นมาโดยกระบวนการไฮเดรชันโดยอ้อม (Indirect-Hydration) ที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปกระบวนการนี้จะรู้จักกันในชื่อเอทิลซัลเฟต (Ethyl Sulfate) หรือ กระบวนการไฮโดรไลซิสซัลเฟชัน (Sulfation Hydrolysis) ต่อมาในปี 1948 ได้มีการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการไฮเดรชันโดยตรง (Direct Hydration) ขึ้นเป็นครั้งแรกโดยไม่ต้องใช้กรดในการผลิตเหมือนกระบวนการไฮเดรชันโดยอ้อม

คุณสมบัติทางกายภาพของเอทานอล

ในสภาวะปกติโดยทั่วไป เอทานอลมีสถานะเป็นของเหลว ระเหยง่าย ติดไฟได้ ใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเอทานอลโดยเบื้องต้นจะขึ้นอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลนี้จะบอกถึงความเป็นขั้วของโมเลกุล และความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเอทานอล [22]

Property	Value
Freezing point , °C	-114.1
Normal boiling point , °C	78.32
Critical temperature , °C	243.1
Critical pressure , atm	63
Critical volume , l / mole	0.167
Critical compressibility factor , Z , in $PV = znRT$	0.248
Density , d_4^{20}	0.7893
Refractive index , n_D^{20}	1.36143
$\Delta n_D / \Delta t$, 20 - 30 °C , per °C	0.000404
Surface tension , at 25 °C , dyn / cm	23.1
Viscosity , at 20 °C , cP	1.17
Solubility in water , at 20 °C	Miscible
Heat of vaporization , at normal boiling point , cal / g	200.6
Heat of combustion , at 25 °C , cal / g	7092.9
Heat of fusion , cal / g	25
Flammable limits in air , Lower , % by volume	4.3
Upper , % by volume	19
Autoignition temperature , °C	793
Flash point , open-cup , °F	70
Specific heat , at 20 °C , cal / (g)(°C)	0.579
Thermal conductivity , at 20 °C , J / (sec)(cm ²)(°C / cm)	0.0017
Dipole moment , liq at 25 °C , esu	1.70×10^{-18}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการผลิตเอทานอล

ในอุตสาหกรรมมีการผลิตเอทานอลโดยวิธี

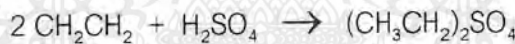
1. สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้เอทิลีน
2. เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ได้จากบางกระบวนการในอุตสาหกรรม
3. โดยการหมักของน้ำตาล แป้ง และสารพวกเซลลูโลส

มี 2 กระบวนการหลักสำหรับการสังเคราะห์เอทานอลจากเอทิลีน โดยเริ่มแรกเลยได้ใช้กระบวนการไฮเดรชันโดยอ้อม ส่วนอีกกระบวนการก็ได้ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดการใช้กรดซัลฟิวริกในกระบวนการแรกคือกระบวนการไฮเดรชันโดยตรง วิธีการสังเคราะห์อื่นๆได้มีการศึกษาแต่ไม่เป็นที่น่าพอใจเมื่อนำมาผลิตเพื่อการค้า

กระบวนการไฮเดรชันโดยอ้อม

โดยทั่วไปมี 4 ขั้นตอน

1. การดูดซึมของเอทิลีนในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น เพื่อให้เกิด โมโนเอทิลซัลเฟต และ ไดเอทิลซัลเฟต



2. เติมน้ำเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับเอทิลซัลเฟต จะได้ เอทานอล



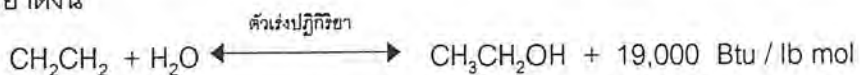
3. การทำเอทานอลที่ได้ให้บริสุทธิ์

4. การเพิ่มความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่เจือจาง โดยขั้นตอนนี้นับเป็นส่วนที่สำคัญ

