

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์กระบวนการสตรีปิงแอมโมเนียออกจากร้ำด้วยอากาศโดยใช้หอบรรจุ



เลขที่.....
สงวนลิขสิทธิ์.....
วัน, เดือน, ปี.....

83202

- 6 ส.ค. 2551

b. 11962550
i.

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ANALYSIS OF AIR STRIPPING PROCESS OF AN AMMONIUM
HYDROXIDE USING PACKED TOWER**



MR. PAKKAPOL TAECHAMONGKALAPIWAT
MISS MANANYA RUTDIT

**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การวิเคราะห์กระบวนการสตรีปิงแอม โมเนียออกจากน้ำด้วยอากาศ
โดยใช้หอบรรจุ
โดย นายภักพล เตชะมงคลาภิวัฒน์
นางสาวมนัญญา รุดติษฐ์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อภิรักษ์ นัมคณิศรณ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



[Signature]

ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.อภิรักษ์ นัมคณิศรณ)

[Signature]

กรรมการ
(รศ.ดร.ประกอบกิจไชยา)

[Signature]

กรรมการ
(ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	การวิเคราะห์กระบวนการสตริปปีงแอมโมเนียออกจากรีดิวเซอร์ โดยใช้หอบรรจุ
โดย	นายภักพล เตชะมงคลาภิวัฒน์ นางสาวมนัญญา รุคคิชู
อาจารย์ที่ปรึกษา ปริญญาโท	ผศ.ดร.อภิวัฒน์ นัมคณิสร์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลของของเหลว อัตราการไหลของก๊าซ เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจากตัวแปรเหล่านั้น ในกระบวนการสตริปปีงโดยใช้หอบรรจุ (Packed tower) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35 ฟุต สูง 4.2 ฟุต ซึ่งมีวัสดุบรรจุเป็นขดลวดเหล็ก (Scrubber steel) บรรจุอยู่ในคอลัมน์ภายใต้อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ โดยของเหลวที่ใช้คือสารละลายแอมโมเนีย และก๊าซที่ใช้คืออากาศ ในการทดลองหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับความเข้มข้นนั้น จะทำการปรับอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนีย และอัตราการไหลของอากาศ เพื่อหาความสัมพันธ์ที่ลดลงของสารละลายที่ผ่านสตริปปีงแล้ว โดยการไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง นำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลาย 2 แบบคือ ที่อัตราการไหลของสารละลายคงที่และอัตราการไหลของอากาศคงที่ จากความสัมพันธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้หาประสิทธิภาพในการสตริปปีงของหอบรรจุ เช่น ที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่เท่ากับ 65 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจาก 1667.8 เป็น 12960.7 ลิตรต่อชั่วโมง จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการสตริปปีงเพิ่มมากขึ้นจาก 0.4% เป็น 16.3% และสามารถหาสมรรถนะ (Capacity) ของหอบรรจุ ในการรองรับอัตราการไหลสูงสุดของของเหลวและก๊าซซึ่งได้ค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ทำให้เกิดสภาวะจุดท่วมในหอคือ อัตราการไหลของของเหลวเท่ากับ 540 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 12960.7 ลิตรต่อชั่วโมง และเมื่อนำค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองมาจำลองกระบวนการ โดยใช้โปรแกรม Hysys 3.2 จะได้ความสัมพันธ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ของบุคคลเหล่านี้
คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

