สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การจำลองกระบวนการกลั่นแยกเอทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้โปรแกรม HYSYS

นายชนินทร แสนประสิทธิ์
นายธนดิตถ์ อรรฆยากร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42391
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545
.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulation of Ethylalcohol Distillation Process

by HYSYS Program

Mr.Chanintorn Sanprasit

Mr.Thanadit Akkayagorn

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้โปรแกรม HYSYS

โดย นายชนินทร แสนประสิทธิ์
นายธนดิตถ์ อรรฆยากร
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา - อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

_____ กรรมการ
(ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

_____ กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์โดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อเสนอต่อภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ผู้เสนอจึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำดังนี้คือ

- อ.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์
- ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา กรุณาให้คำปรึกษาปริญญานิพนธ์
- ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ กรุณาให้คำปรึกษาปริญญานิพนธ์
- อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์ กรุณาให้คำปรึกษาปริญญานิพนธ์
- อ. สันติ วัฒนานุสรณ์ กรุณาให้คำปรึกษาปริญญานิพนธ์
- คุณอะเคื้อ บุญศิริ เจ้าหน้าที่โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาที่กรุณาให้ข้อมูลและคำปรึกษา

อนึ่ง ยังมีบุคคลที่มีพระคุณอีกหลายท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมา ผู้เสนอปริญญานิพนธ์ขอขอบคุณ ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์โดยใช้โปรแกรม HYSYS
โดย นายชนินทร แสนประสิทธิ์
นายธนดิตถ์ อรรฆยากร
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาและจำลองกระบวนการกลั่นแยกเอทิลแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลโดยใช้โปรแกรม HYSYS นอกเหนือจากการจำลองกระบวนการแล้วยังได้ทำการศึกษาผลของการปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการ โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นส่า อุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ ตำแหน่งป้อนสารเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ รวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มกำลังการผลิตด้วย ผลการศึกษาดังกล่าวได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อช่วยประหยัดพลังงาน แบ่งได้เป็น 5 แนวทาง ได้แก่ แนวทางแรกจะปรับให้ปริมาณไอน้ำเข้าหม้อต้มซ้ำในหอกลั่นส่าให้เท่ากับ 52 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แนวทางที่สองคือปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์เพิ่มเป็น 85 องศาเซลเซียส แนวทางที่สามคือเปลี่ยนจุดป้อนสารลงมาที่ถาดที่ 50 แนวทางที่สี่คือปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ให้เป็น 80 องศาเซลเซียสและเปลี่ยนตำแหน่งป้อนสารมาที่ถาดที่ 50 แนวทางที่ห้าเป็นการรวมเอาแนวทางที่หนึ่ง สอง และสามเข้าด้วยกัน และแนวทางสุดท้ายเป็นแนวทางในการเพิ่มอัตราการผลิตแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ให้สูงขึ้น โดยในแต่ละแนวทางที่จะนำมาใช้ปรับปรุงกระบวนการทางโรงงานควรพิจารณาถึงผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย สำหรับความเป็นไปได้ในการเพิ่มกำลังการผลิตพบว่า สามารถที่จะเพิ่มกำลังการผลิตได้มากขึ้นถึง 39.1 ลิตรต่อชั่วโมง แต่ขณะเดียวกันก็ต้องใช้พลังงานในระบบมากขึ้นด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Simulation of Ethyl alcohol Distillation Process by HYSYS Program

By Mr. Chanintorn Sanprasit

Mr. Thanadit Akkayagorn

Advisor Mr. Kriangsak Kraiwattanawong

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering,

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project study and simulate distillation process for separating ethanol from ethanol-water solution by using HYSYS application program. Moreover, this task study the variable such as the quantity of feed steam entering the molasses distillation column, temperature of feed substance before entering to the alcohol distillation column, the location of feed point and the probability for increasing the product capacity. The results were a guide line of energy saving. This procedure was divided by five ways. The first way is to adjust the quantity of steam added to reboiler which was 52 kilograms per hour. Then the second way was to increase feed temperature to be 85 ^{0}C and the third way is to change feed point at 50th tray. The fourth way was to preheat feed substance to be 80 ^{0}C and change feed point at 50th tray . Next, the fifth way is to include the first way to third way together which produces 95 percentages of product capacity. For selecting the method of adapting process, the company should consider the project analysis. In studying the probability for increasing the product capacity this process can increase product capacity from 25 liters per hour to 39.1 liters per hour , but also used much more energy in process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แอลกอฮอล์และกระบวนการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์	3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแอลกอฮอล์	3
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการกลั่น	3
2.3 การกลั่นแยกลำดับส่วน	4
2.4 กรรมวิธีการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์	5
2.4.1 ขั้นตอนการหมัก	5
2.4.2 ขั้นตอนการกลั่น	6
บทที่ 3 ทฤษฎีการคำนวณในหน่วยการกลั่นแอลกอฮอล์	8
3.1 การกลั่นแบบระบบ 2 องค์ประกอบ	8
3.1.1 ดุลมวลสาร	8
3.1.2 เส้นปฏิบัติการ	10
3.1.3 เส้น q	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.4 การหาจำนวนชั้นเชิงทฤษฎีโดยวิธีกราฟของ McCABE – THIELE	11
3.1.5 จำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด	12
3.1.6 อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด	12
3.2 การกลั่นระบบหลายองค์ประกอบ	13
3.2.1 การคำนวณโดยวิธีละเอียด	13
3.3 ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่น	16
3.3.1 ชนิดของประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่น	16
3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ	18
3.4 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ	19
3.4.1 การแบ่งประเภทอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ	19
3.4.2 การเลือกประเภทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	20
3.4.3 การถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	21
3.4.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	24
3.4.5 เครื่องควบแน่น	27
บทที่ 4 โปรแกรม HYSYS และขั้นตอนในการดำเนินการ	28
4.1 บทนำ	28
4.2 การเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม HYSYS	29
บทที่ 5 การจำลองกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์	31
บทที่ 6 ผลการทดลอง	40
6.1 การจำลองเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นแต่ละหอ	40
6.2 กรณีศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิต	41
6.2.1 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นล่า	41
6.2.2 ผลของการปรับอุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.2.3 ผลการปรับเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสารเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์	44
6.2.4 ผลการปรับอุณหภูมิของสารป้อนและตำแหน่งสายป้อนที่หอกลั่นแอลกอฮอล์	44
6.3 กรณีศึกษาผลการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์	46
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	48
7.1 แนวทางในการปรับปริมาณไอน้ำเข้าหม้อต้มซ้ำในหอกลั่นส่า	48
7.2 แนวทางในการปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์	48
7.3 แนวทางในการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสารเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์	49
7.4 แนวทางในการปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์และเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสารเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์	49
7.5 แนวทางในการที่ใช้ทั้งการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นส่า การปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ และการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสาร	49
7.6 แนวทางในการเพิ่มกำลังการผลิต	51
7.7 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก	54
ภาคผนวก ข	57
ภาคผนวก ค	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 6.1. ผลการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของหอกลั่นส่า 40

ตารางที่ 6.2. ผลการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของหอกลั่นแอลกอฮอล์ 41

ตารางที่ 6.3. ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่หอกลั่นส่าต่อเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์และอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ 42

ตารางที่ ก-1 ตารางไอน้ำที่ค่าความดันต่างๆ 54

ตารางที่ ข-1 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่อปริมาณการใช้ไอน้ำและน้ำหล่อเย็น 57

ตารางที่ ข-2 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่ออัตราการผลิตแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 57

ตารางที่ ข-3 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่อปริมาณไอน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ 58

ตารางที่ ข-4 ผลการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นส่าต่อปริมาณไอน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ 58

ตารางที่ ข-5 ผลของอุณหภูมิของสารป้อนที่เข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์และตำแหน่งสายป้อนต่อปริมาณไอน้ำและน้ำหล่อเย็นที่ใช้ 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1. การดุลมวลสารสำหรับการกลั่นลำดับส่วนอย่างต่อเนื่อง	9
รูปที่ 3.2. การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของ McCabe – THIELE	11
รูปที่ 3.3. การถ่ายเทมวลและพลังงานของแต่ละชั้น	14
รูปที่ 3.4. ผลของส่วนประกอบของไอและของเหลวบน Sieve Tray	17
รูปที่ 3.5. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นยึดท่อสองชั้น	19
รูปที่ 3.6. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแบบหัวลอย	20
รูปที่ 3.7. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน	22
รูปที่ 3.8. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง	23
รูปที่ 3.9. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก	24
รูปที่ 5.1. แผนผังกระบวนการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์	31
รูปที่ 5.2. หน้าจอ Fluid Packages	35
รูปที่ 5.3. การเลือก Property Package	35
รูปที่ 5.4. การเลือก Component	36
รูปที่ 5.5. การเข้าสู่ Simulation Environment	36
รูปที่ 5.6. การเลือกอุปกรณ์	37
รูปที่ 5.7. การเติมค่าลงในอุปกรณ์	37
รูปที่ 5.8. การกำหนดค่าที่ต้องการควบคุม	38
รูปที่ 5.9. ผลที่ได้จากการดำเนินการจำลอง	38
รูปที่ 5.10.ผลการดำเนินการที่ผ่านแล้ว	39
รูปที่ 6.1. ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นส่าต่อปริมาณไอน้ำ และน้ำหล่อเย็นทั้งหน่วยการผลิต	43
รูปที่ 6.2. ผลของการปรับอุณหภูมิของสารที่เข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ ต่อการใช้พลังงานในระบบ	44
รูปที่ 6.3 ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนต่อปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ ที่อุณหภูมิของสารป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่างๆ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.4 ผลของการเปลี่ยนถาดป้อนต่อปริมาณไอน้ำที่ใช้ที่อุณหภูมิของสารป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่างๆ 45
รูปที่ 6.5 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่ออัตราการผลิตแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 46
รูปที่ 6.6 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่อปริมาณการใช้ไอน้ำและน้ำหล่อเย็น 47
รูปที่ 7.1 ผลการเปรียบเทียบแนวทางที่ใช้ลดปริมาณไอน้ำของระบบ 50
รูปที่ 7.2 ผลการเปรียบเทียบแนวทางที่ใช้ลดปริมาณน้ำหล่อเย็นของระบบ 50
รูปที่ ค-1 ข้อมูลการจำลองที่สภาวะการผลิตปัจจุบัน 61
รูปที่ ค-2 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการปรับปริมาณไอน้ำเข้าหม้อต้มซ้ำในหอกลั่นล่า 62
รูปที่ ค-3 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ 63
รูปที่ ค-4 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ 64
รูปที่ ค-5 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการรวมเอาแนวทางที่ 2 และ 3 เข้าด้วยกัน 65
รูปที่ ค-6 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการรวมเอาแนวทางที่ 1,2 และ 3เข้าด้วยกัน 66
รูปที่ ค-7 แผนภาพการจำลองกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ถ่ายเทความร้อน (ตารางเมตร)
A_0	=	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่คำนวณจากเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (ตารางเมตร)
A_i	=	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่คำนวณจากเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ตารางเมตร)
B	=	อัตราการไหลของสายก้นหอ (กิโลโมล/ชั่วโมง)
D	=	อัตราการไหลของสายยอดหอ (กิโลโมล/ชั่วโมง)
E	=	สมดุลวัฏภาค
E_0	=	ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นโดยรวม
E_j	=	ฟังก์ชันสมดุลไอในชั้นที่ j
E_M	=	ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นของเมอร์ฟรี
E_{MP}	=	ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นแบบจุด
F	=	อัตราการไหลของสายป้อน (กิโลโมล/ชั่วโมง)
F_F	=	อัตราการไหลของสายป้อนหลัก (กิโลโมล/ชั่วโมง)
H	=	สมการดุลความร้อน
H_{ij}	=	ฟังก์ชันดุลความร้อนขององค์ประกอบ i ในชั้นที่ j
H_j	=	เอนธาลปีของวัฏภาคไอในชั้นที่ j (กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม-โมล)
h_i	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มทางด้านอุณหภูมิต่ำ (กิโลแคลอรี่/ตารางเมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส)
h_0	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มทางด้านอุณหภูมิสูง (กิโลแคลอรี่/ตารางเมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส)
h_j	=	เอนธาลปีของวัฏภาคของเหลวในชั้นที่ j (กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม-โมล)
K_{ij}	=	อัตราส่วนสมดุลในชั้นที่ j
L	=	อัตราการไหลของสายกลั่นที่ไหลกลับเข้าหอ (กิโลโมล/ชั่วโมง)
L_j	=	อัตราไหลของของเหลวภายในหอ (กิโลโมล/ชั่วโมง)
L_n	=	อัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา (กิโลโมล/ชั่วโมง)
L_{m+1}	=	อัตราการไหลของของเหลวที่ไหลลงมาจากชั้นที่ m+1 (กิโลโมล/ชั่วโมง)
M	=	สมการดุลมวลสาร
M_{ij}	=	ฟังก์ชันดุลมวลสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

n_m = จำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง)

Q_c = ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากเครื่องควบแน่น (กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง)

Q_b = ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับเครื่องต้มซ้ำ (กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง)

Q_j = ความร้อนชักออกข้าง (กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง)

q = โมลของเหลวในสารป้อน 1 โมล

q_1 = อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์ม (กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง)

q_2 = อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของสิ่งเกาะติดทางด้านอุณหภูมิสูง (กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง)

q_3 = อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกั้น (กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง)

q_4 = อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของตะกรันทางด้านอุณหภูมิต่ำ (กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง)

q_5 = อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มที่ขอบเขตทางด้านอุณหภูมิต่ำ (กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง)

R = อัตราส่วนป้อนกลับ (Reflux Ratio)

R_m = อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด

r_e = ความต้านทานของตะกรันทางด้านอุณหภูมิต่ำ (ตารางเมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส/กิโลแคลอรี่)

r_h = ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของตะกรันทางด้านอุณหภูมิสูง (ตารางเมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส/กิโลแคลอรี่)

r_i = ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของชั้นของตะกรันติดบนผิวในของท่อ (ตารางเมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส/กิโลแคลอรี่)

r_0 = ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของชั้นของตะกรันติดบนผิวนอกของท่อ (ตารางเมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส/กิโลแคลอรี่)

r_w = ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของผนังกั้น (ตารางเมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส/กิโลแคลอรี่)

S = สมการรวมสัดส่วนโมลของทุกองค์ประกอบ

S_h = ความหนาของสิ่งเกาะบนผนังทางด้านอุณหภูมิสูง (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

S_j = ฟังก์ชันรวม

S_l = ความหนาของชั้นตะกรันทางด้านอุณหภูมิต่ำ (เมตร)

S_w = ความหนาของผนังกันความร้อน (เมตร)

T_1 = อุณหภูมิของไหลที่ให้ความร้อนก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (องศาเซลเซียส)

T_2 = อุณหภูมิของไหลที่ให้ความร้อนที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (องศาเซลเซียส)

t_c = อุณหภูมิที่ถ่ายเทไปยังผิวทางด้านอุณหภูมิต่ำ (องศาเซลเซียส)

t_e = อุณหภูมิที่ถ่ายเทไปยังชั้นของตะกรันทางด้านอุณหภูมิต่ำ (องศาเซลเซียส)

t_i = อุณหภูมิของผนังทางด้านอุณหภูมิต่ำ (องศาเซลเซียส)

t_n = อุณหภูมิที่ผิวฟิล์ม (องศาเซลเซียส)

t_o = อุณหภูมิที่ถ่ายเทไปยังผิวบนผนังกั้น (องศาเซลเซียส)

t_w = อุณหภูมิที่ผิวบนผนัง (องศาเซลเซียส)

t_1 = อุณหภูมิของไหลที่รับความร้อนก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (องศาเซลเซียส)

t_2 = อุณหภูมิของไหลที่รับความร้อนออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (องศาเซลเซียส)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (กิโลแคลอรี่/ตารางเมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส)

U_j = อัตราของเหลวชักออกข้าง (กิโลโมล/ชั่วโมง)

V_j = อัตราการไหลของไอภายในหอ (กิโลโมล/ชั่วโมง)

v_{n+1} = อัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ n+1 (กิโลโมล/ชั่วโมง)

v_m' = อัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นจากชั้นที่ m โดยนับจากก้นหอขึ้นไป (กิโลโมล/ชั่วโมง)

W_j = อัตราของไอที่ชักออกข้าง (กิโลโมล/ชั่วโมง)

X_{ij} = สัดส่วนโมลในเฟสของเหลวขององค์ประกอบ i ในชั้นที่ j

x = อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

x_c = อัตราส่วนเชิงโมลของเหลวที่จุด c

x_D = อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำในสายป้อน

x_F = อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำในสายการกลั่น

x_n = อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา

x'_n = ความเข้มข้นของวัฏภาคของเหลวที่จุดใดจุดหนึ่งในถาดที่ n

x_{m+1} = ส่วนประกอบของของเหลวที่ไหลลงจากชั้นที่ m+1

x_w = อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำในสายก้นหอ

Y_{ij} = สัดส่วนโมลเฟสไอขององค์ประกอบ i ในชั้นที่ j

y = อัตราส่วนเชิงโมลของไอ

y_c = อัตราส่วนเชิงโมลของไอที่จุด c

y_n = ความเข้มข้นเฉลี่ยที่แท้จริงของของผสมในวัฏภาคไอที่ออกมาจากถาดที่ n

y^*_n = ความเข้มข้นของวัฏภาคไอที่อยู่ในสมดุลกับวัฏภาคของเหลวที่ความเข้มข้น x_n ซึ่งออกจากถาดลงสู่ส่วนล่างของหอกลั่น

y'_n = ความเข้มข้นของวัฏภาคไอที่จุดใดจุดหนึ่งในถาดที่ n

y'^*_n = ความเข้มข้นของวัฏภาคไอที่อยู่ในสมดุลกับวัฏภาคของเหลวที่ความเข้มข้น x'_n

y'_{n+1} = ความเข้มข้นของวัฏภาคไอที่เข้าสู่ถาดที่ n ที่จุดเดียวกัน

y_{n+1} = ส่วนประกอบของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ n+1

y_m = ส่วนประกอบของไอที่ลอยขึ้นจากชั้นที่ m โดยนับจากก้นหอขึ้นไป

λ_e = ความนำความร้อนของสิ่งเกาะทางด้านอุณหภูมิต่ำ
(กิโลแคลอรี่/เมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส)

λ_h = ความนำความร้อนของสิ่งเกาะบริเผนังทางด้านอุณหภูมิสูง
(กิโลแคลอรี่/เมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส)

λ_w = ความนำความร้อนของผนัง
(กิโลแคลอรี่/เมตร.ชั่วโมง.องศาเซลเซียส)

α_{LN} = ดัชนีการระเหยสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากสภาวะปัจจุบันน้ำมันที่เป็นทรัพยากรที่สำคัญของโลกมีราคาสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เศรษฐกิจของโลกชะลอตัวลงเพราะว่าอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ต้องอาศัยพลังงานเชื้อเพลิงคือ น้ำมันเป็นส่วนใหญ่ในการผลิตซึ่งมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้และนำออกมาจำหน่ายมีราคาสูงขึ้นตามต้นทุนการผลิต ดังนั้นถ้าเราสามารถหาพลังงานอย่างอื่นมาทดแทนได้จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้ จึงได้มีการคิดที่จะเอาเอทิลแอลกอฮอล์มาใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหานี้ เช่น นำเอทิลแอลกอฮอล์ 99 เปอร์เซ็นต์ มาผสมกับน้ำมันเบนซินธรรมดาเป็นแก๊สโซฮอล์เติมใช้กับ รถยนต์ นำเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับน้ำมันดีเซลและสารอีมัลซิไฟเออร์จะได้เป็นดีโซฮอล์จะใช้กับรถเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งสามารถลดควันดำลงได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นแอลกอฮอล์จึงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญในอนาคต

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้จำลองกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ที่โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาที่อยู่ในหน่วยงานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงมีกำลังการผลิตของหอกลั่น 25 ลิตร/ชั่วโมง คิดเป็นต้นทุนการผลิตแบบธุรกิจทั่วไป 32 บาท/ลิตร ถ้าคิดต้นทุนการผลิตแบบยกเว้นต้นทุนคงที่ราคา 12 บาท/ลิตร(ทำการผลิต 4 ครั้ง/เดือน) ได้เอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 900 ลิตรต่อการ - กลั่น 1 ครั้ง ใช้กากน้ำตาลความหวาน 49 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ครั้งละ 3,640 กิโลกรัม น้ำกากส่า (น้ำเสียจากหอกลั่น) จะใช้รดกองปุ๋ยอินทรีย์