ในเรื่องของต้นทุนการลงทุนสำหรับกระบวนการนี้

กระบวนการไฮเดรชันโดยตรง

วิธีนี้เป็นวิธีที่ต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะที่มีตัวรองรับ สารจะทำปฏิกิริยากันในสภาวะที่เป็นไอ เกิดปฏิกิริยาดังนี้



เนื่องจากในสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาในทางปฏิบัตินั้นอัตราการเปลี่ยนเป็นเอทานอลนั้นค่อนข้างต่ำเพราะถูกจำกัดโดยสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ จึงต้องมีการนำเอทิลีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาป้อนกลับเข้าสู่กระบวนการใหม่ อุณหภูมิ ความดัน อัตราส่วนระหว่างน้ำกับเอทิลีน และความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริสุทธิ์ของเอทิลีน เป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งส่งผลต่อปริมาณการเปลี่ยนเป็นเอทานอล ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เกิดขึ้นมีปริมาณเล็กน้อย

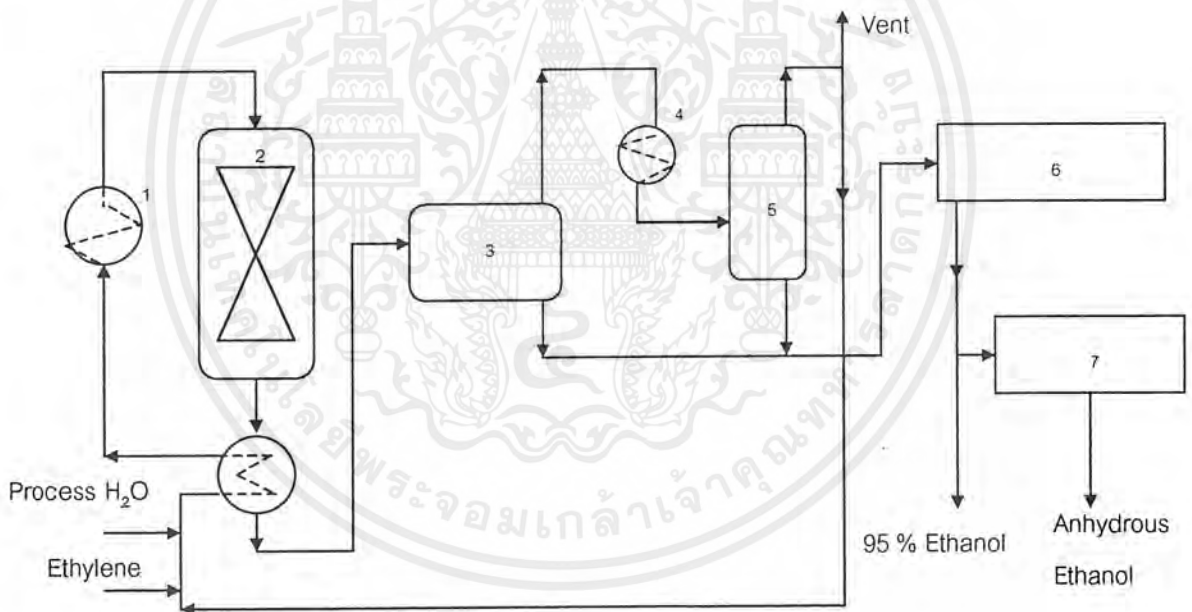
ขั้นตอนของกระบวนการนี้ดังแสดงในรูปที่ ก.1 สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน

1. ส่วนที่เกิดปฏิกิริยา
2. ส่วนที่ทำเอทานอลที่ได้จากส่วนที่ 1 ให้บริสุทธิ์ ซึ่งสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้

95% โดยปริมาตรของเอทานอล

3. ส่วนที่ทำการกำจัดน้ำออกจากเอทานอล เอทานอลที่ได้จากส่วนนี้จะมีควมบริสุทธิ์มากขึ้นและปราศจากน้ำ

