

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การแยกน้ำออกจากเมทานอล

WATER SEPARATION FROM METHANOL



๘๔๓ ก
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**83187**
วัน,เดือน,ปี.....**๖ ส.ค. 2551**

b.....**119 ๖2๓32**
i.....

**ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WATER SEPARATION FROM METHANOL



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING
IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การแยกน้ำออกจากเมทานอล
จัดทำโดย นายศิริวิชญ์ ดาเก็ง เลขประจำตัว 47010760
นายภวัต สุวรรณธัญ เลขประจำตัว 47010797
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

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

.....กรรมการ
(ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การแยกน้ำออกจากเมทานอล
จัดทำโดย	นายศิริวิษณุ คาทัง นายภวิศ สุวรรณธนะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาวิธีแยกน้ำออกจากเมทานอลโดยใช้การกลั่นแบบวัสดุบรรจุและการดูดซับเพื่อผลิตเมทานอลความเข้มข้น 99.9 % โดยน้ำหนัก สำหรับนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ จากการจำลองกระบวนการกลั่นแบบวัสดุบรรจุโดยใช้โปรแกรม HYSYS พบว่าการกลั่นเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายในการสร้างอุปกรณ์ เมื่อพิจารณากระบวนการดูดซับในเบดนิ่งด้วยสารดูดซับชนิด โมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG และ 4A-AG พบว่าสารดูดซับที่เหมาะสมคือ โมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับที่อุณหภูมิห้องอธิบายด้วยสมการไอโซเทอมของฟรุนดลิช คือ $q = (3.35 \times 10^{-6}) C^{1/0.46}$ มิลลิกรัมน้ำ/กรัม 3A-AG และจากเส้นโค้งเบรคทรูของการดูดซับน้ำจากเมทานอลในเบดนิ่งเมื่อป้อนเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำ 3,000 ppm และกำหนดจุดยุติที่ $C/C_0 = 0.30$ พบว่าเมื่อทำการดูดซับผ่านไป 15 ชั่วโมง ค่า C/C_0 ยังมีค่าไม่ถึง 0.30 ซึ่งแสดงว่าการดูดซับยังดำเนินไปไม่ถึงจุดยุติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Water separation from methanol
By Mr. Siravich Dakeng
 Mr. Pawat Suwantanut
Advisor Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya
Report for Bachelor Degree of Engineering in Chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering
 Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Water separation from methanol by packing distillation and adsorption were studied to produce 99.9 wt% methanol as a reactant for biodiesel production. From the simulation of packing distillation using the HYSYS program, it was found that distillation was highly energy intensive of expensive equipment fabrication. The adsorption of water from methanol in a packed bed column by molecular sieve adsorbents, namely 3A-AG and 4A-AG, 3A-AG could provide higher degree of separation. Room temperature adsorption isotherm of water on 3A-AG was found to follow Freundlich isotherm, where $q = (3.35 \times 10^{-6}) C_e^{1/0.46}$ mg water/g 3A-AG. From the breakthrough curve of the adsorption in which 3,000 ppm of water in methanol was fed into a packed-bed of 3A-AG at the space time of 1 hour, the break point at $C/C_0 = 0.3$ could not be reached within 15 hours.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ดังนี้
ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ที่ให้ความรู้
คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในเรื่องต่างๆ ตลอด
ระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี

ขอขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและให้ความอนุเคราะห์ใช้
เครื่องทดสอบความเข้มข้นสาร

ขอขอบคุณ คุณสุภัทร บานเย็น นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดี
ตลอดการดำเนินงาน

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ

ศิริวิชญ์ คาแก็ง

ภาวัก สุวรรณนัช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
สัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 การกลั่นแบบสมดุล	3
2.2 การออกแบบหอกลั่นประเภทวัสดูบรรจ	9
2.3 ทฤษฎีการคำนวณของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	13
2.4 การคำนวณของเครื่องต้มซ้ำ	15
2.5 การออกแบบ Reflux drum	15
2.6 การดูดซับ	16
2.7 โมเลคิวลาร์ซีฟ	19
2.8 ความสัมพันธ์สถานะสมดุลสารดูดซับ	20
2.9 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับ	21
2.10 การดูดซับแบบเบคนิง	23
บทที่ 3 การทดลอง	24
3.1 การจำลองกระบวนการกลั่นและออกแบบอุปกรณ์	24
3.2 การทดลองการดูดซับ	24
3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง	24
3.2.2 สารเคมี	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 วิธีการทดลอง	25
1. การศึกษาชนิดของสารดูดซับที่เหมาะสม	25
2. การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ	25
3. การศึกษาอัตราการไหลของเมทานอลที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับในเบคนิง	26
4. การศึกษาเส้นโค้งเบรกทรูของการดูดซับน้ำจากเมทานอลในเบคนิง	26
3.3 การทดสอบความเข้มข้นของน้ำในสารละลายเมทานอล	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	28
4.1 การจำลองกระบวนการกลั่นและออกแบบอุปกรณ์	28
4.2 การทดลองการดูดซับ	32
4.2.1 การศึกษาชนิดของสารดูดซับที่เหมาะสม	32
4.2.2 การศึกษา ไอโซเทอมการดูดซับ	32
4.2.3 การศึกษาอัตราการไหลของเมทานอลที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับในเบคนิง	36
4.2.4 การศึกษาเส้นโค้งเบรกทรูของการดูดซับน้ำจากเมทานอลในเบคนิง	37
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	38
5.1 การจำลองกระบวนการกลั่น	38
5.2 การดูดซับ	38
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	42
ภาคผนวก ข. ข้อมูลจำเพาะสารเคมี	44
ภาคผนวก ค. การจำลองกระบวนการกลั่น	46
ภาคผนวก ง. ข้อมูลผลการทดลอง	52
ภาคผนวก จ. วิธีการคำนวณ	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การควบคุมมวลสารสำหรับการกลั่นลำดับส่วนอย่างต่อเนื่อง	4
รูปที่ 2.2 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของ McCabe-THIELE	7
รูปที่ 2.3 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด	7
รูปที่ 2.4 การหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด	8
รูปที่ 2.5 หอกลิ้นประเภทวัสดุบรรจุ	9
รูปที่ 2.6 Differential contacts in a countercurrent-flow packed column	10
รูปที่ 2.7 ความดันตกในหอกลิ้นแบบวัสดุบรรจุ	12
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของความดันตกในหอกลิ้นแบบวัสดุบรรจุ	12
รูปที่ 2.9 Parallel – flow double – pipe heat exchanger	14
รูปที่ 2.10 โมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG	19
รูปที่ 2.11 รูปแบบของไอโซเทอมการดูดซับบางประเภท	20
รูปที่ 2.12 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของแลงเมียร์	22
รูปที่ 2.13 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของฟรุนคลิช	23
รูปที่ 2.14 กราฟความเข้มข้นสำหรับการดูดซับในเบดนิ่ง	23
รูปที่ 3.1 ชุดการทดลองการดูดซับแบบเบดนิ่ง	27
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบน กับ Reflux ratio ของหอกลิ้นเมทานอล 15 ชั้น	28
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบน กับ Reflux ratio ของหอกลิ้นเมทานอล 20 ชั้น	29
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบน กับ Condenser load ของหอกลิ้นเมทานอล	29
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบน กับ Reboiler load ของหอกลิ้นเมทานอล	30
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงปริมาณความเข้มข้นของน้ำที่เหลืออยู่ ณ เวลาต่างๆ เมื่อใช้ โมเลคิวลาร์ซีฟ MS 3A-AG และ MS 4A-AG ในการดูดซับสารละลายเมทานอล ที่มีความเข้มข้นของน้ำเริ่มต้น 1,000 และ 2,000 ppm	32
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณการดูดซับในรูปของน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของ โมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG ณ เวลาต่างๆ	33
รูปที่ 4.7 ไอโซเทอมของการดูดซับน้ำออกจากเมทานอลที่อุณหภูมิห้อง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับน้ำจากเมทานอลด้วยสมการของแลงเมียร์	34
รูปที่ 4.9 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับน้ำจากเมทานอลด้วยสมการของฟรุนดลิช	35
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเข้มข้นของน้ำของสารละลายขาออก ณ เวลาต่างๆ	36
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเข้มข้นของน้ำของสารละลายขาออกต่อความเข้มข้นน้ำของ สารละลายขาเข้า ณ เวลาต่างๆ	37
รูปที่ ก.1 เครื่องเขย่า JANKE & KUNKEL รุ่น HS 500	42
รูปที่ ก.2 เครื่อง Coulometer รุ่น 737 KF	42
รูปที่ ก.3 เครื่องชั่ง Mettler Toledo รุ่น AX 205	43
รูปที่ ค.1 หอกถันและระบบให้ความร้อนล่วงหน้าแก่สารป้อน	46
รูปที่ ค.2 ค่าอุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารป้อน	47
รูปที่ ค.3 ค่าองค์ประกอบของสารป้อน	47
รูปที่ ค.4 อุณหภูมิและความดันของกระแส Feed 2 ก่อนป้อนเข้าหอกถัน	48
รูปที่ ค.5 Pre-heat feed heat exchanger load	48
รูปที่ ค.6 การเลือกหอกถันแบบวัสดุบรรจุและกำหนดค่า HETP และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ	49
รูปที่ ค.7 องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน	49
รูปที่ ค.8 องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ส่วนล่าง	50
รูปที่ ค.9 Condenser load	50
รูปที่ ค.10 Reboiler load	51
รูปที่ จ.1 ลักษณะการวางตัวของท่อในเครื่องควบแน่น	61
รูปที่ จ.2 ลักษณะการวางตัวของท่อในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ให้ความร้อน ล่วงหน้าแก่สารป้อน	64
รูปที่ จ.3 ภาพตัดขวางของเครื่องต้มซ้ำแบบ Kettle reboiler	66

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณจากโปรแกรม HYSYS	30
ตารางที่ 4.2 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการหาไอโซเทอมของการดูดซับน้ำ จากเมทานอลโดยใช้โมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG ที่อุณหภูมิห้อง	33
ตารางที่ 4.3 ตัวแปรในสมการของแลงเมียร์และสมการของฟรุนคลิช ที่ได้จากการคำนวณความชันและจุดตัดแกนจากกราฟ	35
ตารางที่ ง.1 ความเข้มข้นของน้ำหลังการดูดซับเพื่อใช้ในการเลือกชนิดของ สารดูดซับที่เหมาะสม	52
ตารางที่ ง.2 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการหาไอโซเทอมของการดูดซับน้ำจากเมทานอล โดยใช้โมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG ที่อุณหภูมิห้อง	53
ตารางที่ ง.3 ข้อมูลการดูดซับน้ำจากเมทานอลสำหรับสมการของแลงเมียร์	54
ตารางที่ ง.4 ข้อมูลการดูดซับน้ำจากเมทานอลสำหรับสมการของฟรุนคลิช	54
ตารางที่ ง.5 ค่าความเข้มข้นของน้ำในสารละลายขาออกจากเบดต่อความเข้มข้นของ น้ำในสารละลายเริ่มต้น ณ เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล	55
ตารางที่ ง.6 ค่าความเข้มข้นของน้ำในสารละลายขาออกจากเบดต่อความเข้มข้นของ น้ำในสารละลายเริ่มต้น ณ เวลาต่างๆ	56

สัญลักษณ์

A_s	=	พื้นที่การถ่ายเทความร้อน (m^2)
a_p	=	พื้นที่ผิวของวัสดุบรรจุต่อหน่วยปริมาตรของหอ (m^2/m^3)
B	=	อัตราการไหลของสายกินหอ ($kmol/h$)
b, b_0	=	ค่าคงที่สมการแลงเมียร์
C	=	ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ (ppm)
C_0	=	ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่จุดเริ่มต้น (ppm)
C_b	=	ความเข้มข้นที่จุดยุติ (ppm)
C_c, C_h	=	Heat capacity rate ($kJ/s \cdot ^\circ C$)
C_d	=	ความเข้มข้นที่จุด Dead point (ppm)
C_e	=	ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ภาวะสมดุล (ppm)
$C_{p,c}, C_{p,h}$	=	ความจุความร้อนจำเพาะของของไหลเย็นและร้อน ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)
D	=	อัตราการไหลของสายการกลั่น ($kmol/h$)
d_0	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (cm)
D_R	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของ Reflux drum (m)
F	=	อัตราการไหลของสายป้อน ($kmol/h$)
g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
G	=	อัตราการไหลเชิงโมลของไอต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ ($kmol/(h) \cdot (m^2)$)
HETP	=	ความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี (m)
h_{fg}	=	เอนทาลปีของการกลั่นตัวของของไหลที่อุณหภูมิและความดันนั้น (kJ/kg)
H_R	=	ความสูงของ Reflux drum (m)
K	=	ค่าคงที่การดูดซับสมการฟรุนดลิช
K_b	=	ค่าคงที่ 0.44 สำหรับ Square pitch และ 0.41 สำหรับ Triangular pitch
$K_x a$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมเชิงปริมาตรบนฐานของความเข้มข้นในเฟสของเหลว ($kmol/(h) \cdot (m^3)$)
$K_y a$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมเชิงปริมาตรบนฐานของความเข้มข้นในเฟสไอ ($kmol/(h) \cdot (m^3)$)
L_m, L_n	=	อัตราการไหลเชิงโมลของของเหลวจากชั้น m และ n ($kmol/h$)
L_R	=	อัตราการไหลเชิงโมลของสารที่ออกจาก Reflux drum ($kmol/h$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

L_s	=	อัตราการไหลเชิงโมลของของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ ($\text{kmol}/(\text{h}) \cdot (\text{m}^2)$)
M	=	น้ำหนักของสารดูดซับ (g)
M_L	=	มวลโมเลกุลของของเหลว (g/mol)
MW_{top}	=	มวลโมเลกุลของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน (g/mol)
\dot{m}	=	อัตราการระเหยหรือกลั่นตัวของของไหล (kg/s)
\dot{m}_c, \dot{m}_h	=	อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลเย็นและร้อน (kg/s)
NTP	=	จำนวนชั้นทางทฤษฎี
N_t	=	จำนวนท่อภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
n	=	ค่าคงที่สมการฟรุนดลิช
P_t	=	ระยะ Tube pitch (cm)
\dot{Q}	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ/s)
q	=	น้ำหนักของสารดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับที่ภาวะสมดุล (mg/g)
q_{cb}	=	ค่าฟลักซ์ความร้อนของเครื่องคัมช้า (kW/m^2)
q_0	=	น้ำหนักของสารดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิว ชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (mg/g)
R	=	อัตราส่วนป้อนกลับ
R_g	=	ค่าคงที่ของก๊าซ ($\text{cal}/\text{K} \cdot \text{mol}$)
R_m	=	อัตราส่วนป้อนกลับที่น้อยที่สุด (Minimum reflux ratio)
S	=	พื้นที่หน้าตัดของหอ (m^2)
T	=	อุณหภูมิของการดูดซับ (K)
$T_{c,in}, T_{h,in}$	=	อุณหภูมิขาเข้าของของไหลเย็นและร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{c,out}, T_{h,out}$	=	อุณหภูมิขาออกของของไหลเย็นและร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
t_R	=	Liquid residence time ของ Reflux drum (min)
U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($\text{J}/\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)
U_t	=	ความเร็วของก๊าซคำนวณโดยพื้นที่หน้าตัดของหอ (m/s)
V	=	ปริมาตรของสารละลาย (L)
V_{m+1}, V_{n+1}	=	อัตราการไหลเชิงโมลของไอจากชั้น $m+1$ และ $n+1$ (kmol/h)
V_R	=	ปริมาตรของ Reflux drum (m^3)
x	=	อัตราส่วนเชิง โมลในเฟสของเหลวซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

x^*	=	อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสของเหลวซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกับอัตราส่วนเชิงโมลในเฟสไอ
$x_{A,B}$	=	อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายกันห่อ
$x_{A,D}$	=	อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายการกลั่น
$x_{A,F}$	=	อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายป้อน
x_B	=	อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลวในสายกันห่อ
x_c	=	อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลวที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้งสองกับเส้นสมดุล
x_D	=	อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลวในสายการกลั่น
x_F	=	อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลวในสายป้อน
x_m, x_n	=	อัตราส่วนเชิงโมลของของเหลวในสายที่มาจากชั้น m และ n
y	=	อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสไอซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล
y^*	=	อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสไอซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกับอัตราส่วนเชิงโมลในเฟสของเหลว
y_c	=	อัตราส่วนเชิงโมลของไอที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้งสองกับเส้นสมดุล
y_{m+1}, y_{n+1}	=	อัตราส่วนเชิงโมลของไอในสายที่มาจากชั้น m+1 และ n+1
Z	=	ความสูงของชั้นวัสดุ (m)
Z_R	=	ความสูงของหอสำหรับส่วนเพิ่มความเข้มข้น (m)
Z_S	=	ความสูงของหอสำหรับส่วนไล่สารระเหยง่าย (m)
Z_T	=	ความสูงรวมของหอ (m)
λ	=	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)
μ_L	=	ความหนืดของเฟสของเหลว (cP)
μ_w	=	ความหนืดของน้ำที่ 293 K (cP)
ρ_L	=	ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)
ρ_{top}	=	ความหนาแน่นของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน (kg/m^3)
ρ_v	=	ความหนาแน่นของไอ (kg/m^3)
σ	=	แรงตึงผิว (N/m)
$\Delta \bar{H}$	=	ความร้อนของการควบแน่น (kcal/mol)
$-\Delta P$	=	ความดันลด (in $\text{H}_2\text{O}/\text{ft}$)
ΔT_{lm}	=	Log mean temperature difference
ΔT_m	=	อุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพคือปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในรูปของไขมันหรือน้ำมันจากพืชและสัตว์กับแอลกอฮอล์ซึ่งมักใช้เมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ประเภท กรด ค่าง เอนไซม์ หรือของแข็ง ปริมาณเมทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์จะมีปริมาณมากเกินไปเพื่อให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้าของการเกิดน้ำมันดีเซลชีวภาพเกิดขึ้นได้ดี ผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ คือ น้ำมันดีเซลชีวภาพหรือเมทิลเอสเทอร์ และผลิตภัณฑ์พลอยได้คือ กลีเซอริน โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแบ่งชั้นออกเป็นสองส่วน คือส่วนบนที่มีเมทิลเอสเทอร์เป็นองค์ประกอบหลัก และส่วนล่างที่มีกลีเซอรินเป็นองค์ประกอบหลัก

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันข้างต้นเกิดขึ้น โดยการใช้ปริมาณเมทานอลที่มากเกินไป เพื่อช่วยให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี จึงเป็นผลทำให้มีเมทานอลเหลือจากการทำปฏิกิริยาตกค้างในผลิตภัณฑ์ทั้งสองส่วนที่ได้ ซึ่งในงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าในชั้นของน้ำมันดีเซลชีวภาพจะมีเมทานอลละลายอยู่ประมาณ 3-5 % โดยน้ำหนัก และในชั้นของกลีเซอรินจะมีปริมาณเมทานอลละลายอยู่ประมาณ 30 % โดยน้ำหนัก [1] ในการแยกเมทานอลออกจากผลิตภัณฑ์และนำกลับมาใช้ใหม่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยทั่วไป วิธีที่นิยมนำมาใช้แยกเมทานอลออกจากผลิตภัณฑ์ คือการใช้ไอน้ำร้อนในการสกัดแยกเมทานอลออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมทานอลที่ละลายออกมากับไอน้ำร้อนจะมีความเข้มข้นน้อยมากเนื่องจากมีการใช้น้ำล้างจำนวนมาก เมทานอลที่มีความเข้มข้นต่ำนั้น ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตใหม่เพราะอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้และยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้อีกด้วย [2]

โครงการนี้พิจารณาวิธีการแยกน้ำออกจากเมทานอลเพื่อให้ได้เมทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นสำหรับการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ วิธีการแรกที่เลือก คือกระบวนการกลั่นด้วยหอกลั่นแบบวัสดูบรรจรูปแบบฟลอยสแตนเลสจากงานวิจัยที่มีมาแล้วซึ่งมีประสิทธิภาพในการกลั่นสูง มีความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี (Height equivalent to a theoretical plate : HETP) 20 เซนติเมตร โดยจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม HYSYS และพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นเมทานอล เช่น อัตราส่วนป้อนกลับ (Reflux ratio) จำนวนชั้นและความสูงของหอกลั่น จากปัจจัยต่างๆ จะนำมาวิเคราะห์หาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการดำเนินการและการก่อสร้าง ส่วนวิธีการแยกน้ำออกจากเมทานอลอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ คือการทดลองด้วยกระบวนการดูดซับ โดยใช้สารดูดซับแบบโมเลคิวลาร์ซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Molecular sieve) ที่มีความพรุนสูง มีโครงสร้างภายในที่แน่นอนแบบสัณฐาน และศึกษาชนิดของตัวดูดซับ ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ จุดอิ่มตัวของ การดูดซับรวมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับ

