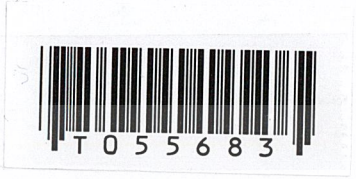
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่อง



นายธนศักดิ์ โสพัส
นายธเนศ งามเลิศประเสริฐ
นายสุรศักดิ์ จันทร์ศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล่มที่.....
เลขทะเบียน 55683
วัน,เดือน,ปี 24 พ.ค. 2548

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

Design of a Continuous Ethanol Distillation Column

Mr. Tanasak Solos
Mr. Taned Ngamlertprasert
Mr. Surasak Jansiri

A Report Submitted in Partial Fulfillment of The Requirments
For The Degree of Bachelor of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การออกแบบเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่อง			
ชื่อนักศึกษา	นายธนศักดิ์	โสพัส	รหัส	43010643
	นายธเนศ	งามเลิศประเสริฐ	รหัส	43010652
	นายสุรศักดิ์	จันทร์ศิริ	รหัส	43010818
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี			
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยยา			
	ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์			
	อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์			

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยยา)

_____ กรรมการ
(ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์)

_____ กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

_____ กรรมการ
(ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)

_____ กรรมการ
(ดร.สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การออกแบบหอกลั่นแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่องชนิดบรรจุ
โดย นายธนศักดิ์ โสพัส
นายธเนศ งามเลิศประเสริฐ
นายสุรศักดิ์ จันทร์ศิริ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยยา
ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์
อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่อง ขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตประมาณ 500 ลิตรต่อวัน สามารถกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ประมาณ ร้อยละ 10 โดยปริมาตร เพื่อกลั่นให้ได้สารละลายแอล – กอฮอล์ที่มีความเข้มข้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 โดยปริมาตร โดยได้ใช้ความรู้ในด้านวิศวกรรมเคมีออกแบบได้เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์แบบบรรจุ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น 15 เซนติเมตร สูง 1 เมตรบรรจุด้วยแรชชิก ริง ขนาด15 มิลลิเมตร ใช้ก๊าซหุงต้มและเครื่องทำความร้อนขนาด 3000 วัตต์ เป็นแหล่งพลังงานที่หม้อต้มซ้ำ โดยใช้สารป้อน และน้ำประปาเป็นสารหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Design of a Continuous Ethanol Distillation Packed Column
By	Mr. Tanasak Solos
	Mr. Taned Ngamlertprasert
	Mr. Surasak Jansiri
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya
	Dr. Apinan Namkanisorn
	Boonchai Chotiviriyavanich
Report for	Bachelor Degree of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project aims to design and build a small continuous ethanol distillation unit with a capacity of 500 liters per day. Feed solution containing approximately 10 % by volume of alcohol will be distilled to give distillate which contains solutions that have the alcohol at least 40 % alcohol by volume . A preliminary study suggested that a packed column might be more economical than the staged column . Subsequently , a 15 cm diameter packed column with 1 meter in height and 15 mm raschig ring as a packing material was built during the course of this work . A 3,000 watt heater fueled by liquified petroleum gas was used as the heating source for the reboiler , and the condenser are cooled by feed and tap water .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงจะไม่สำเร็จลุล่วงด้วยดี หากปราศจากความอนุเคราะห์ของหลายฝ่ายด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณ

รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยยา ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์ และ อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษามาโดยตลอด

ครอบครัวของคณะผู้จัดทำ และเพื่อนๆ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

คุณภัคร์โสภณ เกษราพงศ์ บริษัท ศรีวิศาล เกษรา จำกัด ที่ช่วยในการดำเนินการสร้างเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์

คณะผู้จัดทำ

31 มีนาคม 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญตาราง	ญ
สัญลักษณ์	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์	1
1.2. วัตถุประสงค์	1
1.3. ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 สุรากลั่น	3
2.1. ความหมายของสุรากลั่น	3
2.2. เกณฑ์กำหนดสารให้โทษในสุรา	4
บทที่ 3 หอประเภทบรรจุ	6
3.1. ลักษณะการใช้งาน	6
3.2. ปัญหาในการออกแบบ	6
3.3 วัสดุบรรจุ	6
3.3.1 ชนิดของวัสดุบรรจุ	6
3.3.2 วัตถุดิบที่นำมาใช้ทำวัสดุบรรจุ	9
3.4. เงื่อนไขทั่วไปที่หอบรรจุเอื้ออำนวยต่อการใช้งาน	9
3.5. เงื่อนไขที่หอบรรจุไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้งานเมื่อเทียบกับหอประเภทชั้น	9
บทที่ 4 การกลั่นและทฤษฎีการคำนวณ	10
4.1. ทฤษฎีการกลั่นแบบสมดุล	10
4.1.1 สมการดุลวัตถุ(Material balance)	10
4.1.2 เส้นปฏิบัติการ (Operating Line)	10
4.1.3 เส้น q (q-line)	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.4 การหาจำนวนชั้นเชิงทฤษฎี โดยวิธีกราฟของ McCABE –THIELE 14

4.1.5 จำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด (Minimum theoretical stages) 15

4.1.6 อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด (Minimum reflux ratio, R_m) 15

4.2. การออกแบบหอกลั่นประเภทบรรจุ 16

4.2.1 ความสูงของหอกลั่นประเภทบรรจุ 16

4.2.2 ความดันลดของหอกลั่นประเภทบรรจุ 22

4.2.3 การหา Specific liquid holdup 25

บทที่ 5 ผลการคำนวณการออกแบบหอกลั่นประเภทบรรจุ 27

5.1 การคำนวณหาความสูงของหอ 27

5.2 การคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ 32

5.3 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุดและการหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด 35

5.4 การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการต้มของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ 37

5.5 การคำนวณหาจำนวนวัสดุบรรจุโดยประมาณ 38

5.6 การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนใน Condenser ส่วนยอดหอ 39

5.7 การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนใน Condenser ส่วนก้นหอ 41

บทที่ 6 สรุปผลการคำนวณ 43

6.1 องค์ประกอบของหอกลั่น 43

6.2 เหตุผลประกอบการตัดสินใจ 46

6.3 ปัญหาที่อาจพบและแนวทางแก้ไข 46

เอกสารอ้างอิง 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 แรชชิก ริง	6
รูปที่ 3.2 เรซชิง ริง	7
รูปที่ 3.3 เบิร์ล แซดเดิล	7
รูปที่ 3.4 พอล ริง	7
รูปที่ 3.5 คาสเคด	8
รูปที่ 3.6 อินทาลอกซ์ แซดเดิล	8
รูปที่ 3.7 เทลเลเรท แพ็คคิง	8
รูปที่ 4.1.1 การดุลมวลสารสำหรับการกลั่นลำดับส่วนอย่างต่อเนื่อง	11
รูปที่ 4.1.2 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของ McCABE-THEIE	13
รูปที่ 4.1.3 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด	15
รูปที่ 4.1.4 การหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด	16
รูปที่ 4.2.1 หอแพคบรรจุ	17
รูปที่ 4.2.2 Interface properties terms of bulk properties	18
รูปที่ 4.2.3 Differential contact in a countercurrent-flow packed column	19
รูปที่ 4.2.4 Pressure-drop characteristics of packed columns	22
รูปที่ 4.2.5 Generalized correlation of packed-column flood points	23
รูปที่ 4.2.6 Generalized pressure drop correlation	24
รูปที่ 5.3.1 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด	35
รูปที่ 5.3.2 การหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด ($x_D = 0.1711$)	36
รูปที่ 5.3.2 การหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด ($x_D = 0.5$)	36
รูปที่ 5.5.1 plot ระหว่าง Nominal size (mm) กับ Approximate no. element per m^3	38
รูปที่ 6.1.1 เครื่องกลั่นที่อยู่ในการดำเนินการสร้าง	44
รูปที่ 6.1.2 หม้อต้มซ้ำของเครื่องกลั่น	45
รูปที่ 6.1.3 เครื่องควบแน่นของเครื่องกลั่น	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.2.1 เกณฑ์กำหนดสารให้โทษในสุรา 5

ตารางที่ 4.2.1 Characteristic of packing 25

ตารางที่ 5.5.1 Characteristics of dumped tower packing 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

a : specific surface area of packing

a_h : specific hydraulic area of packing

a_p : พื้นผิวของแพคกิงต่อหน่วยปริมาตรของเบด

a_x : พื้นที่ผิวสัมผัสต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรและหอ

A : พื้นที่ผิว

B : อัตราการไหลของสายก้นหอ (kmol/hr)

C_h : Characteristic of the particular type and size of packing หาได้จากตารางที่ 4.2.1

C_L : Characteristic of the particular type and size of packing หาได้จากตารางที่ 4.2.1

C_p : Characteristic of the particular type and size of packing หาได้จากตารางที่ 4.2.1

C_V : Characteristic of the particular type and size of packing หาได้จากตารางที่ 4.2.1

D : อัตราการไหลของสายการกลั่น (kmol/hr)

F : อัตราการไหลของสายป้อน (kmol/hr)

F_p : packing factor หาได้จากตารางที่ 4.2.1

g : ความเร่งเนื่องจากความถ่วง

g_c : ความเร่งเนื่องจากความถ่วง

G : อัตราไหลเชิงโมลของไอต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ (kg.mol/(h)(m^2))

G' : อัตราเชิงมวลของการไหลของแก๊ส

H_{OG} : ความสูงต่อหน่วยของการถ่ายเท (Height of a transfer unit) อาจมีหน่วยเป็นเมตร (m)

HETP: ความสูงเทียบเท่าหนึ่งขั้นทางทฤษฎี (Height equivalent to a theoretical plate) (m)

k_y : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสำหรับสถานะแก๊ส

k_x : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสำหรับสถานะของเหลว

K_y : สัมประสิทธิ์รวมของการถ่ายเทมวลสารบนฐานของความเข้มข้นในเฟสไอ

l_T : ความสูงของหอ

L : อัตราไหลเชิงโมลของของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ (kg.mol/(h)(m^2))

L' : อัตราเชิงมวลของการไหลของของเหลว

L_n : อัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา

L_m : อัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ m นับจากยอดหอกลั่นลงมา

N_{OG} : จำนวนหน่วยของการถ่ายเท (Numbers of transfer unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$N_{Re,L}$: liquid Reynolds number = $u_L\rho_L/\mu_L a$

$N_{Fr,L}$: liquid Froude number = $u_L^2 a/g$

NTP : จำนวนชั้นทางทฤษฎี (Numbers of theoretical plate)

Q : ค่าพลังงาน

R : อัตราส่วนป้อนกลับ (Reflux ratio)

R_m : อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด (Minimum reflux ratio)

s : พื้นที่หน้าตัดของหอ

T_{c1} : อุณหภูมิของของไหลเย็นที่ตำแหน่งที่ 1

T_{c2} : อุณหภูมิของของไหลเย็นที่ตำแหน่งที่ 2

T_{h1} : อุณหภูมิของของไหลร้อนที่ตำแหน่งที่ 1

T_{h2} : อุณหภูมิของของไหลร้อนที่ตำแหน่งที่ 2

ΔT_m : the log mean temperature diffrence

U : overall heat-transfer coefficient

U_t : ความเร็วของแก๊สคำนวณโดยพื้นที่หน้าตัดของเบด (หรือหอ)

V_{n+1} : อัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ n+1จากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา

V_{m+1} : อัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ m+1จากชั้นที่ m นับจากยอดหอกลั่นลงมา

$x_{A,F}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายป้อน

$x_{A,D}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายการกลั่น

$x_{A,B}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายก้นหอ

x_c : อัตราส่วนเชิงโมลของของของเหลวที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้ง 2 กับเส้นสมดุล

x_n : อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา

x_m : อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ m นับจากยอดหอกลั่นลงมา

y : อัตราส่วนโมลในเฟสไอซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล

y^* : อัตราส่วนโมลในเฟสไอซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกับสัดส่วนโมลในเฟสของเหลว

y_1 : อัตราส่วนโมลในเฟสไอที่ทางเข้าชั้นวัสดุบรรจุ

y_2 : อัตราส่วนโมลในเฟสไอที่ทางออกชั้นวัสดุบรรจุ

y_c : อัตราส่วนเชิงโมลของของไอที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้ง 2 กับเส้นสมดุล

y_{n+1} : ส่วนประกอบของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ n+1จากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา

y_{m+1} : ส่วนประกอบของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ m+1จากชั้นที่ m นับจากยอดหอกลั่นลงมา

Z : ความสูงของหอ

ρ : ความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ : ความหนืด (mNs/m^2)

ε : fractional porosity

Subscript

g : แก๊ส

l : ของเหลว

w : น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

งานวิจัยนี้ ได้ตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนา และ ส่งเสริมการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุรากลั่นพื้นบ้าน เพื่อให้เป็นสินค้าในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ตามนโยบายของรัฐบาล จึงได้นำความรู้ในด้านวิศวกรรมเคมี ดำเนินการศึกษาปัญหา พัฒนา ออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ เพื่อการผลิตที่มีมาตรฐาน และสามารถผลิต ได้อย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นคณะผู้วิจัย จึงได้ออกแบบและสร้าง "เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่องขนาดเล็ก" ที่มีกำลังการผลิตประมาณ 500 ลิตรต่อวัน สามารถกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ จากวัตถุดิบที่เป็นสารละลายแอลกอฮอล์เจือจาง ที่มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในวัตถุดิบเริ่มต้นไม่เกินร้อยละ10 โดยปริมาตร เพื่อกลั่นให้ได้แอลกอฮอล์ มีความเข้มข้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 โดยปริมาตร เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์จะถูกออกแบบให้สามารถทำการติดตั้ง และเคลื่อนย้ายได้สะดวกสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมสุรากลั่นพื้นบ้านของไทย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อผลิตแอลกอฮอล์เข้มข้น จากสารละลายแอลกอฮอล์เจือจาง 10 % ให้ได้ปริมาณการผลิตประมาณ 500 ลิตรต่อวัน
2. เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพ และมูลค่าของสุราแช่พื้นบ้าน เพื่อผลิตเป็นสุรากลั่น
3. เพื่อสนับสนุนโครงการ"หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์"ของรัฐบาล

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

โครงงานวิจัยนี้ จะนำความรู้ในด้านวิศวกรรมเคมี ดำเนินการศึกษา พัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ ที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ40 โดยปริมาตร และให้ปริมาณการผลิตประมาณ 500 ลิตรต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้กระบวนการกลั่นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์
2. ได้เรียนรู้วิธีการ ขั้นตอนการออกแบบกระบวนการกลั่นเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์
3. สามารถพัฒนาสร้างเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบ ที่สามารถปฏิบัติงานได้จริง ในกระบวนการอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
สุรากลั่น

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลทั่วไป เกี่ยวกับสุรากลั่น เนื่องจากเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการให้ความ-สนใจ ในงานวิจัยในหัวข้อนี้

2.1 ความหมายของสุรากลั่น [1]

สุรากลั่น คือ แอลกอฮอล์กินได้ (Ethyl alcohol) ที่ได้จากการหมักสาผลไม้ น้ำหวานพืช และธัญพืช ให้เกิดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์แล้วนำมากลั่น โดยบางชนิดมีการบ่มให้มีรสชาติ และกลิ่นดี แบ่งเป็น 3 ชนิด

1. สุรากลั่นโดยตรง เพื่อให้ได้รสและกลิ่นเฉพาะตัวของวัตถุดิบในการหมัก อาจมีการปรุงแต่งกลิ่น รส และระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ให้พอเหมาะ เช่น สุราขาว (เหล้าโรง) เกาเหลียง วอดก้า (Vodka) อาร์แร็ก (Arrack) เตกิลา (Tequila) เป็นต้น