เอทานอลที่ผลิตโดยกระบวนการนี้เหมาะในการนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่เรื่องกลิ่นของเอทานอลเป็นสิ่งสำคัญ เช่น ในการผลิตเครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์ยา



รูปที่ ก.1 กระบวนการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการไฮเดรชันโดยตรง [22]

- (1) Heater, (2) reactor, (3) separator, (4) cooler, (5) scrubber,
- (6) ethanol purification section for light and heavy removal,
- (7) ethanol - dehydration section.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการหมัก (Fermentation Processes)

กระบวนการนี้จะใช้วัตถุดิบทางการเกษตรที่มีคาร์โบไฮเดรตประกอบอยู่ด้วยในรูปของน้ำตาลหรือแป้ง ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ง่าย

หลังจากที่วัตถุดิบอยู่ในรูปน้ำตาลแล้ว จะมีการเติมยีสต์ลงไปแล้วทำการหมักเพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นเอทานอล ในประเทศสหรัฐอเมริกากากน้ำตาลเป็นแหล่งที่มาหลักของน้ำตาลที่จะนำไปเปลี่ยนเป็นเอทานอลในอุตสาหกรรม กากน้ำตาลเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของการผลิตน้ำตาล กากน้ำตาลจะมีน้ำตาลอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ และง่ายต่อการหมัก

ในกระบวนการหมักกากน้ำตาลจะถูกทำให้เจือจางโดยน้ำ เพื่อให้สุดท้ายได้ความเข้มข้นของน้ำตาลประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และน้ำหมัก (Mash)

จะมีการเติมยีสต์ลงไปประมาณ 3-10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ยีสต์จะมีเอนไซม์อยู่ 2 ชนิด คือ อินเวอร์เตส (Invertase) และไซเมส (Zymase)



ความเป็นกรดและอุณหภูมิจะต้องถูกควบคุมอย่างดี มีการเติมอาหารสำหรับยีสต์บ้างเพื่อให้ยีสต์สามารถทำงานได้ การหมักใช้เวลาประมาณ 2 วัน น้ำหมักที่ได้สุดท้ายเรียกว่าเบียร์ (Beer) โดยปกติเบียร์จะมีเอทานอลอยู่ 12 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเบียร์ที่ได้จะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการเพื่อให้เอทานอลที่บริสุทธิ์

การนำไปใช้

เอทานอลส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นสารตัวกลางในการผลิตสารเคมีชนิดอื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตบิวทาไดอีน และอะซิทาลดีไฮด์ เอทานอลยังถูกนำมาเป็นตัวทำละลายที่สำคัญ รองลงมาจากน้ำ คุณสมบัติในการต่อต้านการแข็งตัวของเอทานอลก็ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ในการผลิตยา พลาสติก แลคเกอร์ สารขัดเงา น้ำหอม เครื่องสำอาง และ ตัวเร่งในการผลิตยาง ต่างก็ใช้เอทานอลเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ ในปัจจุบันเอทานอลยังสามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำยาบ้วนปาก และสเปรย์ดับกลิ่นปาก หรือนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้อีกด้วย

สารเคมีที่ใช้เอทานอลเป็นสารตัวกลางในการผลิต

อะซิทาลดีไฮด์ เอทานอลโดยส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการผลิตสารเคมีชนิดนี้ โดยใช้

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือกระบวนการดีไฮโดรจีเนชัน หรือใช้ทั้งสองกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอทิลีน สำหรับประเทศที่มีการผลิตเอทิลีนน้อยและมีเอทานอลที่ได้จากการหมักมาก ก็สามารถที่จะผลิตเอทิลีนจากเอทานอลได้โดยกระบวนการดีไฮเดรชัน

นอกจากนี้ยังมีสารเคมีอีกหลายชนิดที่ผลิตจากเอทานอลได้ เช่น บิวทาไดอีน เอทิลคลอไรด์ เอทิลอีเทอร์ น้ำส้มสายชูสังเคราะห์ เอทิลอะคริเลต เอทิลไวน์อีเทอร์ เอมีน อะซิโตน 1-บิวทานอล และอื่นๆอีกมากมาย