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อผลิตเมทานอลความเข้มข้น 99.9 % โดยน้ำหนัก จากสารละลายเมทานอลเกินพอที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ
- 1.2.2 เพื่อลดต้นทุนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากการนำเมทานอลมาใช้ใหม่
- 1.2.3 เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีต่างๆ ในการแยกน้ำออกจากเมทานอล

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการของกระบวนการกลั่นและการดูดซับ
- 1.3.2 ศึกษาและออกแบบระบบการกลั่นเมทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์สูงโดยใช้โปรแกรม HYSYS จำลองกระบวนการกลั่นแบบวัสดุบรรจุ
- 1.3.3 ทำการทดลองดูดซับน้ำออกจากเมทานอลโดยใช้ตัวดูดซับ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำปริญญานิพนธ์

- 1.4.1 เข้าใจกรรมวิธีการแยกสาร โดยการกลั่นและการดูดซับ
- 1.4.2 วิธีที่เหมาะสมสำหรับการแยกน้ำออกจากเมทานอลเกินพอที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การกลั่นแบบสมดุล [3 - 5]

เมื่อพิจารณาการควบคุมมวลสารทั้งหมด (Overall material balances) ของหอกลั่น อาจพิจารณา ระบบ 2 องค์ประกอบ (Binary system) ดังนี้

2.1.1 สมการควบคุมมวลสาร (Material balance)

สมการควบคุมรวม (Total balance) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = D + B \quad (2.1)$$

เมื่อ F: อัตราการไหลของสายป้อน (kmol/h)

D: อัตราการไหลของสายการกลั่น (kmol/h)

B: อัตราการไหลของสายกันหอ (kmol/h)

และสมการดุลขององค์ประกอบ A (Species balance) เขียนได้ดังนี้

$$Fx_{A,F} = Dx_{A,D} + Bx_{A,B} \quad (2.2)$$

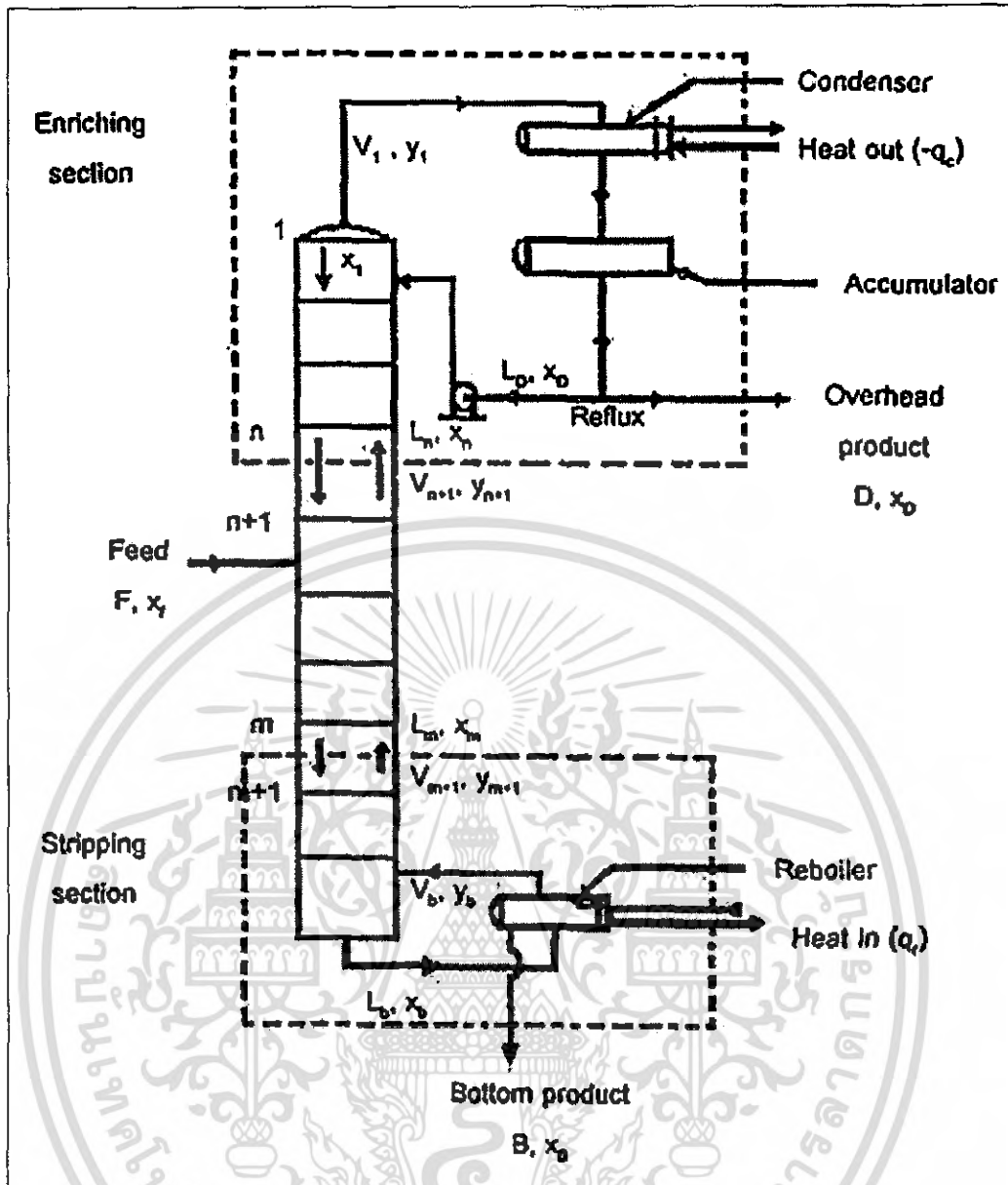
เมื่อ $x_{A,F}$: อัตราส่วนเชิงโมลขององค์ประกอบ A ในสายป้อน

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

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

2.1.2 เส้นปฏิบัติการ (Operating line) [4-5]

การทำควบคุมมวลสารในหอกลั่น สามารถทำได้โดยพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบน และส่วนล่างของหอกลั่นดังแสดงในรูปที่ 2.1 เขียนเป็นสมการเส้นปฏิบัติการได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 การควบคุมมวลสารสำหรับการกลั่นลำดับส่วนอย่างต่อเนื่อง [4]

ให้ x_n และ L_n คืออัตราส่วนเชิงโมลและอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา ให้ y_{n+1} และ V_{n+1} คือส่วนประกอบและอัตราการไหลของไอที่ลอยตัวมาจากชั้นที่ $n+1$ จะได้เส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้น (Enriching section) ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{n+1}y_{n+1} = L_n x_n + Dx_D \quad (2.3)$$

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{D}{V_{n+1}} x_D \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ L และ V มีค่าคงที่ หรือเป็น Equimolar counter diffusion จะได้ว่า

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{L_n + D} x_n + \frac{D}{L_n + D} x_D \quad (2.5)$$

ถ้าให้อัตราส่วนการป้อนกลับ (Reflux ratio) คือ $R = L/D$ แล้วแทนลงในสมการที่ (2.5) จะได้

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D \quad (2.6)$$

ในการทำงานเดียวกันให้ y_{m+1}, V_{m+1} คือส่วนประกอบและอัตราส่วนการไหลของไอที่ลอยขึ้นจากชั้น $m+1$ และให้ x_m, L_m คือส่วนประกอบและอัตราส่วนการไหลของของเหลวที่ไหลลงมาจากชั้นที่ m จะได้เส้นปฏิบัติการของช่วงไล่สารระเหยง่าย (Stripping section) ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{m+1} y_{m+1} = L_m x_m + B x_B \quad (2.7)$$

$$y_{m+1} = \frac{L_m}{V_{m+1}} x_m + \frac{B}{V_{m+1}} x_B \quad (2.8)$$

และ

$$V_{m+1} = L_m - B \quad (2.9)$$

สมการเส้นปฏิบัติการทั้งสองช่วงนี้สามารถเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.1.3 เส้น q (q-line) [4]

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

$$L_m = L_n + qF \quad (2.10)$$

และ

$$V_n = V_m - (1-q)F \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดตัดของเส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้นกับเส้นปฏิบัติการของช่วงไล่สารระเหยง่ายบนกราฟ xy หาได้จากการเขียนสมการใหม่จากสมการที่ (2.3) และสมการที่ (2.7) โดยเมื่อนำเอา Subscript ของชั้นออก จะได้

$$V_n y = L_n x + Dx_D \quad (2.12)$$

และ

$$V_m y = L_m x + Bx_B \quad (2.13)$$

นำสมการที่ (2.12) และสมการที่ (2.13) มาลบกัน จะได้

$$(V_m - V_n)y = (L_m - L_n)x - (Dx_D + Bx_B) \quad (2.14)$$

แทนสมการที่ (2.2), (2.10) และ (2.11) ในสมการที่ (2.14) จะได้เส้น q คือเส้นตรง ที่แสดงได้ด้วยสมการ

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1} \quad (2.15)$$

หรือ

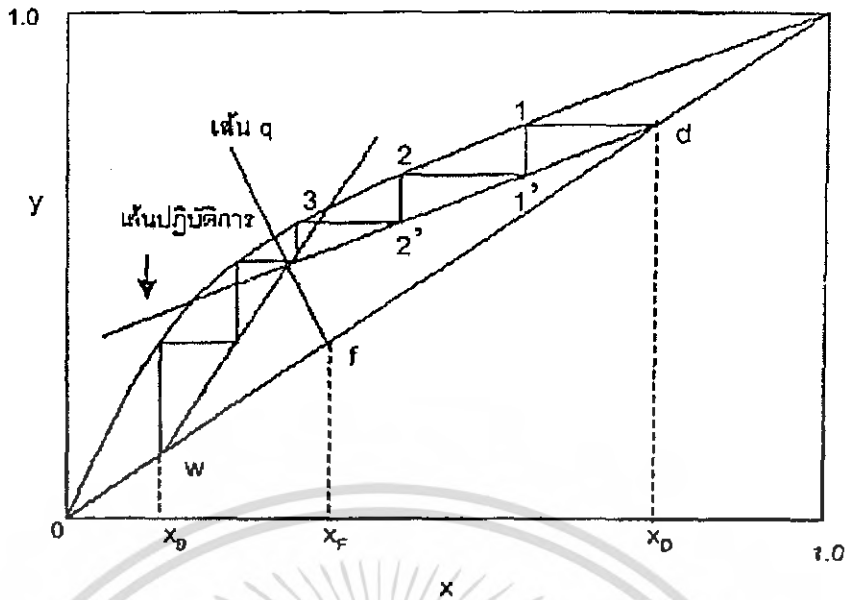
$$x_F = qx + 1(1-q)y \quad (2.16)$$

ในทางปฏิบัติควรจะทำให้ค่าของ x บนจุดตัดระหว่างเส้น q กับเส้นปฏิบัติการมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดกับส่วนประกอบของของเหลวบนชั้นที่ป้อนสารเข้า ความชันของเส้น q จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสารป้อน

2.1.4 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎี โดยวิธีการของ McCABE-THIELE [4]

ในการหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีในหอกลั่นที่มีแบบจำลองแบบสมดุลแสดงในรูปที่ 2.2 ให้พล็อตเส้นสมดุลของไอและของเหลวลงบนกราฟ $x-y$ แล้วลงจุด d, f, w บนเส้นทแยงมุมเพื่อแทนตำแหน่งของความเข้มข้น x_D, x_F, x_B ตามลำดับ โดยอาศัยสมการที่ (2.6), (2.15) ลากเส้นตรงแสดงเส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้นและเส้น q ตามลำดับ หลังจากนั้นลากเส้นปฏิบัติการในช่วงไล่สารระเหยง่าย โดยลากจากจุด w ไปพบจุดตัดของเส้นปฏิบัติการของช่วงเพิ่มความเข้มข้นและเส้น q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

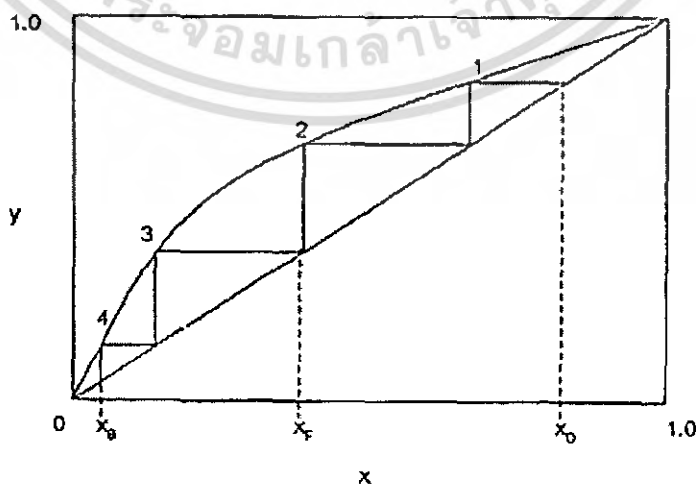


รูปที่ 2.2 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของ McCabe-Thiele [4]

จากจุด d ลากเส้นระดับตัดกับเส้นสมดุลที่จุดที่ 1 จากนั้นลากเส้นตั้งตัดเส้นปฏิบัติการที่จุด 1' จากจุด 1' ลากเส้นระดับ ตัดเส้นสมดุลที่จุด 2 ทำคังนี้เรื่อยไปจนเลขจุด w ให้นับชั้นที่ป้อน สายป้อนรวมอยู่ในช่วงเพิ่มความเข้มข้นซึ่งมีจำนวน n ชั้น และให้ชั้นของช่วงไล่สารระเหยง่ายมีจำนวน m ชั้น จะได้ว่าจำนวนชั้นในทางทฤษฎีทั้งสิ้นเป็น n+m ชั้น

2.1.5 จำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด (Minimum theoretical stages) [4]

ในกรณีที่อัตราส่วนป้อนกลับมีค่ามหาศาลไม่จำกัด ถ้าใช้วิธีเขียนกราฟของ McCabe-Thiele เส้นปฏิบัติการจะกลายเป็นเส้นทแยงมุม ซึ่งจะให้ ได้จำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีที่น้อยที่สุด [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด (Minimum reflux ratio, R_m) [4]

กรณีที่จำนวนชั้นมีมหาศาลไม่จำกัด ถ้าใช้วิธีเขียนกราฟของ McCabe-THIELE จะได้จุดตัดของเส้นปฏิบัติการกับเส้น q อยู่บนเส้นสมดุลพอดี อัตราส่วนป้อนกลับในกรณีนี้ เรียกว่า อัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากรูปที่ 2.4 ดังนี้

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

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

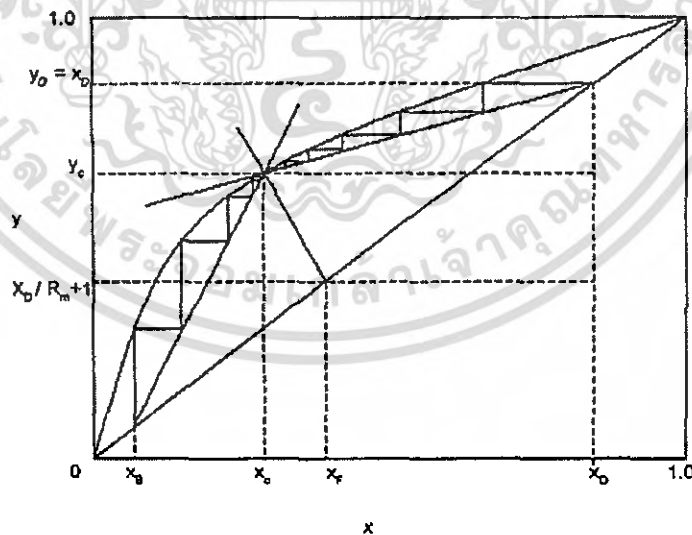
เพราะฉะนั้นจะได้

$$\frac{R_m}{R_m + 1} = \frac{x_D - y_c}{x_D - x_c} \quad (2.17)$$

เมื่อ x_c : อัตราส่วนเชิง โมลของของเหลวที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้งสองกับเส้นสมดุล

y_c : อัตราส่วนเชิง โมลของไอที่จุดตัดของเส้นปฏิบัติการทั้งสองกับเส้นสมดุล

ในกรณีที่เส้นสมดุลมีรูปร่างคดงอลงค่า R_m ก็คือความชัน (Slope) ของเส้นตรงที่ลากจากจุด d (รูปที่ 2.2) มาสัมผัสกับเส้นสมดุลพอดี



รูปที่ 2.4 การหาอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด [4]

ซึ่งค่าอัตราส่วนป้อนกลับที่เราใช้จริงจะมีค่าประมาณ 1.2 ถึง 1.5 เท่าของอัตราส่วนป้อนกลับน้อยที่สุด

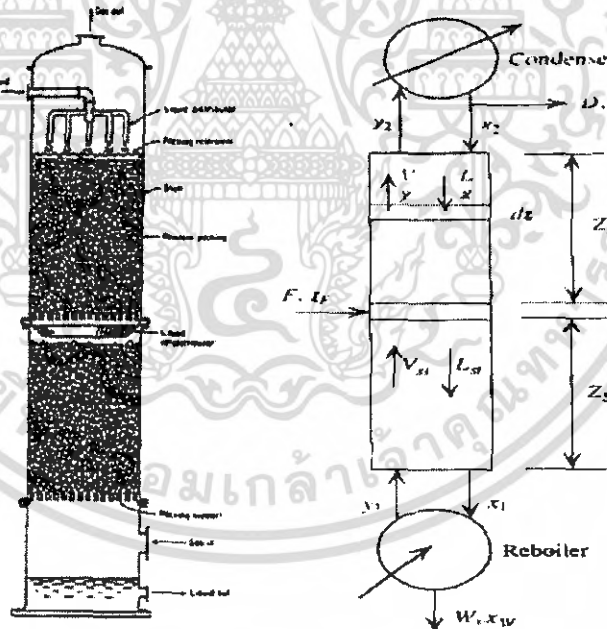
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การออกแบบหอกลั่นประเภทวัสดุบรรจุ [3 - 6]

2.2.1 ความสูงของหอกลั่นประเภทวัสดุบรรจุ

หอกลั่นประเภทบรรจุเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำให้ไอและของเหลวสัมผัสกันบนพื้นผิวของวัสดุบรรจุซึ่งทำให้เกิดกระบวนการกลั่นอย่างค่อยเป็นค่อยไปตลอดความสูงของหอกลั่น กระบวนการดังกล่าวต่างจากปรากฏการณ์ในหอกลั่นประเภทชั้น โดยส่วนประกอบ A ในเฟสหนึ่งจะถ่ายเทไปยังอีกเฟสหนึ่งตลอดความยาวของหอกลั่นขณะที่ของไหลผ่านหอ ดังนั้นอัตราการไหล และความเข้มข้นของสาร A ในทั้งสองเฟส จะเปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของหอ ดังนั้นในการออกแบบหอกลั่นประเภทบรรจุ จะพิจารณาในส่วนย่อยของหอก่อน และทำการอินทิเกรตเพื่อจะได้ค่าความสูงของหอทั้งหมดเพื่อป้องกันการสับสนเกี่ยวกับทิศทางการไหลของสาร จะทำการกำหนดดังนี้

1. การถ่ายเทมวลจากเฟส L ไปยัง เฟส V ถือว่าเป็นบวก (คือกระบวนการดีสารออกจากของเหลว)
2. การอินทิเกรตสมการจะอินทิเกรตจากกันหอไปยังยอดหอ
3. เฟสที่ไหลขึ้นภายในหอเป็นเฟส V ตรงกันข้ามเฟสที่ไหลลงให้เป็นเฟส L



รูปที่ 2.5 หอกลั่นประเภทวัสดุบรรจุ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณความสูงของหอกถันประเภทบรรจุนิยมใช้ค่า HETP ซึ่งหมายถึงความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี HETP [3] นิยามได้ดังสมการที่ (2.18)