2. สุรากลั่นปรุงหรือผสมพิเศษ เป็นสุรากลั่นที่นำมาปรุงแต่งระดับแอลกอฮอล์ กลิ่น สี และรสชาติด้วยสมุนไพรและวัตถุดิบปรุงแต่งอื่นๆแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 สุราแช่สมุนไพร เช่น สุราจีนชนิดต่างๆ

2.2 สุราแช่สมุนไพรกลั่นทับ แบ่งเป็น 3 ชนิดย่อยคือ

2.2.1 สุรากลั่นแช่สมุนไพรและผลไม้กลั่นทับ เป็นสุราที่แช่ผลไม้หรือสมุนไพรจนได้กลิ่นตามที่ต้องการจากนั้นจึงนำไปกลั่นซ้ำเอาแต่กลิ่น มิได้มุ่งเอารสชาติหรือสรรพคุณตัวยา เช่น เหล้า-ยิน (Gin) สุราผสมพิเศษ สุราปรุงพิเศษ เป็นต้น

2.2.2 สุรากลั่นปรุงรส เป็นสุราที่กลั่นแล้วนำมาปรุงแต่งรสให้หวาน หอม มีสีต่าง ๆ เช่น สุราเปปเปอร์มินท์ (Peppermint) สุรากาแฟ (Cream of Coffee) ชาเตรอส (Chartereuse) อีสซารา (Izzara) เป็นต้น

2.2.3 สุรากลั่นปรุงและบ่ม เป็นสุรากลั่นที่ปรุงแต่งความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ กลิ่น สี และรสชาติด้วยหัวเชื้อปรุงแล้วนำมาบ่มในถังไม้โอ๊ก เช่น สก็อตวิสกี้ (Scotch Whisky) เบอร์เบิ้น หรืออเมริกันวิสกี้ (Bourbon or American Whiskeys) บรั่นดี (Brandy) รัม (Rum หรือ Rham)

3. สุราพิเศษ หมายถึงสุรากลั่นตามที่กำหนดในกระทรวง ฉบับที่ 46 (พ.ศ. 2513) ซึ่งทำโดยใช้วัตถุดิบ การกลั่น การเก็บบ่มและการปรุงแต่งดังนี้

3.1 วิสกี้ (Whisky) วัตถุดิบใช้เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวเหนียว ข้าวบาร์เลย์ ข้าวมอลท์ ข้าวโพด เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยเอนไซม์ (Enzyme) เป็นตัวแปรแป้ง (Starch) ที่มีอยู่ในเมล็ดธัญพืชให้เป็นน้ำตาลเสียก่อน แล้วนำไปหมักในถังหมักสา (Fermentator) โดยเติมเชื้อยีสต์ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่าการหมักส่า ใช้เวลา 4 - 5 วัน เกิดแอลกอฮอล์ 8 - 12 ดีกรี นำไปกลั่นได้ แอลกอฮอล์เข้มข้น 55 - 95 ดีกรี เก็บบ่มปรุงแต่งกลิ่นสี รสชาติ ที่แอลกอฮอล์เข้มข้น 40 ดีกรี บ่มไว้ 2 ปี ในถังไม้โอ๊ก เป็นวิสกี้ล้วน (Straight Whisky) หรือนำไปผสมวิสกี้อื่นๆ เป็นวิสกี้ผสม (Blended Whisky)

3.2 บรั่นดี (Brandy) ใช้ผลไม้เป็นวัตถุดิบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกาก และเปลือกองุ่นที่แยกออกมาจากการหมักไวน์แดง ไวน์ขาว ผสมเชื้อยีสต์หมักทิ้งไว้จนเกิดแอลกอฮอล์ 8-12 ดีกรี นำไปกลั่นแบบหม้อต้ม (Pot Still) ได้น้ำสุราที่มีแรงแอลกอฮอล์ประมาณ 60 ดีกรี ซึ่งไม่สูงนัก ปรุงแต่งกลิ่น สี และรสชาติ ให้ได้แอลกอฮอล์ 38 ดีกรี หรือ 40 ดีกรี บ่มถังไม้โอ๊กอย่างน้อย 1 ปี นำบรรจุขวดออกขาย

3.3 รัม (Rum) วัตถุดิบได้แก่ น้ำอ้อย กากน้ำตาลอ้อย (Molase) น้ำเชื่อมอ้อย น้ำตาลอ้อย ปรับความหวานให้เหมาะสม ผสมเชื้อยีสต์ประเภทย่อยน้ำตาลอย่างเดียว หมักทิ้งไว้ประมาณ 2-4 วัน จะเกิดแอลกอฮอล์ขึ้นความเข้มข้น 8-12 ดีกรี นำไปกลั่นแบบต่อเนื่อง (Continuos Still) เพื่อแยกแอลกอฮอล์ออกมา จะได้แอลกอฮอล์ 60-95 ดีกรี ปรับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ ด้วยน้ำกลั่นให้เจือจางลงเหลือประมาณ 40 ดีกรี ปรุงแต่งกลิ่น สี รสชาติ บ่มในถังไม้โอ๊ก หรือไม้ก่อ อย่างน้อย 1 ปี บรรจุขวดนำออกจำหน่าย

3.4 วอดก้า (Vodka) วัตถุดิบใช้เมล็ดธัญพืชและแป้งจากหัวมันฝรั่ง มันเทศ มาทำให้เป็นแป้ง (starch) ใช้เอนไซม์ย่อยแป้งเป็นน้ำตาล จากนั้นนำมาหมักกับเชื้อยีสต์เป็นเวลา 2-4 วันจนได้แอลกอฮอล์ 8-12 ดีกรี จากนั้นนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นแบบต่อเนื่อง (Continuos Still) เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์สูงถึง 95 ดีกรี จึงนำแอลกอฮอล์ที่ได้มากำจัดกลิ่น ด้วยการผ่านถ่านไม้ หรือวัสดุอื่น ๆ ปรับปรุงน้ำสุราให้มีแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่า 40 ดีกรี บรรจุขวดออกจำหน่าย

3.5 ยิน (Gin) ใช้แอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่นวัตถุดิบเกษตรชนิดใดก็ได้มาดองผลจูนิเปอร์หรือสมุนไพร เครื่องเทศต่างๆ ตามที่ต้องการ นำไปกลั่นซ้ำแบบหม้อต้ม (Pot Still) ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อให้ได้กลิ่นสมุนไพรติดไอน้ำขึ้นมาและกลั่นตัวเป็นน้ำสุรา เมื่อได้น้ำสุรากลั่นใหม่ให้ปรับแต่ง รส กลิ่น และแอลกอฮอล์ ให้ไม่ต่ำกว่า 40 ดีกรี บรรจุขวดออกจำหน่าย

3.6 ลิเคียร์ (Liqueurs) ใช้สุราที่ได้จากการกลั่นพืชผลเกษตรมาปรุงแต่งกลิ่นด้วยน้ำเชื่อมจากการเคี่ยวผลไม้หรือสมุนไพร โดยมีปริมาณน้ำเชื่อมในสุราไม่ต่ำกว่าร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เกณฑ์กำหนดสารให้โทษในสุรา

สุราทุกประเภทต้องมีสารที่ให้โทษแก่ร่างกายเจือปนหรือปนเปื้อนอยู่ไม่เกินกำหนดไปจากตารางที่ 2.2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.2.1 เกณฑ์กำหนดสารให้โทษในสุรา [1]

สารเคมี	เกณฑ์กำหนด
แอลกอฮอล์กินไม่ได้ (Methyl alcohol)	ไม่มี
สารหนู (Arsenic)	ไม่มากกว่า 0.2 ส่วนในล้านส่วน
ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า 0.1 ส่วนในล้านส่วน
ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า 7 ส่วนในล้านส่วน
ฟูเซลออยล์ (Fusel oil)	ไม่มากกว่า 2,500 ส่วนในล้านส่วน
อัลดีไฮด์ คำนวณเป็น อาซิตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde)	ไม่มากกว่า 80 ส่วนในล้านส่วน
เอสเทอร์คำนวณเป็นเอทิลอาซิเตต (Ester)	ไม่มากกว่า 1,200 ส่วนในล้านส่วน
เฟอร์ฟุรัล (Furfural)	ไม่มากกว่า 9 ส่วนในล้านส่วน
ไกลโคไซด์ที่เป็นพิษ (Toxic glycosides)	ไม่มี
อัลคาลอยด์ที่เป็นพิษ (Toxic alkaloids)	ไม่มี
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือเกลือที่แตกตัวเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คำนวณเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ไม่มากกว่า 450 ส่วนในล้านส่วน
กรดเบนโซอิก เกลือหรืออนุพันธ์ของกรดเบนโซอิก คำนวณเป็นกรดเบนโซอิก	ไม่มากกว่า 250 ส่วนในล้านส่วน
กรดซอร์บิก เกลือหรืออนุพันธ์ของกรดซอร์บิก คำนวณเป็นกรดซาลิซิลิก	ไม่มากกว่า 200 ส่วนในล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หอประเภทบรรจุ

ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะทั่วไปของหอประเภทบรรจุ (Packed tower) และข้อดีข้อเสียเมื่อเปรียบเทียบกับหอประเภทชั้น (Tray tower)

3.1 ลักษณะการใช้งาน

ลักษณะโดยทั่วไปของหอประเภทบรรจุนั้น จะถูกบรรจุด้วยวัสดุที่มีรูปทรงต่างๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างเฟสของไอ กับเฟสของเหลว ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของหอ ในงานอุตสาหกรรมนิยมใช้หอประเภทบรรจุ ในกระบวนการกลั่น และกระบวนการการดูดซึม

3.2 ปัญหาในการออกแบบ

ปัญหาสำคัญในการออกแบบหอประเภทบรรจุ คือ การเลือกวัสดุบรรจุ โดยควรเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติ เหมาะสมกับสารที่ใช้ในกระบวนการ อีกทั้งควรคำนึงถึงค่าความดันลดที่จะเกิดขึ้นภายในหอ ปัจจุบันวัสดุบรรจุแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด เช่น แรชชิก ริง (Raschig ring) เบิร์ล แซดเดิล (Berl saddle) เป็นต้น โดยแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติจำเพาะเจาะจง ทั้งในด้านพื้นผิวสำหรับใช้งาน ค่าความดันลดที่เกิดขึ้น และราคา

3.3 วัสดุบรรจุ

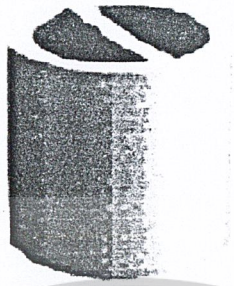
3.3.1 ชนิดของวัสดุบรรจุ

- แรชชิก ริง (Raschig ring) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกใกล้เคียงกับความยาวดังรูปที่ 3.1โดยทั่วไปทำมาจาก เซรามิก โลหะ พลาสติกหรือเหล็กคาร์บอน

รูปที่ 3.1 แรชชิก ริง

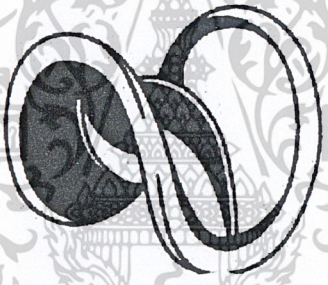
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เรซชิง ริง (Lessing ring) มีลักษณะคล้ายกับ แรชชิก ริง (Raschig ring) เป็นการนำเอา ราสชิก ริง (Raschig ring) มาพัฒนารูปทรง โดยมีการแบ่งครึ่งภายใน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว ดังรูปที่ 3.2



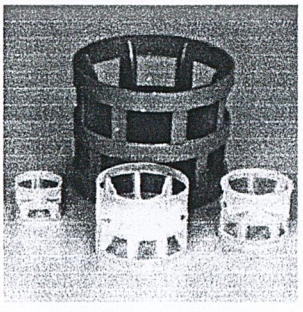
รูปที่ 3.2 เรซชิง ริง

- เบิร์ล แซดเดิล (Berl saddle) ได้ถูกพัฒนาให้มีพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรเพิ่มมากขึ้น และให้ค่าความดันลดต่ำ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่า แรชชิก ริง และ เรซชิง ริง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เบิร์ล แซดเดิล

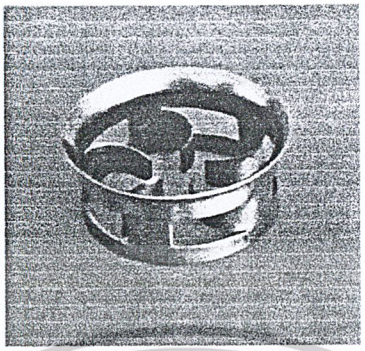
- พอล ริง (Pall ring) พัฒนารูปทรงมาจาก แรชชิก ริง ดังรูปที่ 3.4 โดยมีลักษณะเป็นทรงกระบอกยาว ที่มีการเจาะผนังภายใน ซึ่งการเจาะที่พื้นผิว จะทำให้ไอและของเหลวไหลได้ดี อีกทั้งยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสระหว่างเฟสไอและเฟสของเหลว



รูปที่ 3.4 พอล ริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คาสเคด (Cascade) หรือ มินิ ริง (Mini ring) มีลักษณะคล้ายกับ พอล ริง แต่มีอัตราส่วนของความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 1:3 (ทรงกระบอก) มีพื้นที่สำหรับการถ่ายเทมวลมาก ดังรูปที่ 3.5

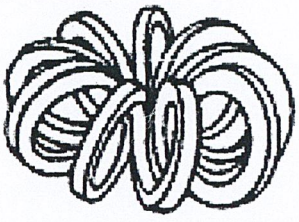


รูปที่ 3.5 คาสเคด

- อินทาลอกซ์ แซดเดิล (Intalox saddle) ได้รับการพัฒนารูปทรงมาจาก เบิร์ล แซด - เดิล ดังรูปที่3.6 โดยมีการปรับแต่งช่องทางไหลของของเหลว และไอ เพื่อให้เกิดสมรรถนะ และมีประสิทธิภาพที่ดี อีกทั้งยังให้ค่าความดันลด ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับ เบิร์ล แซดเดิล

รูปที่ 3.6 อินทาลอกซ์ แซดเดิล

- เทลเลเรท แพ็คคิง (Tellerette packing) ทำจากพลาสติก ให้ค่าความดันลด ต่ำ นิยมใช้ในงานควบคุมมลภาวะ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เทลเลเรท แพ็คคิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วัตถุดิบที่นำมาใช้ทำวัสดุบรรจุ

- โลหะคาร์บอน (Carbon steel) มักถูกเลือกเป็นตัวเลือกแรก เมื่อใช้งานกับสารที่ไม่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน หากเปรียบเทียบกับ เซรามิก (Ceramic) และพลาสติก (Plastic) แล้ว จะให้สมรรถนะและประสิทธิภาพที่สูงกว่า ทนทานต่อการเปลี่ยนรูปทรง และแตกหักยาก

- เซรามิก (Ceramic) ถ้าเปรียบเทียบกับพลาสติก (Plastic) แล้วจะแตกหักยากกว่า แต่มีสมรรถนะที่ต่ำกว่า ส่วนมากจะนำ เซรามิก (Ceramic) ไปใช้กับงานที่เฉพาะ เช่น สารเคมีที่มีความหนืด เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ อย่างไรก็ตาม เซรามิก (Ceramic) มักจะเกิดการสูญเสียสภาพ ได้ง่าย จากพวกสารเคมี

- พลาสติก (Plastic) มีราคาถูก และเหมาะกับการใช้งานในกระบวนการที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 121 องศาเซลเซียส

3.4 เงื่อนไขทั่วไปที่หอบรรจุเอื้ออำนวยต่อการใช้งาน

1. เหมาะกับการใช้งานกับกรดและสารที่กัดกร่อนชนิดอื่นๆได้ เพราะสามารถเลือกใช้วัสดุบรรจุเป็น เซรามิก (Ceramic) หรือวัสดุที่ต้านทานการกัดกร่อนได้