สำหรับโปรแกรม HYSYS เป็นโปรแกรมที่มีความคล่องตัวสูง มีวิธีการคำนวณต่าง ๆ ให้เลือกหลายวิธีขึ้นกับประเภทของโรงงาน หรือประเภทของกระบวนการรวมทั้งสารเคมีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเมื่อนำโปรแกรมนี้ไปใช้งานจะช่วยคำนวณและแก้ปัญหาที่ซับซ้อนของโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้โปรแกรมดังกล่าวยังสามารถคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทั้งสารตั้งต้น และสารผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ไม่ต้องทำการทดลองจริง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อจำลองกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา โดยใช้โปรแกรม HYSYS
2. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นแยกเอทิลแอลกอฮอล์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

โครงงานวิจัยนี้จะนำข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ ที่โครงการส่วน-พระองค์ สวนจิตรลดาซึ่งได้ทำการผลิตอยู่ในปัจจุบันมาสร้างเป็นแบบจำลองของกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรม HYSYS

หลังจากได้แบบจำลองกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์แล้ว จะใช้แบบจำลองนี้ในการปรับเปลี่ยนหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นแยกเอทิลแอลกอฮอล์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษากระบวนการกลั่นแยกเอทิลแอลกอฮอล์
2. ได้เรียนรู้วิธีการใช้โปรแกรม HYSYS
3. ได้ข้อมูลเปรียบเทียบเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แอลกอฮอล์และกระบวนการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งเป็นสารประกอบในธรรมชาติที่เป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรม แอลกอฮอล์เป็นสารเคมีตัวหนึ่งที่รู้จักกันมานาน เอทิลแอลกอฮอล์ได้มาจากการกลั่นไวน์เมื่อพิจารณาจะพบว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของไวน์ ประโยชน์ของเอทิลแอลกอฮอล์ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่ม เครื่องสำอางและในขั้นตอนระหว่างการผลิตยา นอกจากนี้ยังใช้เป็นเชื้อเพลิงและตัวทำละลาย

CH_3-OH	CH_3-CH_2-OH	CH_3-CH (OH)-CH_3
เมทิลแอลกอฮอล์	เอทิลแอลกอฮอล์	ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการกลั่น

การกลั่น คือ วิธีการแยกของผสมในสภาพที่เป็นสารละลายออกจากกัน เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และอุตสาหกรรมเคมีทั่วๆไป หอกลั่นที่ใช้ในปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่มีกำลังการผลิตสูง และถูกสร้างขึ้นให้มีขนาดใหญ่กว่าเครื่องมือประเภทอื่นๆ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.3 เมตร ถึง 10 เมตร และมีความสูงตั้งแต่ 3 เมตร ถึง 75 เมตร

การกลั่นโดยทั่ว ๆ ไปจะใช้ความร้อนจากไอน้ำมาทำให้สารละลายในสภาพของของเหลวระเหยกลายเป็นไอบางส่วน สารที่ต้องการจะแยกออกจากกันโดยวิธีการกลั่นนี้จะต้องมีอัตราการระเหยไม่เท่ากันพิจารณาจากค่าของจุดเดือดหรือความดันไอของสาร สารที่ระเหยได้ง่ายจะอยู่ในไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มากกว่าสารที่ระเหยยาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นจะประกอบด้วยไอและของเหลวที่ไอจะมีปริมาณสารระเหยง่ายอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนในของเหลวจะมีปริมาณสารระเหยง่ายอยู่เป็นจำนวนน้อย ในการกลั่นจะมีไอและของเหลวอยู่รวมกันเสมอ

2.3 การกลั่นแยกลำดับส่วน (Fractionation)

กรณีที่ต้องการความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์สูง การกลั่นแบบแยกลำดับส่วนเป็นการกลั่นแบบต่อเนื่องที่มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้หอกลั่นลำดับส่วน โดยมีลักษณะเป็นคอลัมน์ซึ่งแบ่งเป็นส่วนๆ โดยถาดแบบ บับเบิ้ล-แคบ (Bubble-Cap Tray) จะยอมให้ไอผ่านขึ้นข้างบนได้ ของผสมถูกป้อนเข้าคอลัมน์ที่บริเวณตอนกลางของคอลัมน์ ไอที่ลอยขึ้นข้างบนในส่วนเหนือขึ้นไปจากจุดที่ของผสมเข้าสู่คอลัมน์ จะพบกับของเหลวที่ไหลลงมาในแต่ละถาด ของเหลวที่ไหลลงมาในแต่ละถาด ของเหลวที่ไหลลงมานี้จะดึงเอาสารระเหยยากออกจากไอส่วนนี้ของคอลัมน์เรียกว่า ส่วนไล่สารระเหย (Rectifying Section)

ไอที่ออกจากทางตอนบนของคอลัมน์ จะผ่านเข้าไปในเครื่องควบแน่นทำให้ไอทั้งหมดหรือบางส่วนกลายเป็นของเหลว แล้วไหลออกเป็น 2 ทาง ทางหนึ่งไหลกลับเข้าถาดบนสุดของหอ - กลั่นเรียกว่า การกลั่นไหลกลับ (Reflux) อีกทางหนึ่งไหลออกไปเป็นผลิตภัณฑ์ เรียกว่า ดิสทิลเลต (Distillate) อัตราส่วนการกลั่นไหลกลับต่อดิสทิลเลตเรียกว่า อัตราส่วนการกลั่นไหลกลับ (Reflux Ratio) ซึ่งมีอุปกรณ์ที่สามารถปรับค่าได้การมีอัตราส่วนการกลั่นไหลกลับสูง จะทำให้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น

ในส่วนล่างของคอลัมน์ที่อยู่ต่ำกว่าจุดป้อนของผสม ไอที่ลอยขึ้นมาเมื่อสัมผัสกับของเหลวที่ไหลลงมาจะแยกเอาส่วนที่ระเหยง่ายออกจากของเหลวไปกับไอด้วย เรียกส่วนนี้ว่า ส่วนสติปปิ้ง (Stripping Section)

ของเหลวเมื่อไหลลงไปถึงตอนล่างสุดของคอลัมน์จะได้รับความร้อนจากไอน้ำ ทำให้ของเหลวบางส่วนกลายเป็นไอลอยขึ้นข้างบน ส่วนที่เหลือจะไหลออกทางด้านล่างของคอลัมน์ส่วนที่ให้ความร้อนที่เรียกว่า หม้อต้มซ้ำ (Reboiler)

ดังนั้นภายในหอกลั่นจะเห็นสภาพของเหลวในแต่ละถาดอยู่ที่จุดเดือด และไอของสารจะอยู่ที่จุดน้ำค้าง (Dew Point) โดยตอนล่างของคอลัมน์จะมีอุณหภูมิสูง ส่วนตอนบนจะมีอุณหภูมิต่ำ และในแต่ละถาดจะมีการแลกเปลี่ยนมวลสารที่ระเหยง่ายและระเหยยากซึ่งกันและกันระหว่างไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และของเหลว ส่วนระเหยง่ายจึงขึ้นไปกับไอและเข้มข้นมากยิ่งขึ้นเมื่อเลื่อนขึ้นไปยังถาดบน ส่วนของเหลวก็จะมีสาระเหยยากมากขึ้นเมื่อไหลลงถาดล่าง ยิ่งมีจำนวนถาดมากก็จะแยกสารได้จากกันบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น ถ้าหากในแต่ละถาดไอและของเหลวมีความเข้มข้นของสารระเหยง่ายอยู่ในสภาพสมดุลจะเป็นถาดในอุดมคติ (Ideal Tray) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ในสภาพเป็นจริงจะไม่เป็นตามอุดมคติ

2.4 กรรมวิธีการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์

2.4.1 ขั้นตอนการหมัก (Fermentation)

แบ่งตามชนิดของวัตถุดิบ

2.4.1.1 วัตถุที่มีน้ำตาลได้แก่ อ้อย ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น นำวัตถุดิบดังกล่าวมาบีบหรือรีดเพื่อให้ได้ของเหลวที่มีน้ำตาลออกมา

2.4.1.2 วัตถุดิบที่มีแป้งหรือเซลลูโลส ได้แก่ มันสำปะหลัง ข้าว ข้าวโพด ผักตบชวา เป็นต้น ต้องใช้เอมไซม์ย่อยแป้งหรือเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลออกมาก่อน เมื่อได้น้ำตาลแล้วหลังจากนั้นเติมยีสต์จะใช้น้ำตาลเป็นอาหารแล้วผลิตเอทธิลแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยตามทฤษฎียีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 51.1 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนักของน้ำตาล ดังสมการ

$$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6 \rightarrow 2nC_2H_5OH + 2nCO_2$$

แต่ในทางปฏิบัติ น้ำตาลประมาณร้อยละ 95 เท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์นอกนั้นยีสต์ใช้สำหรับการเจริญและเปลี่ยนเป็นผลพลอยได้อื่นๆ ในอุตสาหกรรมการหมักยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์และอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol)	48.4	เปอร์เซ็นต์
2. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)	46.5	เปอร์เซ็นต์
3. กลีเซอรอล (Glycerol)	2.5-3.6	เปอร์เซ็นต์
4. กรดซักซินิก (Succinic acid)	0.5-2.77	เปอร์เซ็นต์
5. น้ำมันฟูเซล (Fusel oil)	0.25-0.5	เปอร์เซ็นต์
6. กรดแลคติก (Lactic acid)	0-0.2	เปอร์เซ็นต์
7. กรดอะซิติก (Acetic acid)	0.05-0.25	เปอร์เซ็นต์
8. อะซีตอลดีไฮด์ (Acetaldehyde)	0-0.03	เปอร์เซ็นต์

ในขั้นตอนการหมักนี้จะใช้เวลาประมาณ 3 วัน จะได้น้ำหมักที่มีเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นต้องนำไปผ่านขั้นตอนการกลั่นเพื่อให้ได้เอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์

2.4.2 ขั้นตอนการกลั่น (Distillation)

แอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักส่าจะเป็นเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ การกลั่นแยกเอทิลแอลกอฮอล์จากส่าทำได้โดยอาศัยความร้อนจากไอน้ำ เพื่อแยกเอาแอลกอฮอล์ซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำให้ระเหยกลายเป็นไอแล้วจึงนำไอแอลกอฮอล์ที่ได้ส่งเข้าเครื่องควบแน่น ทำให้ไอเป็นของเหลวจุดเดือดของเอทิลแอลกอฮอล์จะอยู่ที่ 78.3 องศาเซลเซียส ส่วนจุดเดือดของน้ำเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

การให้ความร้อนแก่ส่าด้วยไอน้ำ จะทำให้เอทิลแอลกอฮอล์ในน้ำส่าระเหยกลายเป็นไอแต่ก็จะมีน้ำระเหยปนขึ้นมาพร้อมกับไอเอทิลแอลกอฮอล์ด้วย ซึ่งความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ในไอจะเข้มข้นกว่าในของเหลว การที่จะกลั่นให้เอทิลแอลกอฮอล์เปอร์เซ็นต์สูงๆนั้นต้องทำให้เอทิลแอลกอฮอล์ระเหยและควบแน่นหลายๆครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ภายในหอกลั่นจึงทำให้ได้เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูงได้โดยกลั่นเพียงครั้งเดียว แต่ก็ไม่สามารถกลั่นให้ได้ความเข้มข้นถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะเมื่อกลั่นจนเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของไอเอทิลแอลกอฮอล์ที่ระเหยออกมาจากของเหลวจะเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ในของเหลว จึงทำให้ไม่สามารถกลั่นแยกเอทิลแอลกอฮอล์ให้ได้ความเข้มข้นถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ได้ด้วยหอกลั่นปกติธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีการคำนวณในหน่วยการกลั่นแอลกอฮอล์

3.1 การกลั่นแบบระบบ 2 องค์ประกอบ (Distillation of Binary System)

3.1.1 ดุลของมวล

$$F = D + B \quad \ldots (3.1)$$

$$Fx_F = Dx_D + Bx_B \quad \ldots (3.2)$$

F = อัตราการไหลของสายป้อน (กิโลโมล/ชั่วโมง)

D = อัตราการไหลของสายการกลั่น (กิโลโมล/ชั่วโมง)

B = อัตราการไหลของสายก้นหอ (กิโลโมล/ชั่วโมง)

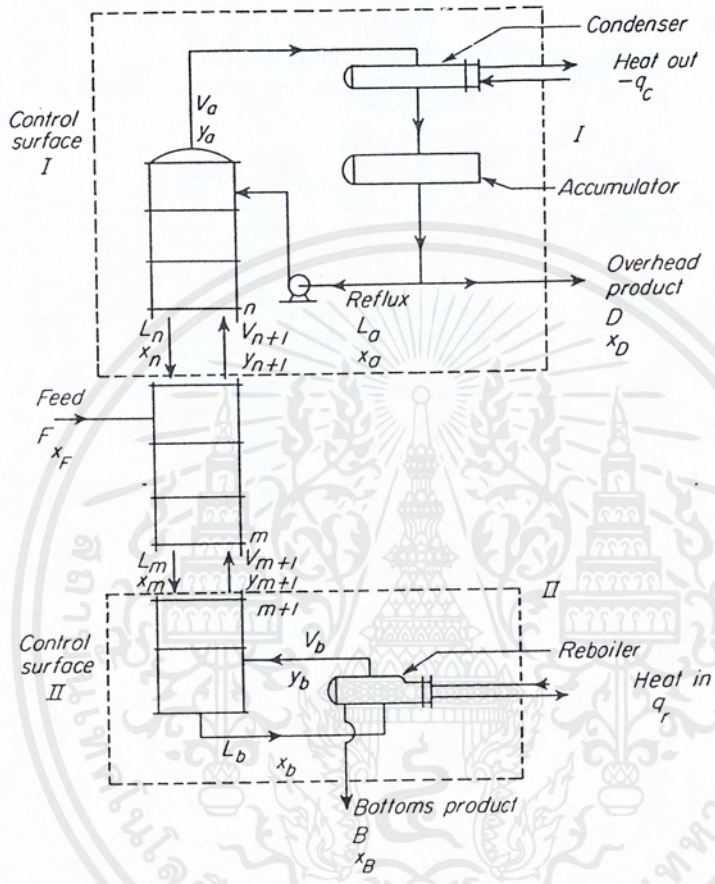
x_F = อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำในสายป้อน

x_D = อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำในสายกลั่นแยก

x_B = อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำในสายก้นหอ

การทำดุลมวลสารสามารถทำได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการดุลมวลสารสำหรับการกลั่นลำดับส่วนอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เส้นปฏิบัติการ (Operating Line)

ให้ x_n และ L_n คือ สัดส่วนเชิงโมล และอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา ให้ y_{n+1} และ V_{n+1} คือ สัดส่วนเชิงโมลและอัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ n+1 จะได้เส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้นดังสมการต่อไปนี้

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}}x_n + \frac{D}{V_{n+1}}x_D \qquad \ldots (3.3)$$

$$= \frac{L_n}{L_n + D}x_n + \frac{D}{L_n + D}x_D \qquad \ldots (3.4)$$

ถ้าให้อัตราส่วนป้อนกลับ (Reflux Ratio) R = L/D แล้วแทนลงในสมการข้างบน จะได้

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{1}{R+1}x_D \qquad \ldots (3.5)$$

ในทำนองเดียวกัน ให้ y_m, V_m คือ ส่วนประกอบและอัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นจากชั้นที่ m โดยนับจากยอดหอขึ้นไป และให้ x_{m+1}, L_{m+1} คือ ส่วนประกอบและอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลลงมาจากชั้นที่ m+1 จะได้เส้นปฏิบัติการของช่วงไล่สารระเหยง่ายดังสมการต่อไปนี้

$$y_{m+1} = \frac{L_{m+1}}{V_m}x_{m+1} - \frac{B}{V_m}x_B \qquad \ldots (3.6)$$

$$= \frac{L_{m+1}}{L_{m+1} - B}x_{m+1} - \frac{B}{L_{m+1} - B}x_B \qquad \ldots (3.7)$$

ถ้าสารป้อน 1 โมล มีของเหลว q โมล และไอ 1-q โมล จะได้ความสัมพันธ์ $L_{m+1} = L_n + qF$ และ $V_m = V_{n+1} - (1-q)F$ ดังนี้

$$y_m = \frac{R + q\frac{F}{D}}{R + 1 - (1-q)\frac{F}{D}}x_{m+1} - \frac{\frac{F}{D} - 1}{R + 1 - (1-q)\frac{F}{D}}x_B \qquad \ldots (3.8)$$

ถ้าอัตราส่วนป้อนกลับ R คงที่แล้วเขียนสมการ(3.5)และ(3.8)ลงบนกราฟที่กำหนดให้โดยถือว่า $x_n, y_{n+1}, x_{m+1}, y_m$ เป็นตัวแปร จะได้เส้นปฏิบัติการเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 เส้น q (q-line)

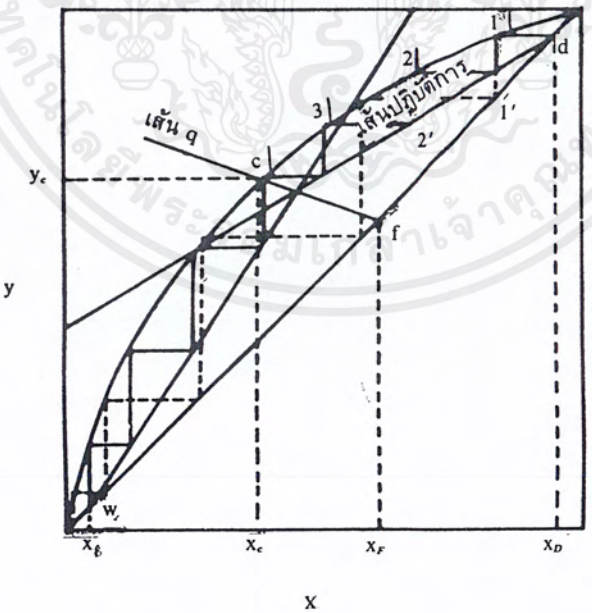
เส้น q คือเส้นตรง ที่แสดงได้ด้วยสมการ

$$qx + (1-q)y = x_F \quad \ldots (3.9)$$

ในทางปฏิบัติควรจะทำให้ค่าของ x บนจุดตัดระหว่างเส้น q กับเส้นปฏิบัติการ มีค่าใกล้เคียงมากที่สุดกับส่วนประกอบของของเหลวบนชั้นที่ป้อนสารเข้า

3.1.4 การหาจำนวนชั้นเชิงทฤษฎี โดยวิธีกราฟของ McCABE-THIELE

ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ให้พล็อตเส้นสมดุลของไอและของเหลวลงบนกราฟ x-y แล้วลงจุด d,f,w บนเส้นทะแยงมุมเพื่อแทนตำแหน่งของความเข้มข้น x_D, x_F, x_B ตามลำดับ โดยอาศัยสมการ (3.5), (3.8) และ(3.9) ลากเส้นตรงแสดงเส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้น ของช่วงไล่สาร-ระเหยง่ายและเส้น q ตามลำดับ เส้นทั้งสามจะตัดกันที่จุด ๆ หนึ่ง



รูปที่ 3.2 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของ McCABE - THIELE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากจุด d ลากเส้นระดับตัดกับเส้นสมดุลที่จุดที่ 1 จากนั้น ลากเส้นตั้งตัดเส้นปฏิบัติการที่จุด $1'$ จากจุด $1'$ ลากเส้นระดับ ตัดเส้นสมดุลที่จุด 2 ทำดังนี้เรื่อยไปจนเลยจุด w ให้นับชั้นที่ป้อนสายป้อนรวมอยู่ในช่วงเพิ่มความเข้มข้นซึ่งมีจำนวน n ชั้น และให้ชั้นของช่วงไล่สารระเหยง่ายมีจำนวน m ชั้น จะได้ว่าจำนวนชั้นในทางทฤษฎีทั้งสิ้นเป็น $n+m$ ชั้น

3.1.5 จำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด

ในกรณีที่อัตราส่วนป้อนกลับมีค่ามหาศาลไม่จำกัด ถ้าใช้วิธีเขียนกราฟของ McCABE-THIELE เส้นปฏิบัติการจะกลายเป็นเส้นทะแยงมุม ซึ่งจะให้จำนวนชั้นทางทฤษฎีมีน้อยที่สุด ในกรณีที่กฎของ Raoult ใช้ได้ และให้ดัชนีการระเหยสัมพัทธ์เป็น α_{av} จะได้ว่า

$$n_m+1 = \frac{\log\left[\left(\frac{x_D}{1-x_D}\right)\left(\frac{1-x_B}{x_B}\right)\right]}{\log \alpha_{av}} \quad \ldots (3.10)$$