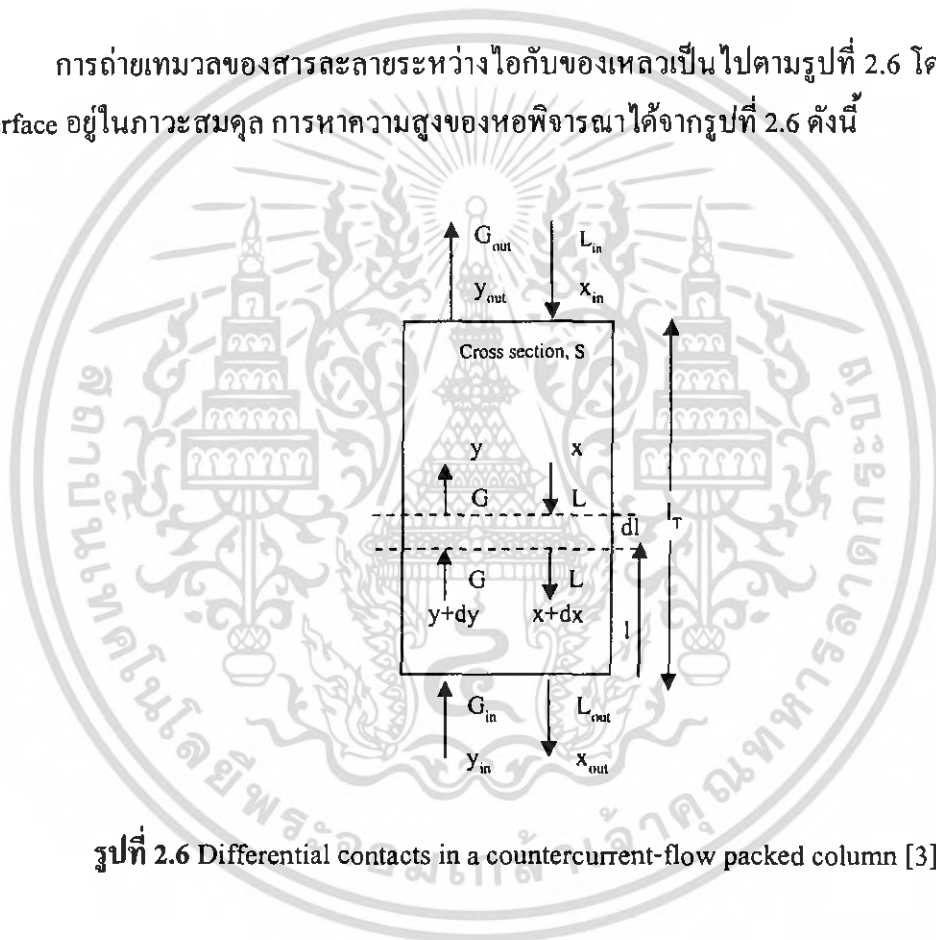
$$HETP = \frac{Z}{NTP} \quad (2.18)$$

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

Z : ความสูงของชั้นวัสดุ (m)

NTP : จำนวนชั้นทางทฤษฎี (Number of theoretical plate)

การถ่ายเทมวลของสารละลายระหว่างไอกับของเหลวเป็นไปตามรูปที่ 2.6 โดยสมมติให้ที่ Interface อยู่ในภาวะสมดุล การหาความสูงของหอพิจารณาได้จากรูปที่ 2.6 ดังนี้



รูปที่ 2.6 Differential contacts in a countercurrent-flow packed column [3]

สมการดุลมวลสาร คือ

$$-GSdy = K_y a(y - y^*)S dl \quad (2.19)$$

ทำการอินทิเกรต

$$\frac{K_y a}{G} \int_0^{Z_T} dZ = \frac{K_y a Z_T}{G} = - \int_{y_{in}}^{y_{out}} \frac{dy}{y - y^*} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$Z_T = \frac{G}{K_y a S} \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{1}{y - y^*} dy \quad (2.21)$$

$$Z_R = \frac{G}{K_y a S} \int_{y_F}^{y_D} \frac{1}{y^* - y} dy \quad (2.22)$$

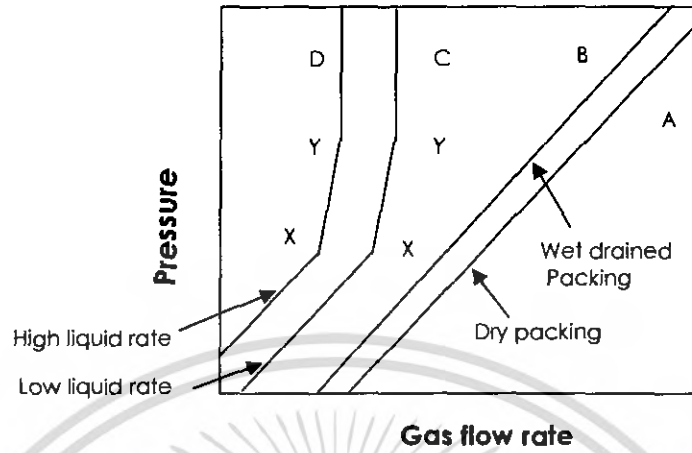
$$Z_S = \frac{L_s}{K_x a S} \int_{x_B}^{x_F} \frac{1}{x - x^*} dx \quad (2.23)$$

- เมื่อ G : อัตราการไหลเชิงโมลของไอต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ ($\text{kmol}/(\text{h}) \cdot (\text{m}^2)$)
 L_s : อัตราการไหลเชิงโมลของของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ ($\text{kmol}/(\text{h}) \cdot (\text{m}^2)$)
 $K_y a$: สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมเชิงปริมาตรบนฐานของความเข้มข้นในเฟสไอ ($\text{kmol}/(\text{h}) \cdot (\text{m}^3)$)
 $K_x a$: สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมเชิงปริมาตรบนฐานของความเข้มข้นในเฟสของเหลว ($\text{kmol}/(\text{h}) \cdot (\text{m}^3)$)
 S : พื้นที่หน้าตัดของหอ (m^2)
 Z_T : ความสูงรวมของหอ (m)
 Z_R : ความสูงของหอสำหรับส่วนเพิ่มความเข้มข้น (m)
 Z_S : ความสูงของหอสำหรับส่วนไล่สารระเหยง่าย (m)
 y : อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสไอซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล
 y^* : อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสไอซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกับอัตราส่วนเชิงโมลในเฟสของเหลว
 x : อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสของเหลวซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล
 x^* : อัตราส่วนเชิงโมลในเฟสของเหลวซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกับอัตราส่วนเชิงโมลในเฟสไอ

2.2.2 ความดันลดของหอกลิ้นประเภทวัสดุบรรจุ [3, 6]

การประมาณค่าความดันลดของหอกลิ้นประเภทวัสดุบรรจุเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น โดยทั่วไปจะประมาณค่าด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดันลด ภายในหอกลิ้นส่วนที่เป็นเฟสไอจะมีการไหลแบบปั่นป่วน รูปแบบความสัมพันธ์ทั่วไประหว่างความดันลด ($-\Delta P$) และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซต่อพื้นที่หน้าตัดของหอ (U_i) โดยที่ $-\Delta P$ จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณ $U_i^{1.8}$ ถ้ากรณีที่อัตราการไหลของของเหลวมีค่าต่ำ จะพบว่าอัตราการไหลของของเหลวไม่มีผลต่อทางเดินของก๊าซ แต่เมื่อความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นถึงค่าค่าหนึ่ง $-\Delta P$ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะแปรผันตาม $U_i^{2.5}$ ดังแสดงในช่วง XY บนเส้นกราฟ C บนช่วง XY นี้การไหล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

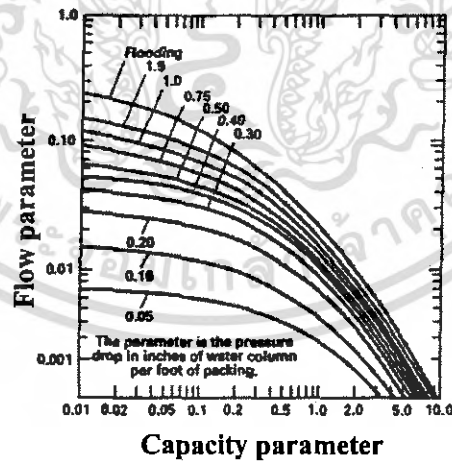
ของของเหลวมีผลต่อการไหลของก๊าซ และค่าโฮลด์อัป (hold-up) ของของเหลวจะเพิ่มขึ้น เกิดการสะสมของของเหลวภายในช่องว่างของวัสดุบรรจุ ส่งผลให้ความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้นและการไหลของก๊าซที่เหนือจุด Y จะมีค่า $-\Delta P$ สูงขึ้นมากจนอาจทำให้ของเหลวไหลย้อนกลับ



รูปที่ 2.7 ความดันตกในหอกันแบบวัสดุบรรจุ

จุด X คือจุดการไหล (Loading point) และจุด Y คือจุดการท่วมหอกัน (Flooding point) สำหรับการไหลของของเหลวที่ค่าอื่นๆ โดยปกติหอกันประเภทวัสดุบรรจุจะทำงานอยู่ในช่วง XY แต่เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบจะกำหนดให้การทำงานของหอกันอยู่ที่จุดการไหล (จุด X) เพราะหอกันประเภทวัสดุบรรจุจะไม่สามารถทำงานที่ภาวะเกิดการท่วมหอกันได้

ความสัมพันธ์ของกราฟของจุดท่วมหอกันแสดงดังรูปที่ 2.8 สำหรับวัสดุบรรจุแบบต่างๆ กราฟนี้ใช้ในการทำนายขนาดของหอกันและอัตราการไหลที่ดำเนินการกลับได้



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของความดันตกในหอกันแบบวัสดุบรรจุ [3]

$$\frac{U_i^2 a_p \rho_v (\mu_L)^{0.2}}{g^3 \rho_L (\mu_w)^{0.2}} = \text{Flow parameter} \quad (2.24)$$

$$\frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}} = \text{Capacity parameter} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีการคำนวณของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [7]

การคำนวณเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีสมมติฐานดังนี้

1. การไหลเป็นแบบคงตัว (Steady state) อัตราการไหล อุณหภูมิ ความเร็วขาเข้าและขาออกมีค่าคงที่
2. ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงานจลน์เนื่องจากระดับของของไหลและความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
3. ค่าความร้อนจำเพาะของของไหลมีค่าคงที่
4. ไม่คิดความร้อนตามแนวยาวของท่อ
5. พื้นผิวภายนอกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมักจะถูกห่อหุ้มด้วยฉนวนจึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกสู่สภาพแวดล้อม การถ่ายเทจึงเกิดขึ้นระหว่างของไหลทั้งสองเท่านั้น

จากภาวะอุดมคติดังกล่าวสามารถวิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหลที่ร้อนมีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังของไหลที่เป็นตัวผสม

$$\dot{Q} = m_c C_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (2.26)$$

$$\dot{Q} = m_h C_{p,h} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2.27)$$

ในการวิเคราะห์จะรวม Mass flow rate และ Specific heat ไว้เป็นเทอมเดียวกัน รวมเรียกว่า Heat capacity rate ดังนี้

$$C_h = m_h C_{p,h}, C_c = m_c C_{p,c} \quad (2.28)$$

โดย Heat capacity rate หมายถึง ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต้องการเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของของไหลขึ้น 1°C เมื่อของไหลนั้นไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ของไหลที่มีค่า Heat capacity rate มากจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อย และในทางกลับกัน สมการที่ (2.26) และ (2.27) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\dot{Q} = C_c (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (2.29)$$

$$\dot{Q} = C_h (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

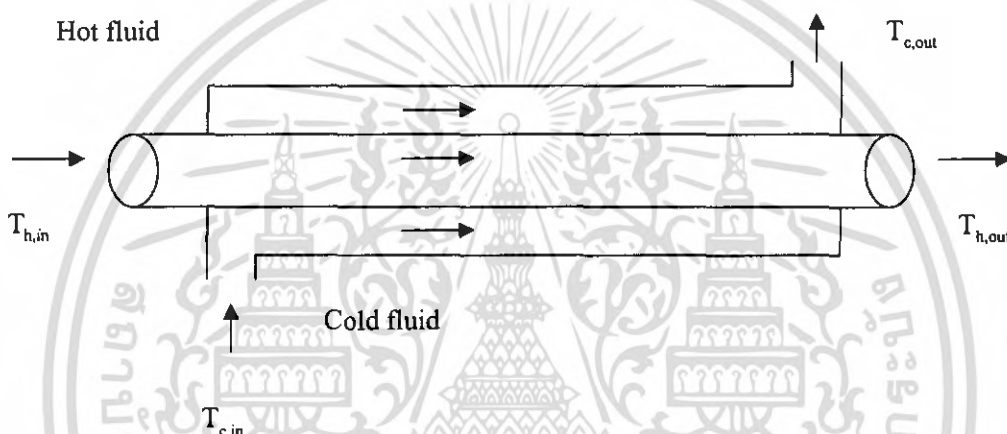
การถ่ายเทความร้อนใน Boiler และ Condenser สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\dot{Q} = m h_{fg} \quad (2.31)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถแสดงในรูปแบบของ Newton' law of cooling ดังนี้

$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_m \quad (2.32)$$

จากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Parallel – flow double – pipe heat exchanger

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหลร้อนจะมีค่ามากบริเวณทางเข้าและลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลไปจนถึงทางออก โดย T_c เพิ่มขึ้น แต่ T_h จะมีค่าไม่เกิน T_c อัตราการถ่ายเทความร้อนในพื้นที่เล็กๆ มีค่าดังนี้

$$d\dot{Q} = U(T_h - T_c)dA_s \quad (2.33)$$

$$\frac{d(T_h - T_c)}{T_h - T_c} = -UdA_s \left(\frac{1}{m_h C_{ph}} + \frac{1}{m_c C_{pc}} \right) \quad (2.34)$$

จัดสมการที่ (2.26) และ (2.27) แล้วแทนค่าลงในสมการที่ (2.34) จากนั้นอินทิเกรต จะได้

$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_m \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2.36)$$

เมื่อ $\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,in}$, $\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,out}$ กรณีการไหลแบบทิศทางเดียวกัน

$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$, $\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$ กรณีการไหลแบบสวนทางกัน

ซึ่ง ΔT_{lm} เรียกว่า Log mean temperature difference และเหมาะแก่การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อน โดยความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ย

2.4 การคำนวณของเครื่องต้มซ้ำ

เครื่องต้มซ้ำคือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการกลั่นมีหน้าที่ให้ความร้อนทำให้สารละลายระเหย เครื่องต้มซ้ำแบบ Kettle นิยมนำมาใช้ในระบบการกลั่นที่มีผลิตภัณฑ์ส่วนล่างน้อย ซึ่งการออกแบบต้องคำนึงถึงค่าความร้อนต่อพื้นที่สูงสุดซึ่งเป็นดังสมการที่ (2.37) โดยทั่วไปค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของระบบไม่ควรเกิน 0.7 เท่าของค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุด [8]

$$q_{cb} = K_b \cdot \left(\frac{P_t}{d_o}\right) \cdot \left(\frac{\lambda}{\sqrt{N_t}}\right) \cdot [\sigma g (\rho_L - \rho_V) \rho_V^2]^{0.25} \quad (2.37)$$

2.5 การออกแบบ Reflux drum [3]

หอกลั่นส่วนใหญ่ต้องประกอบด้วย Reflux drum ที่เป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งมักจะวางตัวอยู่ระดับล่าง ซึ่งจำเป็นต้องมีการติดตั้งปั๊มเพื่อส่งรีฟลักซ์กลับขึ้นสู่ส่วนยอดของหอกลั่น ในกรณีที่มีการใช้ Partial condenser ขึ้นในระบบการกลั่น Reflux drum จะต้องวางตัวในแนวตั้งเพื่อช่วยในการแยกส่วนที่เป็นไอออกจากส่วนที่เป็นของเหลว

ในการออกแบบ Reflux drum แบบแนวตั้งจะเริ่มการออกแบบโดยคำนึงถึงปริมาตรของ Reflux drum (V_R) โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของค่า Liquid residence time (t_R) ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการถ่ายเทของเหลวปริมาตรเท่ากับครึ่งหนึ่งของปริมาตร Reflux drum ออกจนหมด โดยค่า Liquid residence time ควรมีค่าน้อยที่สุด 5 นาที ซึ่งปริมาตรของ Reflux drum สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.38)

$$V_R = \frac{2L_R MW_{top} t_R}{\rho_{top}} \quad (2.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงของ Reflux drum (H_R) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$H_R = \frac{4V_R}{\pi D_R^2} \quad (2.39)$$

โดยทั่วไปขนาดความสูงของ Reflux drum จะมีค่าเป็น 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Reflux drum (D_R) หรือ $H_R = 4D_R$ ดังนั้นจะสามารถคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Reflux drum ได้จากสมการ

$$D_R = \frac{H_R}{4} = \left(\frac{V_R}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.40)$$

2.6 การดูดซับ (Adsorption) [4-5, 9]

การดูดซับเป็นกระบวนการจับ โมเลกุลของก๊าซหรือของเหลวซึ่งคือสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ด้วยโมเลกุลของสารดูดซับ (Adsorbent) โดยสารที่ถูกดูดซับจะไปยึดเกาะที่บริเวณผิวหน้าของสารดูดซับ สารดูดซับที่นิยมใช้คือสารประกอบที่เป็นอนุภาคของแข็ง สมบัติที่สำคัญของสารดูดซับคือความพรุนเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายในให้มีพื้นที่ผิวมาก นอกจากนี้สมบัติอื่นๆ ของรูพรุน เช่น โครงสร้างการจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดอยู่ที่ภายในของรูพรุน อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับ อาจเป็นแรงที่ไม่เจาะจง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจง ซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมี เมื่อเกิดการดูดซับจนอิ่มตัวแล้วก็สามารถกำจัดโมเลกุลของสารถูกดูดซับออกโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิหรือความดัน เพื่อให้สารดูดซับกลับสู่สภาพเดิมและนำไปใช้ดูดซับได้อีก เรียกกระบวนการนี้ว่า การฟื้นฟูสภาพหรือการรีเจนเนอเรชัน

2.6.1 ประเภทของการดูดซับ [4, 9]

สามารถแบ่งประเภทของการดูดซับได้ 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

1. การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพมีแรงแวนเดอร์วาลส์เป็นแรงในการดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับทางกายภาพสารถูกดูดซับจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง การดูดซับทางกายภาพเป็นกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นเอง องค์ประกอบหลักของการดูดซับทางกายภาพ คือธรรมชาติของสารที่ถูกดูดซับและสารดูดซับ แรงระหว่างผิวสัมผัส และความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับ การดูดซับที่เกิดขึ้นอาจเป็นการดูดซับระหว่างโมเลกุลประเภทมีขั้วทั้งคู่ หรือระหว่างโมเลกุล ไม่มีขั้วทั้งคู่ หรือระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การดูดซับระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับ โมเลกุลมีขั้ว เกิดจากผลของออเรียนเทชัน (Orientation effect) คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วแค่ประจูดตรงกันข้าม

ข. การดูดซับระหว่าง โมเลกุลไม่มีขั้วกับ โมเลกุลไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการกระจาย (Dispersion effect) คือ โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว สามารถเปลี่ยนเป็น โมเลกุลไดโพลได้ โมเลกุลไดโพล คือ โมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้วใน โมเลกุลเดียวกัน ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มายู่ด้านใดด้านหนึ่งมากจะทำให้เป็น โมเลกุลไดโพลได้ และเมื่อมีโมเลกุลไม่มีขั้วที่มีลักษณะเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน โดยแรงดึงดูดระหว่างกันนั้นเป็นแรงที่อ่อน

ค. การดูดซับระหว่าง โมเลกุลมีขั้วกับ โมเลกุล ไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการเหนี่ยวนำ (Induce effect) ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลมีขั้วเข้ามาใกล้กับ โมเลกุล ไม่มีขั้วแล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจูดตรงข้ามกัน หลังจากนั้นจึงเกิดการดึงดูดกัน

การดูดซับทางกายภาพเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ และเป็นกระบวนการคายความร้อน อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะถูกจำกัด โดยอัตราการเคลื่อนที่ของมวลใน วัฏภาคของไหลและใน สารดูดซับ ในกรณีของก๊าซความร้อนของการดูดซับจะสูงเมื่อก๊าซมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต

2. การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมี มีพันธะทางเคมีเป็นแรงในการดูดซับ ซึ่งมากกว่าแรงในการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมีขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารดูดซับกับพื้นที่ผิวของ สารดูดซับที่สามารถทำการดูดซับได้ (Surface site) พันธะเคมีไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่แข็งแรง มีการจับกันเกิดเป็นสารประกอบเคมี (Chemical compound)

2.6.2 กลไกการดูดซับ [3]

กลไกการดูดซับที่เกิดขึ้น ในกระบวนการดูดซับนั้นเป็นการถ่ายเทมวลจากก๊าซหรือของเหลวไปยังของแข็ง โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นเป็น 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. การแพร่ของสารดูดซับไปยังผิวของสารดูดซับ (Diffusion to adsorbent surface) โมเลกุลของสารดูดซับจะเคลื่อนที่จากเนื้อของไหลไปยังพื้นผิวด้านนอกของอนุภาคสารดูดซับ

2. การแพร่ของสารดูดซับเข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับ (Migration into pores of adsorbent) โมเลกุลของสารดูดซับจะแพร่เข้าภายในรูพรุนของอนุภาคสารดูดซับซึ่งมีพื้นที่ผิวมากกว่า และการดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดภายในรูพรุนของสารดูดซับ

3. การดูดซับชั้นเดียวของสารดูดซับ (Monolayer build up of adsorption) โมเลกุลของสารดูดซับจะถูกดูดซับที่พื้นผิวภายในของสารดูดซับซึ่งอาจถูกดูดด้วยแรงทางกายภาพ แรงทางเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน

83187

2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [10]

1. ขนาดอนุภาคของสารดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ในกรณีที่สารดูดซับชนิดที่ไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวสัมผัสจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง และในกรณีที่สารดูดซับเป็นชนิดที่มีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ภายในรูพรุน ดังนั้นในกรณีนี้ความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของสารดูดซับ

2. พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุนของสารดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของสารดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี เพราะโครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีการดูดซับได้ดียิ่งขึ้น โดยการจัดเรียงตัวของโครงสร้างของรูพรุนต้องสามารถที่จะปล่อยให้โมเลกุลที่ต้องการดูดซับผ่านเข้าไปในรูพรุนได้ ดีกว่าโมเลกุลของสารที่ไม่ต้องการดูดซับ เพราะถ้าโมเลกุลของสารถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนมากก็ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

3. ความสามารถในการละลายของสารถูกดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายของ ตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายและ ไปเกาะที่ผิวของสารดูดซับ ดังนั้นถ้าความสามารถในการละลายมากก็จะแยกสารออกจากกัน ได้ยากทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

4. น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล ของสารถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะความสามารถในการละลายจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น

5. ความมีขั้ว

ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อสารถูกดูดซับมีความมีขั้ว (Polarity) มาก ขึ้น เพราะการที่สภาพมีขั้วมากขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

6. ความเป็นกรด-เบส

ส่วนใหญ่ค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับแต่ละระบบ เช่น ในการดูดซับสีค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสม คือ ต่ำกว่า 7 จึงจะทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี

7. อุณหภูมิ

อัตราเร็วในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการลด ความหนืดของสารถูกดูดซับ แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับเป็น ปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

2.7 โมเลกุลาร์ซีฟ (Molecular sieves) [11-13]

โมเลกุลาร์ซีฟเป็นสารดูดซับที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ การกำจัดน้ำ เนื่องจากโมเลกุลาร์ซีฟมีการจัดเรียงตัวของอะตอมเป็นผลึกที่มีแบบแผนแน่นอนแบบสัณฐาน การจัดเรียงตัวในรูปนี้มีช่องว่างในโครงสร้างซึ่งต่อเชื่อมถึงกันตลอด ลักษณะและขนาดของรูพรุน รวมทั้งช่องว่างภายในสม่ำเสมอตลอดทั้งโครงสร้าง ดังนั้นการดูดซับจึงจะเกิดเฉพาะกับโมเลกุลที่มีขนาดและรูปร่างแน่นอน โมเลกุลาร์ซีฟเป็นสารประกอบจำพวกอลูมิโนซิลิเกต (Alumino silicate) ซึ่งนอกจากเตรียมได้จากการสังเคราะห์แล้วยังได้จากธรรมชาติในรูปของแร่ซีโอไลต์ (Zeolite) ขนาดของรูพรุนสามารถปรับได้ตามความต้องการจากการสังเคราะห์ ทำให้การดูดซับทำได้เฉพาะเจาะจงมากขึ้นและมีความหลากหลายในการดูดซับตามช่วงขนาดโมเลกุลของสารที่แตกต่างกัน สามารถดูดซับตามขนาดโมเลกุลของสารที่ต้องการได้ โดยที่โมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุนของสารดูดซับจะผ่านเข้าสู่รูพรุนและเกิดการดูดซับ ส่วน โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของสารดูดซับจะไม่สามารถผ่านเข้าสู่รูพรุนหรือผ่านได้เพียงเล็กน้อย เช่น ในกรณีของน้ำกับเมทานอล ซึ่งมีขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกัน น้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโมเลกุลเท่ากับ 0.26 นาโนเมตร ส่วนเมทานอลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโมเลกุลเท่ากับ 0.41 นาโนเมตร [13] เมื่อขนาดรูพรุนของโมเลกุลาร์ซีฟเท่ากับ 0.3 นาโนเมตร โมเลกุลของเมทานอลจึงไม่สามารถผ่านเข้าสู่รูพรุนของโมเลกุลาร์ซีฟได้หรือผ่านได้เล็กน้อย ส่วน โมเลกุลของน้ำที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของโมเลกุลาร์ซีฟนั้นจะผ่านเข้าสู่รูพรุนและเกิดการดูดซับขึ้นภายในรูพรุน

สำหรับการนำโมเลกุลาร์ซีฟกลับมาใช้ใหม่ (Regeneration) หลังจากผ่านการดูดซับแล้ว ทำโดยใช้ก๊าซพาและให้ความร้อนแก่สารดูดซับเพื่อให้เกิดการคายซับ (Desorption) สารที่ถูกดูดซับโดยพลังงานที่ใช้ในการคายซับต้องเพียงพอต่อภาระเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับและสารถูกดูดซับเพื่อทำให้สารถูกดูดซับระเหยออกจากสารดูดซับได้หมด โดยทั่วไปสำหรับการลดความชื้นในตัวทำละลายช่วงอุณหภูมิในเบดที่ใช้ในการรีเจนเนอเรชันจะอยู่ระหว่าง 175-260 องศาเซลเซียส สำหรับโมเลกุลาร์ซีฟขนาด 3A [12]

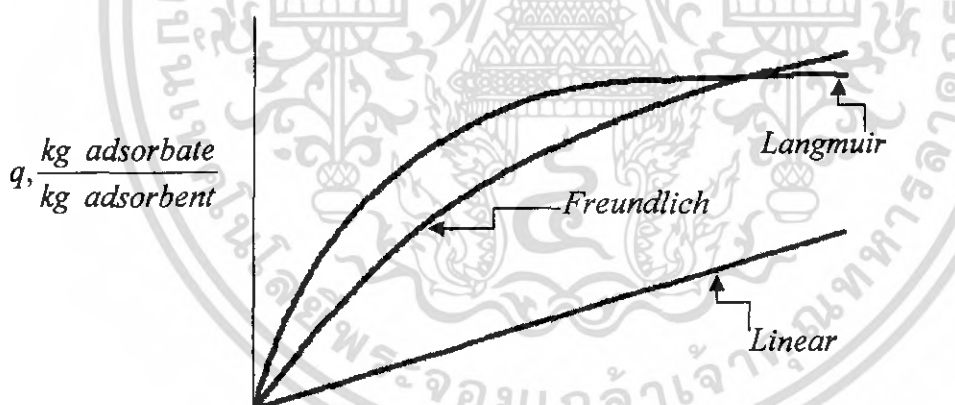


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.10 โมเลกุลาร์ซีฟ 3A-AG
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ความสัมพันธ์สถานะสมดุลการดูดซับ [3, 5]

การดูดซับ คือ สภาพที่สารถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากสารละลายเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับซึ่งเป็นของแข็งและเพิ่มความเข้มข้นที่ผิวหน้าของของแข็งจนกระทั่ง ในเวลานั้นจะเป็นภาวะสมดุลพลศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของของแข็ง โดยกำหนดให้การดูดซับของสารถูกดูดซับเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก หรือน้ำหนักของสารถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้บนสารดูดซับ 1 หน่วยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิใดๆ ซึ่งอาจแสดงไว้ด้วยกราฟระหว่างความเข้มข้นหรือปริมาตรของสารถูกดูดซับที่ถูกดูดซับเทียบกับความดันย่อยหรือความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในวัฏภาคของก๊าซหรือของเหลวที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งเรียกว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) ดังรูปที่ 2.11 โดยทั่วไปน้ำหนักของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แต่อาจจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรงก็ได้ โดยแบบจำลองการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ (Models for adsorption isotherm) สามารถใช้ได้ทั้งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี แต่มีข้อกำหนดดังนี้

1. ต้องมีสมดุลที่แท้จริง
2. การดูดซับสามารถผันกลับได้ โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในสารถูกดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อทำการดูดซับและการคายซับหลายๆ ครั้ง



รูปที่ 2.11 รูปแบบของไอโซเทอมการดูดซับบางประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับ [9]

สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับ ได้แก่

2.9.1 สมการของแลงเมียร์ (Langmuir equation) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

1. โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะถูกดูดซับที่ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นผิวของสารดูดซับ
2. ตำแหน่งแต่ละตำแหน่งจะสามารถดูดซับได้เพียงโมเลกุลเดียวเท่านั้น
3. การดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับบนสารดูดซับจะเกิดเป็นชั้นเดียว
4. พลังงานการดูดซับที่ทุกตำแหน่งบนสารดูดซับจะมีค่าเท่ากัน

โดยสมการของแลงเมียร์ มีดังนี้

$$q = \frac{(q_0 b C_e)}{(1 + b C_e)} \quad (2.41)$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$1/q = (1/q_0) + (1/bq_0)(1/C_e) \quad (2.42)$$

เมื่อ b คือ

$$b = b_0 e^{-\Delta H/R_x T} \quad (2.43)$$

โดยที่

q = น้ำหนักของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

q_0 = น้ำหนักของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (มิลลิกรัม/กรัม)

b, b_0 = ค่าคงที่

C_e = ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

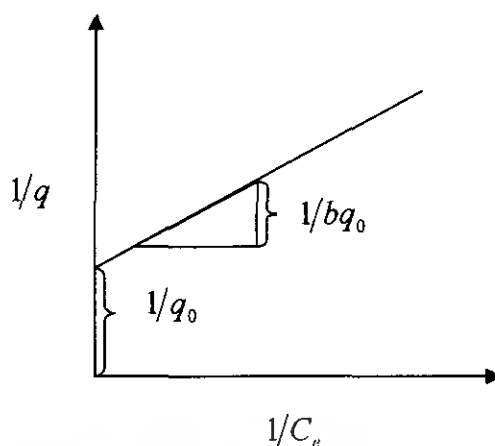
ΔH = ค่าความร้อนของการดูดซับ (กิโลแคลอรี/โมล)

R_x = ค่าคงที่ของก๊าซ (แคลอรี/เคลวิน โมล)

T = อุณหภูมิของการดูดซับ (เคลวิน)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ และ $1/C_e$ ดังรูปที่ 2.12 จะได้ความชัน คือ $1/bq_0$ และจุดตัด

แกน y คือ $1/q_0$ ซึ่งค่าคงที่ b จะแปรผันตามอุณหภูมิในการดูดซับดังสมการที่ (2.43)



รูปที่ 2.12 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของแลงเมียร์

2.9.2 สมการของฟรุนดลิช (Freundlich equation) มีสมมติฐานดังนี้

1. โมเลกุลของสารถูกดูดซับแต่ละโมเลกุลที่ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นผิวของสารถูกดูดซับจะไม่มีผลกระทบต่อกัน

2. การดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับบนสารดูดซับจะเกิดแบบหลายชั้น โดยสมการของฟรุนดลิชมีดังนี้

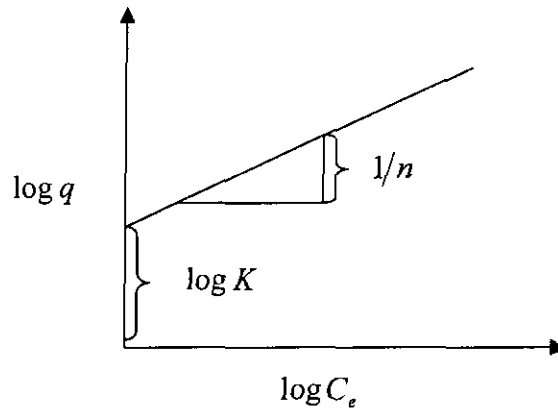
$$q = KC_e^{1/n} \quad (2.44)$$

จัดรูปสมการที่ (2.44) ได้ใหม่เป็น

$$\log q = \log K + [(1/n)\log C_e] \quad (2.45)$$

โดยที่ $K, n =$ ค่าคงที่

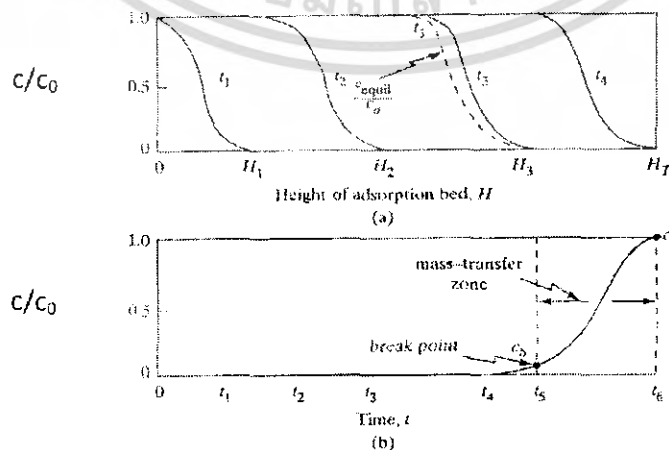
เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C_e$ ดังรูปที่ 2.13 จะได้ความชัน คือ $1/n$ ซึ่งจุดตัดแกน y คือ $\log K$ โดยค่าคงที่การดูดซับ K และค่าคงที่ n จะขึ้นกับอุณหภูมิการดูดซับ เช่น ค่าคงที่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ค่าคงที่ n จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.13 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของฟรุนดลิช

2.10 การดูดซับแบบเบตนิ่ง [5]

การดูดซับแบบเบตนิ่งนิยมใช้สำหรับดูดซับก๊าซและของเหลวโดยมีสารดูดซับอยู่ในเบตนิ่ง และปล่อยให้สารถูกขับไหลผ่านสารดูดซับ ซึ่งในตอนเริ่มต้นจะไม่มีสารถูกดูดซับเลย สารถูกดูดซับจะถูกดูดซับจนกระทั่งสารดูดซับอิ่มตัว และไม่สามารถแยกสารถูกดูดซับได้อีก ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายภายในเบตจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยการดูดซับจะเกิดบริเวณทางเข้าเบตจนกระทั่งอิ่มตัว จากนั้นการถ่ายเทมวลจะเกิดขึ้นที่บริเวณถัดไป เรียกบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นว่า บริเวณถ่ายเทมวล (Mass transfer zone : MTZ) จากรูปที่ 2.14 (a) ความเข้มข้นที่ความยาวของเบตแตกต่างกันและสามารถนำไปทำนายหาเส้นกราฟเส้นโค้งเบรคทรู (Breakthrough curve) ดังรูปที่ 2.14 (b) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นขาออกต่อความเข้มข้นขาเข้ากับเวลา พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป t_1 เมื่อเบตเริ่มอิ่มตัวจะเริ่มมีสารถูกดูดซับไหลออกมาจากเบตจนถึงที่เวลา t_2 เบตจะเริ่มอิ่มตัวอย่างรวดเร็ว เรียกจุด C_0 นี้ว่าจุดยุติ (Break point) ทำให้มีสารถูกดูดซับออกมาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงจุด C_d หรือจุด Dead point สารดูดซับจะอิ่มตัวเกือบสมบูรณ์ จากนั้นสารดูดซับจะไม่สามารถดูดซับได้อีก (โดยทั่วไปค่า C_d/C_0 มีค่า 0.01-0.05 และค่า C_0/C_d มีค่าใกล้ 1)



รูปที่ 2.14 กราฟความเข้มข้นสำหรับการดูดซับในเบตนิ่ง [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การจำลองกระบวนการกลั่นและออกแบบอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์การทดลอง

คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Window XP ที่มีโปรแกรมซอฟต์แวร์ HYSYS ของ Hyprotech

3.1.2 วิธีการทดลอง

1. จำลองกระบวนการกลั่นเมทานอลด้วยหอกลั่นแบบวัสดุบรรจุ โดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าอัตราส่วนการป้อนกลับที่เหมาะสม ค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการกลั่นค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการควบแน่นสารผลิตภัณฑ์
2. นำค่าตัวแปรต่างๆในข้อที่ 1. มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในระบบการกลั่นแยกสาร ได้แก่ ขนาดของเครื่องควบแน่น ขนาดของเครื่องต้มซ้ำ ขนาดของ Reflux drum ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ให้ความร้อนล่วงหน้าแก่สารป้อน

3.2 การทดลองการดูดซับ

3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. บีก
2. คอลัมน์พลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 4 นิ้ว
3. เครื่องเขย่า JANKE & KUNKEL รุ่น HS 500
4. เครื่องชั่งละเอียด Mettler Toledo รุ่น AX 205 ที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม
5. ตู้อบ
6. ขวดสีชาขนาด 100 มิลลิลิตร
7. ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
8. ขวดเก็บสารละลายตัวอย่างขนาด 5 มิลลิลิตร
9. แกลลอนพลาสติกขนาด 20 ลิตร
10. ปีเปต
11. นาฬิกาจับเวลา
12. เครื่องสำรองไฟ Evolution รุ่น 850

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 สารเคมี

1. เมทานอล Analytical reagent grade 99.99 % โดยน้ำหนัก
2. สารดูดซับ Molecular sieve 3A-AG 1/8 Pellets, Molecular sieve 4A-AG 8x12 Beads ของ UOP LLC.
3. ก๊าซไนโตรเจน 99.5%

3.2.3 วิธีการทดลอง

1. การศึกษาชนิดของสารดูดซับที่เหมาะสม

- 1.1 เตรียมสารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำ 1,000 และ 2,000 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
- 1.2 นำสารละลายในข้อ 1.1 ที่มีความเข้มข้นของน้ำ 1,000 ppm และ 2,000 ppm เทใส่ขวดสีชาขนาด 100 มิลลิลิตรที่ผ่านการไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน อย่างละขวด
- 1.3 ชั่งโมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG 5 กรัม ใส่ในขวดสีชาในข้อ 1.2
- 1.4 นำขวดไปเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างที่เวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ
- 1.5 ทำตามข้อ 1.2 ถึง 1.4 อีกครั้งโดยเปลี่ยนชนิดสารดูดซับเป็น โมเลคิวลาร์ซีฟ 4A-AG

2. การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

- 2.1 เตรียมสารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำ 700, 800, 900, 1,000, 1,200, 1,400, 1,600 และ 1,800 ppm ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
- 2.2 นำสารละลายในข้อ 2.1 ที่มีความเข้มข้นของน้ำ 700 ppm เทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตรที่ผ่านการไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน
- 2.3 ชั่งโมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ในข้อ 2.2
- 2.4 นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างทุก 30 นาที จนครบ 150 นาที
- 2.5 ทำตามข้อ 2.2 ถึง 2.4 อีกครั้งโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายจนกระทั่งครบทุกความเข้มข้น

3. การศึกษาอัตราการไหลของเมทานอลที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับในเบดนิ่ง

- 3.1 เตรียมสารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำ 2,000 ppm บรรจุในแกลลอน
- 3.2 บรรจุสารดูดซับโมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG จำนวน 310 กรัมลงในคอลัมน์ที่ผ่านการไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.1

3.4 ปรับป้อนให้มีอัตราการไหลของเมทานอลเท่ากับ 3 มิลลิลิตรต่อนาที

3.5 เริ่มจับเวลาเมื่อสารละลายตัวอย่างไหลออกจากคอลัมน์และเก็บสารละลาย

ตัวอย่างนั้น

3.6 เก็บสารละลายตัวอย่างทุก 30 นาทีจนครบ 5 ชั่วโมง

3.7 ทดลองซ้ำอีกครั้งโดยเปลี่ยนอัตราการไหลเป็น 5 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที

4. การศึกษาเส้นโค้งเบรททรวงของการดูดซับน้ำจากเมทานอลในเบดนิ่ง

4.1 เตรียมสารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำ 3,000 ppm บรรจุใน

แกลลอน

4.2 บรรจุสารดูดซับจำนวน 310 กรัมลงในคอลัมน์

4.3 จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.1

4.4 ปรับป้อนให้มีอัตราการไหลของเมทานอลเท่ากับ 5 มิลลิลิตรต่อนาที

4.5 เริ่มจับเวลาเมื่อสารละลายตัวอย่างไหลออกจากคอลัมน์และเก็บสารละลาย

ตัวอย่างนั้น

4.6 เก็บสารละลายตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมงจนครบ 15 ชั่วโมง

3.3 การทดสอบความเข้มข้นของน้ำในสารละลายเมทานอล

3.3.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่อง Coulometer รุ่น 737 KF ของ Metrohm AG
2. เครื่องปั่นกวาน 703 Ti Stand ของ Metrohm AG
3. เครื่องชั่งละเอียด Sartorius รุ่น BP 210 D ที่มีความแม่นยำ ± 0.00001 กรัม
4. เข็มฉีดยาขนาด 100 ไมโครลิตร ของ SGE, Inc.