อันตรายของเอทานอล

ได้มีการนำเอทานอลมาประยุกต์ใช้อย่างมากในอุตสาหกรรม และที่ผ่านมาก็ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าเอทานอลไม่ได้เป็นพิษร้ายแรงใดๆในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ถ้าในสภาวะแวดล้อมการทำงานมีการจัดระบายอากาศที่เหมาะสมก็จะมีความเป็นไปได้ที่จะได้รับอันตรายจากการสูดดมไอเอทานอลเพียงเล็กน้อย การสูดดมไอของเอทานอลเป็นเวลานานอาจเนื่องมาจากมีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ จะส่งผลให้เกิดการระคายเคืองตา ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย และอาการเหล่านี้เป็นสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้

ในอากาศควรมีไอของเอทานอลไม่เกิน 750 ppm เมื่อต้องสัมผัสกับเอทานอลที่มีความเข้มข้น 5000-10,000 ppm ส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อตา และเนื้อเยื่อในระบบหายใจและ ถ้ายังคงต้องสัมผัสต่อไปเป็นชั่วโมงหรือมากกว่านั้น อาจส่งผลให้เกิดอาการกึ่งหมดสติ ง่วงเสีย ซึม ดังตารางที่ ก.2 แสดงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อต้องสัมผัสกับเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ

เอทานอลเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกออกซิไดส์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังนั้นจึงไม่มีการสะสมพิษของเอทานอลในร่างกาย

เอทานอลเป็นสารที่ไวไฟ มีจุดวาบไฟที่ 70 องศาเรนไฮต์ ความเข้มข้นของไอเอทานอลอย่างต่ำประมาณ 4.3-19.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในอากาศอาจก่อให้เกิดการระเบิดได้ เอทานอลในสภาวะของเหลวสามารถทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงได้กับสารออกซิไดส์

ตารางที่ ก.2 อันตรายของไอเอทานอล ณ ความเข้มข้นต่างๆ [22]

Concentration		Effects in Man
mg / l of air	ppm / vol in air	
10-20	5,300 - 10,640	some transient coughing and smarting of the eyes and nose , which disappear after 5-10 min; not comfortable but tolerable
30	15,960	continuous lacrimation and marked coughing; could be tolerated but with discomfort
40	21,280	just tolerable for short periods
> 40	> 21,280	intolerable and suffocating for even short periods

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ 2-เอทิลเฮกซานอล

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติต่างๆของ 2-เอทิลเฮกซานอล [22 – 24]

Property	Value
Molecular weight	130.23
Boiling point , 760 mmHg (°C)	184.8
Melting point (°C)	- 70
Specific gravity , 20 / 20 °C	0.8339
Flash point ,opencup (°F)	185
Solubility , 20 °C (% weight)	
In water	0.07
Water in	2.6
Distillation range (°C)	183.0 – 185.5
Water content (% weight , max)	0.1
Acidity as acetic (% weight , max)	0.01
Vapor pressure at 20 °C (mmHg)	0.05
Refractive index , 20 °C	1.4231
Viscosity ,20 °C (mN s m ⁻²)	9.8
Enthalpy of formation (kcal mol ⁻¹)	- 83.30
Critical temperature (K)	613
Critical pressure (atm)	27.2
Critical volume (cm ³ mol ⁻¹)	494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของน้ำ

ตารางที่ ก.4 คุณสมบัติต่างๆของน้ำ [25]

Property	Value
Molecular weight	18
Boiling point , 760 mmHg (°C)	100
Melting point (°C)	0
Density ,20°C (g / cm ³)	0.99823
Latent heat of fusion (cal / g mol)	1436.3
Latent heat of vaporization 25°C, 760 mmHg (kcal / g mol)	10.520
Vapor pressure at 20 °C (mmHg)	17.54
Viscosity ,20 °C (mN s m ⁻²)	1.0050
Heat capacity ,1 atm ,20°C (cal/g.°C)	0.9995
Thermal conductivity ,37.8 °C (W / m.K)	0.628