3.1.6 อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด R_m

กรณีที่จำนวนชั้น มีมหาศาลไม่จำกัด ถ้าใช้วิธีเขียนกราฟของ McCABE-THIELE จะได้จุดตัดของเส้นปฏิบัติการกับเส้น q อยู่บนเส้นสมดุลพอดี (นั่นคือจุด c) อัตราส่วนป้อนกลับในกรณีนี้เรียกว่า อัตราส่วนป้อนกลับน้อยสุด ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังนี้

$$R_m = \frac{x_D - y_c}{y_c - x_c} \quad \ldots (3.11)$$

ในกรณีที่เส้นสมดุลมีรูปร่างคดงอลงต่ำ R_m ก็คือความชัน (slope) ของเส้นตรงที่ลากจากจุด d มาสัมผัสกับเส้นสมดุลพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การกลั่นระบบหลายองค์ประกอบ

3.2.1 การคำนวณโดยวิธีละเอียด

แบบจำลองของหอกลั่นตามวิธีการคำนวณโดย Equilibrium Base Method กำหนดให้เครื่องควบแน่นเป็นชั้นที่ 1 ชั้นบนสุดเป็นชั้นที่ 2 ชั้นล่างสุดเป็นชั้นที่ n-1 และ หม้อต้มซ้ำเป็นชั้นที่ n ที่แต่ละชั้นประกอบด้วย

F_j = สายป้อนวัตถุดิบ

W_j = ไอชักออกข้าง

U_j = ของเหลวชักออกข้าง

Q_j = ความร้อนชักออกข้าง

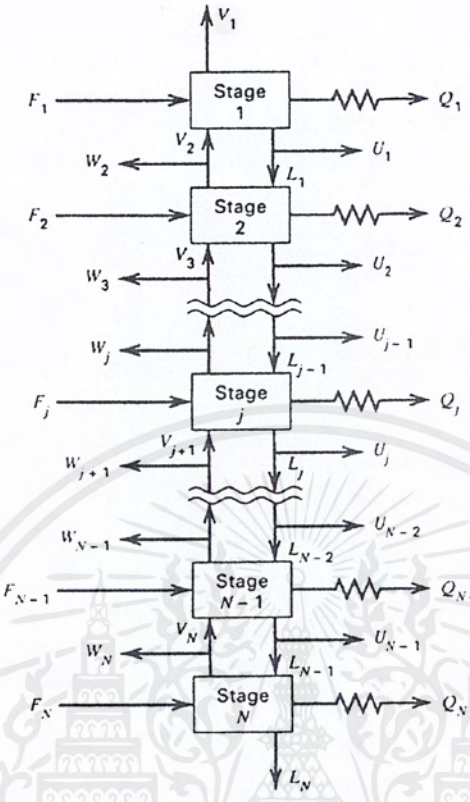
V_j = อัตราไหลของไอภายใน

L_j = อัตราไหลของ ของเหลวภายในหอ

สำหรับชั้นที่ไม่ต้องมีสิ่งเหล่านี้ก็กำหนดให้เป็นศูนย์ได้ ดังนั้นหอกลั่นตามปกติตัวแปรอื่นๆ นอกจาก F_m ,Q_C , Q_R , B จะเป็นศูนย์ทั้งหมด แต่ชั้นตามที่แสดงในรูป สมมติว่าเป็นชั้นอุดมคติ กล่าวคือ เราใช้สมมติฐานว่าไอที่ออกจากชั้นอยู่ในสภาวะสมดุลกับของเหลวบนชั้นนั้น

โดยมีแผนภาพการคำนวณดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงการถ่ายเทมวลและพลังงานของแต่ละชั้น

ในการคำนวณ จะใช้สมการที่เรียกว่า MESH ซึ่งมีความหมายคือ

M = สมการดุลมวลสาร

E = สมการ สมดุล

S = สมการ รวมสัดส่วนโมลของทุกองค์ประกอบ

H = สมการดุลความร้อน

สมการ MESH เป็นสมการซึ่งแสดงแทนแบบจำลองดังรูปข้างต้น โดยมีความสัมพันธ์เป็นดังนี้

สมการ M

$$M_{ij}(x_{ij},V_j,T_j) = L_{j-1}\,x_{i,j-1} - (V_j+W_j)y_{ij} - (L_j+U_j)x_{ij} + V_{j+1}y_{i,j+1} + F_jz_{ij} = 0 \qquad \ldots (3.12)$$

สมการ E

$$E_j(x_{ij},V_j,T_j) = y_{ij} - K_{ij}x_{ij} = 0 \qquad \ldots (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ S

$$S_j(x_{ij},V_j,T_j) = \sum_{i=1}^{m} y_{ij} - 1 = 0 \qquad \ldots (3.14)$$

หรือ

$$Sj(X_{ij},V_j,T_j) = \sum_{i=1}^{m} x_{ij} - 1 = 0 \qquad \ldots (3.15)$$

สมการ H

$$H_{ij}(x_{ij},V_j,T_j) = L_{j-1}h_{j-1} - (V_j + W_j)H_j - (L_j + U_j)h_j + V_{j+1}H_{j+1} + F_jH_{Fj} - Q_j = 0 \qquad \ldots (3.16)$$

เมื่อ

M_{ij} = ฟังก์ชันดุลมวลสาร

E_j = ฟังก์ชันสมดุลไอ-ของเหลว

S_j = ฟังก์ชันรวม

H_j = ฟังก์ชันดุลความร้อน

x_{ij} = สัดส่วนโมลในวัฏภาคของเหลวขององค์ประกอบ i ในชั้นที่ j

y_{ij} = สัดส่วนโมลวัฏภาคไอขององค์ประกอบ i ในชั้นที่ j

H_j = เอนธาลปีของวัฏภาคไอในชั้นที่ j (kcal/kg-mol)

h_j = เอนธาลปีของวัฏภาคของเหลวในชั้นที่ j

K_{ij} = อัตราส่วนสมดุลในชั้นที่ j ($= x_{ij}/y_{ij}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่น

การศึกษาเกี่ยวกับถาดหรือชั้นในหอกลั่นในทางทฤษฎีได้ให้สมมติฐานว่าไอที่ออกมาจากถาดจะอยู่ในสมดุลกับของเหลวที่ออกมาจากถาดนั้นๆ แต่อย่างไรก็ตามถ้าระยะเวลาที่สัมผัสกับถาดและองศาของการผสมไม่ได้อยู่ในสถาวะที่เหมาะสม ไอที่ออกมาจากถาดก็จะไม่อยู่ในสมดุลกับของเหลวที่ออกมาจากถาด ซึ่งหมายความว่าประสิทธิภาพของถาดในไอกลั่นไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้จะต้องมีการออกแบบให้หอกลั่นมีถาดที่ใช้จริงมากกว่าในทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยก

ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นนั้นสามารถจำแนกออกได้ 3 ชนิดด้วยกันคือประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นโดยรวม (Overall Tray Efficiency; E_0) ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นของเมอร์ฟรี (Murphree Tray Efficiency; E_M) และประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นแบบจุด (Point or Lacal Tray Efficiency; E_{MP})

3.3.1 ชนิดของประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่น

ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นหรือหอดูดซึมโดยรวม (Overall Tray Efficiency; E_0) ประสิทธิภาพชนิดนี้พิจารณาทั่วทั้งหอกลั่นสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายและได้นิยามไว้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนถาดในทางทฤษฎีกับจำนวนถาดที่แท้จริงในหอกลั่น

$$E_0 = \frac{\text{จำนวนถาดในทางทฤษฎี}}{\text{จำนวนถาดทีแท้จริงในหอกลั่น}} \qquad \ldots(3.17)$$

ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นของเมอร์ฟรี (Murphree Tray Efficiency; E_M) ประสิทธิภาพชนิดนี้ได้นิยามไว้ดังสมการ

$$E_M = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} \qquad \ldots(3.18)$$

เมื่อ y_n = ความเข้มข้นเฉลี่ยที่แท้จริงของของผสมในวัฏภาคไอที่ออกมาจากถาดที่ n

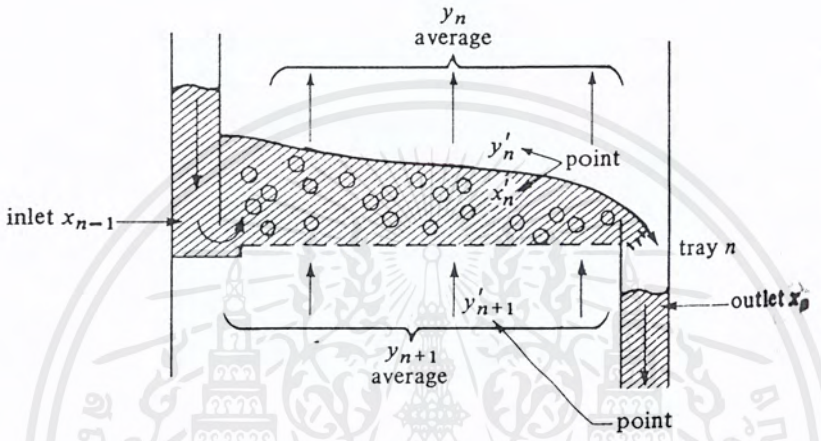
y_{n+1} = ความเข้มข้นเฉลี่ยที่แท้จริงของของผสมในวัฏภาคไอที่เข้าถาดที่ n

y_n^* = ความเข้มข้นของวัฏภาคไอที่อยู่ในสมดุลกับวัฏภาคของเหลวที่ความเข้มข้น x_n ซึ่งออกจากถาดลงสู่ส่วนล่างของหอกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ของเหลวขาเข้าถาดจะมีความเข้มข้น x_{n-1} และออกจากถาดด้วยความเข้มข้น x_n ดังแสดงในรูปที่ 3.4 มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของของเหลวขณะไหลผ่านถาด แต่ในส่วนของไอจะไหลเข้าสู่ถาดจะสัมผัสกับของเหลวที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันทำให้ไอที่ออกมีความเข้มข้นไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 3.4 แสดงผลของส่วนประกอบของไอและของเหลวบน Sieve Tray

ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นแบบจุด (Point Efficiency) นิยามได้ดังนี้

$$E_{MP} = \frac{y'_n - y'_{n+1}}{y^*_n - y'_{n+1}} \qquad \ldots (3.19)$$

เมื่อ y'_n = ความเข้มข้นของวัฏภาคไอที่ออกจากถาดที่จุดใดจุดหนึ่งในถาดที่ n ดังแสดงในรูปที่ 3.4

y'_{n+1} = ความเข้มข้นของวัฏภาคไอที่เข้าสู่ถาดที่ n ที่จุดเดียวกัน

y^{*}_n = ความเข้มข้นของวัฏภาคไอที่อยู่ในสมดุลกับวัฏภาคของเหลวที่ความเข้มข้น x'_n ในจุดเดียวกันโดยที่ y'_n จะต้องมีค่าไม่มากกว่า y^{*}_n และประสิทธิภาพชนิดนี้ต้องมีค่าไม่มากกว่า 1 หรือไม่เกิน 100 %

สำหรับหอกลั่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก ส่วนของวัฏภาคไอจะไหลแบบคงตัวทั่วทั้งถาด ดังนั้นความเข้มข้นขาออกของของเหลวที่ออกจากถาดจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นที่อยู่บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42391

ถาด ดังนั้น $y_n' = y_n$, $y_{n+1}' = y_{n+1}$ และ $y_n'^* = y_n^*$ ทำให้ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นแบบจุดเท่ากับประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นหรือหอดูดซึมของเมอร์ฟรี หรือ $E_{MP} = E_M$

สำหรับหอกลั่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ จะเกิดการผสมที่ไม่สม่ำเสมอของวัฏภาคไอทั่วทั้งถาด วัฏภาคไอบางส่วนจะสัมผัสกับวัฏภาคของของเหลวขาเข้าที่มีความเข้มข้น x_{n-1} ซึ่งมีปริมาณขององค์ประกอบ A มากกว่าในความเข้มข้น x_n ทำให้ไอที่จุดจุดนั้นมีมากกว่าจุดที่ ออกมา ในกรณีนี้ E_M จะมีค่ามากกว่า E_{MP} สามารถหาค่า E_M ได้โดยอินทิเกรต E_{MP} ตลอดทั้งถาด

3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ

ความสัมพันธ์ระหว่าง E_{MP} กับ E_M สามารถหาได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ถ้าทราบปริมาณของของเหลวผสมและปริมาณของของผสมไอ อนุพันธ์ของประสิทธิภาพทั้ง 3 ชนิดหาได้โดย Robinson และ Gilliland อย่างไรก็ตามจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองก็มีความจำเป็นในการใช้หาปริมาณของการผสม นอกจากนี้ยังมีอีกทฤษฎีที่ให้รายละเอียดไว้โดย Van Winkle

เมื่อทราบค่าประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นของเมอร์ฟรี (E_M) จะสามารถหาค่าประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นโดยรวม (E_0) ได้หลายวิธีด้วยกัน วิธีแรกจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อค่าความชัน (m) ของเส้นสมดุล (Equilibrium line) และค่าความชัน (L/V) ของเส้น Operating line เป็นค่าคงที่ ซึ่งความสัมพันธ์จะแสดงได้ดังสมการ

$$E_0 = \frac{\log\left[1 + E_M(mV/L - 1)\right]}{\log(mV/L)} \qquad \ldots(3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

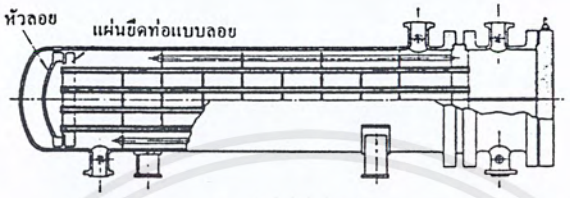
3.4.1 การแบ่งประเภทอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อแบ่งออกเป็น 2 จำพวกใหญ่ ๆ คือ จำพวกท่อในแนวระดับและจำพวกท่อในแนวดิ่ง เครื่องจำพวกท่อในแนวระดับเป็นแบบธรรมดาที่สุด ในกรณีที่บริเวณติดตั้งมีจำกัด หรือในกรณีที่ระบบท่อหรือมาตรการติดตั้งบีบบังคับให้ท่อถ่ายเทความร้อนต้องตั้งอยู่ในแนวดิ่งเท่านั้นจึงจะใช้เครื่องจำพวกท่อในแนวดิ่งเนื่องจากค่าความดันสูญเสียของเครื่องจำพวกท่อในแนวดิ่งที่ของไหลไหลผ่านเพียงเที่ยวเดียว (Single Pass) มีน้อย เครื่องจำพวกนี้จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นเครื่องระเหย (Evaporator), เครื่องควบแน่น (Condenser) และเครื่องต้มซ้ำแบบกาลักน้ำเชิงความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น ชนิดแผ่นยึดท่ออยู่กับที่ และชนิดหัวลอย โดยแสดงตามรูปที่ 3.5 และ3.6

รูปที่ 3.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นยึดท่อสองชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแบบหัวลอย

3.4.2 การเลือกประเภทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในกรณีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ แบบของเครื่องจะถูกตัดสินโดยลักษณะงานที่ใช้เป็นส่วนใหญ่ ถึงกระนั้นก็ดีการออกแบบที่ถูกต้องจะต้องคำนึงถึงรายละเอียดอื่น ๆ เช่น รูปร่างของแผ่นกั้น (Baffle), การวางระยะของแผ่นกั้น, สภาพการไหล เป็นต้น ให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ด้วย เครื่องแบบกาต้มน้ำ (Kettle) มีโครงสร้างที่เหมาะกับกรณีที่ของไหลในเชลล์เดือดเป็นไอ ดังนั้นจึงใช้เป็นเครื่องต้มซ้ำ (Reboiler) กันมากเครื่องแบบแบ่งการไหล (Divided Flow) แบบแยกการไหล (Split Flow) และแบบแยกการไหล 2 ชั้น (Double Split Flow) เหมาะสำหรับการควบแน่น (Condensation) ของของไหล แต่มีบางครั้งที่เครื่องแบบแยกการไหลถูกใช้เป็นเครื่องต้มซ้ำด้วย เครื่องแบบท่อตัวยูเหมาะสำหรับกรณีที่ปริมาณการถ่ายเทความร้อนน้อยและของไหลในท่อมีความดันสูง ส่วนเครื่องแบบแผ่นยึดท่อ 2 ชั้น (Double-Tube-Sheet Exchanger) เหมาะกับงานที่ของไหลในเชลล์และของไหลในท่อรั่วไหลปนกันไม่ได้เด็ดขาด

ในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน (Oil Refinery Industry) และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (Petrochemical Industry) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหัวลอย (Floating Head) นิยมใช้กันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด เพราะมีคุณสมบัติเฉลี่ยดีในแง่ต่าง ๆ แต่มีข้อยกเว้นคือ เครื่องแบบหัวลอยชนิดมีของอุด (Packed Floating Head) ควรใช้สำหรับกรณีที่ความดันต่ำกว่า 10 บาร์ เพื่อป้องกันปัญหาอากาศรั่ว ส่วนเครื่องแบบหัวลอยชนิดมีสิ่งหนุนหลัง (Floating Head with Backing Device) ควรใช้สำหรับความดันไม่เกิน 50 บาร์ ในกรณีที่ความดันของของไหลในท่อสูงกว่า 50 บาร์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อตัวยู (U-Tube Exchanger) หรือเครื่องแบบหัวลอยชนิดดึงออกได้ตลอด (Pull-Through Floating Head) จะเหมาะที่สุด

ในกรณีที่จำนวนเที่ยวการไหลในท่อเป็นแบบเที่ยวเดียว (Single Pass) การไหลจะเป็นแบบไหลสวนทาง (Counter Flow) อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจะสูงแต่จะมีปัญหาทางด้านโครงสร้างและการบำรุงรักษา ในกรณีที่จำนวนเที่ยวการไหลในเชลล์เป็นแบบ 2 เที่ยว จะเกิดปัญหาการไหลลัดทาง (By-passing)ในเชลล์ได้ง่าย ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อมาตรฐานจึงมีจำนวนเที่ยวการไหลในเชลล์เพียงเที่ยวเดียว แต่จำนวนเที่ยวการไหลในท่อหลายเที่ยว

รูปร่างมาตรฐานของแผ่นกั้นที่เป็นแบบวางตั้ง (Transverse Baffle) คือ แผ่นกั้นแบบรูปเสี้ยวของวงกลม(Segmental Baffle) ซึ่งมีพื้นที่ส่วนเปิด 20-25 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ก๊าซที่ละลายอยู่ในของเหลวในเชลล์เกิดการแยกตัวออกมาหรือในกรณีที่ไอในเชลล์เกิดการควบแน่นควรวางเรียงแผ่นกั้นในลักษณะที่ทำให้การไหลในเชลล์เป็นแบบซ้ายขวาอยู่ในแนวระดับ ส่วนในกรณีที่เพิ่มความร้อนให้กับของเหลวและก๊าซในขณะเดียวกับที่ผสมไปด้วย ควรวางเรียงแผ่นกั้นในลักษณะที่ทำให้การไหลในเชลล์เป็นแบบขึ้นๆลง ๆ

3.4.3 การถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบ่งออกได้เป็น 2 จำพวกใหญ่ ๆ คือ แบบไหลผ่าน(Flow-Through Type) และแบบสะสมความร้อน(Heat Accumulation Type) ในเครื่องแลกเปลี่ยนความ-ร้อนแบบไหลผ่าน การถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่งจะเกิดผ่านผนังกั้นโดยตรงด้วยเหตุนี้ของไหลทั้ง 2 ชนิดจะต้องไหลอยู่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเวลาเดียวกัน ส่วนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสะสมความร้อนของไหลที่มีหน้าที่ให้และรับความร้อนจะผลัดกันไหลผ่านเครื่อง ในการไหลสลับกันนี้ของไหลที่รับความร้อนจะรับความร้อนที่ได้เก็บสะสมไว้ในเครื่องหลังจากของไหลที่ให้ความร้อนได้ไหลผ่านเครื่อง ดังนั้นต้องสับเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

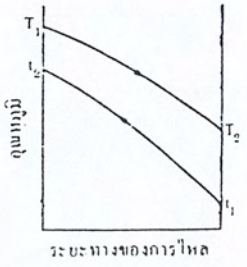
การไหลของของไหลทั้งสองชนิดผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีเกือบทั้งหมดเป็นแบบไหลผ่าน จะไม่กล่าวถึงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสะสมความร้อนในที่นี้อีกต่อไป

ลักษณะการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านอาจแบ่งได้ตามทิศทางการไหลของของไหลเป็น 3 ประเภทคือ แบบไหลขนาน(Parallel Flow) แบบไหลสวนทาง (Countercurrent Flow) และแบบไหลตั้งฉาก (Cross Flow) ในเครื่องแบบไหลขนานของไหลร้อนกับของ-ไหลเย็นจะไหลในทิศทางเดียวกันในขณะที่เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกั้น อุณหภูมิของของ-ไหลร้อนจะค่อยๆลดลง ในขณะเดียวกับที่อุณหภูมิของของไหลเย็นเพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วนในเครื่องแบบไหลสวนทางของไหลร้อนและของไหลเย็นที่มีทิศทางการไหลตรงกันข้าม อุณหภูมิของของไหลร้อนจะค่อยๆลดลงในทิศทางหนึ่ง ในขณะที่อุณหภูมิของของไหลเย็นจะเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม

รูปที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน

รูปที่ 3.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของของไหลตามระยะทางของการไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน ของไหลที่ให้ความร้อนไหลเข้าเครื่องแลก-เปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ T_1 และไหลออกจากเครื่องที่อุณหภูมิ T_2 หลังจากถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลเย็น ในขณะเดียวกัน ของไหลที่รับความร้อนไหลเข้าเครื่องที่อุณหภูมิ t_1 และไหลออกจากเครื่องที่อุณหภูมิ t_2 ในกรณีนี้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล $(T_1 - t_1)$ ที่ทางเข้าจะใหญ่กว่าผลต่าง $(T_2 - t_2)$ ที่ไหลออกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

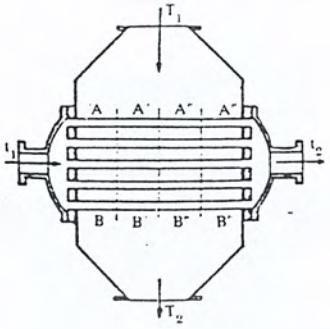


รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง

รูปที่ 3.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะทางของการไหลสำหรับเครื่องแลก-เปลี่ยนความร้อนซึ่งการไหลเป็นแบบสวนทาง ในกรณีนี้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหลที่ปลายด้านอุณหภูมิสูงคือ (T_1 - t_2) และผลต่างที่ปลายด้านอุณหภูมิต่ำคือ (T_2 - t_1)

ในกรณีที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวเพิ่มความร้อนให้กับของไหลชนิดอื่น อุณหภูมิของของไหลที่ให้ความร้อนจะมีค่าคงที่ ไม่ขึ้นกับระยะทางของการไหลในทำนองเดียวกัน ในกรณีที่ใช้ของไหลระเหยง่ายระบายความร้อนจากของไหลชนิดอื่นยกตัวอย่างเช่น เครื่องทำความเย็น โดยใช้แอมโมเนีย (Ammonia Refrigerant) อุณหภูมิของของไหลที่รับความร้อนจะคงที่และเป็นเส้นตรงในแนวระดับเมื่อเขียนกราฟของอุณหภูมิกับระยะทางของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก

รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก ในกรณีนี้ การถ่ายเทความร้อนที่จุด A จะเกิดขึ้นระหว่างของไหลร้อนที่อุณหภูมิทางเข้า T_1 และของไหลเย็นที่อุณหภูมิทางเข้า t_1 เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนที่จุด A แต่อุณหภูมิของของไหลเย็นที่จุด A' จะสูงกว่าที่จุด A ด้วยปริมาณ dt แม้ว่าอุณหภูมิของของไหลเย็นที่จุด B จะเป็น t_1 เท่ากับที่จุด A แต่อุณหภูมิของของไหลร้อนที่จุด B จะต่ำกว่าจุด A ด้วยปริมาณ dT สรุปแล้วอุณหภูมิของของไหลเย็นที่จุด A กับที่จุด B ย่อมไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้การคำนวณการถ่ายเทความร้อนอย่างละเอียดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก จึงสลับซับซ้อนกว่าของเครื่องแบบไหลสวนทางหรือไหลขนาน

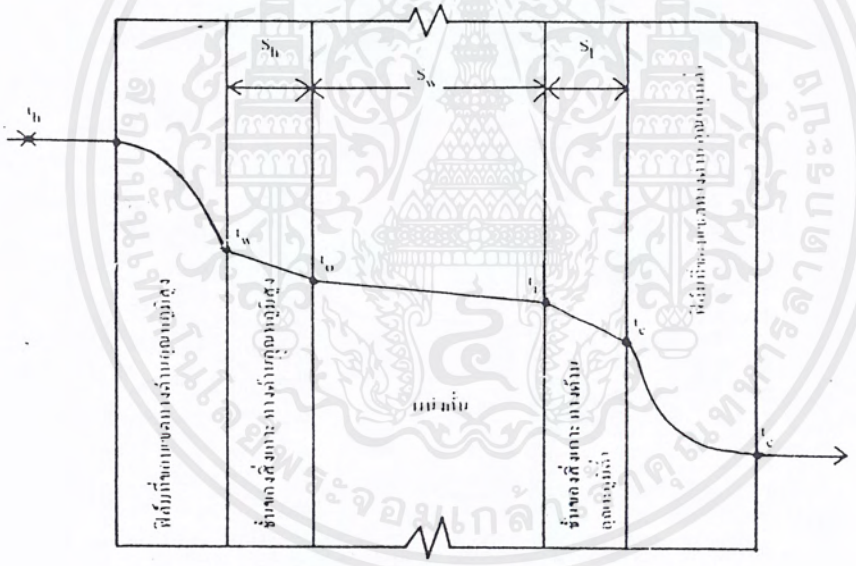
โดยทั่วไปแล้วลักษณะการไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีจะไม่เป็นแบบไหลสวนทาง ไหลขนานหรือไหลตั้งฉากอย่างหนึ่งอย่างใดแต่เพียงอย่างเดียว แต่จะเป็นการไหลหลายแบบปะปนกัน

3.4.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient)

ความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถ่ายเทจากของไหลอุณหภูมิสูงผ่านผนังท่อหรือผนังกั้นไปยังของไหลอุณหภูมิต่ำ รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการไหลของความร้อนจากของไหลร้อนผ่านผนังกั้นไปยังของไหลเย็น ความร้อนจากของไหลอุณหภูมิสูงถ่ายเทมาถึงยังบริเวณใกล้กับผนังกั้นโดยการพาความร้อน ที่จุดนี้การถ่ายเทความร้อนจะถูกต้านทานโดยชั้นแผ่นฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Boundary Film) ซึ่งคลุมผิวของผนังกั้น โดยทั่วไปแล้วความนำความร้อนของของไหลจะมีค่าต่ำมาก ดังนั้นผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของฟิล์ม (t_h) กับอุณหภูมิที่ผิวของชั้นหินปูน หรือสิ่งเกาะติดอื่นๆ บนผนังกั้น (t_w) จะมีค่าสูง หลังจากถึงจุดนี้ความร้อนจะถ่ายเทผ่านชั้นของสิ่งเกาะติดไปยังผิวของผนังกั้นซึ่งมีอุณหภูมิ t_0 หลังจากถ่ายเทผ่านผนังกั้นความร้อนจะถ่ายเทผ่านชั้นของสิ่งเกาะติดทางด้านอุณหภูมิต่ำแล้วผ่านฟิล์มที่ขอบเขตไปยังของไหลอุณหภูมิต่ำ (t_c) ความหนาของชั้นของสิ่งเกาะติดและค่าความนำความร้อนจะขึ้นกับคุณสมบัติของของไหล และเงื่อนไขการใช้งาน ดังนั้นทั้งสองอย่างนี้มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนอย่างมาก



รูปที่ 3.10 การไหลของความร้อนผ่านผนังกั้นราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับอุณหภูมิของชั้นต่าง ๆ คำนวณได้ดังต่อไปนี้

(1) อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มที่ขอบเขตทางด้านอุณหภูมิสูง

$$q_1 = h_0 A(t_h - t_w) \quad \ldots(3.17)$$

(2) อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของสิ่งเกาะติดทางด้านอุณหภูมิสูง

$$q_2 = \frac{A\Delta t_h}{r_h} = \frac{A(t_w - t_0)}{S_h / \lambda_h} \quad \ldots(3.18)$$

(3) อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกั้น

$$q_3 = \frac{A\Delta t_w}{r_w} = \frac{A(t_0 - t_i)}{S_w / \lambda_w} \quad \ldots(3.19)$$

(4) อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของสิ่งเกาะติดทางด้านอุณหภูมิต่ำ

$$q_4 = \frac{A\Delta t_e}{r_e} = \frac{A(t_i - t_e)}{S_l / \lambda_e} \quad \ldots(3.20)$$

(5) อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มที่ขอบเขตทางด้านอุณหภูมิต่ำ

$$q_5 = h_i A(t_e - t_c) \quad \ldots(3.21)$$

ที่สภาวะคงที่อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นความต้านทานแต่ละชั้นย่อมเท่ากันหมดนั่นคือ

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q_5 = Q \quad \ldots(3.22)$$

ในกรณีนี้อัตราการถ่ายเทความร้อน Q คำนวณได้จาก

$$Q = UA(t_h - t_c) = UA\Delta T \quad \ldots(3.23)$$

ในที่นี้

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + r_h + r_w + r_e + \frac{1}{h_i}} \quad \ldots(3.24)$$

$$\Delta T = t_h - t_c \quad \ldots(3.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ h_0 และ h_i ในสมการ (3.24) มีชื่อเรียกว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์ม (Film Heat Transfer Coefficient) ทางด้านอุณหภูมิสูง และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มทางด้านอุณหภูมิต่ำตามลำดับ หน่วยของ h_0 และ h_i คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยต่อเวลาหนึ่งหน่วยต่อผลต่างของอุณหภูมิหนึ่งหน่วย เช่น W/m^2 K, Btu/ft^2 hr. ^0F หรือ $kcal/m^2$ hr ^0C

ส่วน U มีชื่อเรียกว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient) และมีหน่วยเหมือนกับ h_0 , h_i อนึ่ง r_h, r_w และr_e คือ ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Resistance)ของชั้นของสิ่งเกาะทางด้านอุณหภูมิสูง, ของผนังกั้น และของชั้นของสิ่งเกาะทางด้านอุณหภูมิต่ำตามลำดับ

3.4.5 เครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่นเป็นเครื่องมือที่ใช้ทำการเปลี่ยนสถานะไอของสารให้เป็นสถานะของเหลว โดยดึงความร้อนแฝงออกจากสารนั้น ซึ่งความร้อนแฝงจะถูกดึงออกโดยให้ถ่ายเทความร้อนกับของเหลวที่เย็นกว่าซึ่งเราเรียกว่าสารหล่อเย็น ถ้าอุณหภูมิของสารหล่อเย็นในเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้นเครื่องนี้จะเป็นเครื่องทำความร้อนได้ด้วย แต่โดยหน้าที่หลักของเครื่องนี้จะทำการควบแน่นซึ่งขัดแย้งกับความหมายด้านบน เครื่องควบแน่นแบ่งได้เป็น 2 แบบ แบบแรกคือ แบบเชลล์กับท่อ ส่วนไอกับสารหล่อเย็นจะแยกกันโดยพื้นผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่สองคือแบบสัมผัสสารหล่อเย็นกับส่วนที่เป็นไอทั้งสองส่วนใหญ่มักจะเป็นน้ำ และจะผสมกันแล้วออกจากเครื่องควบแน่นรวมกันเป็นเพียงกระแสเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

โปรแกรม HYSYS และขั้นตอนในการดำเนินงาน

4.1 บทนำ

HYSYS เป็นโปรแกรมการจำลอง (Simulation) ของ บริษัท Hyprotech Ltd. เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของกระบวนการทางเคมี (Process Simulation) โดยมีความสามารถที่จะแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วและมีความน่าเชื่อถือ

HYSYS เป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้สามารถให้สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นโดยการที่สามารถดำเนินการ (run) ในหน้าต่าง (window) ได้

HYSYS นั้นเป็นโปรแกรมที่ถูกออกแบบขึ้นมาโดยตัวโปรแกรมค่อนข้างจะมีความเป็นภาษาพื้นฐาน (Natural Language) คือให้ผู้ใช้ (user) สามารถใช้โปรแกรมได้โดยไม่ต้องศึกษาคำสั่งต่าง ๆ มากมายซึ่งเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นและสามารถใช้โปรแกรมได้ทันที โดยมีคำสั่งช่วย (menu-help) เพื่อช่วยอธิบายในจุดต่าง ๆ ภายในตัวโปรแกรมนั้น

การคำนวณภายในโปรแกรม HYSYS นั้นจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติ คือ เมื่อมีการเปลี่ยนตัวแปรใดภายใน HYSYS ก็จะทำการคำนวณผลใหม่ให้ทันที ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากในการศึกษากรณีหนึ่ง แล้วเราสามารถที่จะเปลี่ยนสารตั้งต้น (feed) เพื่อดูผลิตภัณฑ์ (product) ที่ได้อย่างสะดวกโดยไม่ต้องสร้างกรณีศึกษาขึ้นมาใหม่

ภายในโปรแกรม HYSYS จะประกอบด้วยฐานข้อมูลของสารต่างๆ มากมายทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ และมีวิธีในการคำนวณสมบัติต่าง ๆ (Property Methods) ให้เลือกหลายวิธี เช่น Peng – Robinson (PR) หรือ Soave – Redlich – Kwong (SPK) Equation of State (EOS) เป็นต้น ซึ่งจะเลือกให้เหมาะสมกับงานที่ทำ

ในระหว่างการทำงานด้วย HYSYS นั้นเราสามารถแก้ไขปรับปรุงข้อมูลได้โดยอาศัย interface elements 4 รูปแบบดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. PFD แสดงแบบจำลองของ Flowsheet

2. The Workbook แสดงข้อมูลแบบตาราง

3. The Property view แสดงข้อมูลของ Flowsheet เช่น Stream, Process Unit เป็นต้น

4. The Summary view เพื่อเรียกดูหน่วยของกระบวนการ (Process Unit) ที่กำลังศึกษาอยู่ ซึ่งทำให้เราสามารถทำงานได้ในหลากหลายรูปแบบตามแต่ที่เราต้องการ

4.2 การเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม HYSYS

4.2.1 หลังจากได้ทำการติดตั้งตัวโปรแกรมไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์เรียบร้อยสามารถเปิดใช้งานโปรแกรมได้จากที่คำสั่ง (Start Menu)

4.2.2 จากนั้นจะขึ้นหน้าจอเริ่มต้นเพื่อพร้อมที่จะทำงาน คือสามารถเปิดแฟ้มข้อมูล (Open file) ที่ได้เคยทำไว้แล้วโดยคลิกที่เปิดแฟ้มข้อมูล (Open file) หรือ จะสร้างข้อมูล (file) ใหม่ โดยคลิกที่แฟ้มข้อมูล (New file) เมื่อต้องการจะทำการบันทึกข้อมูลสามารถทำได้โดย คลิกที่บันทึก (Save) และถ้าต้องการออกจากโปรแกรมก็เพียง คลิกที่ออก (Exit) เพื่อจบการทำงาน

4.2.3 เมื่อทำการเริ่มจำลองกระบวนการโดย เปิดจากแฟ้มข้อมูลใหม่ (New file) โปรแกรมจะขึ้นหน้าต่าง Simulation Basis Manager เพื่อใช้สำหรับป้อนสมการที่ใช้ในการคำนวณ ชนิดสารต่าง ๆ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการ โดยจะต้องป้อนข้อมูลไม่ว่าจะเป็นสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ให้ครบถ้วน ซึ่งข้อมูลสารต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกเก็บไว้ในส่วนของ Fluid packages (Fluid-Pkgs) โดยจะต้องทำการเพิ่ม (Add) ใหม่ก่อนในครั้งแรก ข้อมูลนี้จะเก็บไว้ในชื่อเบซิส (Basis) ซึ่งในหน้าต่างนี้จะแสดงถึง จำนวนองค์ประกอบ (component) และ สมการที่ใช้ในการคำนวณ

4.2.4 หลังจากเริ่มทำการเพิ่ม (Add) แล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างของ Fluid Package เพื่อให้ทางผู้ใช้ (User) ป้อนข้อมูลเพื่อกำหนดสมการที่ใช้ในการคำนวณ

4.2.5 ต่อมาจึงเริ่มทำการป้อนข้อมูลสารที่ใช้ในกระบวนการในหน้าขององค์ประกอบ (components)

4.2.6 หลังจากที่เราได้ทำการป้อนข้อมูลต่าง ๆ อย่างครบถ้วนแล้ว จึงปิดหน้าต่างดังกล่าวเพื่อกลับไปยังหน้าต่างของ Simulation Basis Manager อีกครั้ง แล้วจึงเริ่มต้นการจำลองกระบวนการต่าง ๆ โดยคลิกไปที่ Simulation Environment จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าจอ Process Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Diagram (PFD) ว่างเปล่าเพื่อใช้สำหรับวางสัญลักษณ์ (Icon) ของอุปกรณ์ (Equipment) ต่าง ๆ อาทิ เช่น ถังปฏิกรณ์(Reactor), ปั๊ม(Pump), หอกลั่น(Distillation column), เครื่องทำความร้อน(Heater) โดยมีสายป้อน (stream) เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ (Equipment) เพื่อทำการจำลองกระบวนการที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

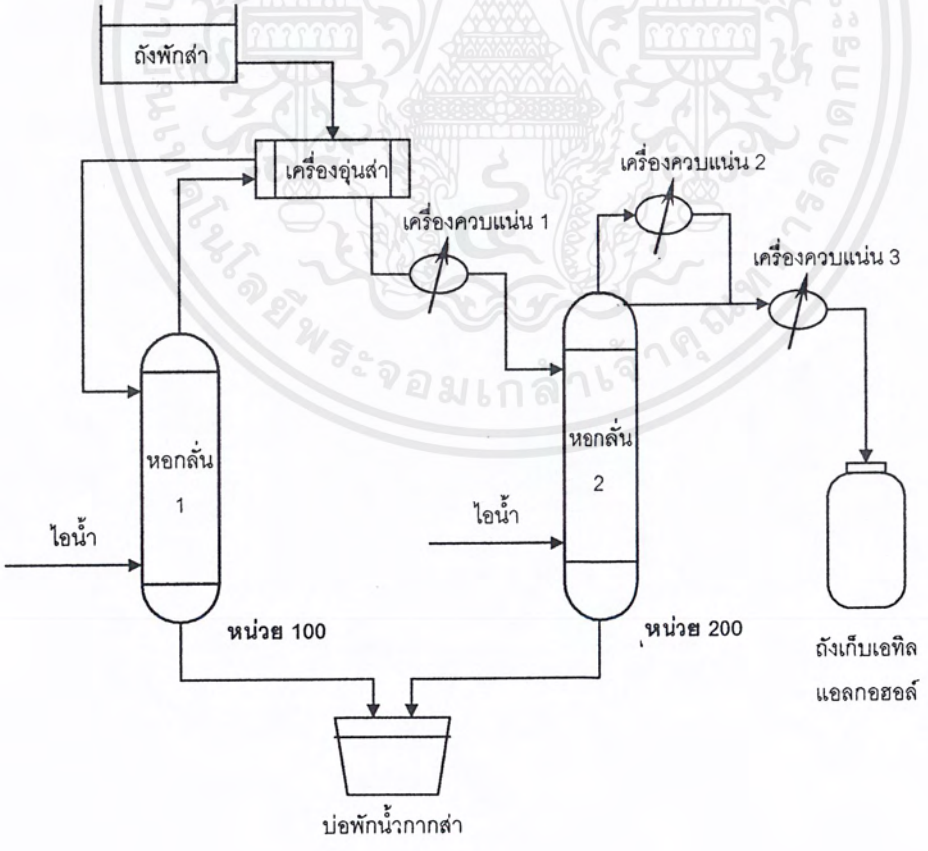
การจำลองกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์

โรงงานที่เลือกมาทำการศึกษานี้เป็นโรงงานในโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ทำการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล โดยใช้กากน้ำตาลที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ($C_6H_{12}O_6$) ประมาณ 47 – 56 เปอร์เซ็นต์ มาละลายให้ได้น้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ในกระบวนการผลิตนี้เราจะแยกหน่วยการกลั่นเป็น 2 หน่วยคือ

- หน่วยกลั่นส่า (100)
- หน่วยกลั่นแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (200)

โดยมีแผนผังกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนผังกระบวนการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วย 100 หน่วยกลั่นล่า

หน่วยนี้จะทำการเพิ่มความเข้มข้นให้แอลกอฮอล์ โดยจะรับน้ำล่าจากถังพักที่มีแอลกอฮอล์ประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการไหลของล่าที่ป้อนเข้ามีค่าเท่ากับ 350 ลิตรต่อชั่วโมง

ในหน่วยนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เครื่องอุ่นล่า

เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเชลล์และท่อ ประกอบด้วย 2 เชลล์ 1 ท่อ ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำล่าก่อนที่จะเข้าหอกลั่นล่า โดยใช้กระแสร้อนซึ่งคือผลิตภัณฑ์จากยอดหอกลั่นล่าที่มีอุณหภูมิสูงมาให้ความร้อน น้ำล่าจะถูกเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส แล้วจึงส่งไปยังหอกลั่นต่อไป

หอกลั่นล่า

วัตถุประสงค์ของหอกลั่นนี้คือจะทำการกลั่นแยกแอลกอฮอล์ที่ความดันบรรยากาศโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำอิ่มตัวกลั่นให้ได้แอลกอฮอล์ประมาณ 50 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