3.3.2 สารเคมี

1. HYDRANAL

3.3.3 วิธีการทดลอง

1. กดปุ่ม power on เครื่อง 737 KF Coulometer เปิดเครื่อง 703 Ti Stand ปรับค่าที่ประมาณ 3-4

2. หน้าจอแสดงคำว่า START COND กดปุ่ม START

3. หน้าจอแสดงคำว่า Wait 2000 รอจนกว่าตัวเลขจะต่ำกว่า 2000

4. หลังจากข้อ 3. หน้าจอแสดงคำว่า DRIFT xxxx (x คือตัวเลข) ซึ่งค่าจะลดลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. รอจนกว่าค่า DRIFT xxxx จะต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ (ประมาณ 20) เครื่องจะส่งสัญญาณเตือน
6. กดปุ่ม START 2 ครั้ง หลังจากหน้าจอแสดงคำว่า SMPL xxx MG ให้ป้อนน้ำหนักสารด้วยค่า 100
7. กดปุ่ม ENTER หน้าจอจะแสดงคำว่า CONFIRM START
8. ใช้เข็มฉีดยาสารละลายตัวอย่างแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักก่อนฉีดยาสาร
9. ฉีดยาสารละลายตัวอย่างแล้วกดปุ่ม START รอจนกว่าเครื่องจะแสดงผลความเข้มข้นต่อน้ำหนักสาร 100 มิลลิกรัม บันทึกค่าความเข้มข้น
10. นำเข็มฉีดยาสารเสร็จแล้วไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักหลังฉีดยาสาร
11. นำน้ำหนักก่อนฉีดยาสารลบด้วยน้ำหนักหลังฉีดยาสาร จะได้น้ำหนักของสารที่ฉีดจริง บันทึกค่า
12. จากข้อ 9. กดปุ่ม SMPL DATA ป้อนค่าน้ำหนักของสารที่ฉีดจริง
13. กดปุ่ม ENTER ตามด้วยปุ่ม QUIT หน้าจอจะแสดงความเข้มข้นต่อน้ำหนักสารที่ฉีดจริง บันทึกค่า
14. กดปุ่ม STOP แล้วกดปุ่ม START
15. ถ้าต้องการฉีดยาสารละลายตัวอย่างตัวใหม่ให้ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 5.



รูปที่ 3.1 ชุดการทดลองการดูดซับแบบเบดนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

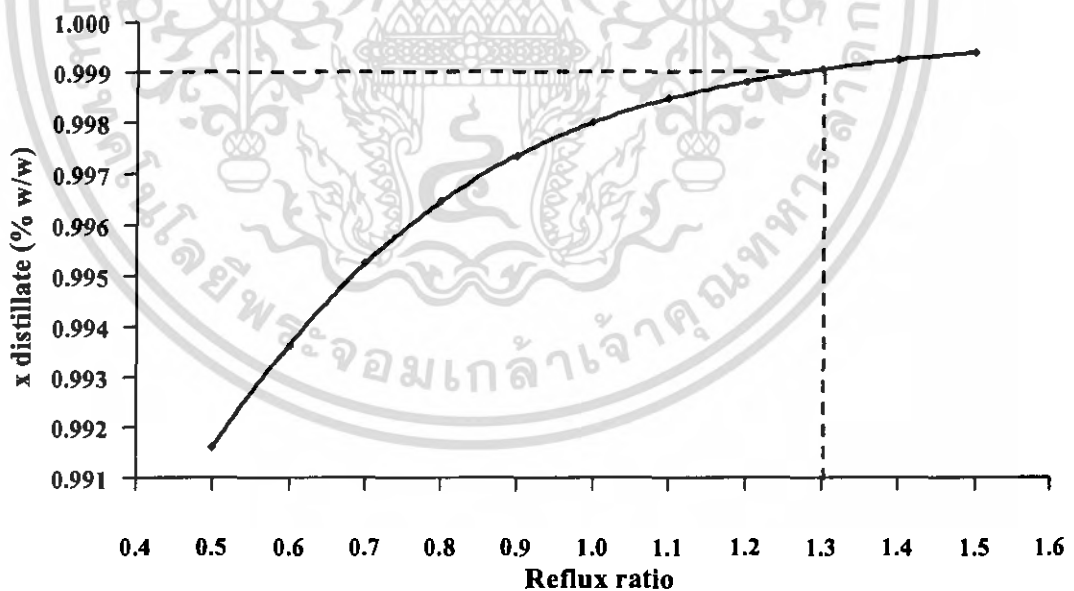
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การจำลองกระบวนการกลั่นและออกแบบอุปกรณ์

4.1.1 การจำลองกระบวนการกลั่น

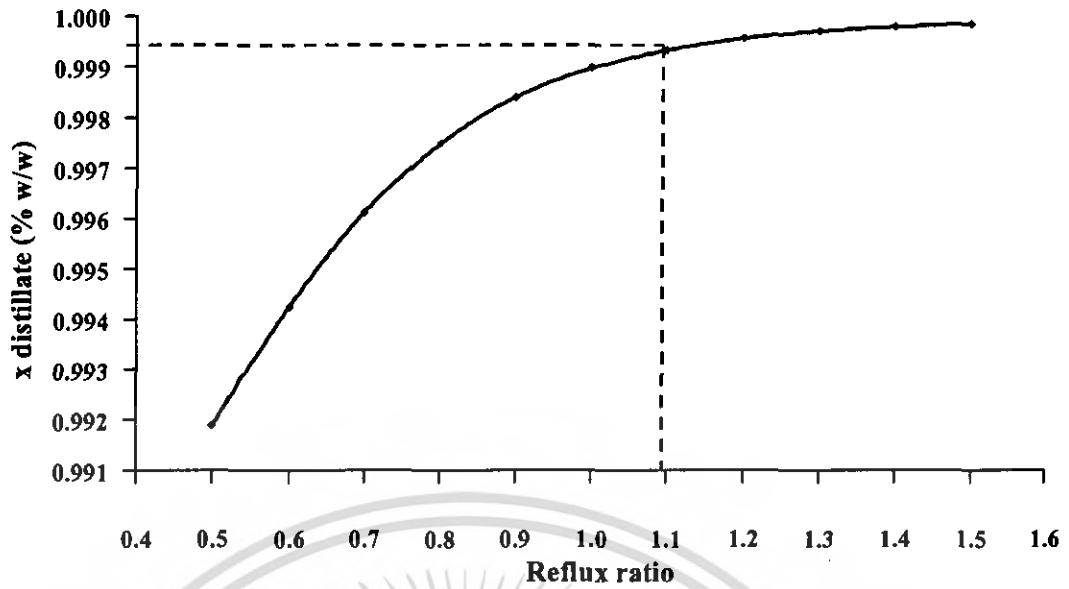
จำลองกระบวนการกลั่น ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค. ซึ่งมีข้อมูลพื้นฐานดังนี้

- องค์ประกอบของสารป้อน : เมทานอล	95	% โดยน้ำหนัก
: น้ำ	5	% โดยน้ำหนัก
- อัตราการไหลของสารป้อน	40	ลิตรต่อชั่วโมง
- อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ส่วนบน	30	ลิตรต่อชั่วโมง
- ความดันที่ใช้ในการกลั่น	1.013	บาร์
- เส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น	0.1524	เมตร
- HETP	0.2	เมตร
- พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area)	1,280	m ² /m ³
- องค์ประกอบเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ส่วนบน : เมทานอล	99.9	% โดยน้ำหนัก

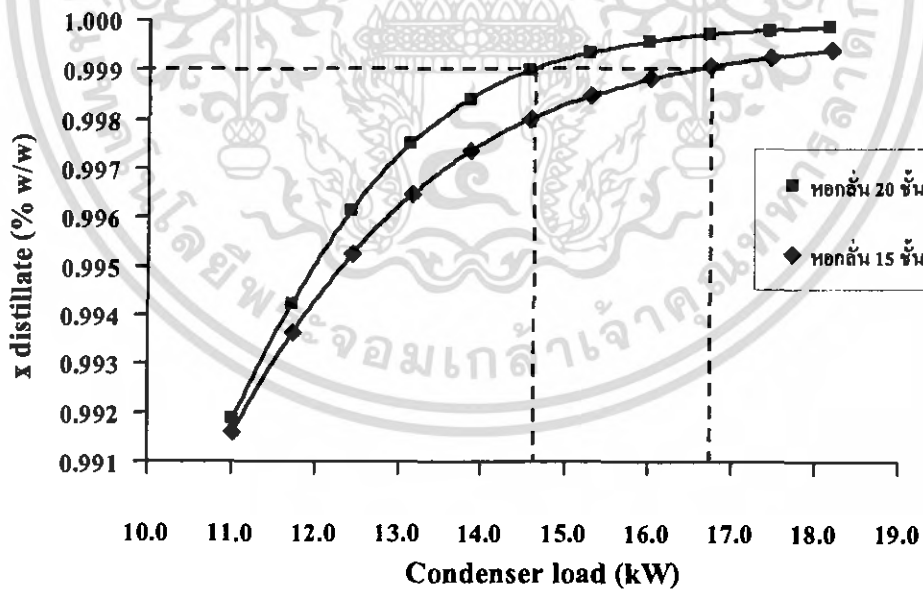


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบนกับ Reflux ratio ของหอกลั่นเมทานอล 15 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

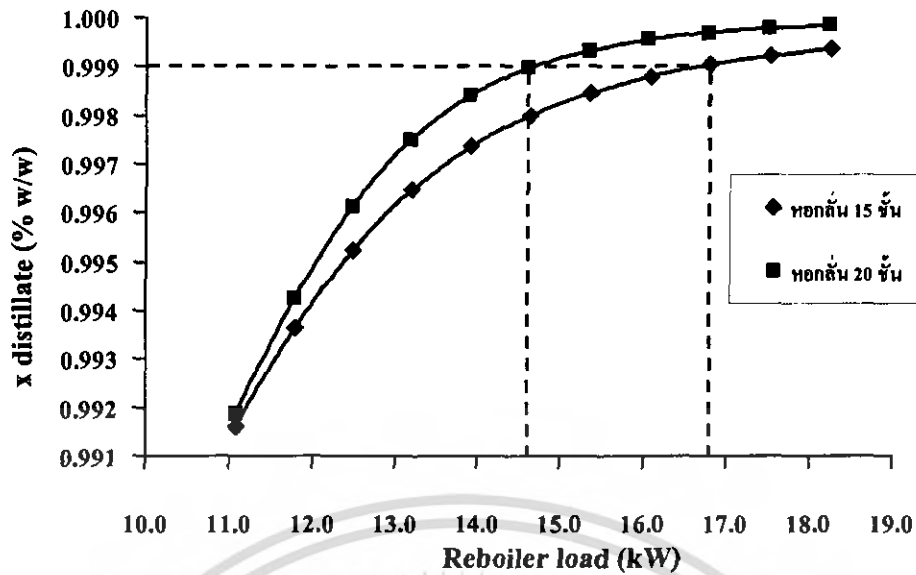


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบนกับ Reflux ratio ของหอกลั่นเมทานอล 20 ชั้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบนกับ Condenser load ของหอกลั่นเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทานอลในผลิตภัณฑ์ส่วนบนกับ Reboiler load ของหอกลิ้นเมทานอล

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณจากโปรแกรม HYSYS

	หอกลิ้น 15 ชั้น	หอกลิ้น 20 ชั้น
องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนบน (% wt)	99.91	99.93
Reflux ratio ที่เหมาะสม	1.3	1.1
Condenser load (kW)	16.74	15.28
Reboiler load (kW)	16.79	15.34

จากตารางที่ 4.1 พบว่าหอกลิ้นเมทานอลขนาดความสูง 20 ชั้น มีความเหมาะสมทางด้านการใช้งานมากกว่าหอกลิ้นเมทานอลขนาดความสูง 15 ชั้น เพราะมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลของหอกลิ้นเมทานอลขนาดความสูง 20 ชั้นในการออกแบบอุปกรณ์

4.1.2 การออกแบบอุปกรณ์

1. เครื่องควบแน่น

Condenser load	15.28	กิโวลต์
พื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน	1.662	ตารางเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ	0.5	นิ้ว
ท่อเรียงตัวแบบ Square pitch โดยมีระยะ Pitch	0.75	นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Number of tube passes	52	
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Shell	16.5	เซนติเมตร
ความยาวของ Shell	80	เซนติเมตร

2. เครื่องต้มซ้ำ (Kettle reboiler)

Reboiler load	15.34	กิโวลต์
ขนาดมาตรฐานของท่อ	1/4	นิ้ว
ท่อเรียงตัวแบบ Square pitch โดยมีระยะ Pitch	2.058	เซนติเมตร
Number of U-tube passes	56	
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Bundle	26	เซนติเมตร
ระดับของเหลวใน Kettle	34	เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Shell	52	เซนติเมตร

3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ให้ความร้อนล่วงหน้าแก่สารป้อน

Heat exchanger load	1.126	กิโวลต์
พื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน	0.057	ตารางเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อ	0.375	นิ้ว
ท่อเรียงตัวแบบ Square pitch โดยมีระยะ Pitch	0.5	นิ้ว
Number of tube passes	4	
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Shell	3.75	เซนติเมตร
ความยาวของ Shell	47.6	เซนติเมตร

4. Vertical reflux drum

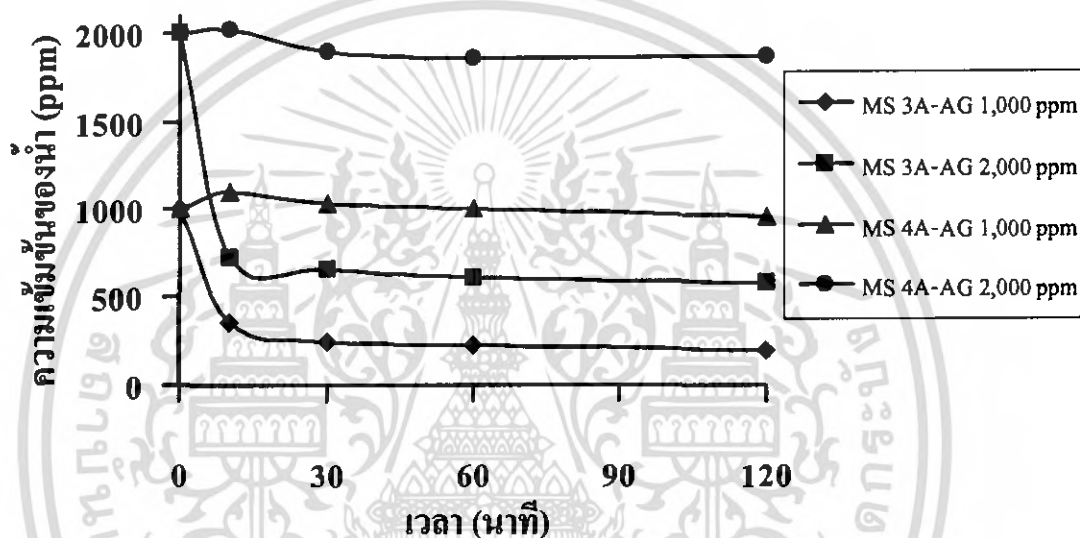
Liquid residence time	6	นาที
ปริมาตร	0.0135	ลูกบาศก์เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลาง	16	เซนติเมตร
ความสูง	65	เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองการดูดซับ

4.2.1 การศึกษาชนิดของสารดูดซับที่เหมาะสม

จากการทดลองโดยใช้สารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำ 1,000 และ 2,000 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใช้สารดูดซับชนิดโมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG และ 4A-AG จำนวน 5 กรัม ทำการเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากัน ณ อุณหภูมิห้อง พบว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้ดีเมื่อใช้สารดูดซับชนิดโมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG และที่ความเข้มข้นสูง เมื่อนำข้อมูลจากภาคผนวก ง.1 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำที่เหลืออยู่กับเวลา ได้ผลดังรูปที่ 4.5 และสามารถสรุปได้ว่าสารดูดซับที่มีความเหมาะสมสำหรับการดูดซับน้ำออกจากเมทานอลคือโมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG

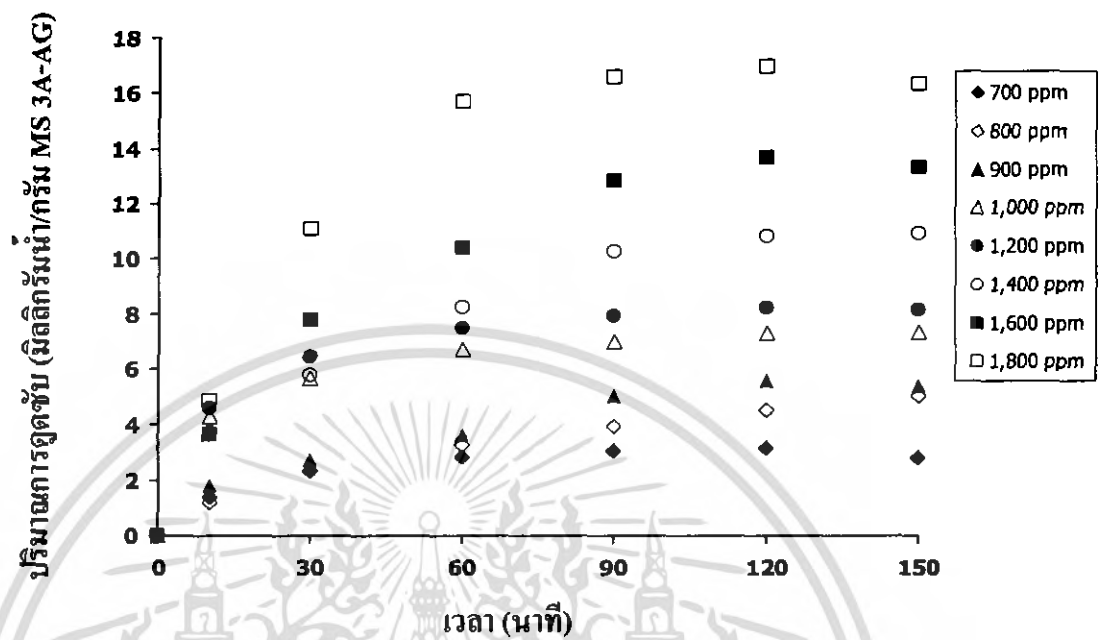


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงปริมาณความเข้มข้นของน้ำที่เหลืออยู่ ณ เวลาต่างๆ เมื่อใช้โมเลคิวลาร์ซีฟ MS 3A-AG และ MS 4A-AG ในการดูดซับสารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำเริ่มต้น 1,000 และ 2,000 ppm