1. ผศ.ดร.อภิรักษ์ นัมคณิศรณ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำโครงการ และการปรับปรุงโครงการให้เสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งเป็นผู้ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจในขณะทำโครงการ
2. รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำโครงการ รวมทั้งเป็นผู้ให้คำปรึกษาให้การทำโครงการ
3. อาจารย์ภาควิศวกรรมเคมีทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในแต่ละวิชา อบรมสั่งสอนและให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาในภาควิชา
4. คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ ที่เป็นผู้ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทำโครงการ
5. คุณพิมพ์ใจ ภูษนะกิจ ที่อำนวยความสะดวกในการสั่งซื้อสารเคมีในการทำโครงการ
6. ครอบครัวของคณะผู้จัดทำ ที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนมาโดยตลอด
7. เพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้กำลังใจและร่วมทุกข์ร่วมสุขกันมาตลอดระยะเวลา 4 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	V
กิตติกรรมประกาศ.....	VI
สารบัญ.....	VII
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 การเลือกตัวทำละลาย (Absorbent).....	3
2.2 ประเภทของการดูดซึมตามลักษณะการไหลระหว่างก๊าซและของเหลว.....	4
2.3 ประเภทของหอดูดซึม.....	4
2.4 หอบรรจุ (Packed column).....	5
2.5 หลักการทำงานทั่วไปของการสตรippingอากาศ (Air stripping) โดยใช้หอบรรจุ.....	13
2.6 สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย (Volatile organic compound, VOCs).....	14
2.7 แอมโมเนียไฮดรอกไซด์.....	15
2.8 การถ่ายเทมวลระหว่างวัฏภาค.....	16
2.9 เส้นปฏิบัติการ (Operating Line).....	17
2.10 ข้อจำกัดและค่าที่เหมาะสมของอัตราส่วน L/V	19
2.11 การวิเคราะห์สมการสำหรับการหาจำนวนชั้นทางทฤษฎี.....	19
2.12 ค่าสัมประสิทธิ์ความจุและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม.....	20
2.13 การหาความสูงของหอ.....	22
2.14 ความดันตกและสภาวะจุดท่วมของหอบรรจุ.....	23
2.15 กรด - เบส.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.16 การไทเทรต (Titration).....	25
2.17 อินดิเคเตอร์.....	25
2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	33
4.1 อัตราการไหลที่ทำให้เกิดสภาวะจุดท่วมในหอบรรจุ.....	33
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียกับความเข้มข้น ที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของอากาศคงที่.....	33
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้นที่ลดลงของ สารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่.....	34
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศที่วัดจากการแทนที่น้ำกับ อัตราการไหลของอากาศที่อ่านค่าจากโรตاميเตอร์.....	35
4.5 ผลการจำลองกระบวนการ โดยใช้โปรแกรม Hysys 3.2.....	36
4.6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองจริงกับผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ โดยใช้โปรแกรม Hysys 3.2.....	39
4.7 เส้นปฏิบัติการที่ได้จากการทดลอง.....	41
บทที่ 5 สรุปผลและวิเคราะห์.....	45
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	44
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	46
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	52
ภาคผนวก ค.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสมบัติต่างๆของแอม โมเนียมไฮดรอกไซด์.....	15
ตารางที่ 2.2 แสดงช่วง pH ของอินดิเคเตอร์.....	28
ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการแทนที่น้ำเทียบกับอัตราการไหลของ อากาศที่ได้จากการอ่านค่าที่โรตاميเตอร์.....	35
ตารางที่ ข-1 การหาอัตราการไหลของอากาศโดยการแทนที่น้ำปริมาตร 6.275 ลิตร	53
ตารางที่ ข-2 การหาความเข้มข้นของสารละลายแอม โมเนียมไฮดรอกไซด์ด้วยการไทเทรต ก่อนการสตรีปปีง.....	43
ตารางที่ ข-3 การหาความเข้มข้นของสารละลายแอม โมเนียมไฮดรอกไซด์ด้วยการไทเทรต ที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆ	54
ตารางที่ ข-4 แสดงผลการคำนวณสำหรับการหาเส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของ สารละลายค่าต่างๆ.....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงหอบบรรจุและประเภทของวัสดุบรรจุ.....	5
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผ่นรองรับวัสดุบรรจุ.....	6
รูปที่ 2.3 วัสดุบรรจุเรียงเป็นระเบียบเพื่อเป็นตัวอย่างวัสดุบรรจุที่ไม่เป็นระเบียบ.....	6
รูปที่ 2.4 ลักษณะของตัวอย่างที่ขอมให้ก๊าซผ่านสะดวก.....	7
รูปที่ 2.5 แสดงการออกแบบตัวอย่างที่ขอมให้ก๊าซผ่านสะดวก.....	7
รูปที่ 2.6 ตัวกระจายของเหลวแบบอริฟิซและแบบเวียร์.....	8
รูปที่ 2.7 ตัวกระจายของเหลวแบบเป็นราง.....	8
รูปที่ 2.8 ตัวกระจายของเหลวแบบเจาะรู.....	9
รูปที่ 2.9 การกระจายของเหลวใหม่.....	10
รูปที่ 2.10 ตัวกระจายของเหลวใหม่.....	11
รูปที่ 2.11 แผ่นทับหน้าวางอยู่บนเบดของวัสดุบรรจุ.....	11
รูปที่ 2.12 แสดงการสตรีปิงน้ำด้วยอากาศโดยใช้หอบบรรจุ.....	14
รูปที่ 2.13 การทำคูลมวลสารสำหรับหอบดูดซึมแบบบรรจุ ที่มีการไหลแบบ ไหลสวนทาง.....	18
รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งของเส้นดำเนินการ (a) กระบวนการดูดซึม (b) กระบวนการสตรีปิง.....	18
รูปที่ 2.15 เส้นปฏิบัติการสำหรับสภาวะจำกัด (a) กระบวนการดูดซึม (b) กระบวนการสตรีปิง.....	20
รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นตัวถูกละลายที่ถูกสตรีปิง จากวัฏภาคของเหลวไปยังวัฏภาคก๊าซ.....	21
รูปที่ 2.17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความดันสติกในหอบบรรจุ.....	24
รูปที่ 2.18 กราฟการไทเทรตระหว่างกรดแก่และเบสแก่ จะแสดง pH ที่จุดสมมูลอยู่ที่ pH ใกล้เคียง 7.....	26
รูปที่ 2.19 กราฟแสดงการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่และอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม.....	27
รูปที่ 2.20 กราฟของการไทเทรตระหว่าง 0.1000 M NH_3 กับ 0.1000 M HCl	28
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียกับความเข้มข้น ที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆ.....	33
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้นที่ลดลงของ สารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียค่าต่างๆ.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศที่วัดจากการแทนที่น้ำกับ อัตราการไหลของอากาศที่อ่านค่าจากโรตاميเตอร์.....	35
รูปที่ 4.4 ผลการจำลองกระบวนการ โดยใช้โปรแกรม Hysys ที่อัตราการไหลของอากาศ 12960.7 ลิตรต่อชั่วโมงและอัตราการไหลของสารละลายแอม โมเนีย 65 ลิตรต่อชั่วโมง.....	36
รูปที่ 4.5 ผลการจำลองกระบวนการ โดยใช้โปรแกรม Hysys ซึ่งแสดงรายละเอียดของหอบรรจุ...	36
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอม โมเนียกับความเข้มข้น ที่ลดลงของสารละลายแอม โมเนียที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆ จากการ ใช้โปรแกรม Hysys.....	37
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลาย แอม โมเนียที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆ จากการ ใช้ โปรแกรม Hysys.....	38
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอม โมเนีย กับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอม โมเนียที่ได้จากการทดลองและ จากการ ใช้โปรแกรม Hysys.....	39
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้น ที่ลดลงของสารละลายแอม โมเนียที่ได้จากการทดลองและจากการ ใช้ โปรแกรม Hysys.....	40
รูปที่ 4.10 เส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของสารละลายแอม โมเนียคงที่เท่ากับ 65 ลิตรต่อชั่วโมง.....	41
รูปที่ 4.11 เส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของสารละลายแอม โมเนียคงที่เท่ากับ 100 ลิตรต่อชั่วโมง.....	41
รูปที่ 4.12 เส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของสารละลายแอม โมเนียคงที่เท่ากับ 150 ลิตรต่อชั่วโมง.....	42
รูปที่ 4.13 เส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของสารละลายแอม โมเนียคงที่เท่ากับ 200 ลิตรต่อชั่วโมง.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