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปริมาณของ น้ำ 2-เอทิลเฮกซานอล และเอทานอล ที่ใช้ในการทดลองหาเส้นโค้งการละลาย

การทดลอง ที่	น้ำหนักของ น้ำ (กรัม)	น้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล (กรัม)	น้ำหนักของ เอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าดัชนีหักเห แสง
1	24.0896	0.2282	9.8451	34.1629	4.98
2	20.3102	0.4214	9.6546	30.3862	5.16
3	19.7410	0.6565	10.7665	31.1640	5.31
4	1.6348	18.9451	11.6515	32.2314	5.77
5	17.5860	3.2013	13.0422	33.8295	6.02
6	9.1007	3.0110	8.2736	20.3853	6.55
7	10.9945	4.0059	10.1320	25.1324	6.65
8	14.8566	5.4881	13.6265	33.9712	6.51
9	9.8679	5.0291	10.0287	24.9257	6.40
10	12.0090	7.9842	13.7781	33.7713	7.30
11	12.0233	8.1037	13.4905	33.6175	7.26
12	9.9761	10.0487	13.9134	33.9382	7.69
13	12.5536	13.8002	17.4000	43.7538	7.97
14	8.0029	12.1044	13.7379	33.8452	8.12
15	6.0031	13.6409	12.2913	31.9353	8.29
16	4.6012	18.2039	10.8448	33.6499	9.51
17	1.9837	15.9920	6.9267	24.9024	10.25

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปริมาณของ น้ำ 2-เอทิลเฮกซานอล และเอทานอล ที่ใช้ในการ
ทดลองหาเส้นโค้งการละลาย (ต่อ)

การทดลอง ที่	น้ำหนักของ น้ำ (กรัม)	น้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล (กรัม)	น้ำหนักของ เอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าดัชนีหักเห แสง
18	2.0234	17.9907	6.7197	26.7338	10.34
19	2.4238	27.2692	8.7215	38.4145	10.63
20	2.4121	42.2608	11.3139	55.9868	10.97
21	2.0129	37.9320	9.6447	49.5896	11.01
22	1.1530	21.0756	5.0276	27.2562	11.20
23	1.5240	35.0959	7.0459	43.6658	11.36
24	0.4960	27.0230	3.6584	31.1774	11.73
25	0.0927	23.5438	1.0335	24.6700	12.42
26	0.0894	28.0937	0.2445	28.4276	12.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลปริมาณของ น้ำ 2-เอทิลเฮกซานอล และเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง
หาเส้นสมมูลการละลาย

การทดลอง ที่	น้ำหนักของ น้ำ (กรัม)	น้ำหนักของ 2 - เอทิลเฮกซานอล (กรัม)	น้ำหนักของ เอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)
1	16.5185	9.0094	4.5654	30.0933
2	15.1159	9.0753	6.0513	30.2425
3	13.5061	9.0039	7.5098	30.0198
4	12.7557	9.0048	8.2572	30.0177
5	12.0052	9.0056	9.0046	30.0154
6	10.5162	9.0192	10.5164	30.0518
7	9.9283	9.0124	11.129	30.0697
8	9.875	9.9127	13.1788	32.9665

ตารางที่ ข.3 ค่าดัชนีหักเหแสงของวิฎภาคเอกซ์แทรกและวิฎภาคกราฟฟิเนต

การทดลองที่	ค่าดัชนีหักเหแสง	
	วิฎภาคเอกซ์แทรก	วิฎภาคกราฟฟิเนต
1	11.75	4.08
2	11.18	4.29
3	10.77	4.59
4	10.33	4.79
5	9.88	4.98
6	9.29	5.22
7	8.29	5.42
8	8.4	5.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยน้ำหนักของ
2-เอทิลเฮกซานอลและค่าดัชนีหักเหแสง