4.2.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

จากการทดลองโดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของน้ำ 700, 800, 900, 1,000, 1,200, 1,400, 1,600 และ 1,800 ppm ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ใช้สารดูดซับชนิดโมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG จำนวน 10 กรัม ทำการเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากัน ณ อุณหภูมิห้องพบว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้ดีที่ความเข้มข้นสูง เมื่อนำข้อมูลจากภาคผนวก ง.2 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับในรูปของน้ำหนักของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับกับเวลา ได้ผลดังรูปที่ 4.6 พบว่าเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับและสารดูดซับเริ่มอิ่มตัว คือ 120 นาที และปริมาณการดูดซับในรูปของน้ำหนักของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับที่ความเข้มข้น 700 ถึง 1,800

มิลลิกรัมต่อลิตรที่สมมูลได้ผลดังตารางที่ 4.2 เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 มาสร้างกราฟ ไอโซเทอมการดูดซับจะได้ดังรูปที่ 4.7

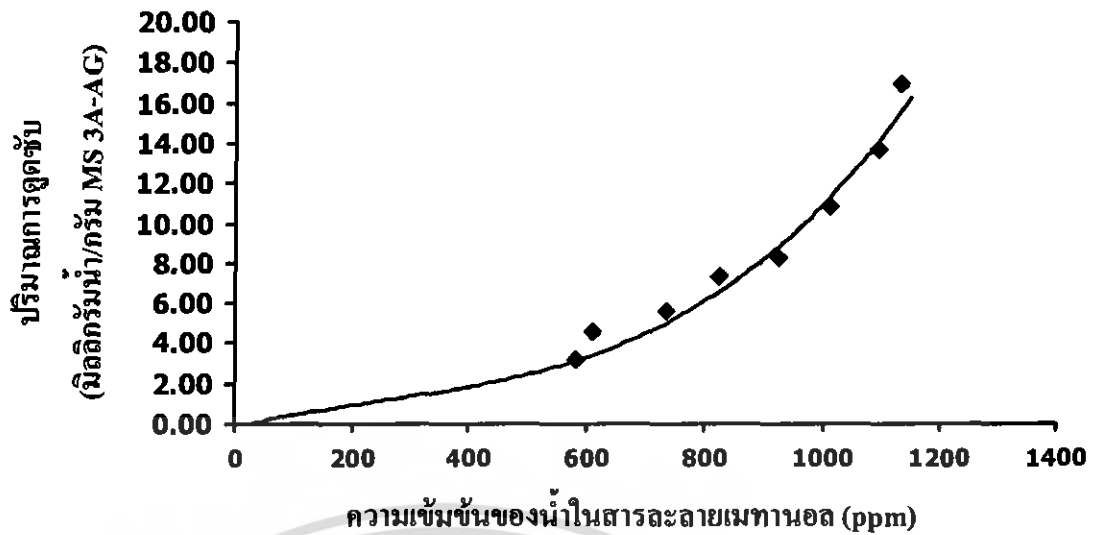


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณการดูดซับในรูปของน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของโมเลคูลาร์ซีฟ 3A-AG ณ เวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการหาไอโซเทอมของการดูดซับน้ำจากเมทานอลโดยใช้ โมเลคูลาร์ซีฟ 3A-AG ที่อุณหภูมิห้อง

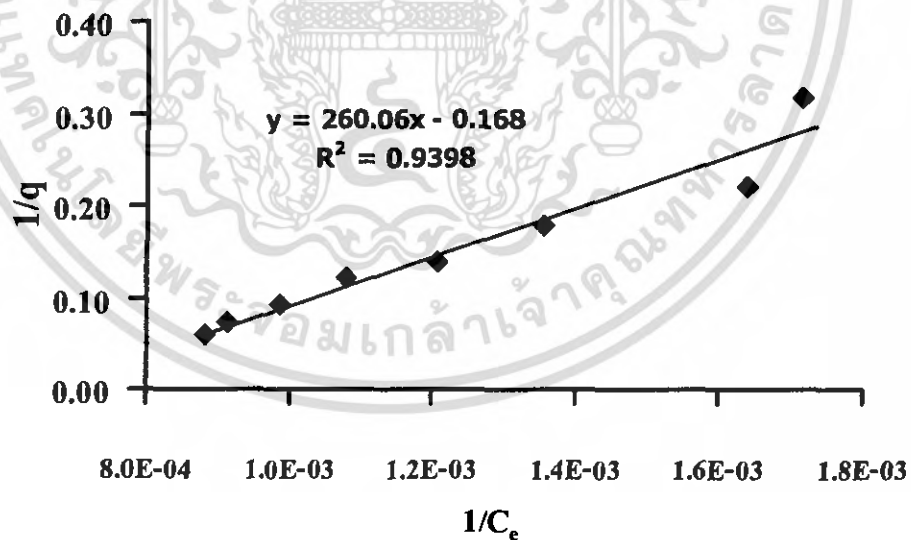
ตัวแปร	ความเข้มข้นของน้ำเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร : ppm)							
	709	792	961	1,119	1,254	1,444	1,639	1,810
C_e (ppm)	583	610	737	828	926	1,013	1,093	1,133
q (mg/g)	3.16	4.54	5.59	7.28	8.21	10.78	13.64	16.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



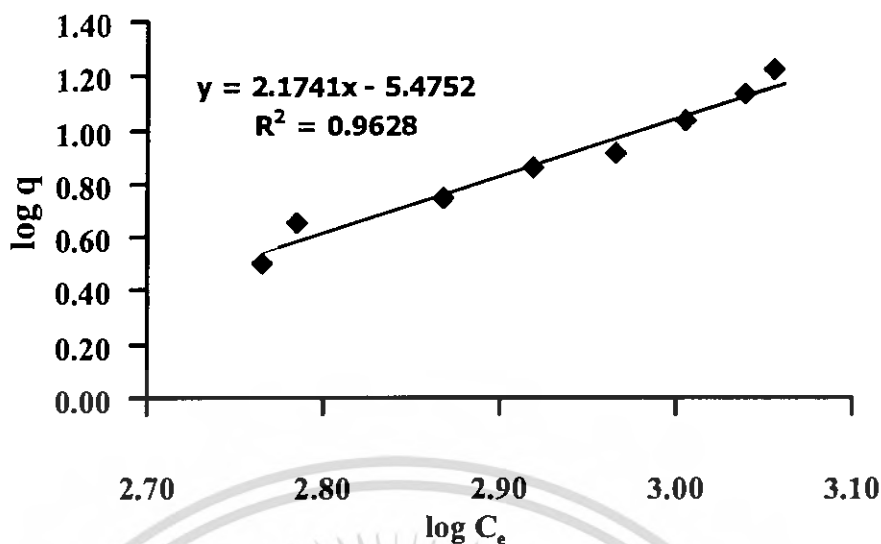
รูปที่ 4.7 ไอโซเทอมของการดูดซับน้ำออกจากเมทานอลที่อุณหภูมิห้อง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับ โดยใช้สมการของแลงเมียร์และสมการของฟรุนดลิชจากภาคผนวก ง. ตารางที่ ง.3-ง.4 นำมาสร้างกราฟดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ สามารถหาค่าความชันและจุดตัดแกน เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวเกือบสมบูรณ์ (q_0) และค่าคงที่ (b) ของสมการแลงเมียร์และค่าคงที่การดูดซับ (K) และค่าคงที่ (n) ของสมการฟรุนดลิชผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.8 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับน้ำจากเมทานอลด้วยสมการของแลงเมียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับน้ำจากเมทานอลด้วยสมการของฟรูนคลิช

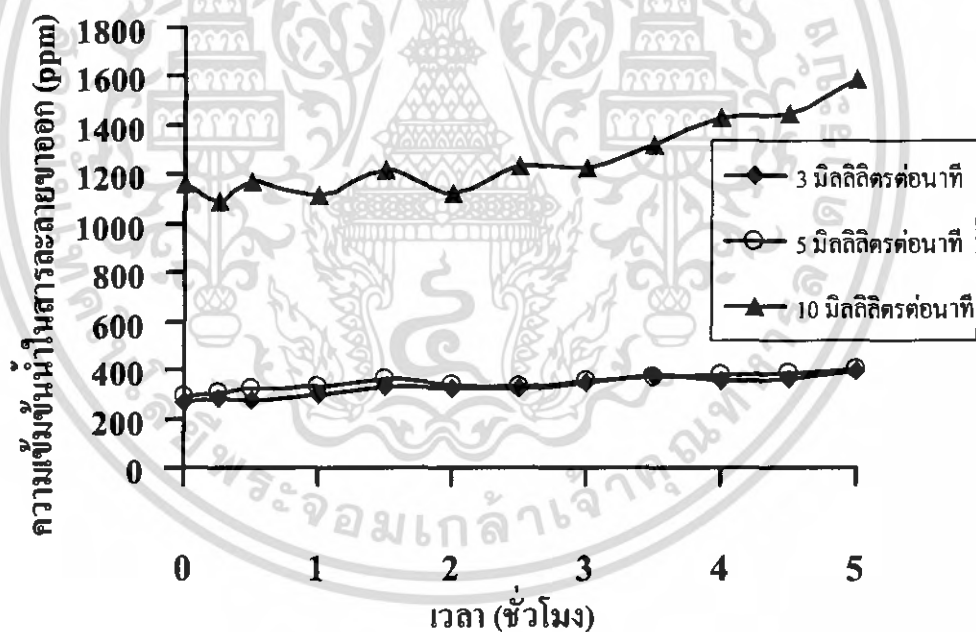
ตารางที่ 4.3 ตัวแปรในสมการของแลงเมียร์และสมการของฟรูนคลิชที่ได้จากการคำนวณความชันและจุดตัดแกนจากกราฟ

แลงเมียร์			ฟรูนคลิช		
q_0 (mg/g)	b	R^2	K	n	R^2
-5.95	-6.46×10^{-4}	0.939	3.35×10^{-6}	0.46	0.962

จากตารางที่ 4.3 พบว่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบน (R^2) จากสมการของแลงเมียร์เท่ากับ 0.939 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าสมการของฟรูนคลิชคือ 0.962 และค่า q_0 จากสมการของแลงเมียร์มีค่าเป็นลบซึ่งไม่สอดคล้องกับความหมายทางกายภาพ จึงทำให้อนุมานได้ว่าสมการของฟรูนคลิชเหมาะสมที่จะใช้อธิบายสมดุลการดูดซับมากกว่าสมการของแลงเมียร์

4.2.3 การศึกษาอัตราการไหลของเมทานอลที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับในเบดนิ่ง

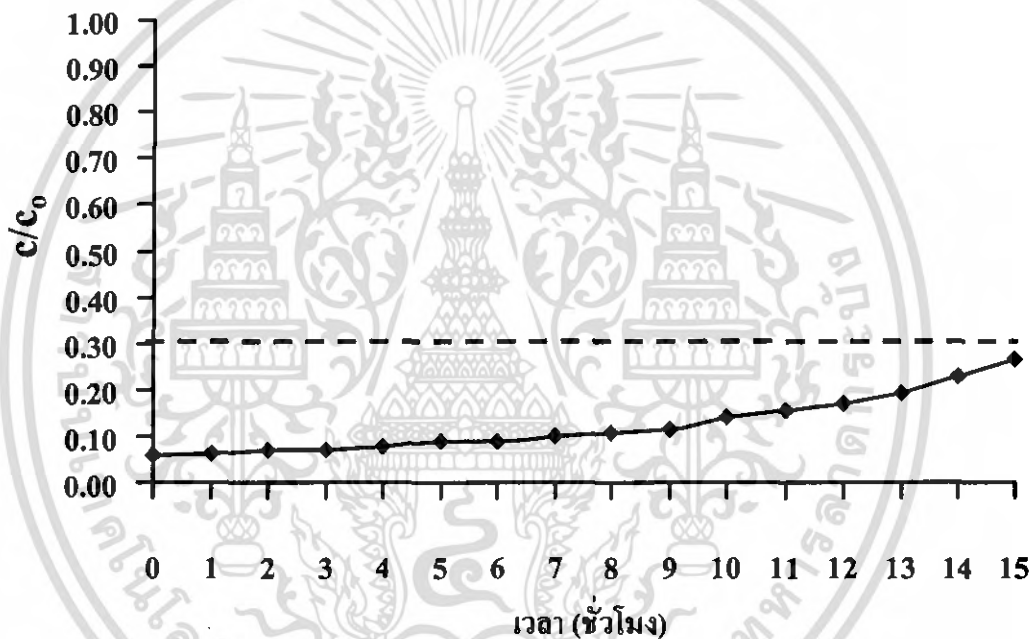
จากการทดลองโดยใช้สารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำ 2,000 ppm มีมีโหลผ่านเบดที่มีโมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG จำนวน 310 กรัม ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายขาออกทุกๆ 30 นาที ที่อัตราการไหลต่างๆ พบว่าเมื่ออัตราการไหลต่ำจะเกิดการดูดซับได้ดีกว่าที่อัตราการไหลสูง เมื่อนำข้อมูลของความเข้มข้นของน้ำของสารละลายขาออก ณ เวลาต่างๆ ในภาคผนวก ง. ตารางที่ ง.5 มาสร้างกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.10 จากรูปที่ 4.10 เมื่ออัตราการไหลของเมทานอลมีค่าสูง การดูดซับจะเกิดได้ไม่ดี อัตราการไหลสูงจะทำให้โมเลกุลของน้ำแพร่เข้าสู่ภายในรูพรุนของสารดูดซับไม่ทัน ส่วนที่อัตราการไหลต่ำ โมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับได้ดีกว่า จึงทำให้เกิดการดูดซับได้ดีกว่า ดังนั้นอัตราการไหลของเมทานอลที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับน้ำจากเมทานอลในเบดนิ่ง คือ 5 มิลลิลิตรต่อนาที จากรูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของน้ำของสารละลายขาออกเมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 3 และ 5 มิลลิลิตรต่อนาที มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออัตราการไหลสูงกว่าจะทำให้ได้ผลผลิตที่มากกว่า



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเข้มข้นของน้ำของสารละลายขาออก ณ เวลาต่างๆ

4.2.4 การศึกษาเส้นโค้งเบรททของ การดูดซับน้ำจากเมทานอลในเบตหนึ่ง

จากการทดลองโดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของน้ำ 3,000 ppm บีบไหลผ่านเบตที่มีโมเลกุลาร์ซีฟ 3A-AG จำนวน 310 กรัม ที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายขาออกทุก 1 ชั่วโมง จนครบ 15 ชั่วโมง เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากภาคผนวก ง.4 ตารางที่ ง.6 คือค่าความเข้มข้นของน้ำของสารละลายขาออกจากเบตต่อความเข้มข้นของน้ำของสารละลายเริ่มต้นมาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับเวลาจะได้ดังรูปที่ 4.11 เมื่อกำหนดจุดยุติที่ยอมรับได้คือที่จุด $C/C_0 = 0.30$ ซึ่งเป็นจุดที่มีความเข้มข้นของน้ำขาออกประมาณ 1,000 ppm พบว่าเมื่อทำการดูดซับผ่านไป 15 ชั่วโมง ค่า C/C_0 ยังมีค่าไม่ถึง 0.30 ดังนั้นแสดงว่าการดูดซับจึงยังดำเนินไปไม่ถึงจุดยุติ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำของสารละลายขาออกต่อความเข้มข้นของน้ำของสารละลายขาเข้า ณ เวลาต่างๆ

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การจำลองกระบวนการกลั่น

จากการจำลองกระบวนการกลั่นเปรียบเทียบระหว่างหอกลั่นความสูง 15 และ 20 ชั้นพบว่า มีค่าอัตราการป้อนกลับที่เหมาะสมคือ 1.3 และ 1.1 ตามลำดับ ค่า Condenser load คือ 16.74 และ 15.28 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ค่า Reboiler load คือ 16.79 และ 15.34 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ดังนั้นหอกลั่นความสูง 20 ชั้น มีความเหมาะสมทางด้านการใช้งานมากกว่าหอกลั่นความสูง 15 ชั้น เพราะมีการใช้พลังงานในการกลั่นที่น้อยกว่า

ตามวัตถุประสงค์ซึ่งต้องการแยกน้ำจากเมทานอลโดยให้เมทานอลมีความเข้มข้น 99.9% โดยน้ำหนักนั้น การกลั่นมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติหลายประการ เช่น ต้องใช้หอกลั่นแบบวัสดุบรรจุที่มีความสูง 4 เมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1524 เมตร ใช้พลังงานในการกลั่นสูงมาก กล่าวคือ Condenser load และ Reboiler load มีค่าเท่ากับ 15.28 และ 15.34 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่คุ้มกับปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้คือ 30 ลิตรต่อชั่วโมง เครื่องต้มจ้ำมีขนาดใหญ่เกินไปต้องค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ดังนั้นการกลั่นจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในการแยกน้ำจากเมทานอล

5.2 การดูดซับ

จากการศึกษากระบวนการดูดซับพบว่าสารดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการแยกน้ำจากเมทานอลคือสารดูดซับชนิดโมเลกุลาร์ซีฟ 3A-AG ซึ่งสามารถลดความเข้มข้นของน้ำเริ่มต้นจาก 1,000 และ 2,000 ppm ตามลำดับจนมีความเข้มข้นน้ำ ณ เวลา 120 นาที เท่ากับ 198 และ 578 ppm ตามลำดับ

เมื่อทำการทดลองหาไอโซเทอมการดูดซับของสารละลายที่มีความเข้มข้นของน้ำ 700, 800, 900, 1,000, 1,200, 1,400, 1,600 และ 1,800 ppm ที่ อุณหภูมิห้อง พบว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้ดีเมื่อความเข้มข้นของน้ำสูง และมีลักษณะเส้นไอโซเทอมการดูดซับเป็นแบบ Unfavorable isotherm หลังจากนำข้อมูลการดูดซับที่เวลาสมดุลมาวิเคราะห์โดยใช้สมการของแลงเมียร์จะได้อ่าน้ำหนักของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวเกือบสมบูรณ์ (q_0) เท่ากับ -5.95 มิลลิกรัม/กรัม 3A-AG และค่าคงที่ b เท่ากับ -6.46×10^{-4} ดังนั้นสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์คือ $q = \frac{(-5.95)(-6.46 \times 10^{-4})C_c}{[1 + (-0.000646)C_c]}$ มิลลิกรัม/กรัม 3A-AG หลังจากนำข้อมูลการดูดซับที่เวลาสมดุลมาวิเคราะห์โดยใช้สมการของฟรุนดลิชจะได้อ่าน้ำหนักการดูดซับ K เท่ากับ 3.35×10^{-6} และค่าคงที่ n เท่ากับ 0.46 ดังนั้นสมการไอโซเทอมของฟรุนดลิชคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$q = (3.35 \times 10^{-6}) C_e^{1/0.46}$ มิลลิกรัม/กรัม 3A-AG จากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์จะเห็นว่าค่า q_0 มีค่าเป็นลบซึ่งไม่สอดคล้องกับความหมายทางกายภาพ และสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนไปจากเส้นตรงของสมการ ฟรุนดลิช เบี่ยงเบนไปน้อยกว่าสมการของ แลงเมียร์ ดังนั้นสมการไอโซเทอมของฟรุนดลิชจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้อธิบายสมดุลการดูดซับน้ำจากเมทานอลมากกว่าสมการของแลงเมียร์

เมื่อศึกษาอัตราการไหลของเมทานอลที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับในเบคคิงโดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของน้ำ 2,000 ppm บีบไหลผ่านเบคคิงที่มีโมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG พบว่าเมื่ออัตราการไหลต่ำจะเกิดการดูดซับ ได้ดีกว่าที่อัตราการไหลสูง ดังนั้นอัตราการไหลของเมทานอลที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับน้ำจากเมทานอลในเบคคิง คือ 5 มิลลิลิตรต่ออนาที

เส้นโค้งเบรคทรูของการดูดซับน้ำจากเมทานอลในเบคคิงโดยบีบสารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำ 3,000 ppm ผ่านเบคคิงที่มี โมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG ที่อัตราการไหลของเมทานอล 5 มิลลิลิตรต่ออนาที และกำหนดจุด ยุคที่ยอมรับได้คือที่จุด $C/C_0 = 0.30$ พบว่าเมื่อทำการดูดซับผ่านไป 15 ชั่วโมง ค่า C/C_0 ยังมีค่าไม่ถึง 0.30 ดังนั้นการดูดซับจึงยังดำเนินไปไม่ถึงจุดยุค

เอกสารอ้างอิง

- [1] Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D. and Knothe, G. **Biodiesel Production Technology**. Subcontractor Report August 2002-January 2004, Colorado: National Renewable Energy Laboratory. 2004.
- [2] Martin Mittelbach, Claudia Remschmidt. **Biodiesel**. 1st ED. Vienna: Boersedruck, 2004.
- [3] Seader, J.D. and Henley, E.J. **Separation Process Principles**. 2nd ED. New York: John Wiley&Sons, Inc. 2006.
- [4] McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 6th ED. Singapore: McGraw-Hill. 2001.
- [5] Christie J. Geankoplis. **Transport Processes and Separation Process Principles**. 4th ED. Singapore: Prentice Hall. 2003.
- [6] Perry, R.H., Green, D.W. and Maloney, J.O. **Perry's Chemical Engineer's Handbook**. 7th ED. New York: McGraw-Hill. 1997.
- [7] Yunus A. Cengel. **Heat Transfer**. 2nd ED. Singapore: McGraw-Hill. 2003.
- [8] R K. Sinnott. **Coulson & Richardson's Chemical Engineering Series Volume 6: Chemical Engineering Design**. 4th ED. London: Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005.
- [9] พรพิมล รอดเจริญ, วลาพร วงศ์สาคร “**สมมูลของการดูดซับวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มด้วยซิลิกาเจล**” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549
- [10] นพรัตน์ พุทธสุวรรณ, สุขสถิตย์ บำรุงษา “**การดูดซับสารละลายสีข้อมดองโกเรดด้วยถ่านกัมมันต์ในเบตนึ่ง**” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549
- [11] ปราโมทย์ ไชยเวช. **ปิโตรเลียมเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.
- [12] Product guideline “**3A AG MOLSIV™ Adsorbent**”. UOP LLC.
- [13] Shah, D. Kissick, K. Ghorpade, A. Hannah R. and Bhattacharyya, D. “**Pervaporation of alcohol-water and dimethylformamide-water mixtures using hydrophilic zeolite NaA membranes mechanisms and experimental results**” Journal of Membrane Science 179, 2000.