2. เหมาะกับการใช้งานกับวัตถุดิบที่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพราะจะมีของเหลวตกค้างอยู่ในหอน้อย ซึ่งจัดว่าเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับหอประเภทชั้น

3. ภายในหอ ของเหลวจะเปลี่ยนเป็นฟองและสัมผัสกับไอมากยิ่งขึ้น

4. วัสดุบรรจุจะให้ค่าประสิทธิภาพ และค่าความดันลดที่เหมาะสม

3.5 เงื่อนไขที่หอบรรจุไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้งานเมื่อเทียบกับหอประเภทชั้น

1. หอประเภทชั้น จะสามารถถอดทำความสะอาดได้ง่ายกว่า หอประเภทบรรจุ

2. วัสดุบรรจุจำนวนหนึ่งอาจสูญหาย หรือแตกหักได้ง่ายในระหว่างที่ทำการบรรจุเข้าไปภายในหอ หรืออาจได้รับความเสียหายจากการขยายตัวและหดตัวของอุณหภูมิ

3. หอประเภทชั้นมีความสามารถในการจัดการกับวัตถุดิบปริมาณมากได้ดีกว่า หอประเภทบรรจุ เพราะสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่มากๆ ได้

4. หอประเภทบรรจุไม่เหมาะสมกับการใช้งานที่อัตราการป้อนของเหลวต่ำๆ เพราะจะเป็นการลดประสิทธิภาพในการสัมผัสกันระหว่างเฟสไอกับเฟสของเหลวลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การกลั่นและทฤษฎีการคำนวณ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีการคำนวณการกลั่น พื้นฐานเบื้องต้นในลักษณะของการคำนวณแบบจำลองแบบสมดุล (Equilibrium based model) หลังจากนั้นจะกล่าวถึง วิธีการคำนวณในลักษณะแบบจำลองแบบอัตราเร็ว (Rate based model) เนื่องจาก หอกลั่นประเภทบรรจุนั้น มีปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในหอ ซึ่งถูกกำหนดด้วยอัตราการถ่ายเทมวลสาร ระหว่างเฟสไอและเฟสของเหลว

4.1 ทฤษฎีการกลั่นแบบสมดุล [2]

เมื่อพิจารณาการดุลมวลทั้งหมด (Overall balance) ของทั้งหอกลั่น อาจพิจารณาระบบ 2 องค์ประกอบ (Binary System) ได้ดังนี้

4.1.1 สมการดุลวัตถุ (Material balance)

สมการดุลรวม (Total balance) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = D + B \qquad \text{---(4.1.1)}$$

เมื่อ F : อัตราการไหลของสายป้อน (kmol/hr)

D : อัตราการไหลของสายการกลั่น (kmol/hr)

B : อัตราการไหลของสายก้นหอ (kmol/hr)

และสมการดุลขององค์ประกอบ A (Species balance)เขียนได้ดังนี้

$$Fx_{A,F} = Dx_{A,D} + Bx_{A,B} \qquad \text{---(4.1.2)}$$

เมื่อ $x_{A,F}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายป้อน

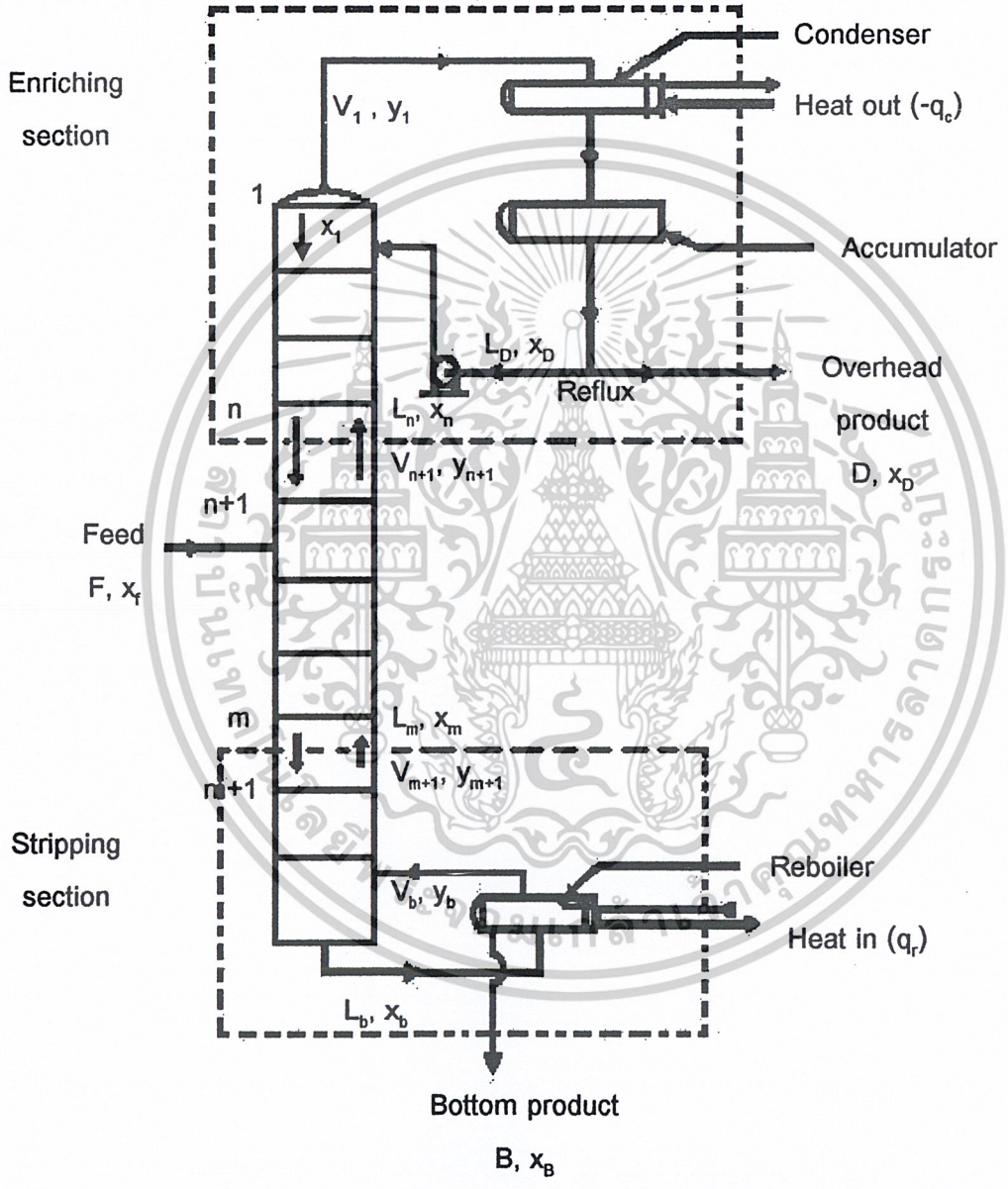
$x_{A,D}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายการกลั่น

$x_{A,B}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายก้นหอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 เส้นปฏิบัติการ (Operating line)

การทำดุลมวลสารในหอกลั่น เมื่อพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือส่วนบน และส่วนล่างของหอกลั่น สามารถทำได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1.1 เพื่อเขียนเป็นสมการเส้นปฏิบัติการได้ดังนี้



รูปที่ 4.1.1 การดุลมวลสารสำหรับการกลั่นลำดับส่วนอย่างต่อเนื่อง [2,3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ X_n และ L_n คือสัดส่วนเชิงโมล และอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา ให้ y_{n+1} และ V_{n+1} คือส่วนประกอบ และอัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ n+1 จะได้เส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้น (Enriching section) ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{n+1}y_{n+1} = L_n x_n + Dx_D \qquad \text{---(4.1.3)}$$

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}}x_n + \frac{D}{V_{n+1}}x_D \qquad \text{---(4.1.4)}$$

$$= \frac{L_n}{L_n + D}x_n + \frac{D}{L_n + D}x_D \qquad \text{---(4.1.5)}$$

ถ้าให้อัตราส่วนป้อนกลับ (Reflux ratio) คือ R = L/D แล้วแทนลงในสมการที่ 4.1.5 จะได้

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{1}{R+1}x_D \qquad \text{---(4.1.6)}$$

ในทำนองเดียวกันให้ y_{m+1} , V_{m+1} คือส่วนประกอบและอัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นจากชั้นที่ m+1 และ ให้ x_m , L_m คือส่วนประกอบ และอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลลงมาจากชั้นที่ m จะได้เส้นปฏิบัติการของช่วงไล่สารระเหยง่าย (Stripping section) ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{m+1}y_{m+1} = L_m x_m + Bx_B \qquad \text{---(4.1.7)}$$

$$y_{m+1} = \frac{L_m}{V_{m+1}}x_m - \frac{B}{V_{m+1}}x_B \qquad \text{---(4.1.8)}$$

และ

$$V_{m+1} = L_m - B \qquad \text{---(4.1.9)}$$

ถ้าสารป้อน 1 โมล มีสัดส่วนของเหลว q และสัดส่วนไอ 1-q เมื่อ $0 \leq q \leq 1$ จะได้ความสัมพันธ์ของสมการ

$$L_m = L_n + qF \qquad \text{---(4.1.10)}$$

และ

$$V_n = V_m - (1 - q)F \qquad \text{---(4.1.11)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดตัดของเส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้นกับเส้นปฏิบัติการของช่วงไล่สารระเหยง่าย บนกราฟ xy หาได้จากการเขียนสมการใหม่จากสมการที่ 4.1.3 และสมการที่ 4.1.7 โดยเมื่อนำเอาซับสคริปท์ของชั้นออก จะได้

$$V_n y = L_n x + D x_D \qquad \text{---(4.1.12)}$$

และ

$$V_m y = L_m x + B x_B \qquad \text{---(4.1.13)}$$

นำสมการที่ 4.1.12 และ สมการที่ 4.1.13 มาลบกัน จะได้

$$(V_m - V_n) y = (L_m - L_n) x - (D x_D + B x_B) \qquad \text{---(4.1.14)}$$

แทนสมการที่ 4.1.2, 4.1.10 และ 4.1.11 ในสมการที่ 4.1.14 จะได้

$$y = \frac{q}{q-1} x - \frac{x_F}{q-1} \qquad \text{---(4.1.15)}$$

สมการเส้นปฏิบัติการทั้งสองช่วงนี้สามารถเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1.2

4.1.3 เส้น q (q-line)

เส้น q คือเส้นตรง ที่แสดงได้ด้วยสมการ

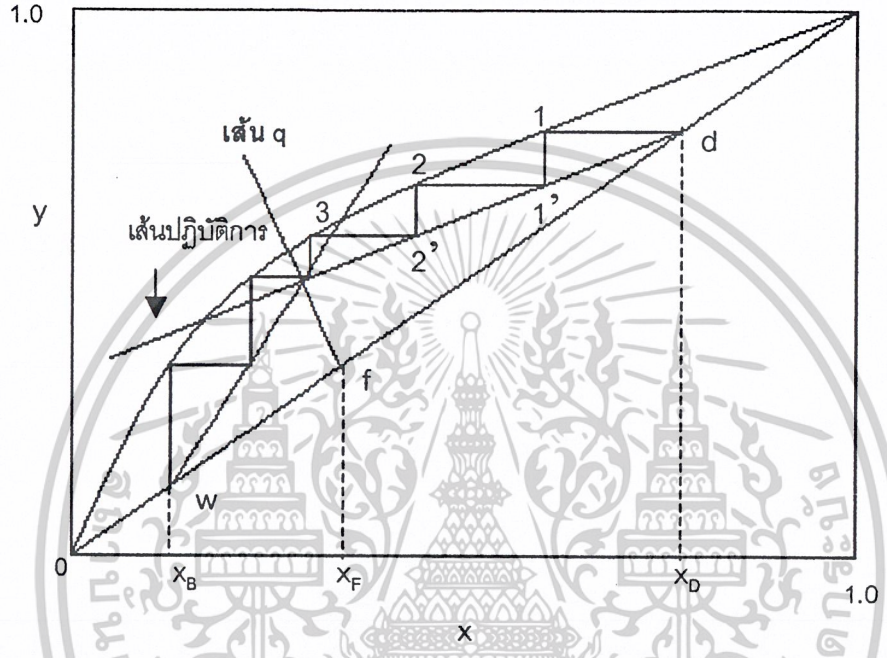
$$x_F = qx + (1 - q)y \qquad \text{---(4.1.16)}$$

ในทางปฏิบัติควรจะทำให้ค่าของ x บนจุดตัดระหว่างเส้น q กับเส้นปฏิบัติการ มีค่าใกล้เคียงมากที่สุดกับส่วนประกอบของของเหลวบนชั้นที่ป้อนสารเข้า ความชันของเส้น q จะขึ้นกับคุณลักษณะของสารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎี โดยวิธีกราฟของ McCABE –THIELE

แสดงในรูปที่ 4.1.2 ให้พล็อตเส้นสมดุลของไอและของเหลวลงบนกราฟ x-y แล้วลงจุด d,f,w บนเส้นทแยงมุมเพื่อแทนตำแหน่งของความเข้มข้น x_D,x_F,x_B ตามลำดับ โดยอาศัยสมการ 4.1.6 , 4.1.8 และ 4.1.9 ลากเส้นตรง แสดงเส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้น ของช่วงการไล่สารระเหยง่ายและเส้น q ตามลำดับ เส้นทั้งสามจะตัดกันที่จุด ๆ หนึ่ง



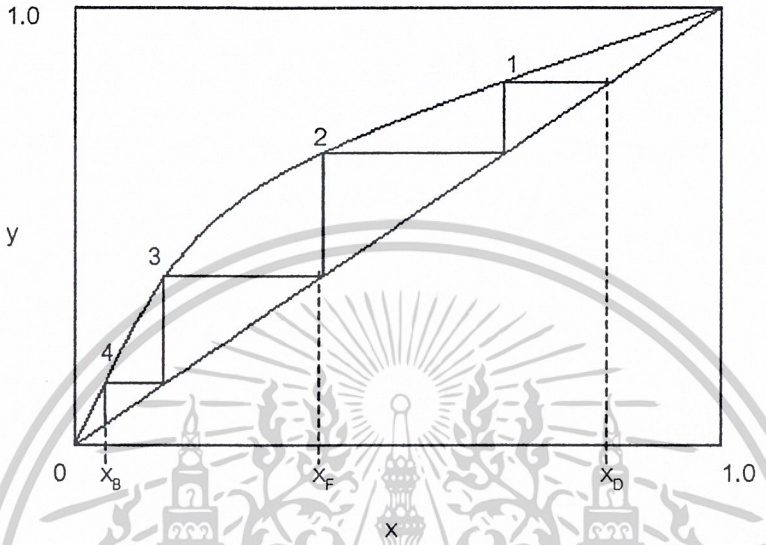
รูปที่ 4.1.2 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของ McCABE-THEIE [2]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 จำนวนขั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด (Minimum theoretical stages)

ในกรณีที่อัตราส่วนป้อนกลับมีค่ามหาศาลไม่จำกัด ถ้าใช้วิธีเขียนกราฟของ McCABE-THIELE เส้นปฏิบัติการจะกลายเป็นเส้นทแยงมุม ซึ่งจะให้ได้จำนวนขั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.1.3



รูปที่ 4.1.3 การหาจำนวนขั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด [2]

4.1.6 อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด (Minimum reflux ratio, R_m)

กรณีที่จำนวนขั้น มีมหาศาลไม่จำกัด ถ้าใช้วิธีเขียนกราฟของ McCABE-THIELE จะได้จุดตัดของเส้นปฏิบัติการกับเส้น q อยู่บนเส้นสมดุลพอดี อัตราส่วนป้อนกลับในกรณีนี้ เรียกว่า อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากรูปที่ 4.1.4 ดังนี้

$$\frac{\Delta y}{\Delta x}=\frac{x_D-y_c}{x_D-x_c}=\frac{x_D-\dfrac{x_D}{R_m+1}}{x_D}=1-\frac{1}{R_m+1}$$

$$=\frac{R_m+1-1}{R_m+1}=\frac{R_m}{R_m+1}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