รายละเอียดของหอกลั่นล่ามีดังนี้

1)	เป็นคอลัมน์ชนิดถาดรู (Sieve tray) จำนวน	18	ถาด
2)	เส้นผ่าศูนย์กลางของหอ	40	เซนติเมตร
3)	ความสูงทั้งหมดของหอ	770	เซนติเมตร
4)	ระยะห่างระหว่างถาด	35	เซนติเมตร
5)	สารป้อนเข้าสู่หอที่ถาดที่ 1		

ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากยอดหอซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 89 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์กำหนดให้เท่ากับ 100 ลิตรต่อชั่วโมง จะถูกส่งเข้าเครื่องควบแน่น 1 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบแน่น 1

ทำหน้าที่ควบแน่นผลิตภัณฑ์ที่ออกจากยอดหอกลั่นส่าให้กลายเป็นของเหลวโดยใช้น้ำหล่อเย็นเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องควบแน่น 1 จะมีอุณหภูมิประมาณ 56 องศาเซลเซียสถูกส่งต่อไปยังหน่วยกลั่นแอลกอฮอล์ต่อไป

หน่วย 200 หน่วยกลั่นแอลกอฮอล์

หน่วยนี้จะรับสารป้อนซึ่งมีแอลกอฮอล์อยู่ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมาทำการเพิ่มความเข้มข้นให้ได้แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 25 ลิตรต่อชั่วโมง ส่วนต่าง ๆ ในหน่วยกลั่นแอลกอฮอล์มีดังนี้

หอกลั่นแอลกอฮอล์

วัตถุประสงค์ของหอนี้คือจะทำการกลั่นแอลกอฮอล์ให้ได้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ

รายละเอียดของหอกลั่นแอลกอฮอล์มีดังนี้

1) เป็นคอลัมน์ชนิดแบบถาดรู จำนวน	55	ถาด
2) เส้นผ่าศูนย์กลางของหอ	24	เซนติเมตร
3) ความสูงทั้งหมดของหอ	923	เซนติเมตร
4) ระยะห่างระหว่างถาด	16	เซนติเมตร

6) สารป้อนเข้าที่ถาดที่ 27

ผลิตภัณฑ์จากยอดหอจะมีอุณหภูมิประมาณ 77 องศาเซลเซียส และมีแอลกอฮอล์ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลเท่ากับ 25 ลิตรต่อชั่วโมง สำหรับผลิตภัณฑ์ใต้หอจะส่งเข้าไปเก็บไว้ในบ่อพักน้ำ กากส่าใช้สำหรับทำปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบแน่น 2

ทำหน้าที่ควบแน่นผลิตภัณฑ์ที่ออกจากยอดหอกลั่นให้กลายเป็นของเหลว ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งจะถูกป้อนกลับเข้าไปในหอกลั่นแอลกอฮอล์เพื่อช่วยเพิ่มความเข้มข้นให้กับแอลกอฮอล์ในหอกลั่น โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องควบแน่น 2 จะมีอุณหภูมิประมาณ 59 องศาเซลเซียสและส่งต่อไปยังเครื่องควบแน่นที่ 3 ต่อไป

เครื่องควบแน่น 3

รับเอาผลิตภัณฑ์ยอดหอกลั่นเข้ามาทำการลดอุณหภูมิลงเป็น 30 องศาเซลเซียสแล้วจึงส่งเข้าไปเก็บในถังเก็บแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์

วิธีการจำลองกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์

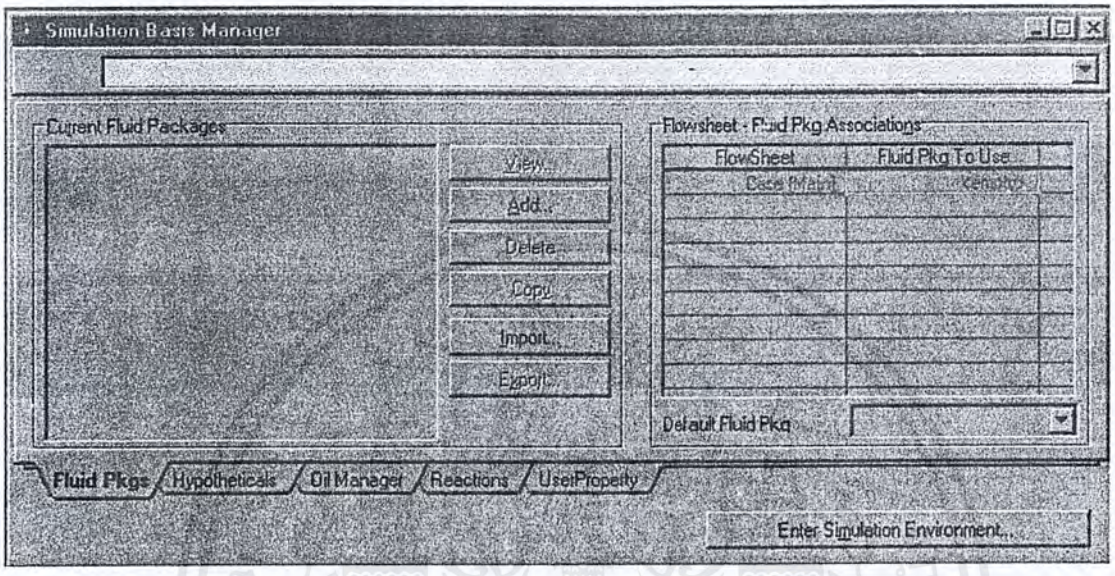
ในการจำลองกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์นี้เราใช้โปรแกรมสำเร็จรูป HYSYS มาช่วยในการจำลองแบบ ในการจำลองเรามีสมมุติฐาน ดังนี้

1) กำหนดให้ส่วนประกอบของสารป้อนมีองค์ประกอบของเอทิลแอลกอฮอล์ และน้ำเท่านั้น ให้ถือว่าส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น แอลดีไฮด์ กลีเซอรอล มีปริมาณน้อยมากจนไม่ต้องนำมาพิจารณา
2) อนุโลมว่าไม่มีความร้อนสูญเสียออกจากระบบ
3) ให้เปอร์เซ็นต์ของแอลกอฮอล์ในสารป้อนมีค่าเท่ากับ 9 เปอร์เซ็นต์
4) ในสภาวะการทำงานจริงของหอกลั่นแอลกอฮอล์ โดยปกติจะไม่มีการป้อนกลับ (Reflux Ratio) แต่ถ้าความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ไม่ได้ 95 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำการป้อนกลับเข้าหอเพื่อกลั่นอีกครั้ง แต่ในการจำลองเราไม่สามารถสร้างระบบดังกล่าวขึ้นมาได้ เราจึงจำลองหอกลั่นแอลกอฮอล์โดยใช้หอกลั่นที่มีการป้อนกลับแบบธรรมดาแทน
5) ให้ประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นทั้งสองแต่ละหอเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์
6) ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในระบบ คำนวณโดยไม่ได้คิดระบบการไหลเวียนของน้ำหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

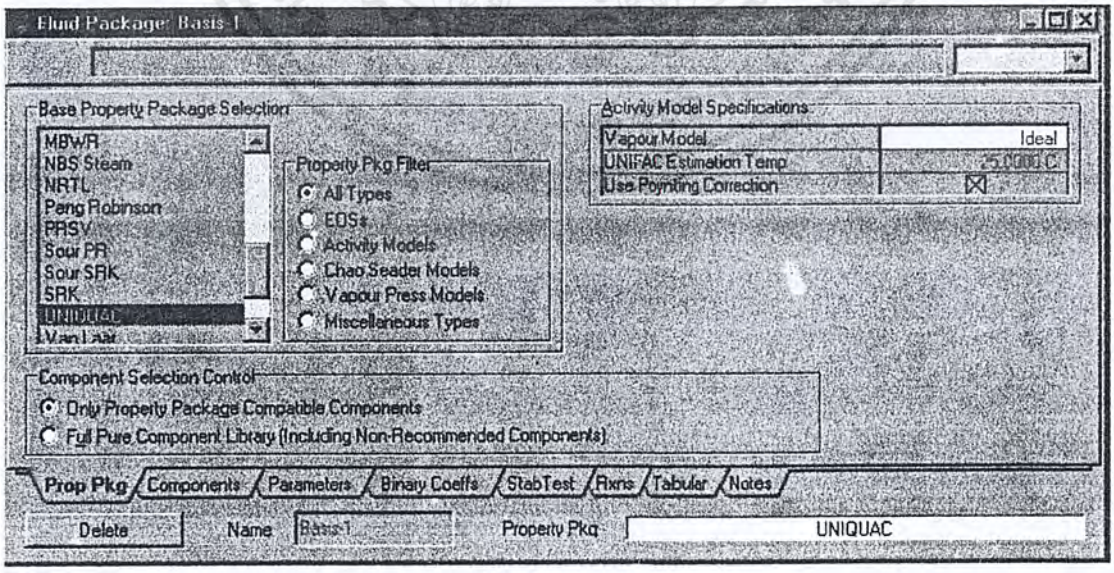
ขั้นตอนการจำลอง

1. เมื่อเข้าสู่โปรแกรม HYSYS แล้ว เลือกหน้าใหม่ (New Case) ตามรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 หน้าจอ Fluid Packages

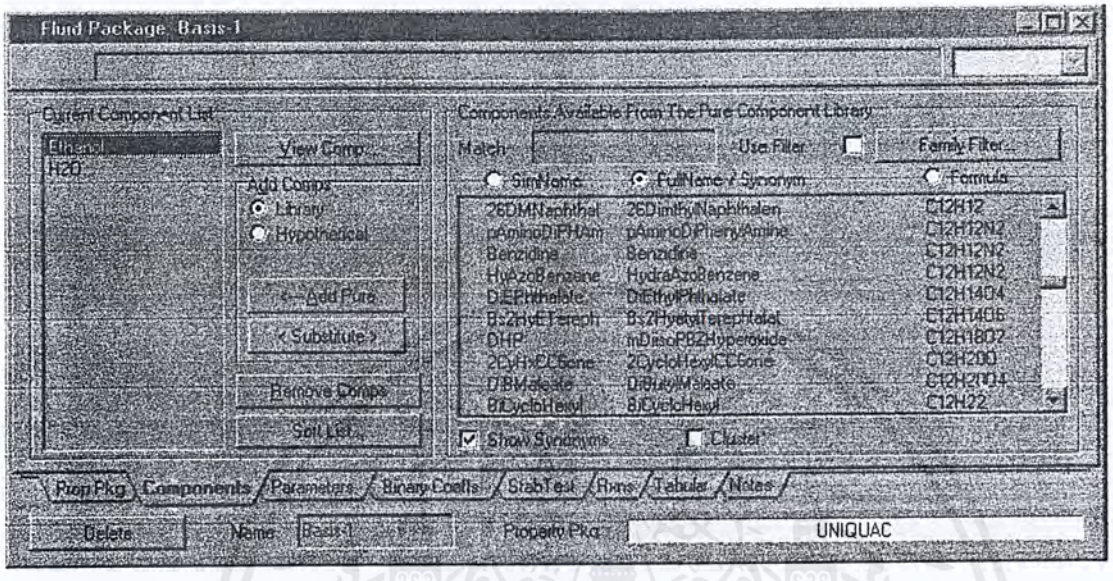
2. เลือก Fluid Packages ในที่นี้ใช้ Property Package ของ UNIQAC ตามที่รูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การเลือก Property Package

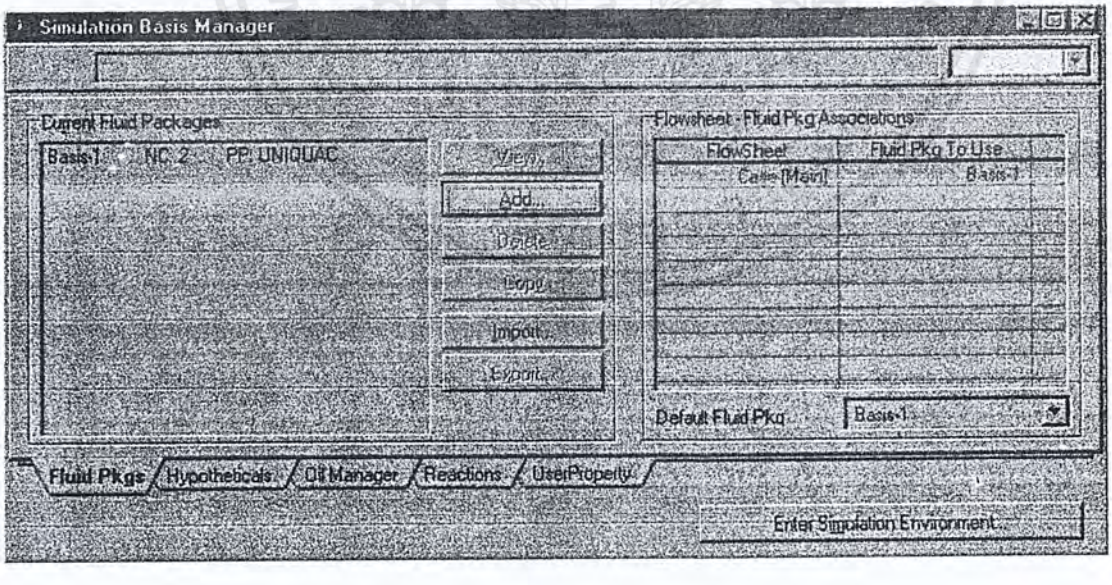
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นเลือกองค์ประกอบลงไปนั้นคือ เอทิลแอลกอฮอล์, น้ำ ตามรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 การเลือก Component

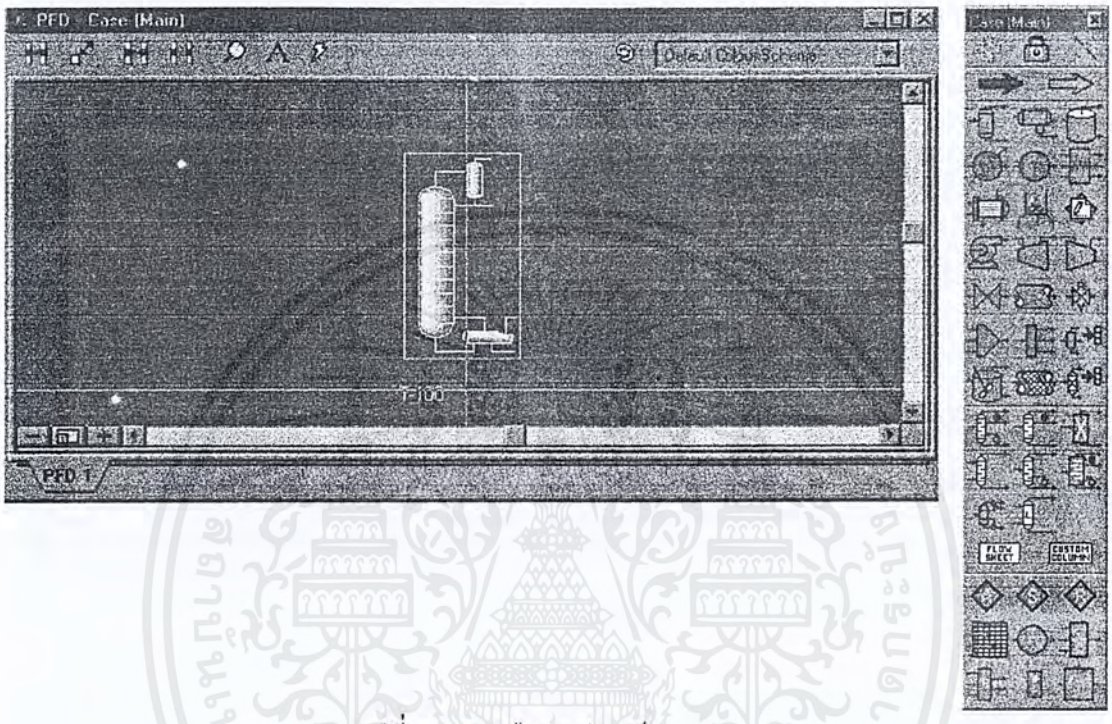
4. กดปุ่มที่สภาวะแวดล้อมของการจำลอง ตามรูปที่ 5.5



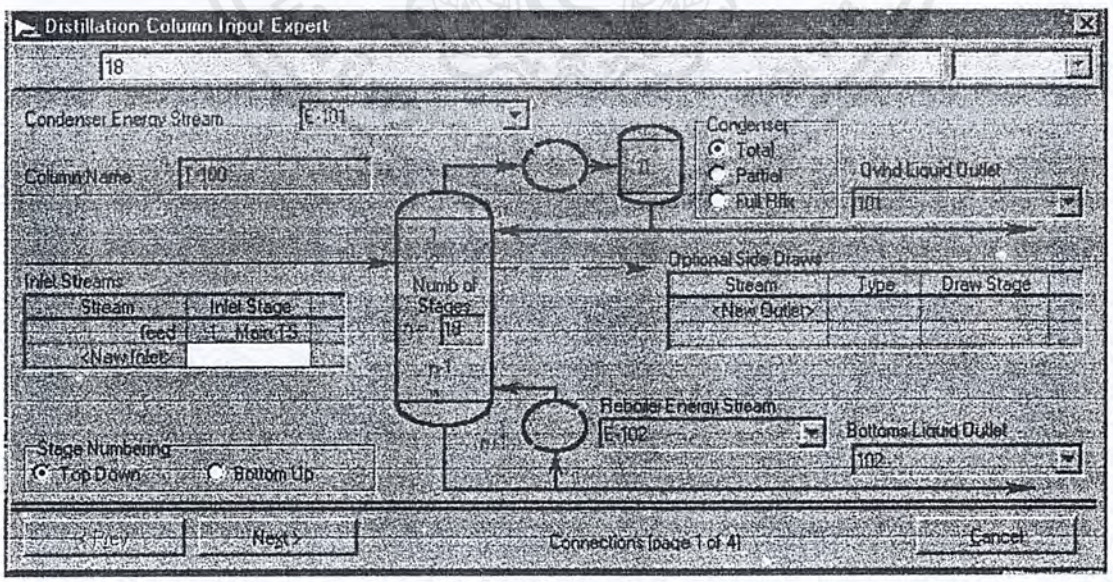
รูปที่ 5.5 การเข้าสู่ Simulation Environment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สร้างหอกลั่น (Distillation Column) นำข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับกระบวนการป้อนเข้าไปตามรูปที่ 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ



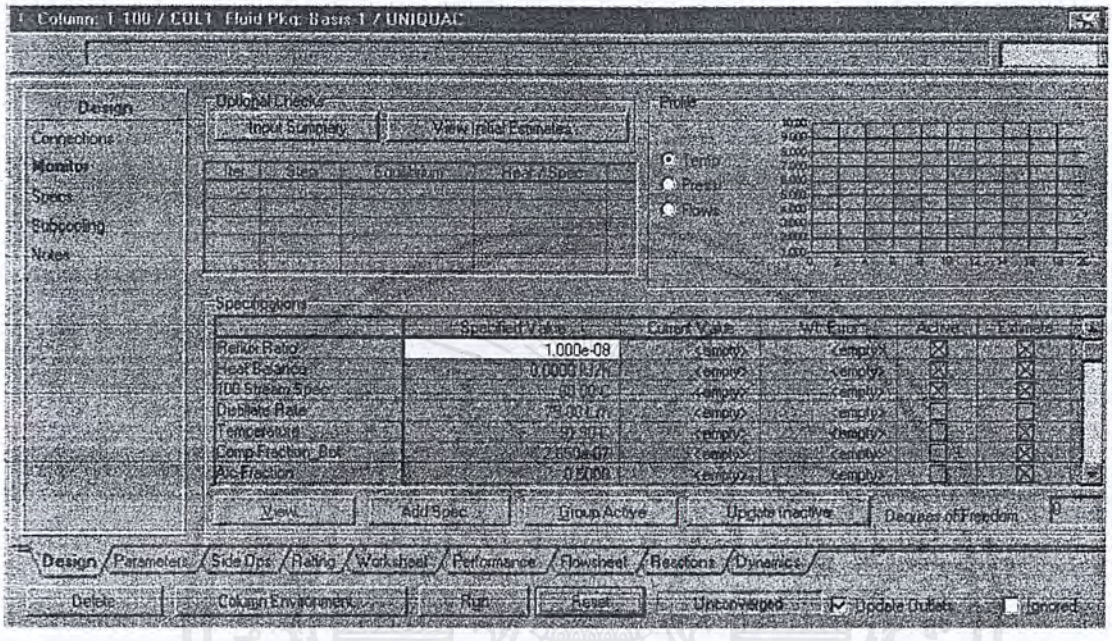
รูปที่ 5.6 การเลือกอุปกรณ์



รูปที่ 5.7 การเติมค่าลงในอุปกรณ์

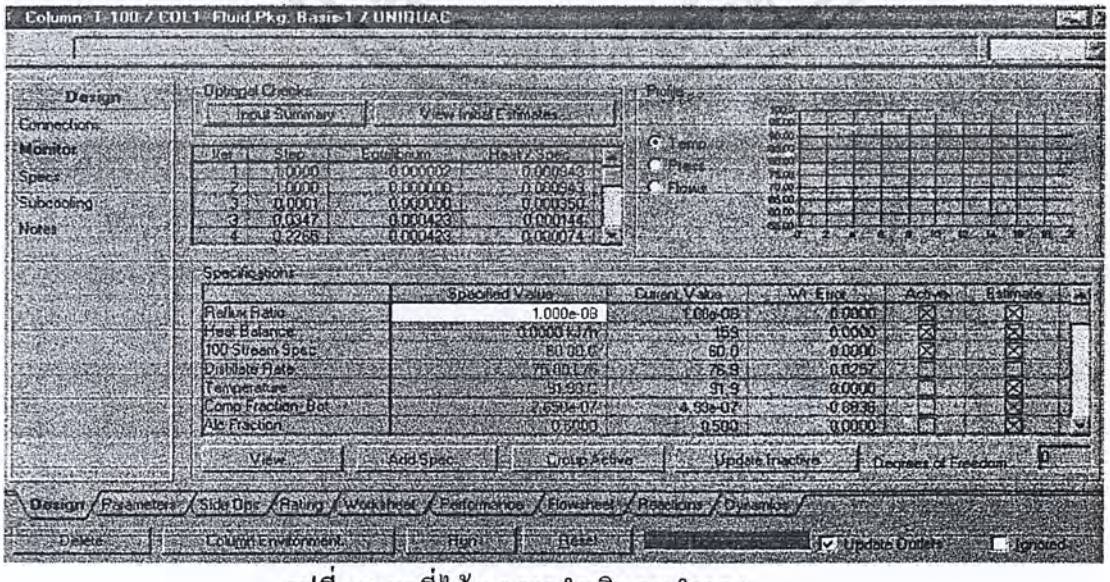
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กำหนดค่า (Specification) ต่างๆ ลงในหน้าต่างของส่วนควบคุม (Monitor) ตามรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 การกำหนดค่าที่ต้องการควบคุม