L, V	อัตราการไหลของของเหลวและก๊าซ (กิโลกรัม โมลต่อวินาที)
L', V'	อัตราการไหลของของเหลวและก๊าซที่ปราศจากตัวถูกละลาย(สารA) (กิโลกรัม โมลต่อวินาที)
x_1, x_2	เศษส่วนโมลของตัวถูกละลายในของเหลว (สารA) ที่ทางออกและทางเข้า ของหอสทรีปีง (ไม่มีหน่วย)
y_1, y_2	เศษส่วน โมลของตัวถูกละลายในก๊าซ (สารA) ที่ทางออกและทางเข้าของหอสทรีปีง (ไม่มีหน่วย)
p_1	ความดันย่อยของตัวถูกละลาย (สารA) (นิวตันต่อตารางเมตร, ปาสคาล)
n	จำนวนชั้นทางทฤษฎี
m	ความชันของกราฟ
A	พื้นที่หน้าตัดภายในหอดูดซึม (ตารางเมตร, ตารางเซนติเมตร)
k_x, k_y	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในของเหลวและก๊าซ ตามลำดับ (โมลต่อตารางเซนติเมตร.นาทึ)
K_x, K_y	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม เทียบอัตราส่วน โมลในของเหลวและก๊าซ (โมลต่อตารางเซนติเมตร.นาทึ)
$K_x a$	สัมประสิทธิ์ความจุโดยรวม เทียบกับอัตราส่วน โมลในของเหลว (โมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร.นาทึ)
$X_A, X_{A,i}$	อัตราส่วน โมลของ A ในบัลค์ของเหลวและที่ผิว ตามลำดับ (ไม่มีหน่วย)
X_A^*	อัตราส่วน โมลของ A ที่สมดุลกับ Y_A (ไม่มีหน่วย)
$Y_A, Y_{A,i}$	อัตราส่วน โมลของ A ในบัลค์ก๊าซและที่ผิว ตามลำดับ (ไม่มีหน่วย)
J	อัตราการถ่ายเทมวลเชิง โมล (โมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร.นาทึ)
a	พื้นที่ผิวสัมผัสของการถ่ายเทมวลต่อหน่วยปริมาตร (ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร, ตารางฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต)
H	ค่าคงที่เฮนรี เทียบกับอัตราส่วน โมล (ไม่มีหน่วย)
S	ให้เป็น (HV)/L (ไม่มีหน่วย)
H_G, H_L, H_{OG}, H_{OL}	ความสูงของ Transfer unit (HTU) (ไม่มีหน่วย)
N_G, N_L, N_{OG}, N_{OL}	จำนวนของ Transfer unit (NTU) (ไม่มีหน่วย)
z	ความสูงของหอ (เมตร, ฟุต)
G_x, G_y	ความเร็วเชิงมวลในของเหลวและก๊าซ (ปอนด์ต่อตารางฟุต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