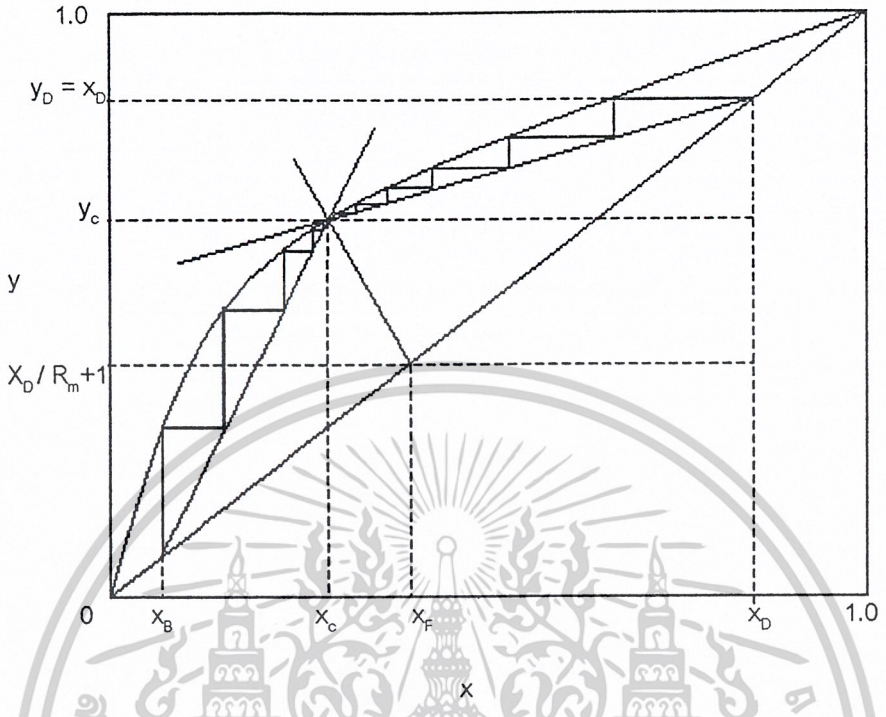
$$\frac{R_m}{R_m+1}=\frac{x_D-y_c}{x_D-x_c} \qquad \text{---(4.1.17)}$$

เมื่อ x_c : อัตราส่วนเชิงโมลของของของเหลวที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้ง 2 กับเส้นสมดุล

y_c : อัตราส่วนเชิงโมลของของไอที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้ง 2 กับเส้นสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เส้นสมดุลมีรูปร่างคดงอลงต่ำ R_m ก็คือความชัน (slope) ของเส้นตรงที่ลากจากจุด d (รูปที่ 4.1.2) มาสัมผัสกับเส้นสมดุลพอดี



รูปที่ 4.1.4 การหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด [2]

ซึ่งค่าอัตราส่วนป้อนกลับที่เราใช้จริงจะประมาณ 1.2 ถึง 1.5 เท่าของอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด

4.2 การออกแบบหอกลั่นประเภทบรรจุ [4,5]

4.2.1 ความสูงของหอกลั่นประเภทบรรจุ

หอกลั่นประเภทบรรจุ เป็นอุปกรณ์ที่ซึ่งทำให้ไอและของเหลวสัมผัสกันบนพื้นผิวของวัสดุบรรจุซึ่งทำให้เกิดกระบวนการกลั่นอย่างต่อเนื่องค่อยเป็นค่อยไปตลอดความสูงของหอกลั่น กระบวนการดังกล่าวต่างจากปรากฏการณ์ในหอกลั่นประเภทชั้นอย่างสิ้นเชิง โดยส่วนประกอบ A ในเฟสหนึ่งจะถ่ายเทไปยังอีกเฟสหนึ่งตลอดความยาวหอกลั่น ขณะที่ของไหลผ่านหอ ดังนั้นอัตราการไหลของของไหล และความเข้มข้นของสาร A ในทั้งสองเฟส จะเปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของหอ ซึ่งจะยังผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของหอด้วย ดังนั้นในการออกแบบหอกลั่นประเภทบรรจุเราจะพิจารณาในส่วนย่อยของหอก่อน แล้วทำการอินทิเกรตเพื่อจะได้ค่าความสูงของหอทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เพื่อป้องกันการสับสนเกี่ยวกับทิศทางการไหลของสาร จะทำการกำหนดดังนี้

1. การถ่ายเทมวลมวลจากเฟส L ไปยัง เฟส V ถือว่าเป็นบวก (นั้นคือกระบวนการดึงสารออกจากของเหลว)

2. การอินทิเกรตสมการที่จะตั้งขึ้นจะอินทิเกรตจากก้นหอ ไปยังยอดหอ

3. เฟสที่ไหลขึ้นภายหอให้เป็นเฟส V ตรงกันข้ามเฟสที่ไหลลงให้เป็นเฟส L

รูปที่ 4.2.1 หอแพคบรรจุ [6]

การคำนวณความสูงของหอกลั่นประเภทบรรจุ นิยมใช้ค่า HETP ซึ่งหมายถึงความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี

HETP นิยามได้โดย

$$HETP = \frac{Z}{NTP} \qquad \text{---(4.2.1)}$$

HETP : ความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี (Height equivalent to a theoretical plate) (m)

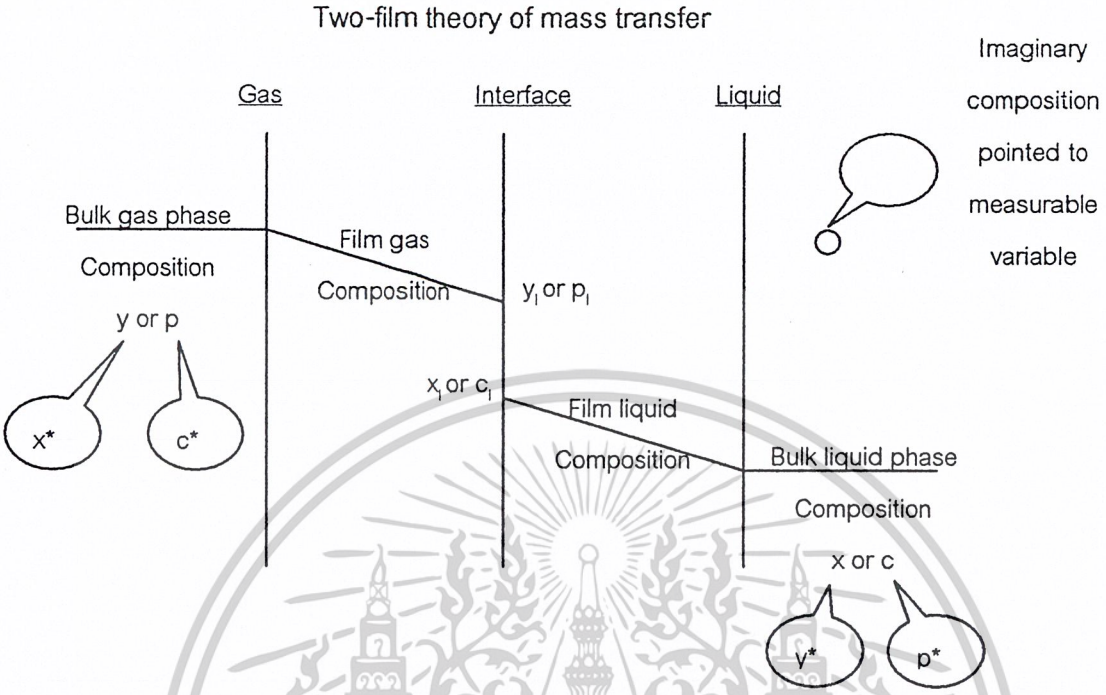
Z : ความสูงของชั้นวัสดุ (m)

NTP : จำนวนชั้นทางทฤษฎี (Numbers of theoretical plate)

การถ่ายเทมวลของสารละลายจากไอแก๊สไปไอของเหลวจะใช้ทฤษฎี 2 ฟิล์ม ซึ่งจะเป็นไปตามรูปที่ 4.2.2 โดยสมมุติให้ที่ Interface อยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งสามารถใช้ในการหาอัตราการไหลของไอและของเหลวที่น้อยที่สุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55683



รูปที่ 4.2.2 interface properties terms of bulk properties [5]

จากรูปที่ 4.2.2 จะได้สมการ

$$r = k_y a(y - y_I) = k_x a(x_I - x) \qquad \text{---(4.2.2)}$$

เมื่อ k_y : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสำหรับสถานะแก๊ส

k_x : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสำหรับสถานะของเหลว

a : specific surface area of packing

อัตราการถ่ายเทมวลสารต่อหน่วยปริมาตรของเบด (r) ซึ่งเขียนในเทอมของ overall driving forces สำหรับเฟสแก๊ส หรือเฟสของเหลว จะเขียนได้เป็น

$$r = K_y a(y - y^*) = K_x a(x^* - x) \qquad \text{---(4.2.3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 4.2.2 และ 4.2.3 จะได้

$$\frac{1}{K_y a} = \frac{1}{k_y a} + \frac{1}{k_x a}\left(\frac{y_I - y^*}{x_I - x}\right) \qquad \text{---(4.2.4)}$$

และ

$$\frac{1}{K_x a} = \frac{1}{k_x a} + \frac{1}{k_y a}\left(\frac{x^* - x_I}{y - y_I}\right) \qquad \text{---(4.2.5)}$$

สำหรับสารละลายเจือจางซึ่ง เส้นสมดุล (Equilibrium curve) ประมาณเป็นเส้นตรงผ่านจุด origin

จะได้ว่า

$$\left(\frac{y_I - y^*}{x_I - x}\right) = K \qquad \text{---(4.2.6)}$$

และ

$$\left(\frac{x^* - x_I}{y - y_I}\right) = \frac{1}{K} \qquad \text{---(4.2.7)}$$

แทนสมการ 4.2.6 และ 4.2.7 ในสมการ 4.2.4 และ 4.2.5 จะได้ว่า

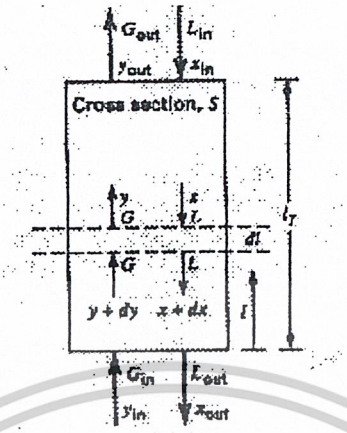
$$\frac{1}{K_y a} = \frac{1}{k_y a} + \frac{K}{k_x a} \qquad \text{---(4.2.8)}$$

และ

$$\frac{1}{K_x a} = \frac{1}{k_x a} + \frac{1}{K k_y a} \qquad \text{---(4.2.9)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความสูงของหอพิจารณาจากหอดูดซึมการไหลแบบสวนทางดูจากรูปที่ 4.2.3 โดยเป็นระบบสารละลายเจือจาง



รูปที่ 4.2.3 differential contact in a countercurrent-flow packed column [5]

สมดุลมวลของสาร (Material balance) คือ

$$-GSdy = K_y a(y-y^*)S\,dl \qquad \text{---(4.2.10)}$$

ทำการ Integrate ;

$$\frac{K_y a}{G}\int_0^{l_T} dl = \frac{K_y a l_T}{G} = -\int_{y_{in}}^{y_{out}} \frac{dy}{y-y^*} \qquad \text{---(4.2.11)}$$

ทำการคำนวณต่อ

$$l_T = \frac{G}{K_y aS}\int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{1}{y-y^*}dy \qquad \text{---(4.2.12)}$$

เมื่อ G : อัตราไหลเชิงโมลของไอต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ (kg.mol/(h)(m^2))

L : อัตราไหลเชิงโมลของของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ (kg.mol/(h)(m^2))

K_y : สัมประสิทธิ์รวมของการถ่ายเทมวลสารบนฐานของความเข้มข้นในเฟสไอ

a_x : พื้นที่ผิวสัมผัสต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรและหอ

y^* :สัดส่วนโมลในเฟสไอซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกับสัดส่วนโมลในเฟสของเหลว

s : พื้นที่หน้าตัดของหอ

l_T : ความสูงของหอ = Z

y : สัดส่วนโมลในเฟสไอซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล

y_1 : สัดส่วนโมลในเฟสไอที่ทางเข้าชั้นวัสดุบรรจุ

y_2 : สัดส่วนโมลในเฟสไอที่ทางออกชั้นวัสดุบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างบน ถ้าให้

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y \cdot a} \text{ และ } N_{OG} = \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{1}{y - y^*} dy \qquad \text{---(4.2.13)}$$

จะเขียนได้ว่า

$$Z = H_{OG} \times N_{OG} \qquad \text{---(4.2.14)}$$

เมื่อ H_{OG} : ความสูงต่อหน่วยของการถ่ายเท (Height of a transfer unit) อาจมีหน่วยเป็นเมตร (m)

N_{OG} : จำนวนหน่วยของการถ่ายเท (Numbers of transfer unit)

ในกรณีระบบที่เป็นอุดมคติกำหนดให้ $y^* = Kx$ ใช้กำจัด y และ ใช้สมการ กำจัด x จะได้

$$\int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{y - y^*} = \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{\left(1 - \frac{KG}{L}\right)y + y_{out}\left(\frac{KG}{L}\right) - Kx_{in}} \qquad \text{---(4.2.15)}$$

ให้ L/KG = A แล้ว integrate จะได้

$$N_{OG} = \ln\left\{\left[\frac{(A-1)}{A}\right]\left[\frac{(y_{in} - Kx_{in})}{(y_{out} - Kx_{in})}\right] + \left(\frac{1}{A}\right)\right\} \qquad \text{---(4.2.16)}$$

ถ้าเส้นปฏิบัติการและเส้นสมดุลเป็นเส้นตรงแต่ไม่ขนานกันจะได้ว่า

$$HETP = H_{OG} \frac{\ln\left(\frac{1}{A}\right)}{\frac{(1-A)}{A}} \qquad \text{---(4.2.17)}$$

และ

$$N_{OG} = N_t \frac{\ln\left(\frac{1}{A}\right)}{\frac{(1-A)}{A}} \qquad \text{---(4.2.18)}$$

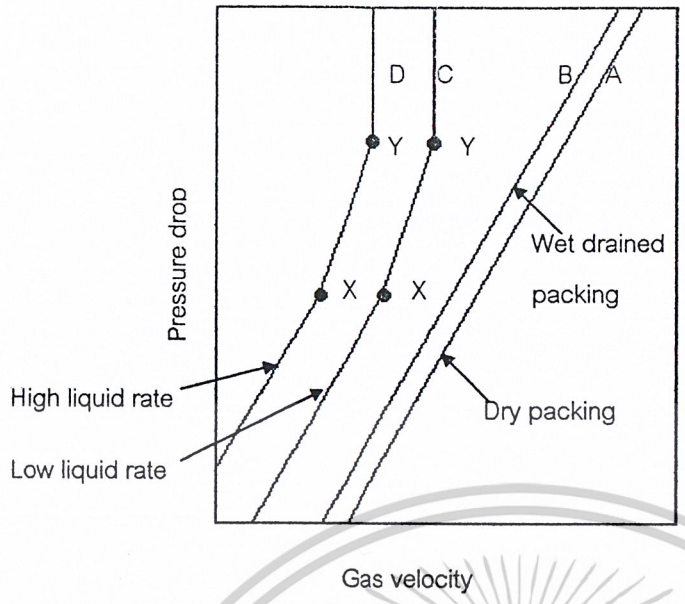
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความดันลดของหอกลั่นประเภทบรรจุ

เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องประมาณค่าความดันลดของหอกลั่นประเภทบรรจุ เมื่อมีของไหลสองสายไหลสวนกันในหอและ โดยทั่วไปสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลและความดันลดของหอกลั่นประเภทบรรจุที่ใช้วัสดุบรรจุแบบวงแหวน จะมีความถูกต้องน้อยกว่า สมการประเภทเดียวกัน แต่ใช้กับการไหลผ่านชั้นที่บรรจุอนุภาคของแข็ง แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์เหล่านี้ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการออกแบบซึ่งส่วนใหญ่ แก๊สมักจะไหลปั่นป่วน (Turbulent) และรูปแบบของความสัมพันธ์โดยทั่วไป ระหว่างความดันลด ($-\Delta P$) และอัตราไหลเชิงปริมาตรของแก๊สต่อพื้นที่หน้าตัดของหอ (U_t) แสดงในรูปด้านล่าง โดยที่ $-\Delta P$ จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณ $U_t^{1.8}$ ถ้า ขณะที่แก๊สไหลขึ้นมีของเหลวเริ่มไหลลงในหอ จะพบว่า ที่อัตราไหลของของเหลวต่ำ เส้นความดันลดจะคล้ายกับกรณีที่ไม่มีของเหลวไหลอยู่ด้วย นั่นคือการไหลของของเหลวไม่มีผลต่อทางเดินของแก๊ส แต่เมื่อความเร็วของแก๊ส เพิ่มขึ้นถึงค่าค่าหนึ่ง $-\Delta P$ จะเริ่ม เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและ $-\Delta P$ จะแปรผันตาม $U_t^{2.5}$ ดังแสดงในช่วง xy บนเส้นกราฟ C บนช่วง xy นี้ การไหลของของเหลว มีผลต่อการไหลของแก๊ส และค่าโฮลด์ อัพ (Hold-up) ของของเหลวจะเพิ่มขึ้น เกิดการสะสมของของเหลวอยู่ภายในช่องว่างของวัสดุบรรจุ ส่งผลให้การต้านทานการไหลเพิ่มสูงขึ้น และที่การไหลของแก๊สที่เหนือจุด y จะทำให้ค่า $-\Delta P$ สูงขึ้นมาก จนอาจทำให้ของเหลวในหอหยุดไหล

จุด x เรียกชื่อว่า จุดการโหลด (loading point) และจุด y เรียกว่า จุดการท่วม (flooding - point) สำหรับการไหลของของเหลวที่ค่านั้นๆ ถ้าการไหลของของเหลวเพิ่มขึ้นจะได้กราฟเส้นใหม่ คือ เส้นกราฟ D ซึ่งจะพบว่าจุดการท่วมจะเกิดขึ้นที่ค่าการไหลของแก๊สต่ำกว่า แต่ค่า $-\Delta P$ยังคงเป็นค่าเดิม โดยปกติหอกลั่นประเภทบรรจุจะทำงานอยู่ในช่วง xy นั่นคือ กำหนดค่า โฮลด์อัพ เป็นค่าค่าหนึ่ง เพื่อให้การสัมผัสระหว่างของเหลวกับแก๊สเกิดได้ดี และหอกลั่นประเภทบรรจุจะไม่สามารถทำงานที่สภาวะการท่วมได้ จากรูปที่ 4.2.4 จะพบว่าช่วง xy นี้ มีช่วงการไหลของแก๊สสั้นมาก ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการออกแบบ จะกำหนดให้การทำงานของหอ อยู่ที่จุดการโหลด นั่นก็คือที่จุด x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.4 Pressure-drop characteristics of packed columns. [4]

ความสัมพันธ์เชิงกราฟ สำหรับจุดการท่วม สร้างครั้งแรกโดย นายเชอร์วูด (Sherwood) และคณะ ดังที่เห็นในรูปที่ 4.2.5 และพัฒนาต่อมาโดย นายเลวา (Leva) และเพื่อน สำหรับวัสดุบรรจุแบบต่างๆ ได้แสดงในรูปที่ 4.2.6 ซึ่งเป็นกราฟ ระหว่าง $\frac{U_t^2 a_p \rho_g (\mu_l)^{0.2}}{g_c^3 \rho_l (\mu_w)^{0.2}}$ กับ $\frac{L}{G}\sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}$

เมื่อ U_t : ความเร็วของแก๊สคำนวณโดยพื้นที่หน้าตัดของเบด (หรือหอ)

a_p : พื้นผิวของแพคกิงต่อหน่วยปริมาตรของเบด

g_c : ความเร่งเนื่องจากความถ่วง

L' : อัตราเชิงมวลของการไหลของของเหลว

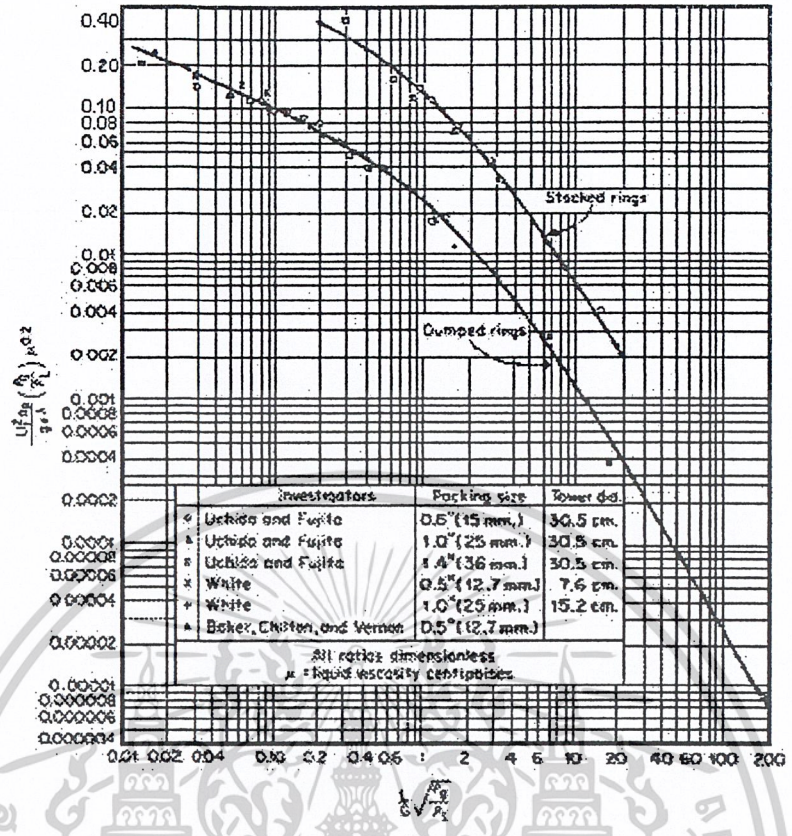
G' : อัตราเชิงมวลของการไหลของแก๊ส

μ_l : ความหนืดของน้ำที่ 293 K ($\approx$ 1 mNs/m^2)

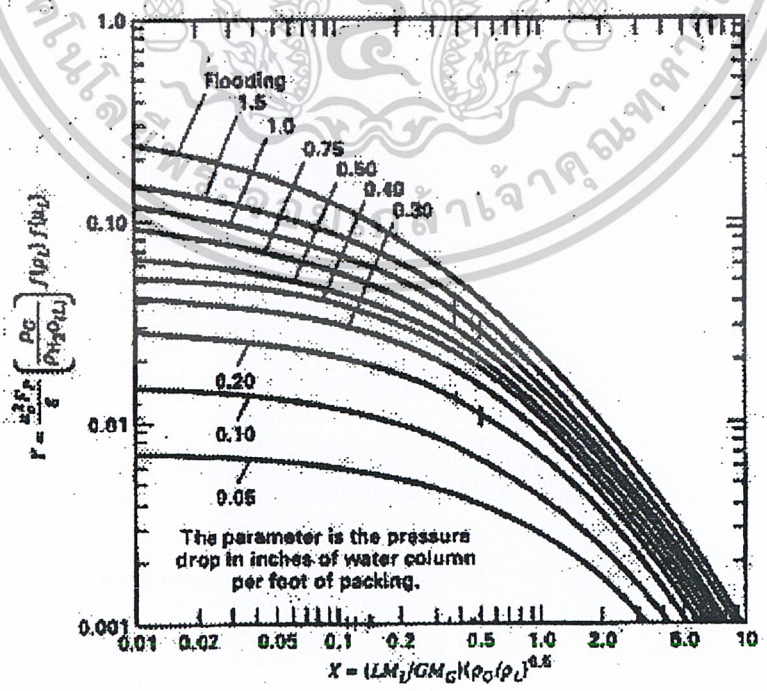
ตัวแปรที่ห้อยท้าย g แทนแก๊ส และ l แทนของเหลว

พื้นที่ภายในเส้นโค้งแทนภาวะของการเดินหอที่เป็นไปได้ ในสมการข้างบนมีเทอมอัตราส่วนของ (ρ_g/ρ_l) และ μ_l/μ_w อยู่ด้วย ซึ่งจะสามารถใช้ได้ในของเหลวและแก๊สหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.5 Generalized correlation of packed-column flood points ของ Sherwood, Shipley, and Holloway [*Ind. Eng. Chem.*, 30, 768 (1938)] [7]



รูปที่ 4.2.6 Generalized pressure drop correlation ของ Leva สำหรับ pack columns [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การหา Specific liquid holdup

การหา Specific liquid holdup หาได้จากการทดลองของ Billet and Schultes โดยจะได้สมการ

$$h_L = (12N_{Fr,L}/N_{Re,L})^{1/3}(a_h/a)^{2/3} \quad \text{---(4.2.19)}$$

เมื่อ $N_{Re,L}$: liquid Reynolds number = $u_L\rho_L/\mu_L a$

$N_{Fr,L}$: liquid Froude number = $u_L^2 a/g$

a_h/a : อัตราส่วนของ specific hydraulic area of packing ต่อ specific surface area of packing

โดย ถ้า $N_{Re,L} < 5$ จะได้ $\frac{a_h}{a} = C_h N_{Re,L}^{0.15} N_{Fr,L}^{0.1}$ ---(4.2.20)

ถ้า $N_{Re,L} > 5$ จะได้ $\frac{a_h}{a} = 0.85 C_h N_{Re,L}^{0.25} N_{Fr,L}^{0.1}$ ---(4.2.21)

เมื่อ a : specific surface area of packing

C_h, C_p, C_L, C_V : Characteristic of the particular type and size of packing

F_p : packing factor

ε : fractional porosity

a, F_p, C_h, C_p, C_L, C_V, ε หาได้จากตารางที่ 4.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.1 Characteristic of packing [5]

Packing	Material	Size	Characteristics from Billet: F_p, (ft^2/ft^3)	a, (m^2/m^3)	ε, (m^2/m^3)	C_h	C_p	C_L	C_V
			Ramdom Packings						
Raschig ring	Carbon	25 mm		202.2	0.720	0.623		1.379	0.471
Raschig ring	Ceramic	25 mm	179	190.0	0.680	0.577	1.329	1.361	0.412
Raschig ring	Ceramic	15 mm	380	312.0	0.690	0.648		1.276	0.401
Raschig ring	Ceramic	10 mm	1,000	440.0	0.650	0.791		1.303	0.272
Raschig ring	Ceramic	6 mm	1,600	771.9	0.620	1.094		1.130	
Raschig ring	Metal	15 mm	170	378.4	0.917	0.455			
Tellerette	Plastic	25 mm	40	190.0	0.930	0.588	0.538	0.899	
Top-Pak ring	Aluminum	50 mm		105.5	0.956	0.881	0.604	1.326	0.389
VSP ring	Metal	50 mm, no. 2		104.6	0.980	1.135	0.773	1.222	0.420
VSP ring	Metal	50 mm, no. 1		199.6	0.975	1.369	0.782	1.376	0.405
			Structured Packings						
Euroform	Plastic	PN-110		110.0	0.936	0.511	0.250	0.973	0.167
Gempak	Metal	A2 T-304		202.0	0.977	0.678			
Impulse	Ceramic	100		91.4	0.838	1.900	0.417	1.317	0.327
Impulse	Metal	250		250.0	0.975	0.431		0.983	0.270
Koch-SulZer	Metal	CY	70						
Koch-SulZer	Metal	BX	21						
Mellapak	Plastic	250 Y	22	250.0	0.960	0.554			
Montz	Metal	B1-100		100.0	0.987	0.626			
Montz	Metal	B1-200		200.0	0.979	0.547	0.355	0.971	0.390
Montz	Metal	B1-300	33	300.0	0.930	0.482	0.295	1.165	0.422
Montz	Plastic	C1-200		200.0	0.954		0.453	1.006	0.412
Montz	Plastic	C2-200		200.0	0.900		0.481	0.739	
Ralu Pak	Metal	YC-250		250.0	0.945		0.191	1.334	0.385

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการคำนวณการออกแบบหอกลั่นประเภทบรรจุ

ในบทนี้จะได้แสดงให้เห็นในรายละเอียดต่างๆในการคำนวณหาความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น ตลอดจนจำนวนชั้นและอัตราป้อนกลับที่น้อยที่สุด รวมทั้งพลังงานที่ใช้ในการกลั่น จำนวนแรชิก ริงที่ให้บรรจุในขนาดหอที่คำนวณได้ และขนาดของเครื่องควบแน่น

5.1 การคำนวณหาความสูงของหอ [5]

Assume: R (reflux) = 1, V_b (boilup ratios) = 1, D = 20 l/h, T_F = 90 °C, f (flooding) = 0.2

Assumption: Constant molar overflow; Partial Reboiler is an equilibrium stage

1. เปลี่ยน mass fraction เป็น mole fraction

จากสมการ $$x_i = \frac{\left(\frac{w_i \rho_{EtOH}}{M_{EtOH}}\right)}{\left[\left(\frac{w_i \rho_{EtOH}}{M_{EtOH}}\right)+\left(\frac{(1-w_i)\rho_{Water}}{M_{Water}}\right)\right]}$$

ให้ $w_F = 0.1$, $w_D = 0.4$, $w_B = 0.001$

$$x_F = \frac{\left(\frac{(0.1)(0.789)}{46}\right)}{\left[\left(\frac{(0.1)(0.789)}{46}\right)+\left(\frac{(1-0.1)(0.997)}{18}\right)\right]} = 0.0333$$

$$x_D = \frac{\left(\frac{(0.4)(0.789)}{46}\right)}{\left[\left(\frac{(0.4)(0.789)}{46}\right)+\left(\frac{(1-0.4)(0.997)}{18}\right)\right]} = 0.1711$$

$$x_B = \frac{\left(\frac{(0.001)(0.789)}{46}\right)}{\left[\left(\frac{(0.001)(0.789)}{46}\right)+\left(\frac{(1-0.001)(0.997)}{18}\right)\right]} = 0.0003$$

2. ทำ Mole balance; D = 20 l/h = 20x912.06/30 = 608.04 mol/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = D + B \quad \text{---(5.1.1)}$$

$$x_F F = x_D D + x_B B \quad \text{---(5.1.2)}$$

$$R = \frac{L}{D} \quad \text{---(5.1.3)}$$

- enriching section; $V = L + D$ ---(5.1.4)

$$V_B = \frac{\bar{V}}{B} \quad \text{---(5.1.5)}$$

- stripping section; $\bar{L} = \bar{V} + B$ ---(5.1.6)