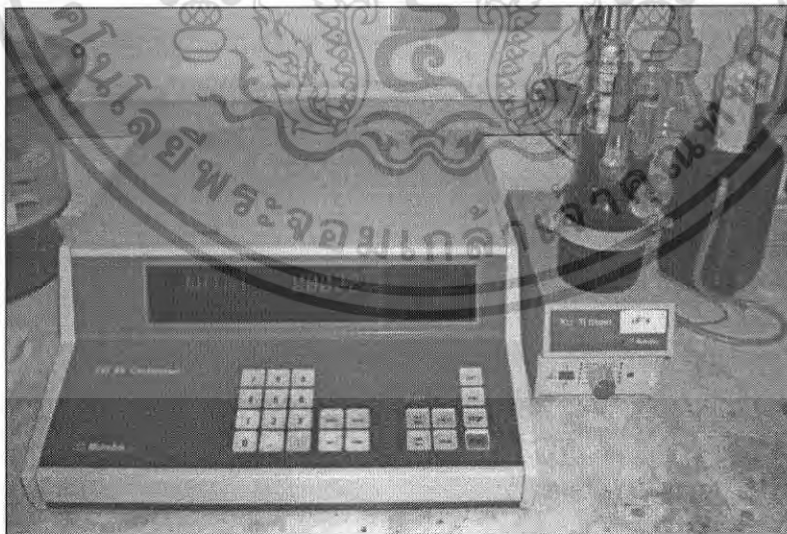
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

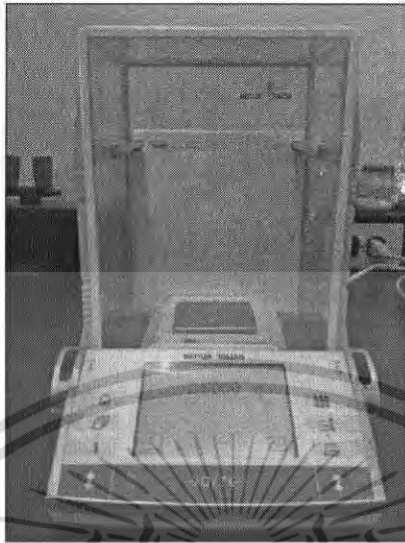


รูปที่ ก.1 เครื่องเย้า JANKE & KUNKEL รุ่น HS 500



รูปที่ ก.2 เครื่อง Coulometer รุ่น 737 KF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 เครื่องชั่ง Mettler Toledo รุ่น AX 205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลจำเพาะสารเคมี

ข.1 เมทานอล

CAS NO.	67-56-1
ชื่อเคมี IUPAC	เมทานอล (Methanol)
ชื่อเคมีทั่วไป	เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol)
สูตร โมเลกุล	CH ₃ OH
น้ำหนักโมเลกุล	32
ลักษณะ	ของเหลวใส ไม่มีสี
จุดเดือด	64.6 °C
จุดหลอมเหลว / จุดเยือกแข็ง	-97.8 °C
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1)	0.79
จุดวาบไฟ	12.2 °C
จุดติดไฟได้เอง	464 °C
ค่า LEL %	5.5 %
ค่า UEL %	36.5 %

ข.2 สารดูดซับ Molecular sieve 3A-AG 1/8 Pellets

CAS NO. Na ₂ O	1313-59-3
K ₂ O	12136-45-7
Al ₂ O ₃	1344-28-1
SiO ₂	7631-86-9
MgO	1309-48-4
Chemical formula	Na ₁₂ [(AlO ₂) ₁₂ (SiO ₂) ₁₂]·xH ₂ O
Pore diameter	3 °A
Bulk density	40 lb _m /ft ³
Particle diameter	3.2 mm
Heat of adsorption	1,800 Btu/lbH ₂ O
Equilibrium H ₂ O capacity	20 wt %
Water content (as shipped)	< 1.5 wt %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pore volume	0.197	cm ³ /g
Surface area	558	m ² /g

ข.3 สารดูดซับ Molecular sieve 4A-AG 8x12 Beads

CAS NO. Na ₂ O	1313-59-3	
Al ₂ O ₃	1344-28-1	
SiO ₂	7631-86-9	
MgO	1309-48-4	
Chemical formula	K ₁₂ [(AlO ₂) ₁₂ (SiO ₂) ₁₂]•xH ₂ O	
Pore diameter	4	°A
Bulk density	45	lb _m /ft ³
Particle diameter	0.0661 – 0.0937 in	
Heat of adsorption	1,800	Btu/lbH ₂ O
Equilibrium H ₂ O capacity	22	wt %
Water content (as shipped)	< 1.5	wt %
Pore volume	0.200	cm ³ /g
Surface area	567	m ² /g

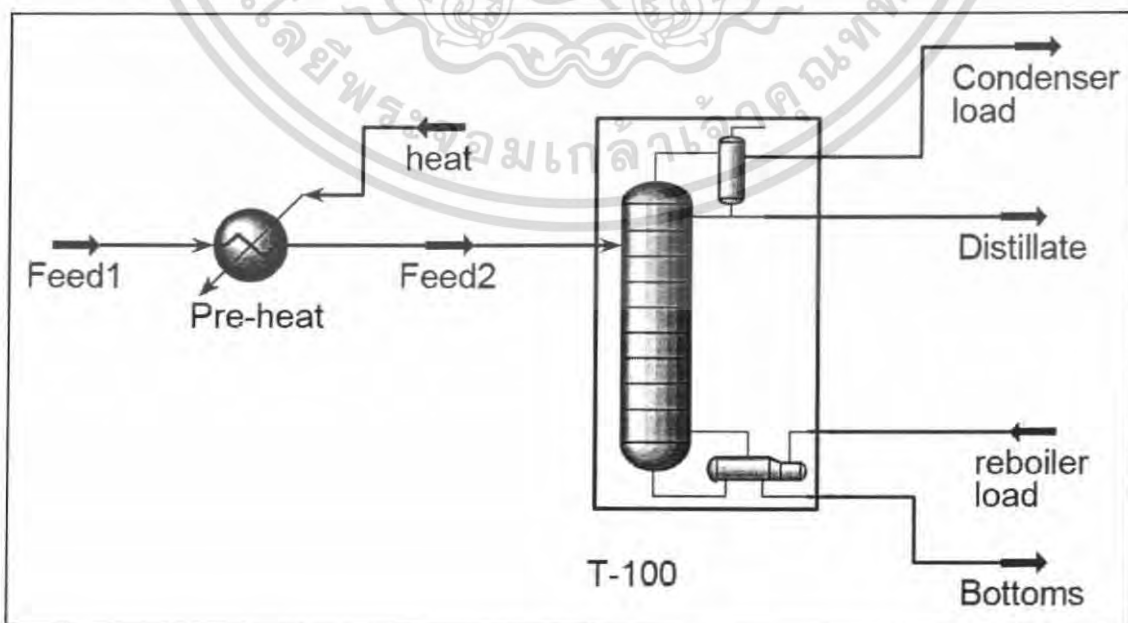
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การจำลองกระบวนการกลั่น

ทำการจำลองกระบวนการกลั่นแบบวัสดุบรรจุด้วยข้อมูลพื้นฐาน ดังนี้

- องค์ประกอบของสารป้อน : เมทานอล 95 % โดยน้ำหนัก
 - : น้ำ 5 % โดยน้ำหนัก
 - อัตราการไหลของสารป้อน 40 ลิตรต่อชั่วโมง
 - อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ส่วนบน 30 ลิตรต่อชั่วโมง
 - ความดันที่ใช้ในการกลั่น 1.013 บาร์
 - เส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น 0.1524 เมตร
 - ความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี (HETP) 0.2 เมตร
 - พื้นที่ผิวจำเพาะ 1,280 m^2/m^3
 - องค์ประกอบเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ส่วนบน : เมทานอล 99.9 % โดยน้ำหนัก
- ได้ผลการจำลองกระบวนการกลั่นดังแสดงในรูปที่ ค.1- ค.10 กล่าวคือ
- องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนบน (Distillate) มีเมทานอล 99.93 % โดยน้ำหนัก
 - องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนล่าง (Bottom) มีเมทานอล 80.78 % โดยน้ำหนัก
 - Condenser load 15.28 กิโลวัตต์
 - Reboiler load 15.34 กิโลวัตต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ค.1 หอกลั่นและระบบให้ความร้อนล่วงหน้าแก่สารป้อน
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Feed1

Worksheet	Stream Name	Feed1
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.0000
Properties	Temperature [C]	30.00
Composition	Pressure [bar]	1.013
K Value	Molar Flow [kgmole/h]	1.043
User Variables	Mass Flow [kg/h]	32.15
Notes	Std Ideal Liq Vol Flow [L/h]	40.00
Cost Parameters	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	2.420e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	16.49
	Heat Flow [kW]	-70.31
	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	3.995e-002
	Fluid Package	Basis-1

Buttons: Delete, Define from Other Stream...

รูปที่ ค.2 ค่าอุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารป้อน

Feed1

Worksheet	Component	Mass Fractions
Conditions	H2O	0.050000
Properties	Methanol	0.950000
Composition		
K Value		
User Variables		
Notes		
Cost Parameters		
	Total	1.00000

Buttons: Edit..., Edit Properties..., Basis...

รูปที่ ค.3 ค่าองค์ประกอบของสารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

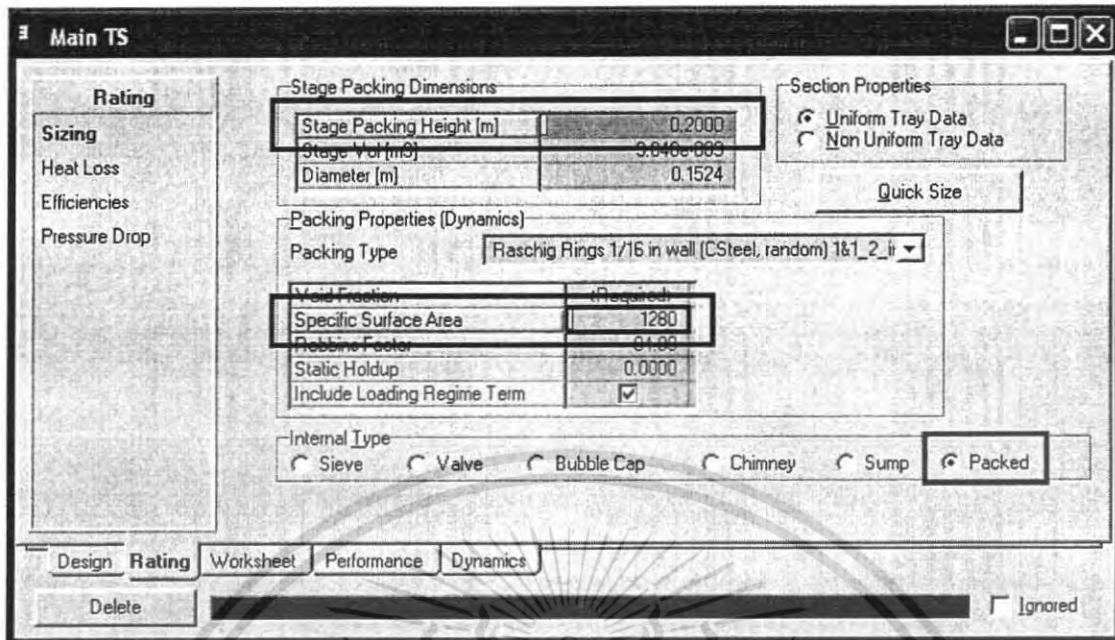
Worksheet	Stream Name	Feed2
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.0000
Properties	Temperature [C]	64.00
Composition	Pressure [bar]	1.000
K Value	Molar Flow [kgmole/h]	1.043
User Variables	Mass Flow [kg/h]	32.15
Notes	Std Ideal Liq Vol Flow [L/h]	40.00
Cost Parameters	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.389e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	41.04
	Heat Flow [kW]	-69.18
	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	3.995e-002
	Fluid Package	Basis-1

รูปที่ ค.4 อุณหภูมิและความดันของกระแส Feed 2 ก่อนป้อนเข้าหอกลั่น

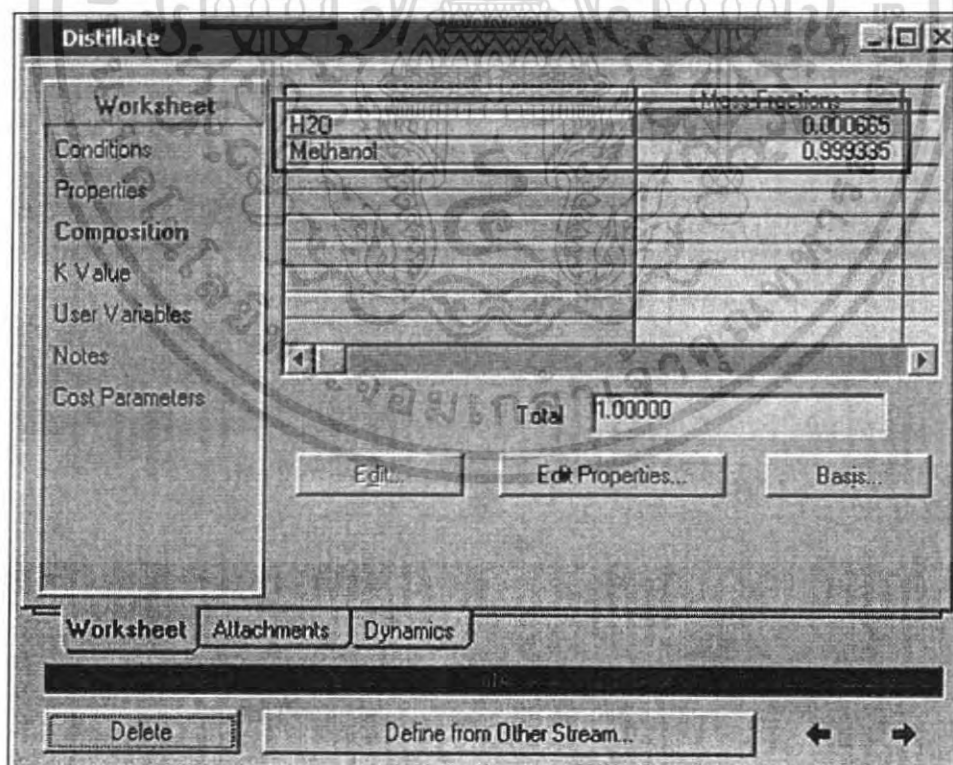
Properties	Stream Name	heat
	Heat Flow [kW]	1.126
	Ref. Temperature [C]	empty?

รูปที่ ค.5 Pre-heat feed heat exchanger load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

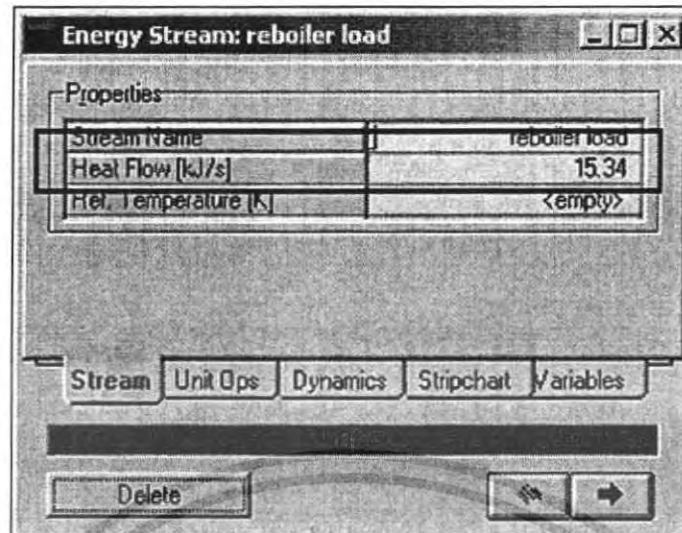


รูปที่ ค.6 การเลือกหอกถันแบบวัสดุบรรจุและกำหนดค่า HETP และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ



รูปที่ ค.7 องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.10 Reboiler load



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลผลการทดลอง

ง.1 การศึกษาชนิดของสารดูดซับที่เหมาะสม

ตารางที่ ง.1 ความเข้มข้นของน้ำหลังการดูดซับเพื่อใช้ในการเลือกชนิดของสารดูดซับที่เหมาะสม

เวลา (นาที)	โมเลคูลาร์ซีฟ 3A-AG		โมเลคูลาร์ซีฟ 4A-AG	
	ความเข้มข้นของน้ำเริ่มต้น		ความเข้มข้นของน้ำเริ่มต้น	
	1,000 ppm	2,000 ppm	1,000 ppm	2,000 ppm
0	1,000	2,000	1,000	2,000
10	350	720	1,102	2,020
30	244	648	1,028	1,900
60	227	602	998	1,854
120	198	578	956	1,868

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

ตารางที่ ง.2 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการหาไอโซเทอมของการดูดซับน้ำจากเมทานอลโดยใช้โมเลคิวลาร์ซีฟ 3A-AG ที่อุณหภูมิห้อง

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของน้ำเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร : ppm)							
	709		792		961		1,119	
	C_e (ppm)	q (mg/g)	C_e (ppm)	q (mg/g)	C_e (ppm)	q (mg/g)	C_e (ppm)	q (mg/g)
0	709	0	792	0	961	0	1,119	0
10	653	1.40	743	1.22	889	1.80	946	4.32
30	616	2.32	697	2.37	851	2.74	892	5.68
60	595	2.85	661	3.28	817	3.60	852	6.68
90	587	3.06	635	3.93	759	5.05	839	7.01
120	583	3.16	610	4.54	737	5.59	828	7.28
150	596	2.83	590	5.05	745	5.39	826	7.32
เวลา (นาที)	1,254		1,444		1,639		1,810	
	C_e (ppm)	q (mg/g)	C_e (ppm)	q (mg/g)	C_e (ppm)	q (mg/g)	C_e (ppm)	q (mg/g)
	0	1,254	0	1,444	0	1,639	0	1,810
10	1069	4.62	1296	3.70	1494	3.63	1616	4.86
30	997	6.43	1213	5.78	1328	7.77	1367	11.08
60	955	7.48	1114	8.26	1224	10.38	1183	15.68
90	937	7.92	1035	10.23	1127	12.80	1148	16.56
120	926	8.21	1013	10.78	1093	13.64	1133	16.92
150	928	8.15	1008	10.89	1107	13.30	1158	16.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.3 ข้อมูลการดูดซับน้ำจากเมทานอลสำหรับสมการของแลงเมียร์