μ_x	ความหนืดของของเหลว (เซนติพอยท์)
ρ_x, ρ_y	ความหนาแน่นเชิงโมลของของเหลวและก๊าซ (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)
g_c	ค่าคงที่แรงโน้มถ่วง (ฟุตต่อวินาทีกำลังสอง)
ΔP_{flood}	ความดันลดที่สภาวะจุดท่วม (นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ)
F_p	แฟคทิง แฟคเตอร์ (ต่อเมตร, ต่อฟุต)
ε	สัดส่วนช่องว่างของวัสดุบรรจุ (ลูกบาศก์ฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

กระบวนการแยกสารเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญและมีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมเคมี กระบวนการที่ใช้ในการแยกสารผสมที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซให้ไปละลายในวัฏภาคของเหลวโดยใช้หลักการถ่ายเทมวลสาร เมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างวัฏภาคก๊าซและวัฏภาคของเหลว เรียกว่า การดูดซึม (Absorption) ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้องการแยกองค์ประกอบที่ละลายอยู่ในวัฏภาคของเหลวให้ไปอยู่ในวัฏภาคก๊าซ โดยใช้หลักการเดียวกันจะเรียกว่าการสตรipping (Stripping) ซึ่งวิธีนี้โดยส่วนมากจะนำมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดสิ่งเจือปนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (VOCs) ออกจากน้ำเสียหรือน้ำบาดาล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ หอบบรรจุ (Packed column) ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวลสูง โดยพื้นที่ในการถ่ายเทมวลในหอจะเกิดจากวัสดุบรรจุที่บรรจุอยู่ภายในหอ จึงต้องมีการเลือกใช้วัสดุบรรจุที่ทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคก๊าซและวัฏภาคของเหลวมาก และต้องทำจากวัสดุที่เหมาะสมกับการใช้งาน วัสดุบรรจุที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นขดลวดเหล็ก (Scrubber steel) มีลักษณะเป็นเส้นลวดเหล็กขนาดเล็กและยาวขดไปมาซ้อนกันหลายชั้นจนเกิดเป็นกลุ่มก้อนของขดลวดซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคสูง ทั้งยังมีราคาถูก จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุบรรจุ ส่วนสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง จะใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) หรือสารละลายแอมโมเนีย ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดีและระเหยเข้าสู่อากาศได้ แทนการใช้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายนั้น เป็นสารที่ค่อนข้างอันตราย กำจัดยาก และราคาแพง