การทดลองที่	สัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล	ค่าดัชนีหักเหแสง
1	0.00668	4.98
2	0.01387	5.16
3	0.02107	5.31
4	0.05072	5.77
5	0.09463	6.02
6	0.14770	6.55
7	0.15939	6.65
8	0.16155	6.51
9	0.20176	6.40
10	0.23642	7.30
11	0.24106	7.26
12	0.29609	7.69
13	0.31541	7.97
14	0.35764	8.12
15	0.42714	8.29
16	0.54098	9.51
17	0.64219	10.25
18	0.67296	10.34
19	0.70987	10.63
20	0.75484	10.97
21	0.76492	11.01
22	0.77324	11.20
23	0.80368	11.36
24	0.86675	11.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยน้ำหนักของ
2-เอทิลเฮกซานอลและค่าดัชนีหักเหแสง (ต่อ)

การทดลองที่	สัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล	ค่าดัชนีหักเหแสง
25	0.95435	12.42
26	0.98825	12.61

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำและค่าดัชนีหักเหแสง

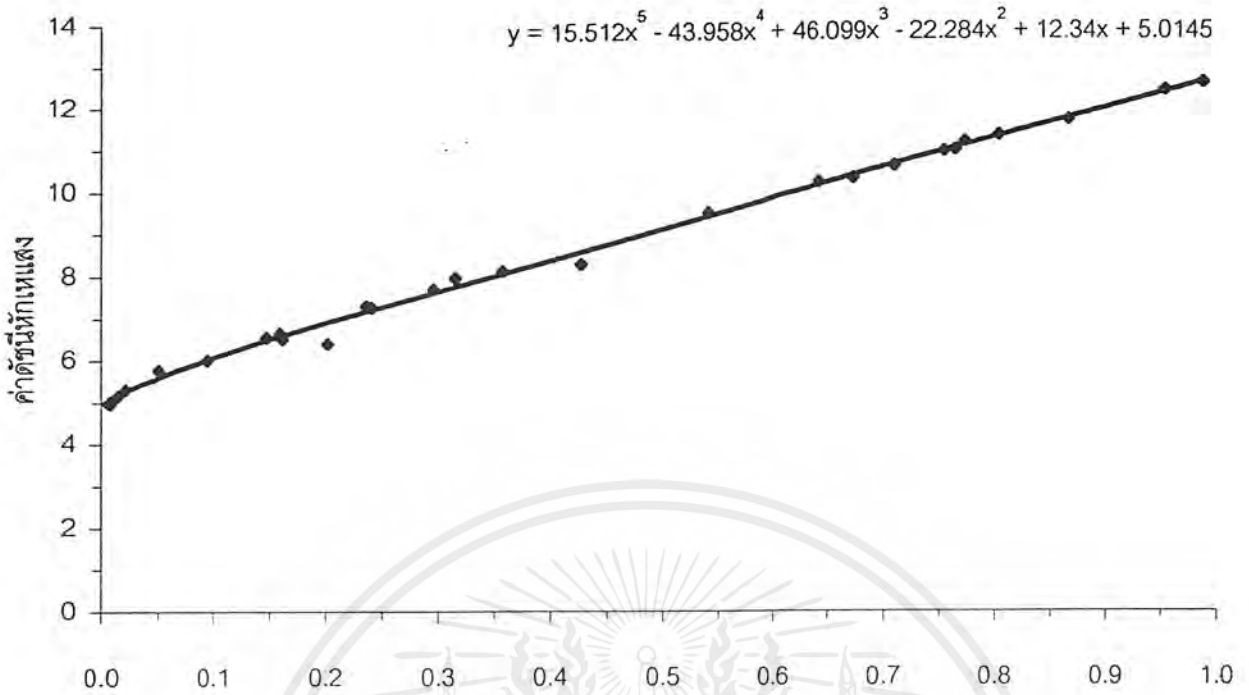
การทดลองที่	สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ	ค่าดัชนีหักเหแสง
1	0.70514	4.98
2	0.66840	5.16
3	0.63346	5.31
4	0.58779	5.77
5	0.51984	6.02
6	0.44643	6.55
7	0.43746	6.65
8	0.43733	6.51
9	0.39589	6.40
10	0.35560	7.30
11	0.35765	7.26
12	0.29395	7.69
13	0.28692	7.97
14	0.23646	8.12
15	0.18798	8.29
16	0.13674	9.51
17	0.07966	10.25
18	0.07569	10.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