$1/C_e$	$1/q$
1.72E-03	0.32
1.64E-03	0.22
1.36E-03	0.18
1.21E-03	0.14
1.08E-03	0.12
9.87E-04	0.09
9.15E-04	0.07
8.82E-04	0.06

ตารางที่ ๓.4 ข้อมูลการดูดซับน้ำจากเมทานอลสำหรับสมการของฟรุนดลิช

$\log C_e$	$\log q$
2.77	0.50
2.79	0.66
2.87	0.75
2.92	0.86
2.97	0.91
3.01	1.03
3.04	1.13
3.05	1.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3 การศึกษาอัตราการไหลของเมทานอลที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับน้ำจากเมทานอล ในเบคกิ้ง

ตารางที่ ง.5 ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายขาออกจากเบคต่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลาย
เริ่มต้น ณ เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของน้ำ (ppm)		
	3 มิลลิลิตรต่อนาที	5 มิลลิลิตรต่อนาที	10 มิลลิลิตรต่อนาที
0	271	291	1,166
15	283	310	1,095
30	276	322	1,169
60	301	330	1,118
90	331	359	1,219
120	324	335	1,126
150	319	329	1,232
180	342	350	1,226
210	376	367	1,322
240	350	374	1,429
270	361	389	1,444
300	394	402	1,589

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.4 การศึกษาเส้นโค้งเบรกทรูของการดูดซับน้ำจากเมทานอลในเบตนิง

ตารางที่ ง.6 ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายขาออกจากเบตต่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายเริ่มต้น ณ เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	C/C_0
0	0.0574
1	0.0614
2	0.0700
3	0.0704
4	0.0767
5	0.0875
6	0.0888
7	0.1014
8	0.1072
9	0.1159
10	0.1393
11	0.1560
12	0.1702
13	0.1929
14	0.2304
15	0.2643

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

วิธีการคำนวณ

จ.1 การคำนวณพื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องควบแน่น [6 - 7]

จากข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม HYSYS นำมาออกแบบเครื่องควบแน่นที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบนซึ่งไหลภายในท่อ จากเฟสไอเป็นเฟสของเหลว โดยมีน้ำซึ่งไหลใน Shell เป็นสารหล่อเย็น

ข้อมูลในการออกแบบ

Condenser load	15.28	kW
Heat loss factor (Heat loss 2.5 %)	0.975	
อุณหภูมิขาเข้าของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน	64.5	°C
อุณหภูมิขาออกของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน	64.5	°C
อุณหภูมิขาเข้าของน้ำหล่อเย็น	30.0	°C
อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็น	0.4	kg/s
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient) [6]	300	W/m ² · °C
ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 33 °C	4.226	kJ/kg · °C
ความหนาแน่นของน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 33 °C	1001	kg/m ³

คำนวณหาค่า Real condenser load ได้จาก

$$\text{Real condenser load } (Q) = \text{Heat loss factor} \times \text{Condenser load}$$

$$Q = 0.975 \times 15.28$$

$$Q = 14.898 \text{ kW}$$

คำนวณหาค่าอุณหภูมิขาออกของน้ำหล่อเย็นได้จาก

$$Q = m_{H_2O} C_{p,H_2O} (T_{out} - T_{in})$$

$$T_{out} = T_{in} + \left(\frac{Q}{m_{H_2O} C_{p,H_2O}} \right)$$

$$T_{out} = 30 + \left(\frac{14.898}{0.4 \times 4.226} \right)$$

$$T_{out} = 38.81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

คำนวณหาค่า log mean temperature difference (ΔT_{lm}) ได้จาก

$$\Delta T_1 = \text{อุณหภูมิขาเข้าของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน} - \text{อุณหภูมิขาออกของน้ำหล่อเย็น}$$

$$\Delta T_1 = 64.5 - 38.81 = 25.69 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = \text{อุณหภูมิขาออกของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน} - \text{อุณหภูมิขาเข้าของน้ำหล่อเย็น}$$

$$\Delta T_2 = 64.5 - 30.0 = 34.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{25.69 - 34.5}{\ln(25.69 / 34.5)}$$

$$\Delta T_{lm} = 29.88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

คำนวณหาค่า Correction factor (F) จากรูปที่ 13-18 [7]

$$\text{ค่า } P = 0$$

$$\text{ค่า } R = \infty ; \text{ Phase change in tube side}$$

ดังนั้น

$$\text{ค่า } F = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาพื้นที่ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน (A_s)

$$Q = UA_s F \Delta T_{lm}$$

$$A_s = \frac{Q}{UF \Delta T_{lm}}$$

$$A_s = \left(\frac{(14,898W)}{\left(300 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right) (1)(29.88^\circ C)} \right)$$

$$A_s = 1.662 m^2$$

คำนวณหาความยาวของท่อ โดยใช้ท่อขนาด 0.5 นิ้ว (ทำการลองผิดลองถูก) จะได้

$$A_s = \pi DL$$

$$L = \frac{A_s}{\pi D}$$

$$L = \left(\frac{(1.662m^2)}{\pi(0.5in) \left(\frac{1}{39.37} \frac{m}{in} \right)} \right)$$

$$L = 41.65 m$$

ดังนั้นต้องใช้ท่อขนาด 0.5 นิ้วยาว 41.65 เมตร

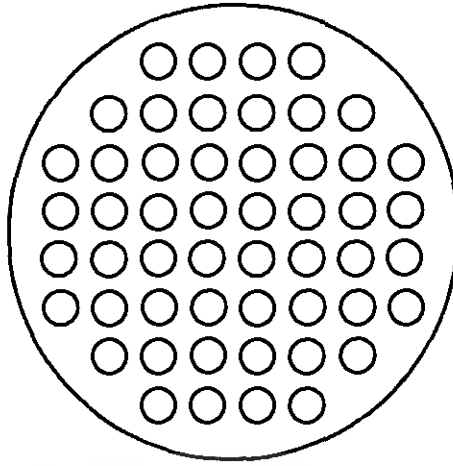
กำหนดให้

- Number of tube passes เท่ากับ 52
- ท่อวางตัวแบบ Square pitch
- ระยะ Pitch เท่ากับ 0.75 นิ้ว

จะได้เครื่องควบแน่นที่มีลักษณะดังนี้

- เส้นผ่านศูนย์กลางของ Shell 16.5 เซนติเมตร
- ความยาวของ Shell 80.0 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.1 ลักษณะการวางตัวของท่อในเครื่องควบแน่น

จ.2 การคำนวณพื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ให้ความร้อนล่วงหน้าแก่สารป้อน [6 - 7]

จากข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม HYSYS นำมาออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ให้ความร้อนล่วงหน้าแก่สารป้อน โดยมีสารป้อนคือเมทานอลไหลภายใน Shell และใช้น้ำมันร้อน (Hot oil) ซึ่งไหลในท่อเป็นสารให้ความร้อน

ข้อมูล ในการออกแบบ

Heat exchanger load	1.126	kW
Heat loss factor (Heat loss 5 %)	1.05	
อุณหภูมิขาเข้าของสารป้อน	30.0	°C
อุณหภูมิขาออกของสารป้อน	64.0	°C
อัตราการไหลเชิงมวลของสารป้อน	0.0089	kg/s
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม		
Overall heat transfer coefficient [6]	450	W/m ² ·°C
ความจุความร้อนจำเพาะของสารป้อนที่อุณหภูมิ 47 °C	3.684	kJ/kg·°C
ความหนาแน่นของน้ำมันร้อน (d_{hotail})	919.4	kg/m ³
ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันร้อน	3.7704	kJ/kg·°C
อุณหภูมิขาเข้าของน้ำมันร้อน	100.0	°C
ขนาดของท่อ (OD) ; BWG เบอร์ 26	0.375	in
พื้นที่หน้าตัดของท่อ (A_{tube})	0.036	in ²
ความเร็วของน้ำมันร้อนในท่อ (v_{hotail})	1.2	m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่า Real heat exchanger load ได้จาก

$$\text{Real heat exchanger load } (Q) = \text{Heat loss factor} \times \text{Heat exchanger load}$$

$$Q = 1.05 \times 1.126$$

$$Q = 1.182 \text{ kW}$$

คำนวณหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำมันร้อน (q_{hotoil}) ได้จาก

$$q_{\text{hotoil}} = A_{\text{tube}} \times v_{\text{hotoil}}$$

$$q_{\text{hotoil}} = \frac{\left((0.036 \text{ in}^2) \left(1.2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \left(1,000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right) \right)}{1,550 \frac{\text{in}^2}{\text{m}^2}}$$

$$q_{\text{hotoil}} = 0.0279 \text{ L/s}$$

คำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันร้อน (m_{hotoil}) ได้จาก

$$m_{\text{hotoil}} = q_{\text{hotoil}} \times d_{\text{hotoil}}$$

$$m_{\text{hotoil}} = \frac{\left(\left(0.0279 \frac{\text{L}}{\text{s}} \right) \left(919.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \right)}{1,000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}}$$

$$m_{\text{hotoil}} = 0.0256 \text{ kg/s}$$

คำนวณหาอุณหภูมิขาออกของน้ำมันร้อน ได้จาก

$$Q = m_{\text{hotoil}} C_{p,\text{hotoil}} (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$

$$T_{\text{out}} = T_{\text{in}} + \left(\frac{Q}{m_{\text{hotoil}} C_{p,\text{hotoil}}} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{out} = 100 - \left(\frac{1.182}{0.0256 \times 3.7704} \right)$$

$$T_{out} = 87.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

คำนวณหาค่า Log mean temperature difference (ΔT_{lm}) ได้จาก

ΔT_1 = อุณหภูมิขาเข้าของน้ำมันร้อน - อุณหภูมิขาออกของสารป้อน

$$\Delta T_1 = 100.0 - 64.0 = 36.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ΔT_2 = อุณหภูมิขาออกของน้ำมันร้อน - อุณหภูมิขาเข้าของสารป้อน

$$\Delta T_2 = 87.75 - 30.0 = 57.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{36.0 - 57.75}{\ln(36.0 / 57.75)}$$

$$\Delta T_{lm} = 46.02 \text{ } ^\circ\text{C}$$

คำนวณหาค่า Correction factor (F) จากรูปที่ 13-18 [7]

$$\text{ค่า } P = 0.1731$$

$$\text{ค่า } R = 2.8063$$

ดังนั้น

$$\text{ค่า } F = 1$$

คำนวณหาพื้นที่ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน (A_s)

$$Q = UA_s F \Delta T_{lm}$$

$$A_s = \frac{Q}{UF \Delta T_{lm}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_s = \left(\frac{(1.182 kW)}{\left(450 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) (1) (46.02^\circ C)} \right)$$

$$A_s = 0.057 m^2$$

คำนวณหาความยาวของท่อได้จาก

$$A_s = \pi DL$$

$$L = \frac{A_s}{\pi D}$$

$$L = \left(\frac{(0.057 m^2)}{\pi (0.375 in) \left(\frac{1 m}{39.37 in} \right)} \right)$$

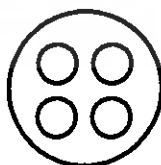
$$L = 1.904 m$$

ดังนั้นต้องใช้ท่อขนาด 0.375 นิ้ว (ทำการลองผิดลองถูก) ยาว 1.904 เมตร กำหนดให้

- Number of tube passes เท่ากับ 4
- ท่อวางตัวแบบ Square pitch
- ระยะ Pitch เท่ากับ 0.5 นิ้ว

จะได้เครื่องความแน่นที่มีลักษณะดังนี้

- เส้นผ่านศูนย์กลางของ Shell 3.75 เซนติเมตร
- ความยาวของ Shell 47.6 เซนติเมตร



รูปที่ จ.2 ลักษณะการวางตัวของท่อในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ที่ใช้ให้ความร้อนล่วงหน้าแก่สารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.3 การคำนวณพื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องต้มซ้ำ [6, 8]

จากข้อมูลที่ได้จาก โปรแกรม HYSYS นำมาออกแบบเครื่องต้มซ้ำโดยใช้น้ำมันซึ่งไหลในท่อเป็นสารให้ความร้อนและเป็นเครื่องต้มซ้ำแบบ Kettle reboiler

ข้อมูลในการออกแบบ

Reboiler load	15.34	kW
Heat loss factor (Heat loss 2.5 %)	1.025	
อุณหภูมิขาเข้าของสารให้ความร้อน	110	°C
อุณหภูมิขาออกของ Boil up	70	°C
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม		
Overall heat transfer coefficient [6]	110	W/m ² ·°C

คำนวณหาค่า Real reboiler load ได้จาก

$$\text{Real reboiler load } (Q) = \text{Heat loss factor} \times \text{Reboiler load}$$

$$Q = 1.025 \times 15.34$$

$$Q = 15.724 \text{ kW}$$

คำนวณหาค่าอุณหภูมิต่างเฉลี่ย

$$\Delta T_m = 110 - 70$$

$$= 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

เมื่อ $\Delta T_m =$ อุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ย

คำนวณหาพื้นที่ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน (A_s)

$$A_s = \frac{Q}{U\Delta T_m}$$

$$A_s = \left(\frac{(15,724W)}{\left(110 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right) (40^\circ C)} \right)$$

$$A_s = 3.574 \text{ m}^2$$

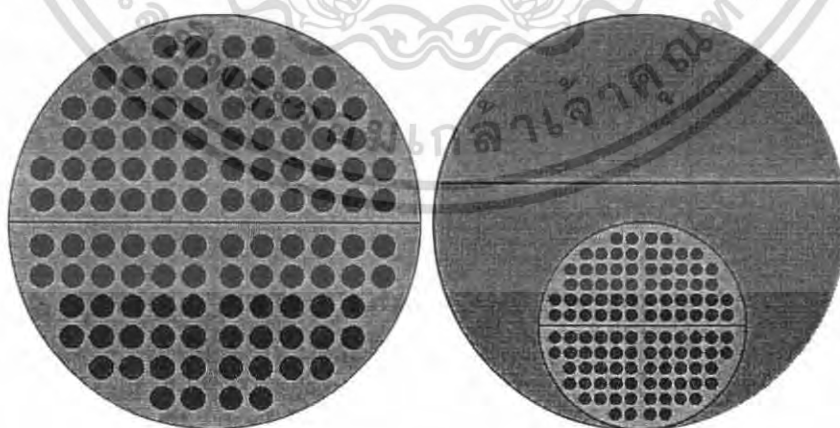
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาจำนวนของท่อ โดยใช้ท่อขนาด 1/4 นิ้ว (จากการลองผิดลองถูกเพื่อหาเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองสุ่มเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจาก 1/8 ถึง 2 นิ้ว) ความยาวมาตรฐาน 1.5 เมตร (1 U-tube) จากนั้นคำนวณจำนวน U-Tube ได้จาก

$$\begin{aligned} \text{Number of U-tube} &= \frac{3.574}{(13.72 \times 10^{-3}) \pi 1.5} \\ &= 55.27 \approx 56 \end{aligned}$$

จากขนาดมาตรฐานท่อ 1/4 นิ้ว จำนวน U-tube เท่ากับ 56 หาขนาดของเครื่องต้มซ้ำ

- ท่อวางตัวแบบ Square pitch เพราะไม่ต้องการให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงและสารภายนอกท่อคือสารละลายเมทานอลก่อให้เกิดตะกรันได้น้อย [8]
 - ระยะ Pitch เท่ากับ $1.50d_o = 1.5 (1.372)$ เซนติเมตร
ระยะ Pitch เท่ากับ 2.058 เซนติเมตร
- จะได้แบบเครื่องต้มซ้ำที่มีลักษณะดังนี้
- เส้นผ่านศูนย์กลางของ Bundle = 26 เซนติเมตร
 - ระดับของเหลวใน Kettle = $\frac{2}{3}$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง Shell = 34 เซนติเมตร
 - เส้นผ่านศูนย์กลางของ Shell = $\frac{2}{3}$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Bundle = 52 เซนติเมตร



รูปที่ 3.3 ภาพตัดขวางของเครื่องต้มซ้ำแบบ Kettle reboiler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flux)

$$\begin{aligned} \text{Heat flux} &= \frac{\dot{Q}}{A_s} \\ &= \frac{15.34 \text{ kW}}{3.574 \text{ m}^2} \\ &= 4.297 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

ตรวจสอบฟลักซ์ความร้อนภายในเครื่องต้มฆ่าต้องไม่เกินค่า 0.7 เท่าของค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุด

$$\begin{aligned} q_{cb} &= K_b \cdot \left(\frac{P_i}{d_o} \right) \cdot \left(\frac{\lambda}{\sqrt{N_i}} \right) \cdot [\sigma g (\rho_L - \rho_V) \rho_V^2]^{0.25} \\ q_{cb} &= 0.44 \cdot 1.50 \cdot \left(\frac{750 \times 10^3}{\sqrt{112}} \right) \cdot [0.029 \cdot (9.81) \cdot (777 - 1.099) \cdot 1.099^2]^{0.25} \\ q_{cb} &= 189 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

0.7 เท่าของค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุด มีค่า $132 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ ซึ่งมีค่ามากกว่าฟลักซ์ความร้อนในเครื่องต้มฆ่าแสดงว่าการออกแบบนี้สามารถนำมาดำเนินการได้ ถ้ามีค่ามากกว่า 0.7 เท่าของฟลักซ์ความร้อนสูงสุดต้องทำการลองผิดลองถูกเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อใหม่

จ.4 การคำนวณขนาดของ Vertical reflux drum [3]

ข้อมูลในการออกแบบ

มวลโมเลกุลของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน (Mw_{top})	32.02	kg/kmol
ความหนาแน่นของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน (ρ_{top})	743.3	kg/m ³
Liquid residence time (t_R)	6	min
อัตราการไหลเชิง โมลของรีฟลักซ์	2	kmol/h
อัตราการไหลเชิง โมลของสารผลิตภัณฑ์ส่วนบน	0.7457	kmol/h
อัตราการไหลเชิง โมลของสารที่ออกจาก Reflux drum (L_R)	1.5657	kmol/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาปริมาตรของ Reflux drum (V_R) ได้จาก

$$V_R = \frac{2L_R M w_{top} t_R}{\rho_{top}}$$

$$V_R = \frac{2 \left(1.5657 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right) \left(32.02 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right) (6 \text{ min})}{\left(743.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \right)}$$

$$V_R = 0.0135 \text{ m}^3$$

คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Reflux drum (D_R) ได้จาก

$$D_R = \left(\frac{V_R}{\pi} \right)^{1/3}$$

$$D_R = \left(\frac{0.0135 \text{ m}^3}{\pi} \right)^{1/3}$$

$$D_R = 0.16 \text{ m}$$

คำนวณหาความสูงของ Reflux drum (H_R) ได้จาก

$$H_R = 4D_R$$

$$H_R = 4 \times 0.16$$

$$H_R = 0.65 \text{ m}$$

จ.5 การคำนวณปริมาณสารดูดซับที่เหมาะสม

จากวิธีการทดลองที่ 3.2.3 ข้อที่ 2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของน้ำ 1,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

$$\text{ปริมาณน้ำในสารละลายเมทานอล} = \left(1,800 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.250 \text{ L}$$

$$= 450 \text{ mg}$$

$$= 0.45 \text{ g}$$

คิดประสิทธิภาพการดูดซับ ที่ 10% ของน้ำหนักสารดูดซับ

$$\text{ปริมาณสารดูดซับ} = \frac{0.45 \text{ g} \times 1 \text{ g}}{0.1 \text{ g}}$$

$$= 4.5 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น ต้องเตรียมสารดูดซับมากกว่า 4.5 กรัม
ในการทดลองเตรียมสารดูดซับ 10 กรัม

จ.6 การคำนวณเส้นกราฟไอโซเทอมของการดูดซับ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายเมทานอลเท่ากับ 709 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร สารดูดซับ โมเลกุลาร์ซีฟ 10 กรัม ที่เวลา 120 นาที

ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายที่เหลือ (C_e) = 583 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของน้ำที่ถูกดูดซับ} &= C_0 - C_e \\ &= 709 - 583 \\ &= 126 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

คำนวณหาปริมาณการดูดซับในรูปของน้ำหนักของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักสารดูดซับ (q) ได้จาก

$$\begin{aligned} q &= \frac{(C_0 - C_e)}{M} \times V \\ q &= \frac{\left(\frac{126 \text{ mg}}{L} \right)}{10 \text{ g}} \times 0.250 \text{ L} \\ q &= 3.16 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

- เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่จุดเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
 M คือ น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม)
 V คือ ปริมาตรของสารละลาย (ลิตร)