กระบวนการสตรippingแอมโมเนีย สามารถใช้ได้ดีในกรณีที่มีแอมโมเนียปนเปื้อนในน้ำเสียในปริมาณที่ต่ำ ในกรณีที่น้ำเสียนั้นมีปริมาณของแอมโมเนียหรือไนโตรเจนปนเปื้อนมาก ไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียอย่างรวดเร็ว ซึ่งหากต้องการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียนั้น โดยทั่วไปจะกำจัดออกไปในรูปของแอมโมเนีย เนื่องจากกำจัดได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าการเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็น ไนเตรท-ไนโตรเจน ก่อนที่จะกำจัดออกไป

สำหรับโครงการนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาสมรรถนะของหอบบรรจุ โดยจะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารที่ทำการสตรipping และศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกสาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการหาประสิทธิภาพสูงสุดในการแยกสารของหอบบรรจุที่ใช้ในการทดลองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีและหลักการของกระบวนการสตริปปีง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานรวมทั้งหลักการทำงานของหอบรรจุ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกสาร
- 1.2.4 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบหอสตริปปีงแบบบรรจุ
- 1.2.5 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จริงกับผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ โดยใช้โปรแกรม Hysys

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้จะทำการทดลอง โดยการใช้ น้ำ และอากาศไหลสวนทางกันในหอบรรจุ ให้เกิดสภาวะจุดท่วมในหอบรรจุที่มีขดลวดเหล็กเป็นวัสดุบรรจุ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหอบรรจุ ในการทดลองจะหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารที่นำมาสตริปปีง เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวที่มีต่อประสิทธิภาพในการสตริปปีง การเพิ่มอัตราการไหลจนถึงจุดที่เกิดสภาวะจุดท่วมจะทำให้ทราบถึงสมรรถนะของหอบรรจุที่ใช้ในการทดลองนี้ และทำการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรม และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหอบรรจุให้เหมาะสม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 ทำให้ทราบข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบหอสตริปปีงแบบบรรจุ
- 1.4.2 สามารถใช้โปรแกรม Hysys ในการออกแบบหอสตริปปีงแบบบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น