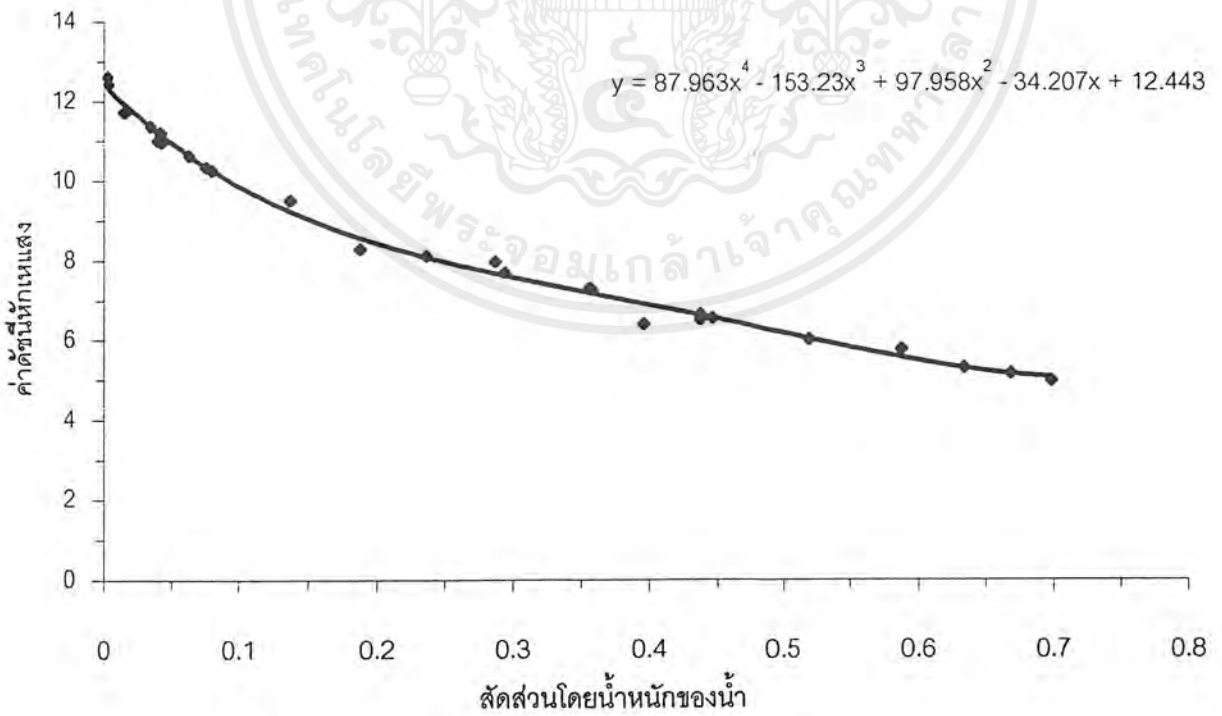
ตารางที่ ข.5 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำและค่าดัชนี
หักเหแสง (ต่อ)

การทดลองที่	สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ	ค่าดัชนีหักเหแสง
19	0.06310	10.63
20	0.04308	10.97
21	0.04059	11.01
22	0.04230	11.20
23	0.03498	11.36
24	0.01591	11.73
25	0.00376	12.42
26	0.00314	12.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.1 กราฟมาตรฐานค่าดัชนีหักเหแสงและสัดส่วนโดยน้ำหนักของ 2-เอทิลเฮกซานอล



รูปที่ ๑.2 กราฟมาตรฐานค่าดัชนีหักเหแสงและสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้