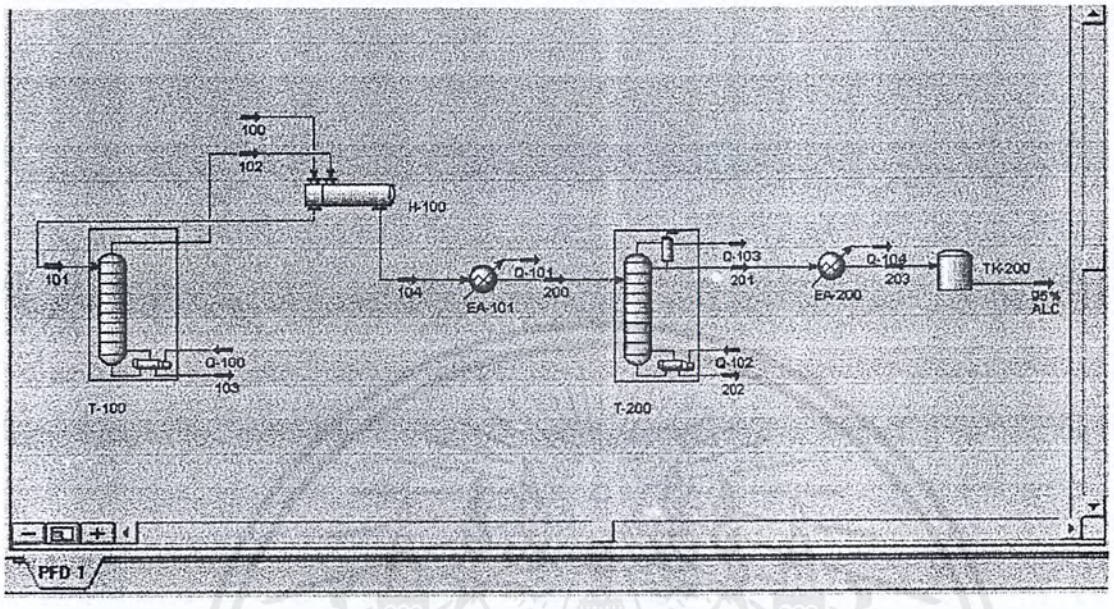
7. สั่งให้ดำเนินการ (Run) ถ้าไม่ converge สั่งให้หยุดปรับค่าที่เรากำหนดจนได้ผลเปลี่ยนแปลง ตามรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 ผลที่ได้จากการดำเนินการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เลือกดู PFD mode ตามรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ผลการดำเนินการที่ผ่านแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

ในการจำลองกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์โดยใช้โปรแกรม HYSYS เราได้ศึกษาผลกระทบต่างๆ โดยปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรเพื่อเป็นแนวทางในการหาสภาวะเหมาะสมในการผลิตการปรับค่าตัวแปรแสดงดังต่อไปนี้

6.1 การจำลองเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นแต่ละหอ

เนื่องจากโปรแกรม HYSYS ในการจำลองแบบหอกลั่นใช้วิธีการคำนวณแบบถาดถึงถาด (Tray to tray) ซึ่งไม่สามารถใช้ค่าประสิทธิภาพของหอกลั่น (Column Efficiency) ได้จึงใช้ค่าประสิทธิภาพของถาด (Tray Efficiency) แทน ในการจำลองได้ทำการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิยอดหอและก้นหอที่คำนวณได้ที่ประสิทธิภาพของถาดต่างๆ กับอุณหภูมิที่ทำการผลิตจริง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.1และ 6.2

ตารางที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของหอกลั่นส่า

ประสิทธิภาพของถาดหอกลั่นส่า (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิที่ยอดหอ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่ก้นหอ (องศาเซลเซียส)		
	ที่ใช้จริง	การจำลอง	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง	ที่ใช้จริง	การจำลอง	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
100	89.0	95.5	7.30	100	100	0
90	89.0	94.3	5.95	100	100	0
80	89.0	92.8	4.27	100	100	0
70	89.0	91.1	2.36	100	100	0
60	89.0	89.2	0.22	100	100	0
50	89.0	86.8	2.47	100	100	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ผลการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของหอกลั่นแอลกอฮอล์

ประสิทธิภาพของถาดหอกลั่นแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิที่ยอดหอ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่ก้นหอ (องศาเซลเซียส)		
	ที่ใช้จริง	การจำลอง	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง	ที่ใช้จริง	การจำลอง	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
100	77.0	78.06	1.38	90.0	88.56	1.60
90	77.0	77.89	1.15	90.0	88.56	1.60
80	77.0	77.68	0.88	90.0	88.56	1.60
70	77.0	77.39	0.51	90.0	88.56	1.60
60	77.0	77.0	0	90.0	88.56	1.60
50	77.0	76.45	0.71	90.0	88.56	1.60

จากผลการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นทั้งสองอยู่ที่ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้ค่านี้ในการจำลองต่อไป

6.2 กรณีศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิต

ในการจำลองกระบวนการได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรได้แก่ ปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าหม้อต้มซ้ำของหอกลั่นส่า อุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์รวมทั้งการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อน เพื่อใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโดยที่กำหนดให้กำลังการผลิตแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ยังคงเดิมคือ 25 ลิตรต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพของถาดในหอกลั่นทั้งสองเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์

6.2.1 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นส่า

เมื่อทำการลดปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นส่าลงพบว่าจะทำให้อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ยอดหอลดลง แต่ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ตารางที่ 6.3

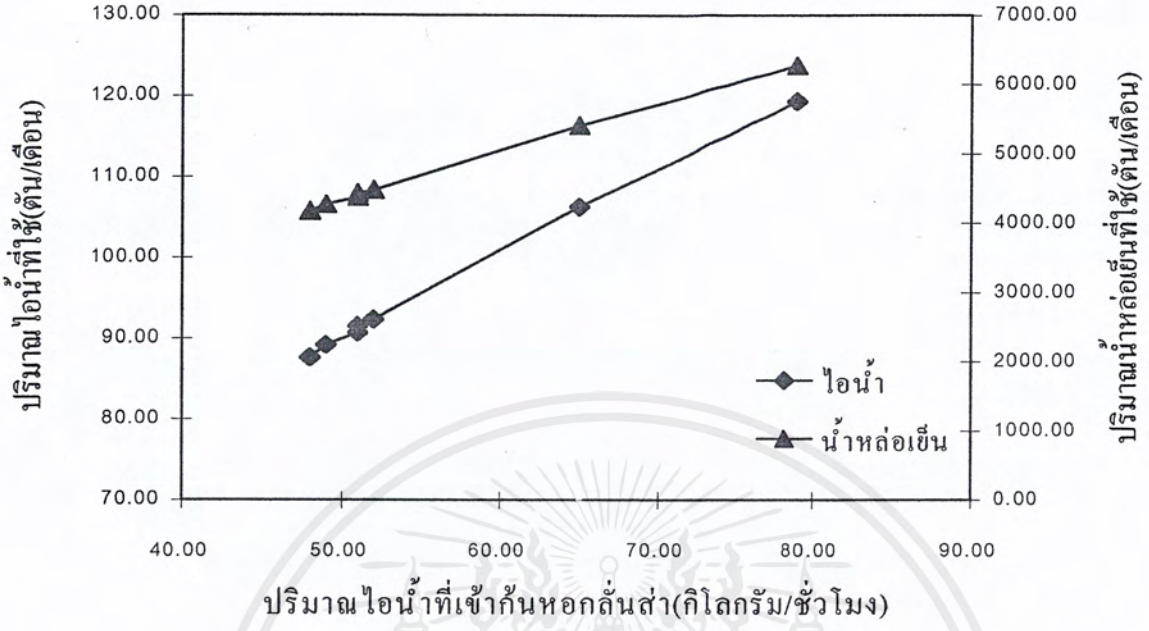
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลของการลดปริมาณไอน้ำต่อปริมาณแอลกอฮอล์ที่ออกทางด้านก้นหอกลั่นส่า ซึ่งจะพบว่าถ้าใช้ปริมาณไอน้ำป้อนเข้าก้นหอน้อยไปจะทำให้แอลกอฮอล์ออกทางด้านก้นหอมาก สำหรับรูปที่ 6.1 จะแสดงให้เห็นถึงผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่ใช้ป้อนเข้าก้นหอต่อปริมาณการใช้พลังงานของทั้งระบบการผลิต ซึ่งจะพบว่าถ้าใช้ปริมาณไอน้ำป้อนเข้าก้นหอน้อยลงปริมาณการใช้พลังงานของระบบก็ลดลงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 6.3 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่หอกลั่นส่าต่อเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของแอลกอฮอล์และอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ

ปริมาณไอน้ำที่หอกลั่นส่า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ (ลิตรต่อชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของแอลกอฮอล์	
		ที่ยอดหอ	ที่ก้นหอ
79.34	100	33.4	<0.0001
65.63	83.3	40.8	<0.0001
52.51	67.3	51.7	<0.0001
51.85	66.5	52.4	<0.0001
51.19	65.7	53.2	0.0001
49.88	64.1	54.6	0.0003
48.57	62.1	55.6	0.0018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

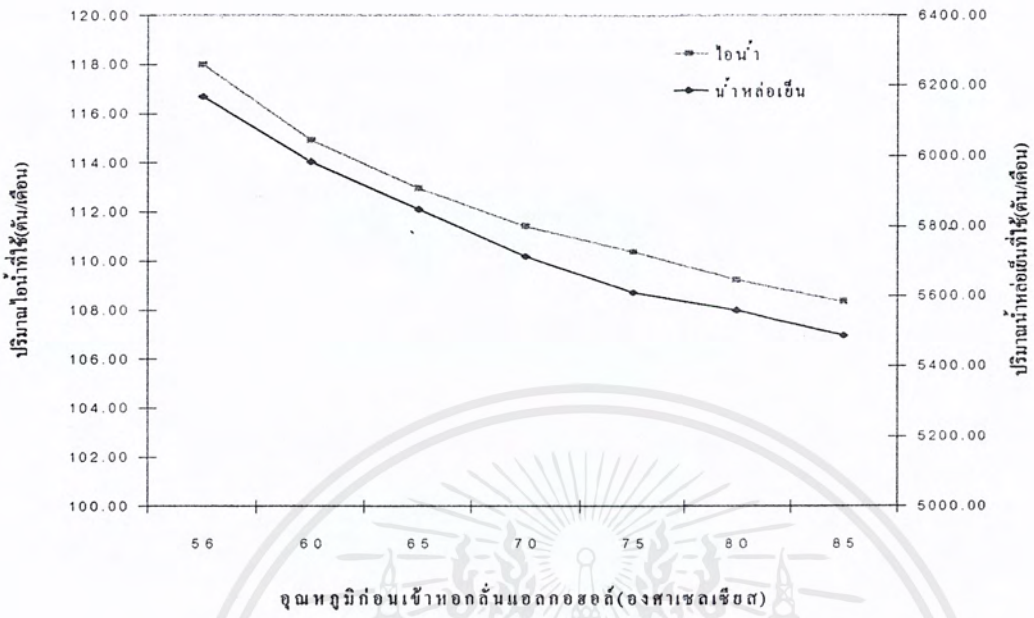


รูปที่ 6.1 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นส่าต่อปริมาณไอน้ำและน้ำหล่อเย็นทั้งหน่วยการผลิต

6.2.2 ผลของการปรับอุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์

จากแผนผังของกระบวนการผลิตจะพบว่าสามารถปรับอุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ได้โดยการลดปริมาณการป้อนน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องควบแน่นที่ 1 ลงโดยทำการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิจากที่ทำการผลิตจริงจากที่ 56 องศาเซลเซียสไปจนถึงที่อุณหภูมิเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส ผลของอุณหภูมิที่ปรับเปลี่ยนต่อปริมาณการใช้พลังงานของระบบแสดงดังรูปที่ 6.2 จากรูปจะเห็นได้ว่าถ้าใช้อุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสูงขึ้นกว่าเดิมจะสามารถประหยัดพลังงานในระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 ผลของการปรับอุณหภูมิของสารที่เข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่อการใช้พลังงานในระบบ

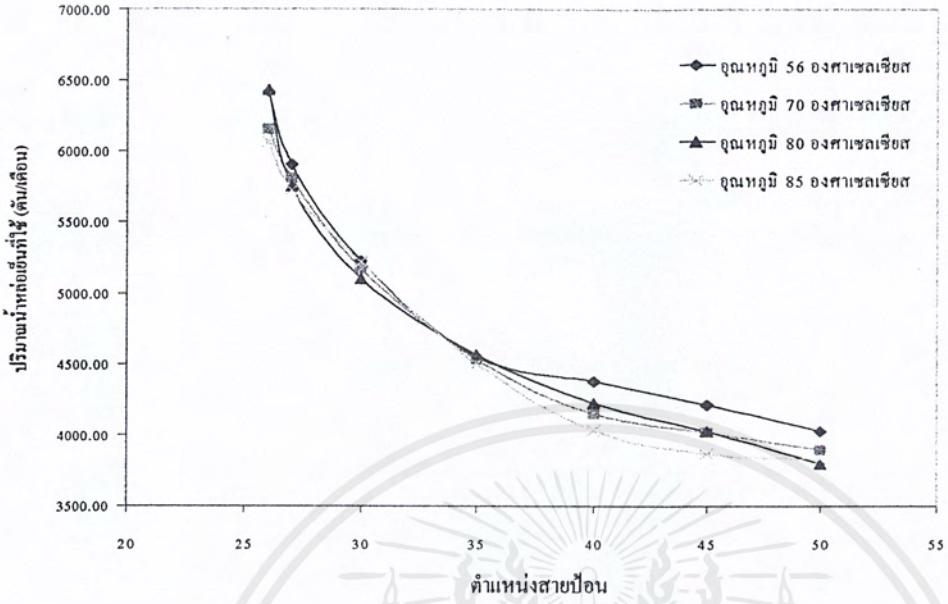
6.2.3 ผลการปรับเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสารเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์

ตารางที่ ข-5 แสดงถึงผลการปรับเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสารเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่อการใช้พลังงานของทั้งระบบ ซึ่งจะพบว่า ถ้าเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนจากเดิมที่ถาดที่ 27 ให้ลดลงจะช่วยให้ประหยัดพลังงานให้มากขึ้น

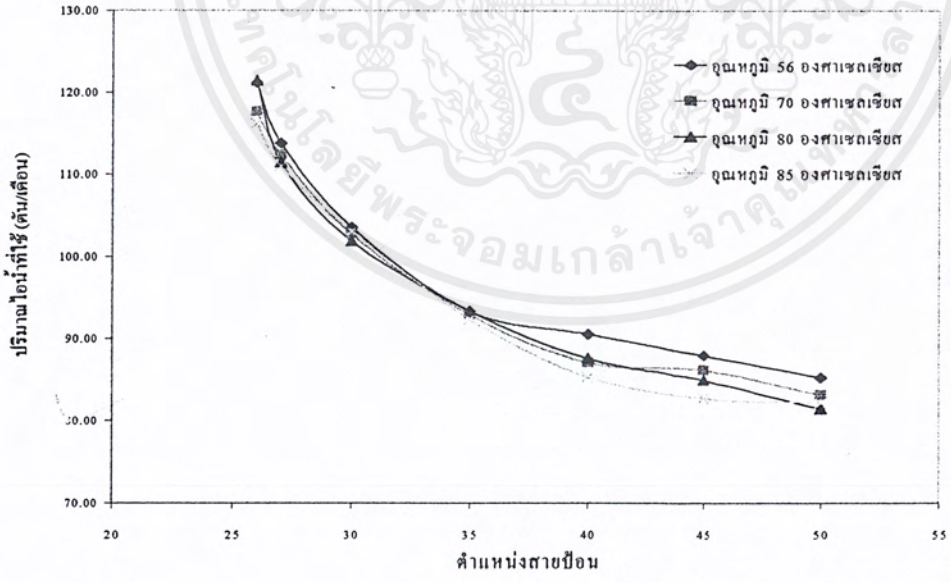
6.2.4 ผลการปรับอุณหภูมิของสารป้อนและตำแหน่งสายป้อนในหอกลั่นแอลกอฮอล์

รูปที่ 6.3 และ 6.4 แสดงผลการปรับทั้งค่าอุณหภูมิและตำแหน่งสายป้อนสารเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์จากผลการทดลองพบว่า ถ้าเราใช้อุณหภูมิของสารป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์มากขึ้นและเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนให้ต่ำลงมาจะช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนต่อปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ที่อุณหภูมิของสารป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่างๆ

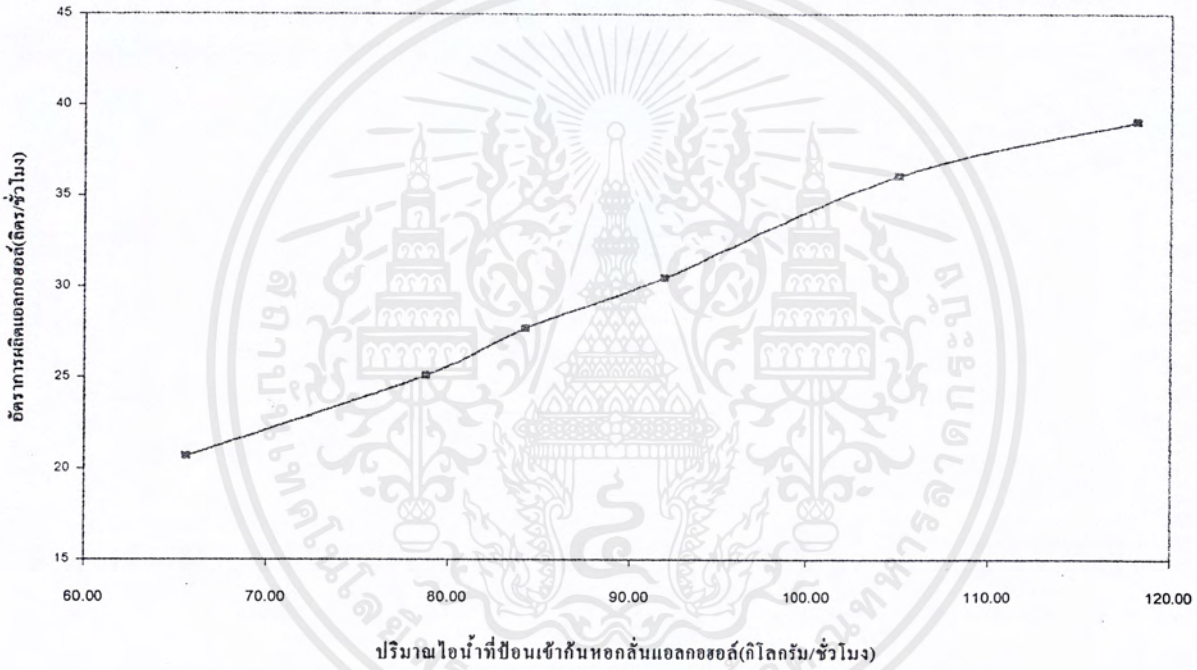


รูปที่ 6.4 ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนต่อปริมาณไอน้ำที่ใช้ที่อุณหภูมิของสารป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