กระบวนการดูดซึม (Absorption) เป็นกระบวนการที่ทำให้ก๊าซผสมสัมผัสกับของเหลว ซึ่งจะเรียกของเหลวนั้นว่า ตัวทำละลาย (Absorbent) โดยองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในก๊าซผสมจะเกิดการถ่ายเทมวลสารจากวัฏภาคก๊าซไปยังวัฏภาคของเหลว ซึ่งจะเรียกองค์ประกอบที่ถูกแยกออกไปนั้นว่าตัวถูกละลาย (Absorbate) กระบวนการดูดซึมจะใช้ในการแยกก๊าซผสม ยกตัวอย่างเช่น กำจัดสิ่งปนเปื้อน มลภาวะทางอากาศและสารพิษจากก๊าซ หรือเป็นการนำก๊าซกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการที่กลับกันกับกระบวนการดูดซึม คือ กระบวนการสตรipping (stripping) ซึ่งเป็นกระบวนการที่สารละลายของเหลวถูกทำให้สัมผัสกับก๊าซ โดยมีจุดประสงค์เพื่อแยกสารองค์ประกอบออกจากสารละลายให้เข้าไปอยู่ในก๊าซ เกิดเป็นก๊าซของสารองค์ประกอบขึ้นมา โดยการถ่ายเทมวลสารจากวัฏภาคของเหลวไปยังวัฏภาคก๊าซ การที่โมเลกุลสามารถถ่ายเทมวลจากวัฏภาคหนึ่งไปยังอีกวัฏภาคหนึ่งได้ เนื่องจากทั้ง 2 วัฏภาคนั้น มีความเข้มข้นต่างกัน (Concentration gradient) ที่ผิวของของเหลวและก๊าซ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน (driving force) ในการถ่ายเทมวล นอกจากนี้แล้วการที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง มีการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสูง (Mass transfer coefficient) จะช่วยเร่งให้เกิดกระบวนการสตรipping ทำให้ของเหลวที่ได้มีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้นและสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ โดยทั่วไป กระบวนการสตรipping จะใช้ในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย (VOC) จากน้ำเสีย โดยใช้อากาศ ไอน้ำและก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซเฉื่อย ผ่านเข้าไปในน้ำ กระบวนการสตรipping ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่ต้องการแยกสารประเภทต่างๆ ซึ่งรวมไปถึง ไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย

2.1 การเลือกตัวทำละลาย (Absorbent)

ควรพิจารณาปัจจัยดังต่อไปนี้

2.1.1 ความสามารถในการละลายของก๊าซในตัวทำละลาย (Gas Solubility)

ก๊าซควรละลายได้ดีในตัวทำละลาย

2.1.2 ความสามารถในการระเหยของตัวทำละลาย (Volatility)

ตัวทำละลายควรมีอัตราการระเหยต่ำ เพื่อลดการสูญเสียสารตัวทำละลาย

2.1.3 การกัดกร่อนของตัวทำละลาย (Corrosiveness)

ตัวทำละลายควรเป็นสารที่ไม่กัดกร่อน เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ต้นทุน (Cost)

ตัวทำละลายควรมีราคาไม่แพง และหาง่าย

2.1.5 ความหนืดของตัวทำละลาย (Viscosity)

ตัวทำละลายที่มีความหนืดต่ำจะมีข้อดี คือ มีอัตราการดูดซึมสูง ลดการเกิดสภาวะจุดท่วม (Flooding) ในหอดูดซึม นอกจากนี้ยังมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีอีกด้วย

2.1.6 ปัจจัยอื่นๆ

ตัวทำละลายควรเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ติดไฟไม่ได้ ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีและมีจุดเยือกแข็งต่ำ

2.2 ประเภทของการดูดซึมตามลักษณะการไหลระหว่างก๊าซและของเหลว

สามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะดังนี้

- การไหลแบบทางเดียว (Co-current)
- การไหลแบบสวนทางกัน (Countercurrent)
- การไหลแบบตั้งฉาก (Cross-flow)

ซึ่งในที่นี้ จะขออธิบายเฉพาะลักษณะการไหลแบบสวนทางกัน

2.2.1 การไหลแบบสวนทางกัน (Countercurrent)

เป็นลักษณะการไหลที่ก๊าซและของเหลวมีทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน คือ ก๊าซจะถูกปล่อยขึ้นมาจากก้นหอ ของเหลวจะ ไหลลงจากยอดหอ โดยพบว่าลักษณะการไหลประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นที่ยอมรับใช้กันอย่างแพร่หลาย

2.3 ประเภทของหอดูดซึม

ในการดูดซึมต้องการให้ก๊าซและของเหลวมีการสัมผัสกันมาก โดยให้ความดันลดมีค่าน้อย มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสูง มีแรงขับเคลื่อนสูงและมีผลต่างความเข้มข้นสูง ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีวิธีการทั่วไปดังนี้