แทนค่าใน (1); $F = 608.04 + B$ ---(5.1.7)

$$(0.0333)F = (608.04)(0.1711) + (0.0003)B$$

$$0.0333F = 104.0356 + 0.0003B$$

$$B = 111F - 346785.3$$

แทนค่า B ใน (7); $F = 608.04 + 111F - 346785.3$

$$110F = 346177.26$$

$$F = 3147.07 \text{ mol/h} = 103.52 \text{ l/h}$$

แทนค่า D ใน (3); $1 = L/608.04$

$$L = 608.04 \text{ mol/h}$$

จากสมการ (3); $V = 608.04 + 608.04 = 1216.08$ mol/h

จากสมการ (7); $B = 3040.2 - 608.04 = 2432.16$ mol/h

จากสมการ (5); $1 = \frac{\bar{V}}{2432.16}$

$$\bar{V} = 2432.16 \text{ mol/h}$$

จากสมการ (6); $\bar{L} = 2432.16 + 2432.16$

$$= 4864.32 \text{ mol/h}$$

3. หาค่า superficial liquid velocity

-enriching section; $u_L = LM_L/\rho_L A$ ---(5.1.8)

M_L, ρ_L = M.W., Density ของ EtOH ตามลำดับ เนื่องจากว่าที่ enriching จะมีองค์ประกอบของ EtOH อยู่มาก / อาจ error

-stripping section; $u_L = LM_L/\rho_L A$ ---(5.1.8)

M_L, ρ_L = M.W., Density ของ water ตามลำดับ เนื่องจากว่าที่ stripping จะมีองค์ประกอบของ water อยู่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ diameter = 6 Inch

$r = 6/2 = 3$ Inch $= 0.0762$ m

$A = \pi r^2 = \pi(0.0762)^2 = 0.0182\ m^2$

$M_{EtOH+water} = 30$; $M_{water} = 18$; $\rho_{L,EtOH+water} = 912.06\ kg/m^3 = 912060\ g/m^3$

$\rho_{L,water} = 997\ kg/m^3 = 997000\ g/m^3$

จากสมการ (8); enriching section $u_L = (608.04)(30)/(912060)(0.0182)$

$= 1.0989\ m/h = 0.000305\ m/s$

จากสมการ (8); stripping section $u_L = (2432.16)(18)/(997000)(0.0182)$

$= 2.413\ m/h = 0.00067\ m/s$

4. หาค่า N_{Re} , N_{Fr} (จากตาราง Packing เมื่อทราบชนิดของ Packing เราจะรู้ค่า $a(m^2/m^3)$, $\in$, C_h, C_L, C_v, F_P จากตารางที่ 4.2.1)

ให้ Packing ที่ใช้เป็น raschig ring 15 mm metal จะได้ $F_P = 566.67\ m^2/m^3$, $a = 378.4\ m^2/m^3$, $\in = 0.917\ m^2/m^3$, $C_h = 0.455$, $C_L = 1.073$, $C_V = 0.637$

$$N_{Re,L} = u_L\rho_L/\mu_L a \quad \text{---(5.1.9)}$$

$$= (0.000305)(912060)/(0.37)(378.4) = 1.9869$$

$$N_{Fr,L} = u_L^2 a/g \quad \text{---(5.1.10)}$$

$$= (0.000305)^2(378.4)/9.8 = 1.89\times10^{-5}$$

5. หาค่า $a_h(m^2/m^3)$ ซึ่งต้องพิจารณาจากค่า $N_{Re,L}$ ว่าอยู่ช่วงใด

ถ้า $N_{Re,L} < 5$ จะได้ $a_h/a = C_h N_{Re,L}^{0.15} N_{Fr,L}^{0.1}$ ---(5.1.11)

ถ้า $N_{Re,L} > 5$ จะได้ $a_h/a = 0.85 C_h N_{Re,L}^{0.25} N_{Fr,L}^{0.1}$ ---(5.1.12)

จะเห็นว่าจากการคำนวณ $N_{Re,L}$ ที่ผ่านมาจะได้ค่า $N_{Re,L}$ น้อยกว่า 5 เพราะฉะนั้นจึงใช้สมการที่ 11

$$a_h = (0.455)(1.9869)^{0.15}(1.89\times10^{-5})^{0.1}(378.4) = 54.45\ m^2/m^3$$

6. หาค่า Fractional liquid holdup (h_L)

$$h_L = (12N_{Fr,L}/N_{Re,L})^{1/3}(a_h/a)^{2/3}$$

$$= (12*(1.89\times10^{-5})/1.9869)^{1/3}(54.45/378.4)^{2/3} = 0.00766$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. หาค่า Slope of equilibrium curve (m)

$m_{en} = 1.24$, $m_{st} = 5.1$

8. หาค่า Height of a transfer unit for the liquid phase (H_L)

$$H_L = \frac{1}{C_L}\left(\frac{1}{12}\right)^{\frac{1}{6}}\left[\frac{4h_L \in}{D_{EtOH} a u_L}\right]^{\frac{1}{2}}\left(\frac{u_L}{a_h}\right)$$

$$= \frac{1}{1.073}\left(\frac{1}{12}\right)^{\frac{1}{6}}\left[\frac{4x0.00766x0.917}{1.16x10^{-9}x378.4x0.005051}\right]^{\frac{1}{2}}\left(\frac{0.000305}{54.45}\right)$$

$= 0.0499$ m

9. หาค่า Diffusivity for the liquid phase (D_G)

$$D_G = \frac{10^{-3} T^{1.75}\left(\frac{1}{M_{EtOH}} + \frac{1}{M_{water}}\right)^{\frac{1}{2}}}{P\left[(\Sigma v)_{EtOH}^{\frac{1}{3}} + (\Sigma v)_{water}^{\frac{1}{3}}\right]^2}$$

โดย $(\Sigma v)_{water} = 12.7$, $v_c = 16.5$, $v_H = 1.98$, $v_o = 5.48$

$\therefore (\Sigma v)_{EtOH} = 59.2$

$$D_G = \frac{10^{-3}(363)^{1.75}\left(\frac{1}{48} + \frac{1}{18}\right)^{\frac{1}{2}}}{(1)\left[(59.2)^{\frac{1}{3}} + (12.7)^{\frac{1}{3}}\right]^2} = 0.2149\ cm^2/s$$

$= 2.149 \times 10^{-5}\ m^2/s$

10. หาค่า superficial gas velocity in packed column (u_0)

$$u_0^2 = y\frac{g}{F_P}\left(\frac{\rho_{water}}{\rho_G}\right)\left(\frac{1}{f\{\rho_L\} f\{\mu_L\}}\right)$$

$f\{\rho_L\}$ หาได้จากกราฟ 6.36(b) = 1.6

$f\{\mu_L\}$ หาได้จากกราฟ 6.36(c) = 0.8

$\rho_G = 1007.161$ ซึ่งหาจาก PV=nRT

y หาได้จากรูปที่ 4.2.6 โดยต้องหาค่า x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x = (L/V)(\rho_G/\rho_L)_{EtOH/water}^{1/2} = 0.5025$$

y = 0.0122

$$u_0 = 0.00416 \text{ m/s}$$

11. หา Height of a transfer unit for the gas phase (H_G)

$$H_G = \frac{1}{C_v}(\in -h_L)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{4\in}{a^4}\right)^{\frac{1}{2}}(N_{\mathrm{Re},G})^{\frac{-3}{4}}(N_{Sc,G})^{\frac{-1}{3}}\frac{u_0 a}{D_G a_h}$$

โดย $N_{Re,G} = u_0\rho_G/a\mu_G = 1.0075$

$N_{sc,G} = \mu_G/\rho_G D_G = 0.5081$

$H_G = 0.0336$ m

12. หา Height of an overall transfer unit based on the gas phase (H_{OG})

$$H_{OG} = H_G + (mV/L)H_L = 0.1574 \text{ m}$$

13. หา Number of an overall transfer unit based on the gas phase (N_{OG})

$$A = L/mV = 0.4032$$

$$N_{OG} = N_t\left(\frac{\ln\left(\frac{1}{A}\right)}{\frac{(1-A)}{A}}\right)$$

$$= 3\left(\frac{\ln\left(\frac{1}{0.4032}\right)}{\frac{(1-0.4032)}{0.4032}}\right) = 1.841$$

14. หา Z (enriching)

$$Z_{en} = H_{OG}\,N_{OG} = 0.1574 \times 1.841 = 0.2898 \text{ m}$$

15. ทำตามวิธีข้างบนจะได้ Z (stripping)

โดยเปลี่ยนตัวแปรคือ m = 5.1, $f\{\rho_L\} = 1$, $f\{\mu_L\} = 0.77$

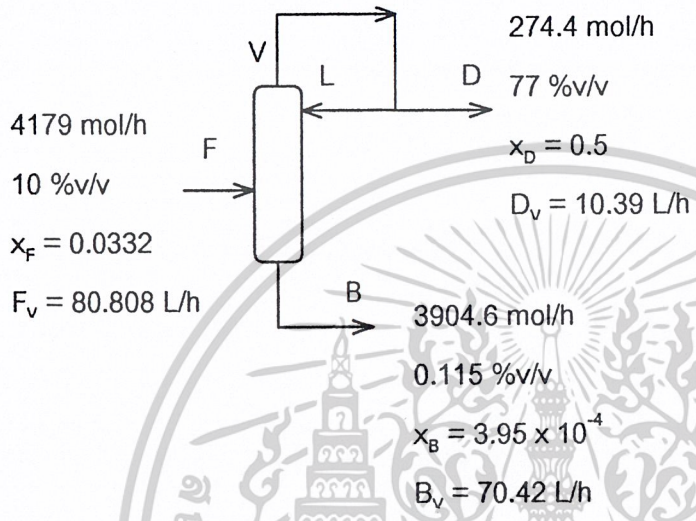
$Z_{st} = 0.5428$ m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. หา Z

$$Z = Z_{en} + Z_{st} = 0.8326 \text{ m}$$

5.2 การคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ [7]



Assume: x_D = 0.5 (77 %v/v) เนื่องจากเมื่อนำค่า x_D = 0.1711 (40 %v/v) ไปหาค่าของ minimum reflux ratio จะหาค่าไม่ได้ เนื่องจากจะได้ค่าติดลบดังแสดงในรูปที่ 5.3.2 ดังนั้นจึงได้เลือกความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ ที่ x_D = 0.5

Mole balance;

$$F = D + B$$

$$x_F F = x_D D + x_B B$$

ที่ Enriching section

กำหนดให้ R = 2.5;

จากสูตร $R = \frac{L}{D}$

แทนค่า; $2.5 = \frac{L}{D}$

$L = 2.5D$

จากสูตร $V = L + D$

แทนค่า; $V = 2.5D + D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 3.5D = 3.5 \times 274.4 = 960.4$ moi/h

ให้ $D_T = 6$"

หา G'

จาก $$G_1' = \frac{VM_{AV}}{\pi \frac{D^2}{4}}$$

$$= \frac{\left(960.4\frac{mol}{h}\right)\left(29.2\frac{g}{mol}\right)\left(\frac{1kg}{1000g}\right)\left(\frac{1h}{3600s}\right)}{\pi\frac{(0.15m)^2}{4}}$$

$= 0.44$ kg/m^2.s

$$L' = \frac{1}{2}G' = 0.22 \text{ kg/m}^2\text{.s}$$

หา U_t^2, จากรูปที่ 4.2.5 หรือ กราฟ 18-37 (หน้า 18-21) Perry 6th edition,

$$\frac{L'}{G'}\sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}} \approx \frac{1}{2}(0.054) = 0.027$$

เมื่อตัดแกน y แล้วจะได้

$$\frac{U_t^2 a_p \rho_g \mu_L^{0.2}}{g\varepsilon^3 \rho_l} = 0.18 \qquad \text{---(5.2.1)}$$

โดยที่ Raschig ring 10 mm; $a_p = 500$ m^2/m^3

$\mu_L = 0.00034$ kg/m.s

$g = 9.8067$ m/s^2

$\varepsilon = 0.63$

จากสมการที่ (1);

$$\frac{U_t^2\left(500\frac{m^2}{m^3}\right)\left(1.2\frac{kg}{m^3}\right)(0.35cP)^{0.2}}{\left(9.8067\frac{m}{s^2}\right)(0.63)^3\left(837.5\frac{kg}{m^3}\right)} = 0.18$$

$U_t^2 = 0.76$ m^2/s^2

$U_t = 0.8716$ m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$G_2' = \rho_G U_t = (1.2\ kg/m^3)(0.8716\ m/s) = 1.046\ kg/m^2.s$

จะเห็นว่า $G_1' \neq G_2'$ ให้ทำการคำนวณซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น (D_T) จนกว่า $G_1' \approx G_2'$ จะได้ค่าของ D_T ที่ทำให้เกิด flooding ได้พอดี

ซึ่งจะได้ค่าออกมาคือ 4 "

ดังนั้น $$D_{65\%} = D_{flood}\sqrt{\frac{100}{65}} = (4)(1.24) = 4.96 \approx 5"$$

ที่ Stripping section

ให้ R = 2.5 โดย q = 1

$$L_m = L_n + qF$$

$$= 274.4 + 4179 = 4453.4\ mol/h$$

$$V_{m+1} = L_m - B$$

$$= 4453.4 - 3836.1 = 617.3\ mol/h$$

ให้ $D_T = 6"$

หา G'

จาก $$G_1' = \frac{VM_{AV}}{\pi\frac{D^2}{4}}$$

$$= \frac{\left(617.3\frac{mol}{h}\right)\left(23.6\frac{g}{mol}\right)\left(\frac{1kg}{1000g}\right)\left(\frac{1h}{3600s}\right)}{\pi\frac{(0.15m)^2}{4}}$$

$$= 0.229\ kg/m^2.s$$

$$\frac{L'}{V'} = \frac{L_m MW_{av}^L}{V_m MW_{av}^G} = \frac{(4453.4)(19.4)}{(617.3)(23.6)} = 5.93$$

หา U_t^2, จากรูปที่ 4.2.5 หรือ กราฟ 18-37 (หน้า 18-21) Perry 6th edition,

$$\frac{L'}{G'}\sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}} = 5.93\sqrt{\frac{0.0011}{0.8176}} = 0.218$$

เมื่อตัดแกน y แล้วจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{U_t^2 a_p \rho_g \mu_L^{0.2}}{g\varepsilon^3 \rho_l} = 0.07 \qquad \text{---(5.2.2)}$$

จากสมการที่ (2);

$$\frac{U_t^2\left(500\frac{m^2}{m^3}\right)\left(1.1\frac{kg}{m^3}\right)(0.35cP)^{0.2}}{\left(9.8067\frac{m}{s^2}\right)(0.63)^3\left(817.6\frac{kg}{m^3}\right)} = 0.07$$

$$U_t^2 = 0.3147 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$U_t = 0.561 \text{ m/s}$$

$$G_2' = \rho_G U_t = (1.1 \text{ kg/m}^3)(0.561 \text{ m/s}) = 0.617 \text{ kg/m}^2.\text{s}$$

จะเห็นว่า $G_1' \neq G_2'$ ให้ทำการคำนวณซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น (D_T) จนกว่า $G_1' \approx G_2'$ จะได้ค่าของ D_T ที่ให้เกิด flooding ได้พอดี