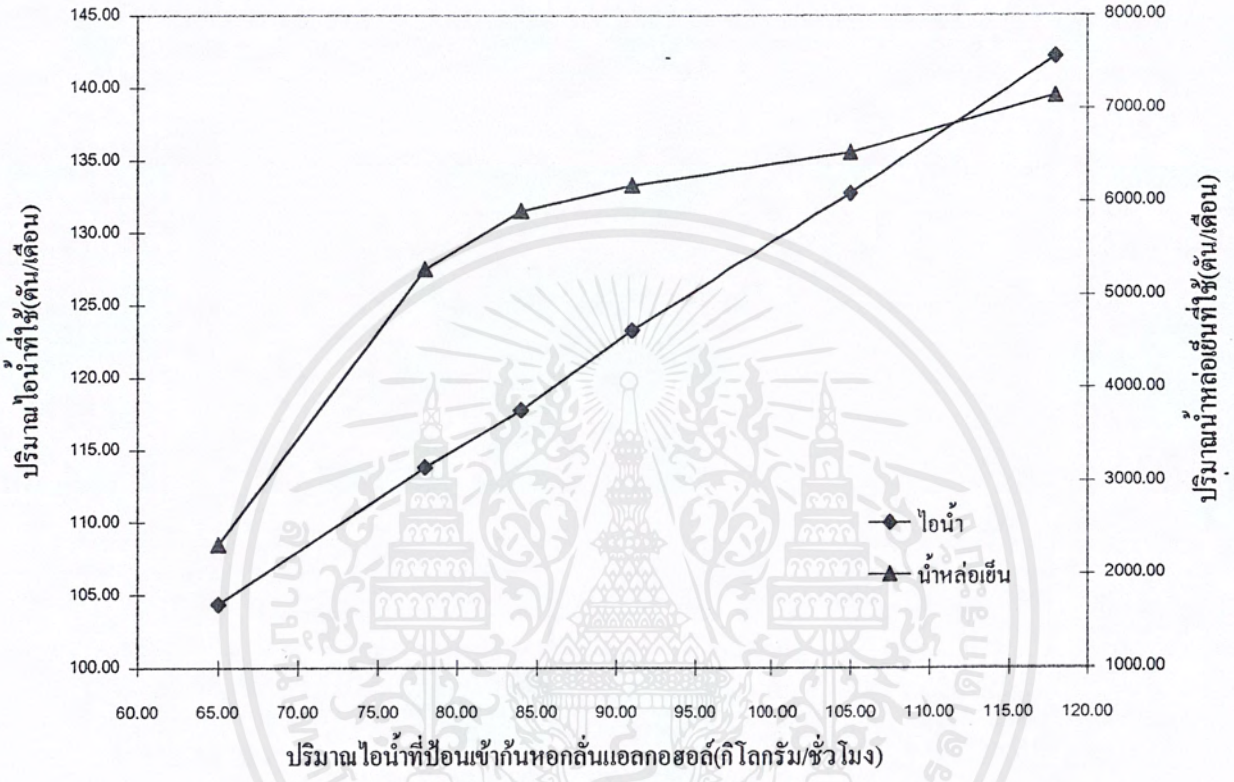
6.3 กรณีศึกษาผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์

ในการปรับปริมาณไอน้ำเข้าก้นหอแอลกอฮอล์โดยที่กำหนดให้สภาวะในการผลิตอื่นๆ เหมือนกับสภาวะการผลิตปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าถ้ายิ่งปรับให้ปริมาณไอน้ำเข้าก้นหอแอลกอฮอล์มาก จะยิ่งทำให้อัตราการผลิตเพิ่มมากขึ้นได้ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 6.5 แต่ในขณะเดียวกันจะพบว่าปริมาณการใช้พลังงานในระบบจะเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกันแสดงได้ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.5 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำเข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่ออัตราการผลิตแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่อปริมาณการใช้ไอน้ำและน้ำหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการจำลองกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์โดยใช้โปรแกรม HYSYS พบว่าได้ประสิทธิภาพของถาดของหอกลั่นส่าและหอกลั่นแอลกอฮอล์อยู่ที่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ในการจำลองหาสภาวะที่เหมาะสมได้ใช้ค่านี้อ้างอิงต่อไป

จากการจำลองกระบวนการสามารถคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของระบบในสภาวะการผลิตปัจจุบันใช้ปริมาณไอน้ำเท่ากับ 113.79 ตันต่อเดือน และปริมาณน้ำหล่อเย็นเท่ากับ 5,906.73 ตันต่อเดือน(ไม่คิดระบบไหลเวียนของน้ำหล่อเย็น)

จากผลการทดลองเมื่อได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ต่อกระบวนการผลิตแล้วได้นำผลดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมของกระบวนการได้ดังนี้

7.1 แนวทางในการปรับปริมาณไอน้ำเข้าหม้อต้มซ้ำในหอกลั่นส่า

จากผลการทดลองถ้าปรับให้ปริมาณไอน้ำเข้าหม้อต้มซ้ำลดลง จะสามารถประหยัดพลังงานของระบบได้มากขึ้น แต่ในการปรับลดนั้นต้องพยายามไม่ให้สูญเสียแอลกอฮอล์ออกทางด้านก้นหอมากเกินไป ค่าปริมาณไอน้ำต่ำที่สุดที่เข้าหม้อต้มซ้ำของหอกลั่นส่าโดยที่ไม่ให้สูญเสียแอลกอฮอล์ไปทางด้านก้นหอเลยจะได้ประมาณ 52 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อกำหนดให้ปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอเป็นค่านี้จะสามารถประหยัดไอน้ำไปได้ 22.25 ตันต่อเดือน และประหยัดน้ำหล่อเย็นไปได้ 1,478.34 ตันต่อเดือน

7.2 แนวทางในการปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์

จากผลการทดลองจะพบว่าเพิ่มอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ให้สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณการใช้พลังงานของระบบลดลงได้ จากแนวทางนี้ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อนให้เท่ากับ 85 องศาเซลเซียส จะสามารถที่จะประหยัดปริมาณการใช้ไอน้ำไปได้ 3.67 ตันต่อเดือน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประหยัดน้ำหล่อเย็นไปได้ 233.16 ตันต่อเดือน แนวทางนี้สามารถปฏิบัติได้ง่ายเพียงแค่ทำการลดปริมาณน้ำหล่อเย็นที่จะป้อนเข้าเครื่องควบแน่นลงเท่านั้น

7.3 แนวทางในการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสารเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์

จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสารเข้าหอกลั่นพบว่า ถ้าทำการป้อนสารเข้าที่ชั้นที่ต่ำลงจะทำให้ปริมาณการใช้พลังงานลดลง โดยถ้าป้อนเข้าที่ถาดที่ 50 จะสามารถประหยัดไอน้ำที่ใช้ในระบบไปได้ 28.58 ตันต่อเดือน และประหยัดน้ำหล่อเย็นไปได้ 1,877.59 ตันต่อเดือน จะเห็นว่าแนวทางนี้จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับสายการเดินท่อของระบบใหม่

7.4 แนวทางในการปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์และเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสารเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์

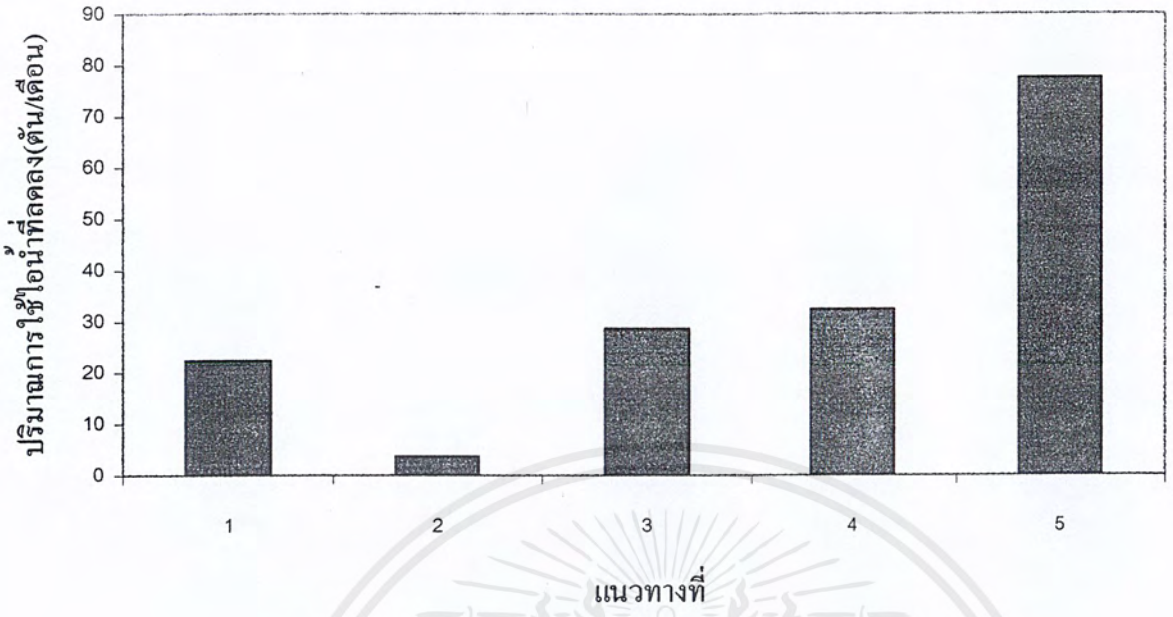
แนวทางนี้จะช่วยให้ลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้มาก ซึ่งถ้าปรับให้อุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอประมาณ 80 องศาเซลเซียส และตำแหน่งสายป้อนอยู่ที่ถาดที่ 50 จะช่วยในการประหยัดไอน้ำได้ถึง 32.36 ตันต่อเดือน และประหยัดน้ำหล่อเย็นได้ 2,107.72 ตันต่อเดือน ถึงแม้ว่าแนวทางนี้จะลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้มากแต่ยังจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนสายการเดินท่อของระบบใหม่เช่นกัน

7.5 แนวทางในการที่ใช้ทั้งการปรับปริมาณไอน้ำเข้าก้นหอกลั่นส่า การปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ และการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนสาร

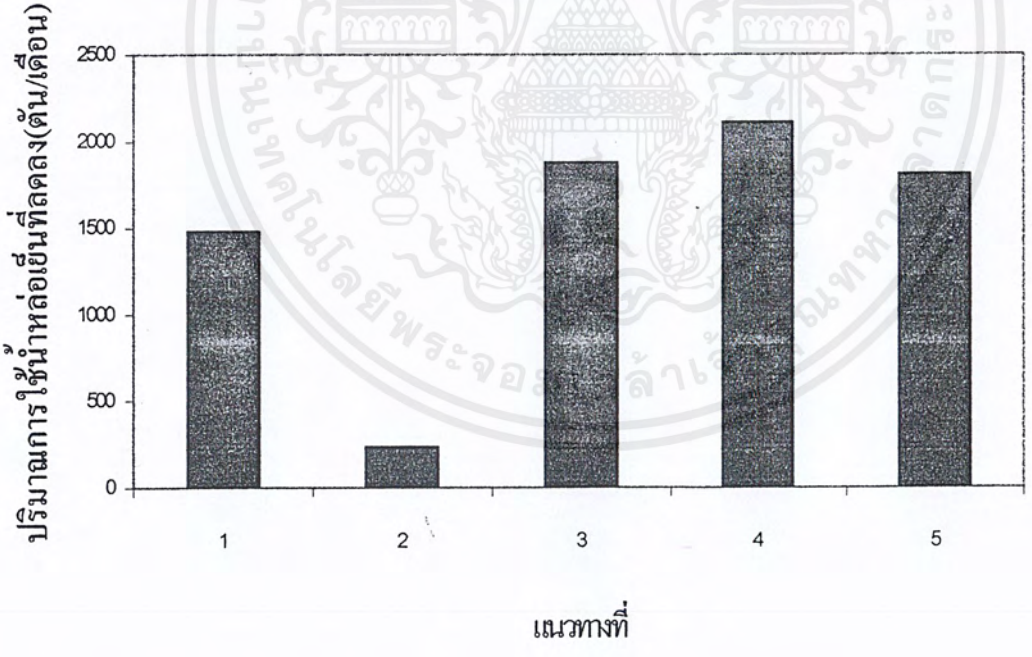
แนวทางนี้เป็นการรวมแนวทางข้างต้นเข้าด้วยกัน กล่าวคือให้ปรับปริมาณไอน้ำเข้าก้นหอกลั่นส่าเท่ากับ 52 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ให้อุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ประมาณ 85 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนมาที่ถาดที่ 50 จะพบว่าประหยัดการใช้ไอน้ำไปได้ 77.51ตันต่อเดือน และประหยัดน้ำหล่อเย็นไปได้เท่ากับ 1,811.74 ตันต่อเดือน

รูปที่ 7.1 และ 7.2 เป็นการเปรียบเทียบการลดปริมาณการใช้ไอน้ำและน้ำหล่อเย็นของทั้ง 5 แนวทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 ผลการเปรียบเทียบแนวทางที่ใช้ลดปริมาณไอน้ำของระบบ



รูปที่ 7.2 ผลการเปรียบเทียบแนวทางที่ใช้ลดปริมาณน้ำหล่อเย็นของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6 แนวทางในการเพิ่มกำลังการผลิต

การเพิ่มปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์จะทำให้สามารถเพิ่มอัตราการผลิตแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ได้ แต่ขณะเดียวกันปริมาณการใช้พลังงานของระบบก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองจะเห็นว่ากำลังการผลิตสูงสุดที่สามารถเพิ่มได้เท่ากับ 39.1 ลิตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ปริมาณไอน้ำที่ต้องใช้ในระบบเพิ่มขึ้น 28.39 ตันต่อเดือนและปริมาณน้ำหล่อเย็นเพิ่มขึ้น 1,234.03 ตันต่อเดือน ถ้าทางโรงงานเลือกที่จะใช้แนวทางนี้เพิ่มกำลังการผลิตขึ้นทางโรงงานก็ต้องวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย

7.7 ข้อเสนอแนะ

- ในการควบคุมระบบภายในโรงงานปัจจุบันจะเห็นได้ว่าจะเป็นระบบ Manual ทั้งหมด ถ้าได้ทำการปรับปรุงให้ใช้ระบบควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติได้จะสามารถที่ช่วยลดการใช้พลังงานลงได้มาก
- ในการพิจารณาปรับเปลี่ยนกระบวนการตามแนวทางที่เสนอขึ้นนั้นควรพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย
- ในการปรับปรุงระบบการผลิตนั้นสามารถที่จะประยุกต์ใช้เทคนิคพินช์เพื่อปรับปรุงการใช้พลังงานในโรงงานได้ ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Christie J. Geankoplis, **Transport Processes and Unit Operations**, 3 rd edition, Prentice – Hall International, Inc., 1995.

[2] รศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, **อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม**, พิมพ์ครั้งที่ 1, พิมพ์ที่บริษัท ส.เอเซียเพรส จำกัด, 2536.

[3] L.G. Wade, Jr., **Organic Chemistry**, 3 rd edition, Pentice – Hall, 1995.

[4] McCabe, W.L., and Smith, J.C., **Unit Operation of Chemical Engineering**, 5 th ed., Chemical Engineering Series, McGraw – Hill, New York, 1976.

[5] รศ.ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, และ ดร. วีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล, **คู่มืออุปกรณ์การผลิต-ในอุตสาหกรรมเคมี**, พิมพ์ครั้งที่3, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2538.

[6] Perry, R.H., and Chilton, **C.H. Chemical Engineer's Handbook**, 7 th ed., Mcgraw – Hill,New York, 1999.

[7] ภูริสา ดิฐกมล, และ รดีบูรณ์ ชินสุทธิ, **การศึกษาโปรแกรม HYSYS**, รายงานวิชาการสัมมนา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[8] Smith, J.M., Van Ness, H.C., and Abbott, M.M., **Introduction to Chemical Engineering - Thermodynamics**, 5th ed., Mcgraw-Hill, New York,1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการใช้ไอน้ำให้ความร้อนแก่ระบบการผลิต

กำหนดให้ ไอน้ำที่ใช้ในระบบเป็นไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันเท่ากับ 50 psia หรือ 446 กิโลปาสคาล ค่าเอนทาลปีสามารถหาได้จากการเปิดตารางไอน้ำดังนี้

ตารางที่ ก-1 ตารางไอน้ำที่ค่าความดันต่าง ๆ

ความดัน (กิโลปาสคาล)	ค่าเอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัว (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
425	2740.3
450	2742.9

จากการ interpolate จะได้ค่าเอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันเท่ากับ 446 กิโลปาสคาลมีค่าเท่ากับ 2742.5 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ตัวอย่างสภาวะในการดำเนินการผลิต

อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์จากยอดหอกลั่นส่าเท่ากับ 100 ลิตรต่อชั่วโมง

อัตราการผลิตแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 25 ลิตรต่อชั่วโมง

จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม HYSYS จะได้อัตราการใช้พลังงานความร้อนที่หม้อต้ม-ซ้ำต่างๆมีค่าดังนี้

ที่หม้อต้มซ้ำของหอกลั่นส่าเท่ากับ $2.176*10^5$ กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ที่หม้อต้มซ้ำของหอกลั่นแอลกอฮอล์เท่ากับ $2.158*10^5$ กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ดังนั้นเราจะคำนวณหาอัตราการใช้ไอน้ำสำหรับหอกลั่นส่าได้เท่ากับ

$$= 2.176*10^5 * \frac{1}{2742.5} \left(\frac{kJ}{h} \frac{kg}{kJ}\right)$$

$$= 79.34 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอัตราการใช้ไอน้ำที่หอกลั่นแอลกอฮอล์จะเท่ากับ

$$= \quad 2.158*10^{5} * \frac{1}{2742.5} \quad (\frac{kJ}{h} \quad \frac{kg}{kJ})$$

$$= \quad 78.68 \quad \text{กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

ดังนั้นปริมาณไอน้ำที่ใช้ทั้งหมดในระบบการผลิตจะมีค่าเท่ากับ 79.34+ 78.68 = 158.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ที่สภาวะการผลิตอื่นๆ เราสามารถคำนวณได้ด้วยวิธีเดียวกันนี้

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการใช้น้ำหล่อเย็นในเครื่องควบแน่นของทั้งระบบการผลิต

น้ำหล่อเย็นที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะกำหนดให้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้าและขาออกมีค่าเท่ากับ 10 เคลวิน

ตัวอย่างสภาวะในการดำเนินการผลิต

อัตราการ ไหลของผลิตภัณฑ์จากยอดหอกลั่นส่าเท่ากับ 100 ลิตรต่อชั่วโมง

อัตราการผลิตแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 25 ลิตรต่อชั่วโมง

จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม HYSYS จะได้อัตราความร้อนที่ถูกระบายออกจากเครื่องควบแน่นต่างๆมีค่าดังนี้

ที่เครื่องควบแน่น 1 เท่ากับ	$1.347*10^{5}$	กิโลจูลต่อชั่วโมง
ที่เครื่องควบแน่น 2 เท่ากับ	$2.062*10^{5}$	กิโลจูลต่อชั่วโมง
ที่เครื่องควบแน่น 3 เท่ากับ	1998.4	กิโลจูลต่อชั่วโมง

อัตราการใช้น้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่นคำนวณได้จาก

$$q = mC\Delta T$$

โดยที่

q = อัตราการระบายความร้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)

m = อัตราการใช้น้ำหล่อเย็น (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

C = ค่าความจุความร้อนของน้ำที่ 25 ^{0}C

= 4.18 กิโลกรัมต่อชั่วโมง.เคลวิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า
และขาออก (เคลวิน)

ดังนั้นอัตราการใช้น้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่น 1 จะเท่ากับ

$$= 1.347*10^5 * \frac{1}{4.18} * \frac{1}{10} \left(\frac{kJ}{h} \frac{kg.K}{kJ} \frac{1}{K}\right)$$

= 3222 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการใช้น้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่น 2 จะเท่ากับ

$$= 2.062*10^5 * \frac{1}{4.18} * \frac{1}{10} \left(\frac{kJ}{h} \frac{kg.K}{kJ} \frac{1}{K}\right)$$

= 4933 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการใช้น้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่น 3 จะเท่ากับ

$$= 1998.4 * \frac{1}{4.18} * \frac{1}{10} \left(\frac{kJ}{h} \frac{kg.K}{kJ} \frac{1}{K}\right)$$