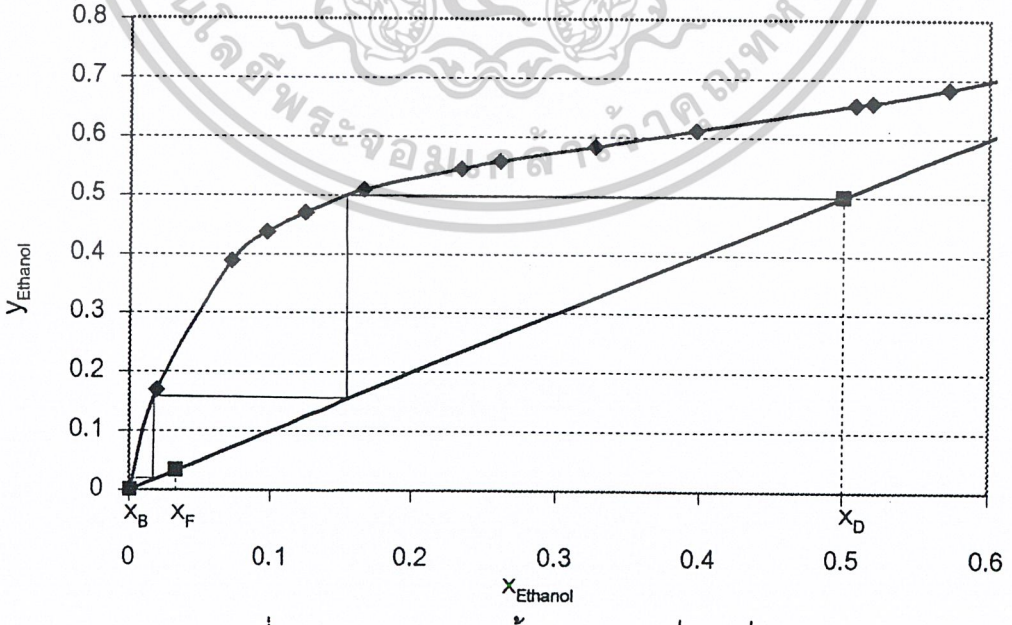
ซึ่งจะได้ค่าออกมาคือ 3.7 inch

ดังนั้น $$D_{65\%} = D_{flood}\sqrt{\frac{100}{65}} = (3.7)(1.24) = 4.6 \approx 5"$$

หาด้วยวิธีข้างต้นจะพบว่าสามารถใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น = 6" ได้ โดยไม่เกิด flooding

5.3 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุดและการหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด

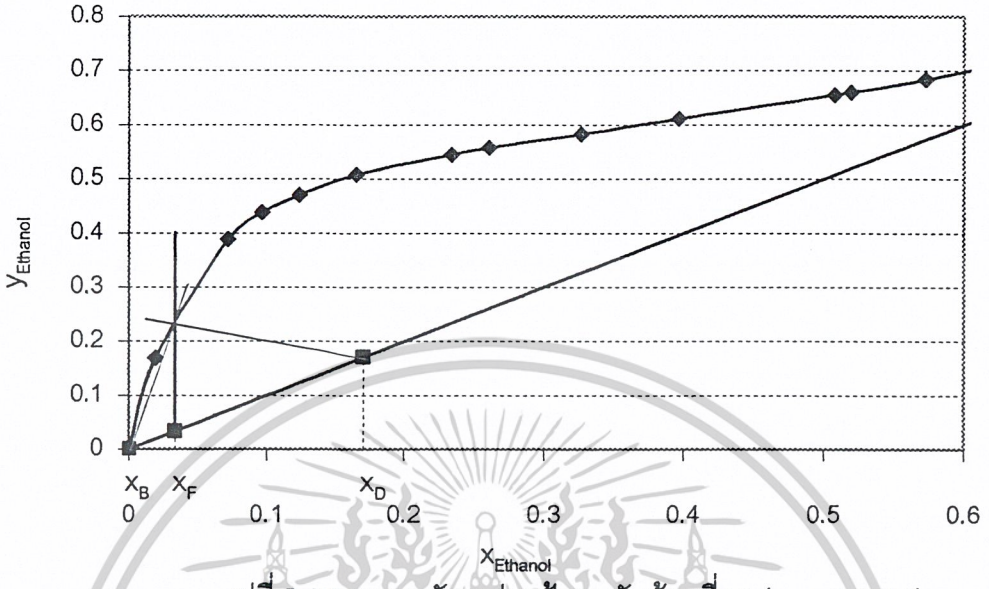
วิธีการหาดูได้จากบทที่ 4.1



รูปที่ 5.3.1 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด

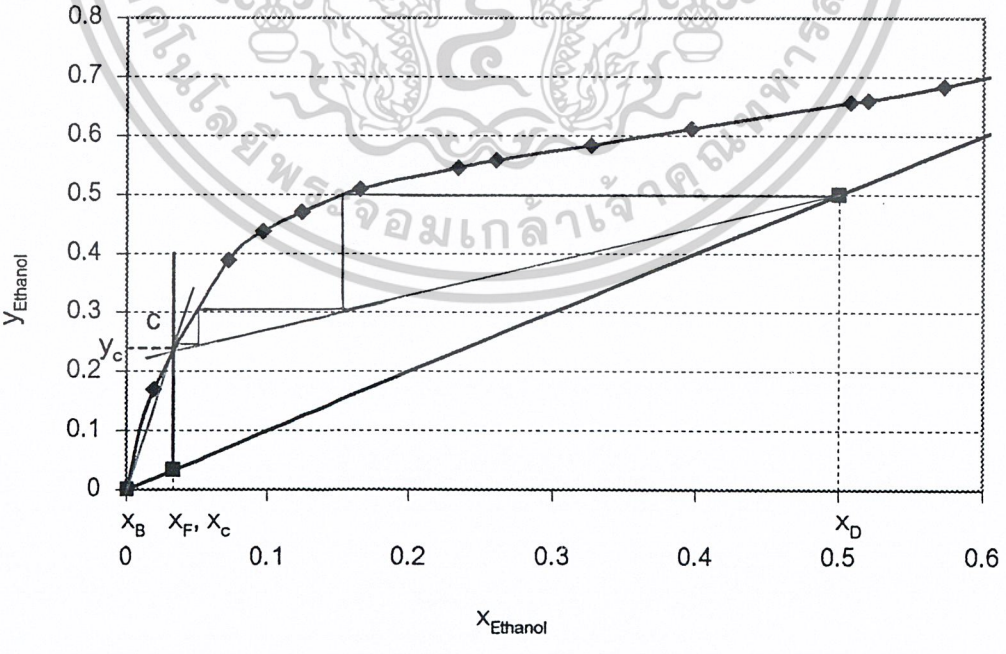
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1 เมื่อเลือก $x_D = 0.5$ และ $x_B = 0.01$ จะได้จำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด = 3 ชั้น



รูปที่ 5.3.2 การหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด ($x_D = 0.1711$)

จากรูปที่ 5.3.2 เมื่อเลือก q=1, $x_D = 0.5$ และ $x_B = 0.01$ จะหาค่าอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุดไม่ได้ เนื่องจากจะได้ค่าติดลบ



รูปที่ 5.3.3 การหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด ($x_D = 0.5$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3.3 เมื่อเลือก q=1, x_D = 0.5 และ x_B = 0.01 จะได้จุด c นำมาหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด (R_m)

จากสมการ 4.1.10 $$\frac{R_m}{R_m+1}=\frac{x_D-y_c}{x_D-x_c}$$

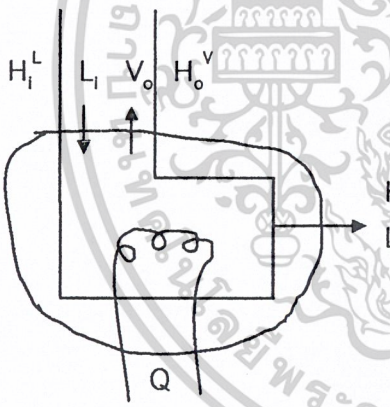
$$\frac{R_m}{R_m+1}=\frac{0.5-0.225}{0.5-0.0322}$$

$$R_m = 1.4266$$

จากการคำนวณจะเห็นว่าอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด (R_m) = 1.4266

ซึ่งค่าอัตราส่วนป้อนกลับที่ใช้จริงจะประมาณ = 1.4266 x 1.5 = 2.14

5.4 การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการต้มของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์



ทำ energy balance รอบ reboiler

จะได้

$$H_i^L L_i + Q = H^V V_o + H^L L_o \qquad \text{---(5.4.1)}$$

ทำ mole balance รอบ reboiler

จะได้

$$L_i = L_o + V_o$$

$$V_o = L_i - L_o \qquad \text{---(5.4.2)}$$

เนื่องจากอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากจึงสามารถสมมุติให้ $H_i^L = H_o^L = H^L$ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$H^L(L_i - L_o) = H^V V_o - Q \qquad \text{---(5.4.3)}$$

แทนสมการที่ 5.4.2 ลงในสมการที่ 5.4.3

จะได้

$$H^L(V_o) = H^V V_o - Q$$

$$Q = (H^V - H^L)V_o$$

ซึ่ง $H^V - H^L$ คือ Latent heat of vaporization ในที่นี้มีน้ำเกือบทั้งหมดในสารละลายที่ reboiler

$$Q = (9700)\left(4.184\frac{J}{mol}\right)\left(617.3\frac{mol}{h}\right)\left(\frac{1h}{3600s}\right)$$

$= 6959$ J/s

≈ 7 kJ

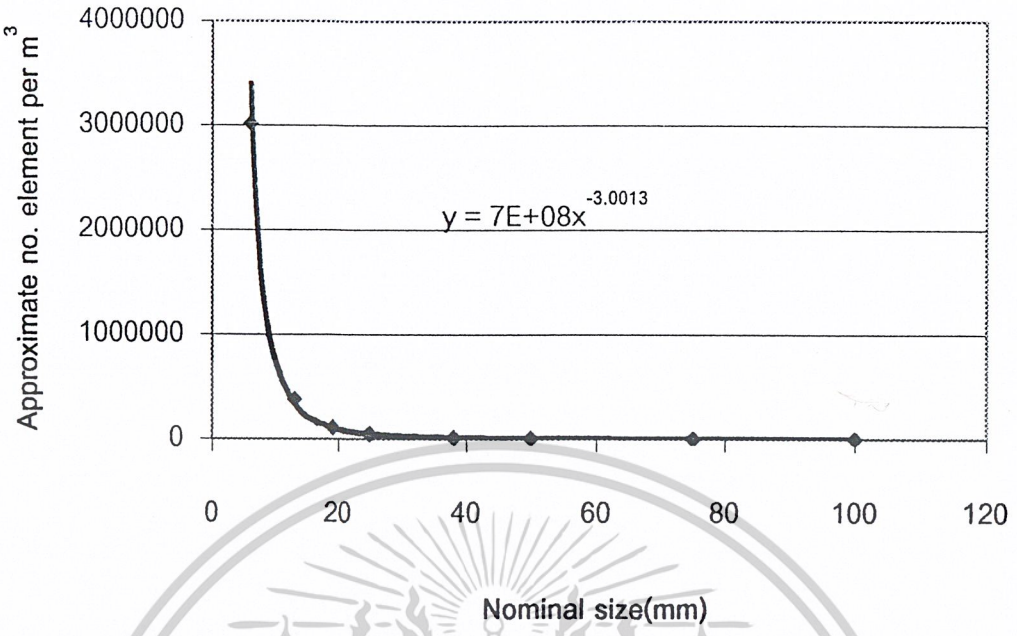
5.5 การคำนวณหาจำนวนแรชชิก ริงโดยประมาณ

หาจากตาราง 5.5.1 โดยนำค่าในตารางมาสร้างกราฟ แล้วนำมาใส่เส้นแนวโน้มเพื่อหาค่าโดยประมาณ

ตารางที่ 5.5.1 Characteristics of dumped tower packing [7]

Packing type	Nominal size, mm	Approximate no. element per m^3
Raschig rings, ceramic	6	3.02×10^6
	13	378,000
	19	109,000
	25	47,700
	38	13,500
	50	5,800
	75	1,700
	100	700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5.1 plot ระหว่าง Nominal size (mm) กับ Approximate no. element per m^3

จากสมการเส้นแนวโน้ม ถ้า Nominal size = 10 mm

จะได้ ค่า Approximate no. element per $m^3 = 7x10^6x(10)^{-3.0013} = 697908$ ชิ้น

ปริมาตรของหอ = $\pi r^2 Z = \pi(0.075)^2(1) = 0.01767\ m^3$

เพราะฉะนั้นจำนวนแรชชิก ริงที่ใช้ = 0. 01767 X 697908 = 12332 ชิ้น

5.6 การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนใน condenser ส่วนยอดหอ

หาได้จากสูตร $Q = AU\Delta T_m$

- หาค่า U

จากตารางค่า table 10-1 [14] ที่ Alcolhol condenser, water in tube

จะได้ค่า U อยู่ในช่วง 255-680 $W/m^2\ ^oC$

สมมุติให้ค่า U = 500 $W/m^2\ ^oC$

- หาค่า Q

เราทราบค่า ΔH จาก [6]

ΔH_{EtOH} = 204.26 cal/g ; ρ_{EtOH} = 0.789 g/mol

ΔH_{water} = 9700 cal/mol

ออกมาจาก condenser = 10.39 l/h โดยมี 70%EtOH(v/v) และน้ำ 30%EtOH(v/v)

จาก $Q_{v,EtOH} = m\Delta H_{EtOH}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$=\left(\frac{70}{100}x10.39\frac{l}{h}\right)\left(\frac{1h}{3600}\right)\left(204.26\frac{cal}{g}\right)\left(0.789\frac{g}{cm^3}\right)\left(4.18\frac{J}{cal}\right)\left(1000\frac{cm^3}{l}\right)$$

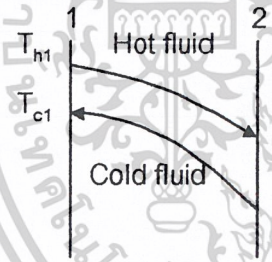
= 1360.96 J/s

$$=\left(\frac{30}{100}x10.39\frac{l}{h}\right)\left(\frac{1h}{3600}\right)\left(9700\frac{cal}{mol}\right)\left(\frac{1mol}{18g}\right)\left(1\frac{g}{cm^3}\right)\left(4.18\frac{J}{cal}\right)\left(1000\frac{cm^3}{l}\right)$$

=1950.33 J/s

$Q_{V,รวม}$ = 1360.96 + 1950.33 = 3311.29 J/s

- หา ΔT_m



จาก $\Delta T_m = \dfrac{(T_{h2}-T_{c2})-(T_{h1}-T_{c1})}{\ln\left(\dfrac{T_{h2}-T_{c2}}{T_{h1}-T_{c1}}\right)}$

หา ΔT ของ Feed

จาก $Q = mc_p\Delta T$

$$3311.29\frac{J}{s}=\left(80\frac{L}{h}\right)\left(\frac{1h}{3600s}\right)\left(4.184\frac{J}{g°C}\right)\left(\frac{1000g}{L}\right)\Delta T$$

ΔT = 35.6 °C

จะได้

$\Delta T = T_{C1}-T_{C2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$35.6 = T_{c1}-30$

$T_{c1} = 65.6\ ^{\circ}C$

แทนค่าในสูตร; $\Delta T_m = \dfrac{(80-30)-(80-65.6)}{\ln\left(\dfrac{80-30}{80-65.6}\right)}$

$\Delta T_m = 28.6\ ^{\circ}C$

จากสมการ ; $Q = AU\Delta T_m$

$A = Q/U\Delta T_m$

$= \dfrac{3311.29w}{(500\dfrac{w}{m^2{}^{\circ}C})(28.6^{\circ}C)}$

$= 0.231\ m^2$

$= 2310\ cm^2$

ถ้าขนาดท่อ ¼ inch

จะได้ความยาว $= A/\pi D$

$= 2310\ cm^2 / 1.995\ cm$

$= 1157.89\ cm$

ถ้าคิดความยาวของท่อ condenser

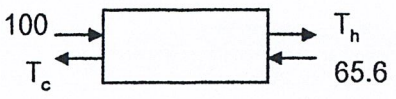
= 50 cm จะใช้ทั้งหมด 24 ท่อ

= 40 cm จะใช้ทั้งหมด 29 ท่อ

= 30 cm จะใช้ทั้งหมด 39 ท่อ

5.7 การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนใน Condenser ส่วนก้นหอ

เนื่องจากว่าพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนใน Condenser ส่วนก้นหอที่ใช้ในการสร้างเท่ากันกับส่วนยอดหอ เราจึงให้พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนใน condenser ส่วนก้นหอเท่ากับ 2310 cm2