= 47.80 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการใช้น้ำหล่อเย็นในระบบสำหรับสภาวะการผลิตนี้จะเท่ากับ

= 3222 + 4933 + 47.80

= 8202.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ในการคำนวณอัตราการใช้น้ำหล่อเย็นที่สภาวะการผลิตอื่นจะสามารถคำนวณได้ด้วยวิธีเดียวกันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ ข-1 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่อปริมาณการใช้ไอน้ำและน้ำหล่อเย็น

ปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ (ตัน/เดือน)
65.63	104.38	2319.85
78.76	113.83	5276.50
84.23	117.77	5903.60
91.89	123.28	6178.24
105.01	132.73	6530.26
118.14	142.18	7140.76

ตารางที่ ข-2 ผลของการปรับปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าก้นหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่ออัตราการผลิต-แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณไอน้ำที่เข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตแอลกอฮอล์ (ลิตร/ชั่วโมง)
65.63	20.7
78.76	25.1
84.23	27.7
91.89	30.5
105.89	36.1
118.14	39.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ต่อปริมาณไอน้ำและน้ำหล่อเย็นที่ใช้

อุณหภูมิก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ (ตัน/เดือน)
56	118.00	6168.35
60	114.92	5982.38
65	112.96	5849.04
70	111.42	5714.55
75	110.38	5611.23
80	109.23	5558.58
85	108.34	5486.58

ตารางที่ ข-4 ผลการปรับปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นส่าต่อปริมาณไอน้ำและน้ำหล่อเย็นที่ใช้

ปริมาณไอน้ำที่เข้าก้นหอกลั่นส่า (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ (ตัน/เดือน)
79.34	119.35	6273.20
65.63	106.33	5408.15
52.51	92.37	4476.10
51.85	91.54	4428.39
51.19	90.74	4375.07
49.88	89.18	4264.65
48.57	87.66	4167.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ผลของอุณหภูมิของสารป้อนที่เข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์และจุดป้อนต่อปริมาณไอน้ำและน้ำหล่อเย็นที่ใช้

ที่ 56 องศาเซลเซียส

ตำแหน่งสายป้อน	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ (ตัน/เดือน)
26	121.18	6417.06
27	113.79	5906.73
30	103.54	5225.26
35	93.34	4550.07
40	90.52	4380.04
45	87.95	4210.76
50	85.21	4029.14

ที่ 70 องศาเซลเซียส

ตำแหน่งสายป้อน	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ (ตัน/เดือน)
26	117.64	6155.99
27	112.38	5811.21
30	102.69	5172.51
35	92.90	4530.69
40	87.04	4148.12
45	86.18	4022.37
50	83.14	3892.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 80 องศาเซลเซียส

ตำแหน่งสายป้อน	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ (ตัน/เดือน)
26	121.44	6429.44
27	111.47	5751.05
30	101.84	5098.56
35	93.35	4566.05
40	87.8	4228.71
45	84.95	4026.58
50	81.43	3799.01

ที่ 85 องศาเซลเซียส

ตำแหน่งสายป้อน	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ (ตัน/เดือน)
26	116.19	6062.36
27	11.01	5724.40
30	103.12	5216.54
35	92.38	4504.06
40	85.32	4033.40
45	82.74	3865.36
50	82.19	3829.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม HYSYS

		Case Name:	D:\alcohol\try.HSC			
		Unit Set:	ALC UNIT			
		Date/Time:	Mon Apr 02 12:44:56 2001			

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		100	101	102	103	104
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.9982	0.0000	0.7437
Temperature	(C)	30.00 *	60.00 *	95.51	100.0	94.11
Pressure	(kg/cm2)	1.100 *	1.100	1.033	1.033	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	17.92	17.92	4.068	13.85	4.068
Mass Flow	(kg/h)	341.5	341.5	92.00	249.5	92.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	350.0 *	350.0	100.0	250.0	100.0
Heat Flow	(kJ/h)	-5.104e+06-	-5.062e+06	-9.676e+05	-3.876e+06	-1.010e+06
Name		200	201	202	203	95% ALC
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature	(C)	56.00 *	59.00	88.58	30.00 *	30.00
Pressure	(kg/cm2)	1.200 *	1.033	1.033	1.033 *	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	4.068	0.4708	3.597	0.4708	0.4708
Mass Flow	(kg/h)	92.00	20.12	71.88	20.12	20.12
Liquid Volume Flow	(L/h)	100.0	25.01	74.99	25.01	25.01
Heat Flow	(kJ/h)	-1.145e+06	-1.290e+05	-1.007e+06	-1.310e+05	-1.310e+05

Compositions

Name	100	101	102	103	104
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0372 *	0.0372	0.1640	0.0000	0.1640
Comp Mole Frac (H2O)	0.9628 *	0.9628	0.8360	1.0000	0.8360
Name	200	201	202	203	95% ALC
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.1640	0.8808	0.0702	0.8808	0.8808
Comp Mole Frac (H2O)	0.8360	0.1192	0.9298	0.1192	0.1192

Energy Streams

Name		Q-100	Q-101	Q-102	Q-103	Q-104
Heat Flow	(kJ/h)	2.182e+05	1.353e+05	1.137e+05	1.040e+05	1998

Unit Ops

Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level
T-100	Reboiled Absorber	101 Q-100	103 102	No	2500 *
H-100	Heat Exchanger	100 102	101 104	No	500.0 *
EA-101	Cooler	104	200 Q-101	No	500.0 *
EA-200	Cooler	201	203 Q-104	No	500.0 *
T-200	Distillation	200 Q-102	202 201 Q-103	No	2500 *
TK-200	Tank	203	95% ALC 12	No	500.0 *

รูปที่ ค-1 ข้อมูลการจำลองที่สภาวะการผลิตปัจจุบัน

หมายเหตุ เครื่องหมาย*ที่แสดงในรูปหมายถึงข้อมูลที่ต้องกำหนดขึ้นเองส่วนที่เหลือโปรแกรมจะคำนวณให้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Case Name:	D:\alcohol\Project.hsc	
Unit Set:	ALC UNIT	
Date/Time:	Fri Mar 30 21:47:56 2001	

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		100	101	102	103	104
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.9920	0.0000	0.5287
Temperature	(C)	30.00 *	60.00 *	91.23	99.99	85.62
Pressure	(kg/cm2)	1.100 *	1.100	1.033	1.033	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	17.92	17.92	2.213	15.70	2.213
Mass Flow	(kg/h)	341.5	341.5	58.57	282.9	58.57
Liquid Volume Flow	(L/h)	350.0 *	350.0	66.50	283.5	66.50
Heat Flow	(kJ/h)	-5.104e+06	-5.062e+06	-5.245e+05	-4.395e+06	-5.670e+05
Name		200	201	202	203	95% ALC
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature	(C)	56.00 *	59.00	84.53	30.00 *	30.00
Pressure	(kg/cm2)	1.200 *	1.033	1.033	1.033 *	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	2.213	0.4707	1.742	0.4707	0.4707
Mass Flow	(kg/h)	58.57	20.11	38.47	20.11	20.11
Liquid Volume Flow	(L/h)	66.50	25.00	41.50	25.00	25.00
Heat Flow	(kJ/h)	-6.20 e+05	-1.290e+05	-4.865e+05	-1.310e+05	-1.310e+05

Compositions

Name	102	103	104	100	101
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.3013	0.0000	0.3013	0.0372 *	0.0372
Comp Mole Frac (H2O)	0.6987	1.0000	0.6987	0.9628 *	0.9628
Name	200	201	202	203	95% ALC
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.3013	0.8804	0.1449	0.8804	0.8804
Comp Mole Frac (H2O)	0.6987	0.1196	0.8551	0.1196	0.1196

Energy Streams

Name		Q-100	Q-101	Q-102	Q-103	Q-104
Heat Flow	(kJ/h)	1.422e+05 *	5.312e+04	1.910e+05	1.866e+05	1997

Unit Ops

Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level
T-100	Reboiled Absorber	101 Q-100	103 102	No	2500 *
H-100	Heat Exchanger	100 102	101 104	No	500.0 *
EA-101	Cooler	104	200 Q-101	No	500.0 *
EA-200	Cooler	201	203 Q-104	No	500.0 *
T-200	Distillation	200 Q-102	202 201 Q-103	No	2500 *
TK-200	Tank	203	95% ALC 1	No	500.0 *

รูปที่ ค-2 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการปรับปริมาณไอน้ำเข้าหม้อต้มซ้ำในหอกลั่นล่า

หมายเหตุ เครื่องหมาย*ที่แสดงในรูปหมายถึงข้อมูลที่ต้องกำหนดขึ้นเองส่วนที่เหลือโปรแกรมจะคำนวณให้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Case Name:	D:\alcohol\try.HSC
Unit Set:	ALC UNIT
Date/Time:	Fri Mar 30 03:40:15 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		100	101	102	103	104
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.9944	0.0000	0.7399
Temperature	(C)	30.00 *	60.00 *	95.50	100.0	94.08
Pressure	(kg/cm2)	1.100 *	1.100	1.033	1.033	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	17.92	17.92	4.068	13.85	4.068
Mass Flow	(kg/h)	341.5	341.5	92.00	249.5	92.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	350.0 *	350.0	100.0	250.0	100.0
Heat Flow	(kJ/h)	-5.104e+06	-5.062e+06	-9.683e+05	-3.876e+06	-1.011e+06
Name		200	201	202	203	95% ALC
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature	(C)	85.00 *	59.00	88.57	30.00 *	30.00
Pressure	(kg/cm2)	1.200 *	1.033	1.033	1.033 *	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	4.068	0.4708	3.597	0.4708	0.4708
Mass Flow	(kg/h)	92.00	20.11	71.89	20.11	20.11
Liquid Volume Flow	(L/h)	100.0	25.01	74.99	25.01	25.01
Heat Flow	(kJ/h)	-1.135e+06	-1.290e+05	-1.007e+06	-1.310e+05	-1.310e+05

Compositions

Name	100	101	102	103	104
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0372 *	0.0372	0.1640	0.0000	0.1640
Comp Mole Frac (H2O)	0.9628 *	0.9628	0.8360	1.0000	0.8360
Name	200	201	202	203	95% ALC
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.1640	0.8805	0.0702	0.8805	0.8805
Comp Mole Frac (H2O)	0.8360	0.1195	0.9298	0.1195	0.1195

Energy Streams

Name		Q-100	Q-101	Q-102	Q-103	Q-104
Heat Flow	(kJ/h)	2.176e+05	1.241e+05	2.053e+05	2.063e+05	1997

Unit Ops

Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level
T-100	Reboiled Absorber	101 Q-100	103 102	No	2500 *
H-100	Heat Exchanger	100 102	101 104	No	500.0 *
EA-101	Cooler	104	200 Q-101	No	500.0 *
EA-200	Cooler	201	203 Q-104	No	500.0 *
T-200	Distillation	200 Q-102	202 201 Q-103	No	2500 *
TK-200	Tank	203	95% ALC 12	No	500.0 *

รูปที่ ค-3 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการปรับอุณหภูมิของสารก่อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์

หมายเหตุ เครื่องหมาย*ที่แสดงในรูปหมายถึงข้อมูลที่ต้องกำหนดขึ้นเองส่วนที่เหลือโปรแกรมจะคำนวณให้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Case Name: D:\alcohol\Project.hsc

Unit Set: ALC UNIT

Date/Time: Fri Mar 30 22:02:53 2001

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		100	101	102	103	104
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.9944	0.0000	0.7399
Temperature	(C)	30.00 *	60.00 *	95.50	100.0	94.08
Pressure	(kg/cm2)	1.100 *	1.100	1.033	1.033	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	17.92	17.92	4.068	13.85	4.068
Mass Flow	(kg/h)	341.5	341.5	92.00	249.5	92.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	350.0 *	350.0	100.0	250.0	100.0
Heat Flow	(kJ/h)	-5.104e+06	-5.062e+06	-9.683e+05	-3.876e+06	-1.011e+06
Name		200	201	202	203	95% ALC
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature	(C)	56.00 *	39.00	88.59	30.00 *	30.00
Pressure	(kg/cm2)	1.200 *	1.033	1.033 *	1.033 *	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	4.068	0.4703	3.597	0.4703	0.4703
Mass Flow	(kg/h)	92.00	20.11	71.88	20.11	20.11
Liquid Volume Flow	(L/h)	100.0	25.02	74.98	25.02	25.02
Heat Flow	(kJ/h)	-1.145e+06	-1.289e+05	-1.007e+06	-1.309e+05	-1.309e+05

Compositions

Name	100	101	102	103	104
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.0372 *	0.0372	0.1640	0.0000	0.1640
Comp Mole Frac (H2O)	0.9628 *	0.9628	0.8360	1.0000	0.8360
Name	200	201	202	203	95% ALC
Comp Mole Frac (Ethanol)	0.1640	0.8823	0.0701	0.8823	0.8823
Comp Mole Frac (H2O)	0.8360	0.1177	0.9299	0.1177	0.1177

Energy Streams

Name		Q-100	Q-101	Q-102	Q-103	Q-104
Heat Flow	(kJ/h)	2.176e+05	1.347e+05	1.070e+05	9.722e+04	1997

Unit Ops

Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level
T-100	Reboiled Absorber	101 Q-100	103 102	No	2500 *
H-100	Heat Exchanger	100 102	101 104	No	500.0 *
EA-101	Cooler	104	200 Q-101	No	500.0 *
EA-200	Cooler	201	203 Q-104	No	500.0 *
T-200	Distillation	200 Q-102	202 201 Q-103	No	2500 *
TK-200	Tank	203	95% ALC 1	No	500.0 *

รูปที่ ค-4 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการเปลี่ยนตำแหน่งสายป้อนเข้าหอกลั่นแอลกอฮอล์

หมายเหตุ เครื่องหมาย*ที่แสดงในรูปหมายถึงข้อมูลที่ต้องกำหนดขึ้นเองส่วนที่เหลือโปรแกรมจะคำนวณให้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Case Name:	D:\alcohol\Project.hsc					
Unit Set:	ALC UNIT					
Date/Time:	Fri Mar 30 21:58:30 2001					

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		100	101	102	103	104
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.9944	0.0000	0.7399
Temperature	(C)	30.00 *	60.00 *	95.50	100.0	94.08
Pressure	(kg/cm2)	1.100 *	1.100	1.033	1.033	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	17.92	17.92	4.068	13.85	4.068
Mass Flow	(kg/h)	341.5	341.5	92.00	249.5	92.00
Liquid Volume Flow	(L/h)	350.0 *	350.0	100.0	250.0	100.0
Heat Flow	(kJ/h)	-5.104e+06	-5.062e+06	-9.683e+05	-3.876e+06	-1.011e+06
Name		200	201	202	203	95% ALC
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature	(C)	80.00 *	59.00	88.57	30.00 *	30.00
Pressure	(kg/cm2)	1.200 *	1.033	1.033	1.033 *	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	4.068	0.4709	3.597	0.4709	0.4709
Mass Flow	(kg/h)	92.00	20.10	71.89	20.10	20.10
Liquid Volume Flow	(L/h)	100.0	25.00	75.00	25.00	25.00
Heat Flow	(kJ/h)	-1.137e+06	-1.291e+05	-1.007e+06	-1.311e+05	-1.311e+05

Compositions

Name		100	101	102	103	104
Comp Mole Frac (Ethanol)		0.0372 *	0.0372	0.1640	0.0000	0.1640
Comp Mole Frac (H2O)		0.9628 *	0.9628	0.8360	1.0000	0.8360
Name		200	201	202	203	95% ALC
Comp Mole Frac (Ethanol)		0.1640	0.8797	0.0703	0.8797	0.8797
Comp Mole Frac (H2O)		0.8360	0.1203	0.9297	0.1203	0.1203

Energy Streams

Name		Q-100	Q-101	Q-102	Q-103	Q-104
Heat Flow	(kJ/h)	2.176e+05	1.259e+05	9.719e+04	9.612e+04	1997

Unit Ops

Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level
T-100	Reboiled Absorber	101 Q-100	100 102	No	2500 *
H-100	Heat Exchanger	100 102	101 104	No	500.0 *
EA-101	Cooler	104	200 Q-101	No	500.0 *
EA-200	Cooler	201	203 Q-104	No	500.0 *
T-200	Distillation	200 Q-102	202 201 Q-103	No	2500 *
TK-200	Tank	203	95% ALC 1	No	500.0 *

รูปที่ ค-5 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการรวมเอาแนวทางที่สองและสามเข้าด้วยกัน

หมายเหตุ เครื่องหมาย*ที่แสดงในรูปหมายถึงข้อมูลที่ต้องกำหนดขึ้นเองส่วนที่เหลือโปรแกรมจะคำนวณให้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Case Name:	D:\alcohol\Project.hsc	
Unit Set:	ALC UNIT	
Date/Time:	Fri Mar 30 22:06:30 2001	

Workbook: Case (Main)

Material Streams

Name		100	101	102	103	104
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.9920	0.0000	0.5287
Temperature	(C)	30.00 *	60.00 *	91.23	99.99	85.62
Pressure	(kg/cm2)	1.100 *	1.100	1.033	1.033	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	17.92	17.92	2.213	15.70	2.213
Mass Flow	(kg/h)	341.5	341.5	58.57	282.9	58.57
Liquid Volume Flow	(L/h)	350.0 *	350.0	66.50	283.5	66.50
Heat Flow	(kJ/h)	-5.104e+06	-5.062e+06	-5.245e+05	-4.395e+06	-5.670e+05
Name		200	201	202	203	95% ALC
Vapour Fraction		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature	(C)	85.00 *	59.00	94.53	30.00 *	30.00
Pressure	(kg/cm2)	1.200 *	1.033	1.033	1.033 *	1.033
Molar Flow	(kgmole/h)	2.213	0.4705	1.742	0.4705	0.4705
Mass Flow	(kg/h)	58.57	20.10	38.47	20.10	20.10
Liquid Volume Flow	(L/h)	66.50	25.00	41.50	25.00	25.00
Heat Flow	(kJ/h)	-5.156e+05	-1.289e+05	-4.866e+05	-1.309e+05	-1.309e+05

Compositions

Name		100	101	102	103	104
Comp Mole Frac (Ethanol)		0.0372 *	0.0372	0.3014	0.0000	0.3014
Comp Mole Frac (H2O)		0.9628 *	0.9628	0.6986	1.0000	0.6986
Name		200	201	202	203	95% ALC
Comp Mole Frac (Ethanol)		0.3014	0.8809	0.1449	0.8809	0.8809
Comp Mole Frac (H2O)		0.6986	0.1191	0.8551	0.1191	0.1191

Energy Streams

Name		Q-100	Q-101	Q-102	Q-103	Q-104
Heat Flow	(kJ/h)	1.422e+05 *	4.660e+04	9.253e+04	9.448e+04	1997

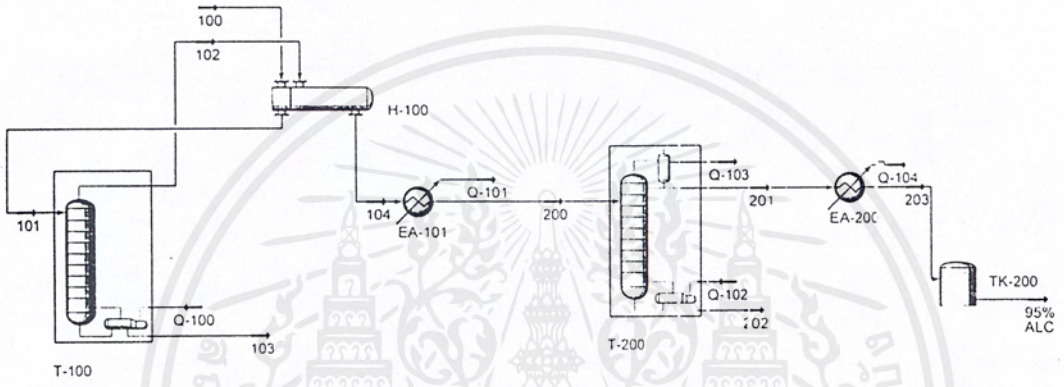
Unit Ops

Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc. Level
T-100	Reboiled Absorber	101 Q-100	103 102	No	2500 *
H-100	Heat Exchanger	100 102	101 104	No	500.0 *
EA-101	Cooler	104	200 Q-101	No	500.0 *
EA-200	Cooler	201	203 Q-104	No	500.0 *
T-200	Distillation	200 Q-102	202 201 Q-103	No	2500 *
TK-200	Tank	203	95% ALC 1	No	500.0 *

รูปที่ ค-6 ข้อมูลการจำลองแนวทางการปรับปรุงกระบวนการโดยการรวมเอาแนวทางที่หนึ่ง สองและสามเข้าด้วยกัน

หมายเหตุ เครื่องหมาย*ที่แสดงในรูปหมายถึงข้อมูลที่ต้องกำหนดขึ้นเองส่วนที่เหลือโปรแกรมจะคำนวณให้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-7 แผนภาพการจำลองกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้