จาก $Q = mc_p\Delta T = mc_p(100-T_h) = mc_p(T_c-65.6)$

จาก $Q = AU\Delta T_m$

เพราะฉะนั้น $mc_p(100-T_h) = mc_p(T_c-65.6) = AU\Delta T_m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

$$\frac{(80)(4.184)(1000)}{3600}(100-T_h)=\frac{(80)(4.184)(1000)}{3600}(T_c-65.6)$$

$$=(0.3m^2)\left(500\frac{w}{m^2\,^\circ C}\right)\frac{(T_h-65.6)-(100-T_c)}{\ln\left(\frac{T_h-65.6}{100-T_c}\right)}$$

ให้ทำการคำนวณซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าของ T_h, T_C เพื่อทำให้สมการทั้ง 3 เท่ากัน เราจะได้ค่าของ T_h , T_c ที่ต้องการออกมา

$T_h = 79\ ^\circ C$, $T_c = 86.9408\ ^\circ C$

เพราะฉะนั้น $Q=\frac{(80)(4.184)(1000)}{3600}(86.9408-65.6)$

$= 1984.22$ J/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

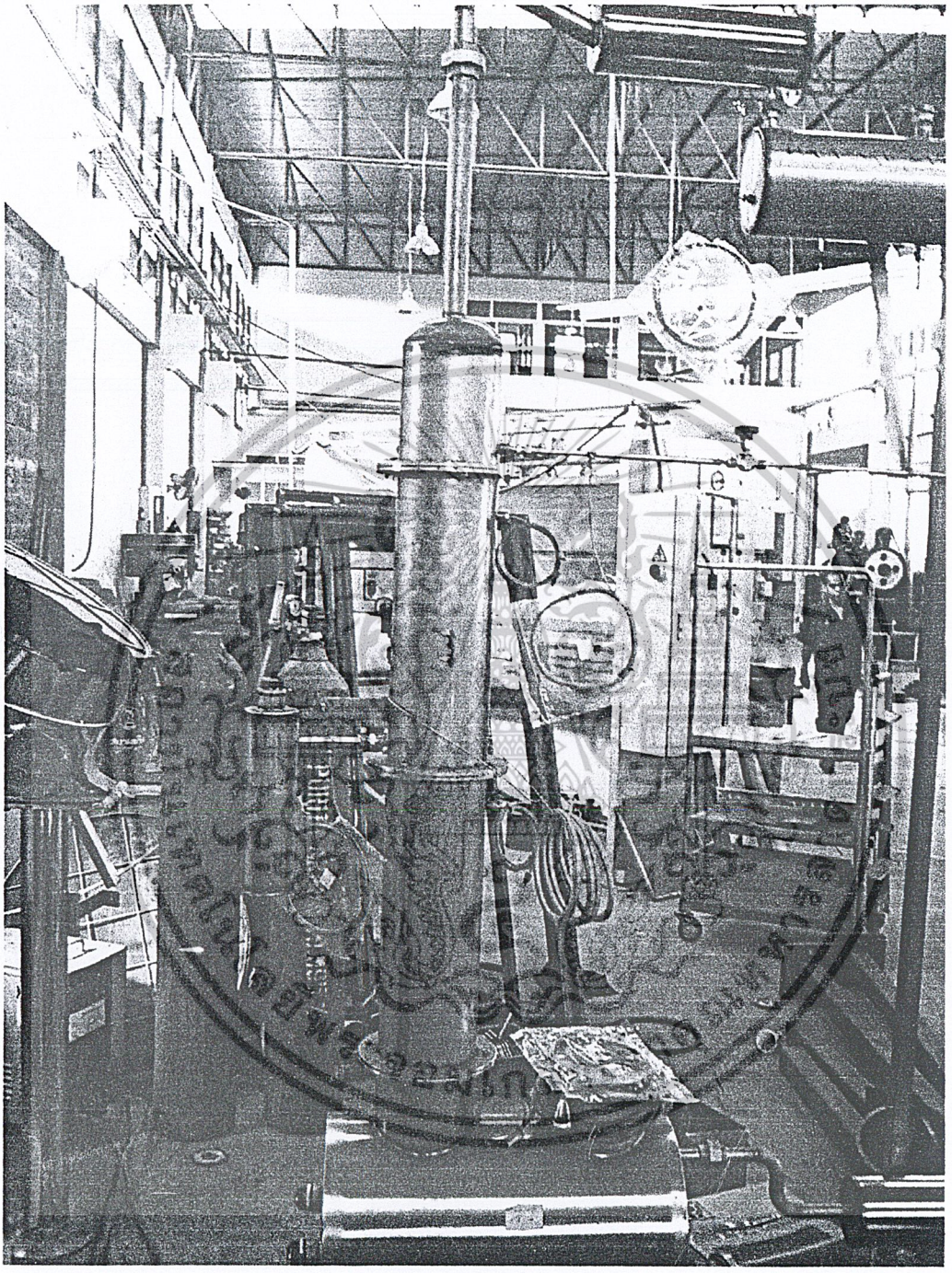
บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 องค์ประกอบของหอกลั่น

วัสดุที่ใช้ทำเป็นโครงสร้าง		โลหะสแตนเลส	
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น	=	6	นิ้ว
ความสูงของชั้นบรรจุ	=	0.83	เมตร
อัตราส่วนป้อนกลับ	=	2.5	
วัสดุบรรจุ ประเภท แรชชิก ริง (Raschig ring)			
-ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	=	3/8	นิ้ว
อุปกรณ์ให้ความร้อน			
1.ก๊าซหุงต้มบรรจุถัง ขนาด	=	15	กิโลกรัม
2.เครื่องกำเนิดความร้อนจากกระแสไฟฟ้า ขนาด	=	3000	วัตต์
วัตถุดิบ น้ำส่า อัตราการป้อนเข้าสู่หอกลั่น	=	80.8	ลิตรต่อชั่วโมง
ผลิตภัณฑ์			
-ยอดหอกลั่น กำลังการผลิต	=	10.4	ลิตรต่อชั่วโมง
ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์	=	77	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
-ก้นหอกลั่น กำลังการผลิต	=	70.4	ลิตรต่อชั่วโมง
ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์	=	0.115	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนใน condenser ทั้งยอดหอกลั่น และก้นหอกลั่น			
	=	0.231	ตารางเมตร
พลังงานที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนใน condenser			
-ยอดหอกลั่น	=	3311.29	J/s
-ก้นหอกลั่น	=	1984.15	J/s

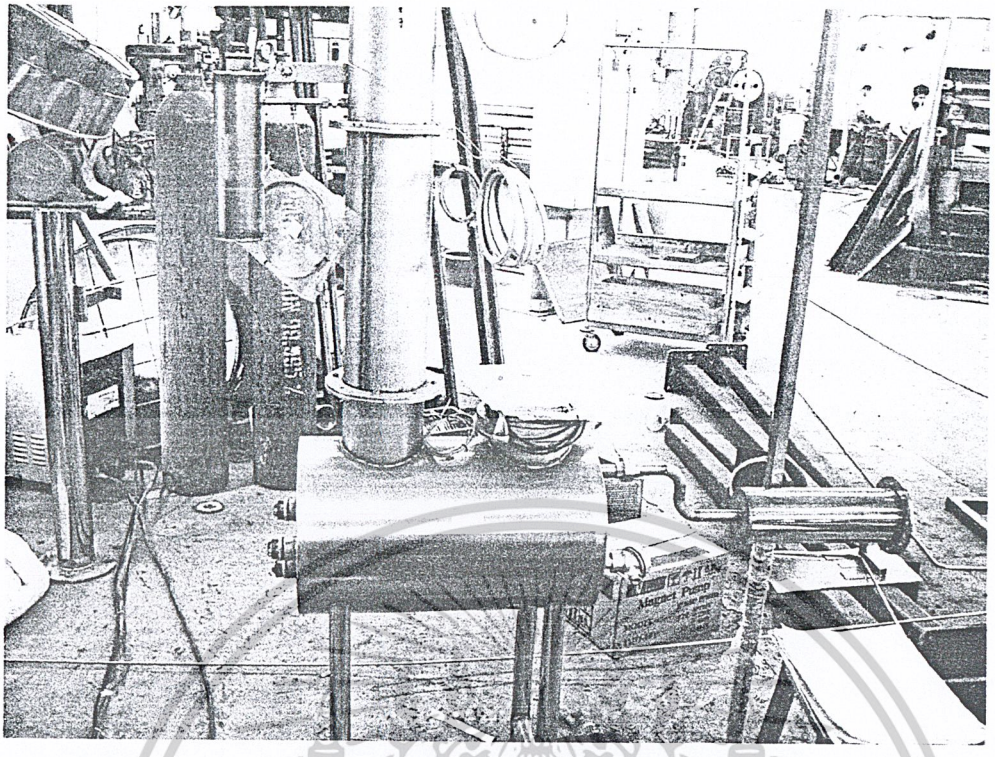
รูป 6.1.1, 6.1.2 และ 6.1.3 แสดงถึงหอกลั่นที่อยู่ในการดำเนินการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

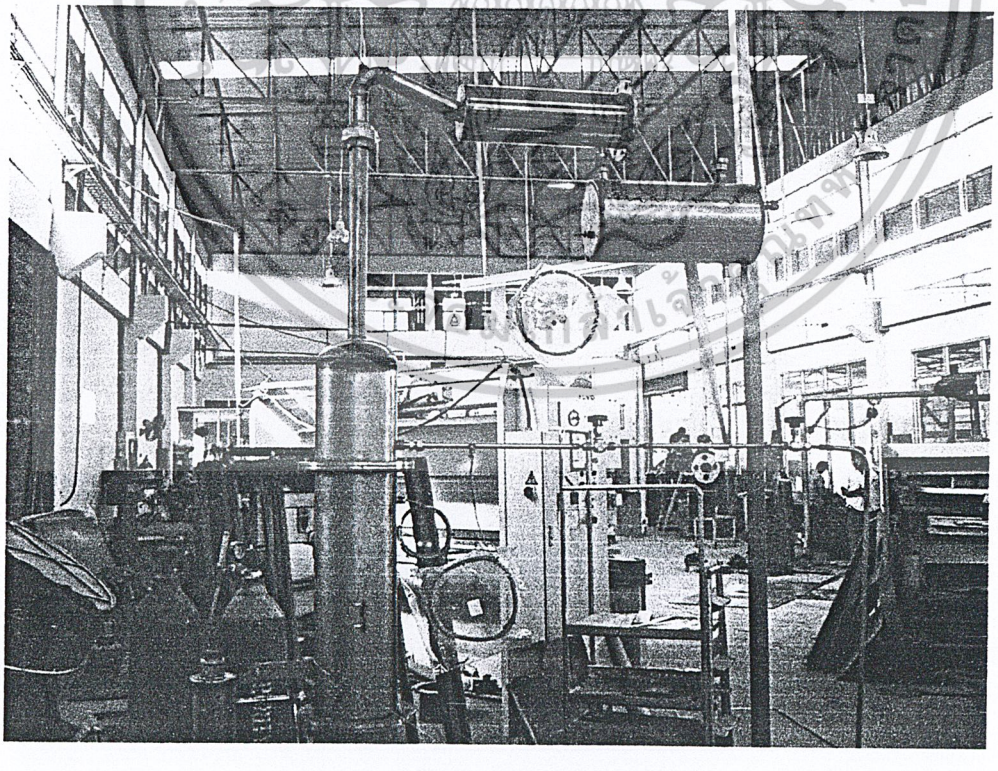


รูปที่ 6.1.1 เครื่องกลั่นที่อยู่ในการดำเนินการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1.2 หม้อต้มซ้ำของเครื่องกลั่น



รูปที่ 6.1.3 เครื่องควบแน่นของเครื่องกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 เหตุผลประกอบการตัดสินใจ

ในการออกแบบหอกลั่นแบบบรรจุ เมื่อเปรียบเทียบกับหอกลั่นแบบชั้นแล้ว หอกลั่นแบบชั้นจะใช้งบประมาณในการสร้างสูงกว่า อีกทั้งยังดำเนินการสร้างยากกว่า คณะผู้วิจัยจึงได้เลือกหอกลั่นแบบบรรจุโดยใช้วัสดุบรรจุ ประเภท แรชชิก ริง (Raschig ring)

สำหรับโครงสร้างของหอกลั่น ทางคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้โลหะสแตนเลส เพราะเป็นวัสดุที่ทนทาน และประหยัดกว่าการใช้แก้ว

ในด้านอุปกรณ์ให้ความร้อนได้เลือกใช้ก๊าซหุงต้มเป็นแหล่งพลังงานหลัก เนื่องจากมีราคาถูกและดูแลรักษาได้ง่าย ส่วนเครื่องกำเนิดความร้อนจากกระแสไฟฟ้า ถูกใช้เพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่เท่านั้น เพราะหากเลือกใช้แหล่งพลังงานเพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น เลือกใช้เฉพาะก๊าซหุงต้มจะทำให้การควบคุมอุณหภูมิเป็นไปอย่างยากลำบาก หรือถ้าหากเลือกใช้ เครื่องกำเนิดความร้อนจากกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ก็จะมีราคาที่แพง และเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน

สำหรับเครื่องสูบของเหลว คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องสูบที่มีกำลังส่ง 300 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการในการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่หอกลั่น

6.3 ปัญหาที่อาจพบและแนวทางแก้ไข

ในส่วนของการปรับอัตราการป้อนกลับนั้นคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้การติดตั้งวาล์วทั้งด้านการป้อนกลับและด้านจ่ายผลิตภัณฑ์เพื่อคอยปรับอัตราการป้อนกลับ แต่ยังประสบปัญหาอยู่บ้างในการควบคุมอัตราการไหลของทั้งสองฝั่งให้แน่นอน จึงแก้ปัญหาโดยการใช้วิธีการนับรอบของการหมุนเกลียววาล์วเพื่อปรับอัตราส่วนการป้อนกลับ ซึ่งอาจให้ผลที่คลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] แสงไทย เค้าภูไทย. *ขุมทองเหล้าไทย ไวท์ผลไม้.* กรุงเทพมหานคร: อินฟอร์มีเดีย บุ๊คส์. 2545.

[2] Christie J. Geankoplis. Transport Processes and Unit Operation. 3rd ED. Singapore: Prentice Hall, 1995.

[3] McCabe, W.L., J.C. Smith and P. Harriott. *Unit Operation of Chemical Engineering.* International Edition. 6th ED. Singapore: McGraw-Hill. 2001.

[4] ปิยะสาร ประเสริฐธรรม. *หลักการออกแบบเครื่องมือแยกสาร.* กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2536.

[5] Seader, J.D. and E.J. Henley. *Separation Process Principle.* New York: John Wiley & Sons, Inc. 1998.

[6] Perry, R. H., D.W. Green, and J.O. Maloney. *Perry's Chemical Engineers' Handbooks.* 7th ED. New York: McGraw-Hill. 1997.

[7] Perry, R. H., D.W. Green, and J.O. Maloney. *Perry's Chemical Engineers' Handbooks.* 6th ED. New York: McGraw-Hill. 1984.

[8] Henry Z. Kister. *Distillation Design.* New York: McGraw-Hill. 1992.

[9] Ralph F. Strigle, Jr. *Pack Tower Design and Applications: Random and Structured Packings.* 2nd ED. Texas: Gulf Publishing Company. 1994.

[11] Doherty, M.F. and M.F. Malone. Conceptual Design of Distillation Systems. International Edition. Singapore: McGraw-Hill. 2001.

[12] โซโซ โอเอะ. *วิศวกรรมการกลั่นจากห้องทดลองถึงโรงงาน.* แปลจาก Jouryuu Kougaku Jikkenshitsu Kara Puranto Kibo made (Distillation Engineering). โดย วีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2536.

[13] Fujita. *คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี.* แปลจาก Kagaku Sochi Binran (K.S.B.). โดย วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, (ผู้รวบรวม). พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2543.

[14] Holman J.P. *Heat Transfer.* 9th ED. New York: McGraw-Hill. 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้