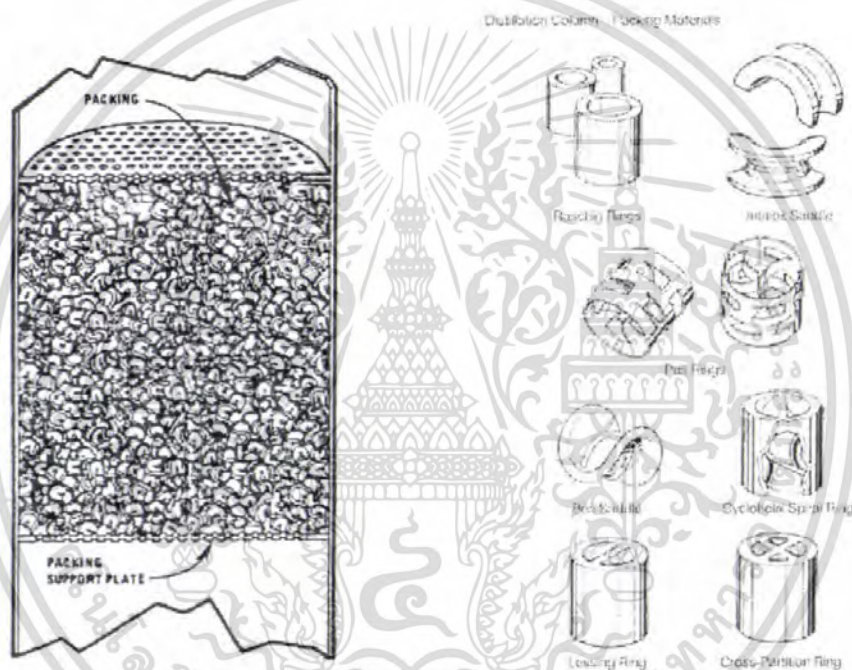
- การทำให้ก๊าซแตกย่อยเป็นฟองเล็กๆ ในการสัมผัสกันอย่างต่อเนื่องในวิภาคของเหลว เช่น หอแบบชั้น
- การทำให้ของเหลวแตกย่อยเป็นฟิล์มบางๆ ทำให้ของเหลวสามารถเคลื่อนที่ผ่านวิภาคของก๊าซอย่างต่อเนื่องได้ เช่น หอบรรจุ
- การทำให้ของเหลวแตกย่อยเป็นหยดเล็กๆ จำนวนมาก เคลื่อนที่ในวิภาคของก๊าซ เช่น หอสปเรย์
- ความหลากหลายในการออกแบบเครื่องมือถูกพัฒนาให้มีความสอดคล้องกับลักษณะการทำงานของกระบวนการดูดซึมและสตริปปีง หอดูดซึมที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ หอแบบชั้น หอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรจุ และหอสเปรย์ ซึ่งนอกจากหอดูดซึมทั้ง 3 ประเภทนี้แล้ว ยังมีหอดูดซึมแบบอื่น ที่ใช้ในกรณีพิเศษอื่นๆ ด้วย ซึ่งจะขออธิบายเฉพาะหอบรรจุ [2]

2.4 หอบรรจุ (Packed column)

หอบรรจุสามารถใช้กับของเหลวที่มีคุณสมบัติกัดกร่อน เกิดฟอง และที่มีอัตราการไหลที่สูงได้ ลักษณะการใช้งานของหอบรรจุสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย โดยจะเปลี่ยนไปตามวัสดุบรรจุที่ใช้ เช่น พลาสติก เซรามิก เป็นต้น ซึ่งจะออกแบบให้เป็นรูปทรงต่างๆ ลักษณะของหอบรรจุจะเป็นทรงกระบอกวางในแนวตั้ง ภายในจะบรรจุวัสดุบรรจุเพื่อใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ส่วนใหญ่จะมีลักษณะการไหลแบบสวนทางกัน [2]



รูปที่ 2.1 แสดงหอบรรจุและประเภทของวัสดุบรรจุ [2]

2.4.1 ส่วนประกอบภายในหอบรรจุ

หลังจากการเลือกชนิดของหอบรรจุและทราบขนาดของหอบรรจุแล้ว (คือ ทราบความสูงและพื้นที่หน้าตัด) สิ่งสำคัญอันดับต่อไป คือ การเลือกส่วนประกอบภายในหอบรรจุ ในการออกแบบนั้นจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อให้ได้สมรรถนะ (Performance) ที่ดี

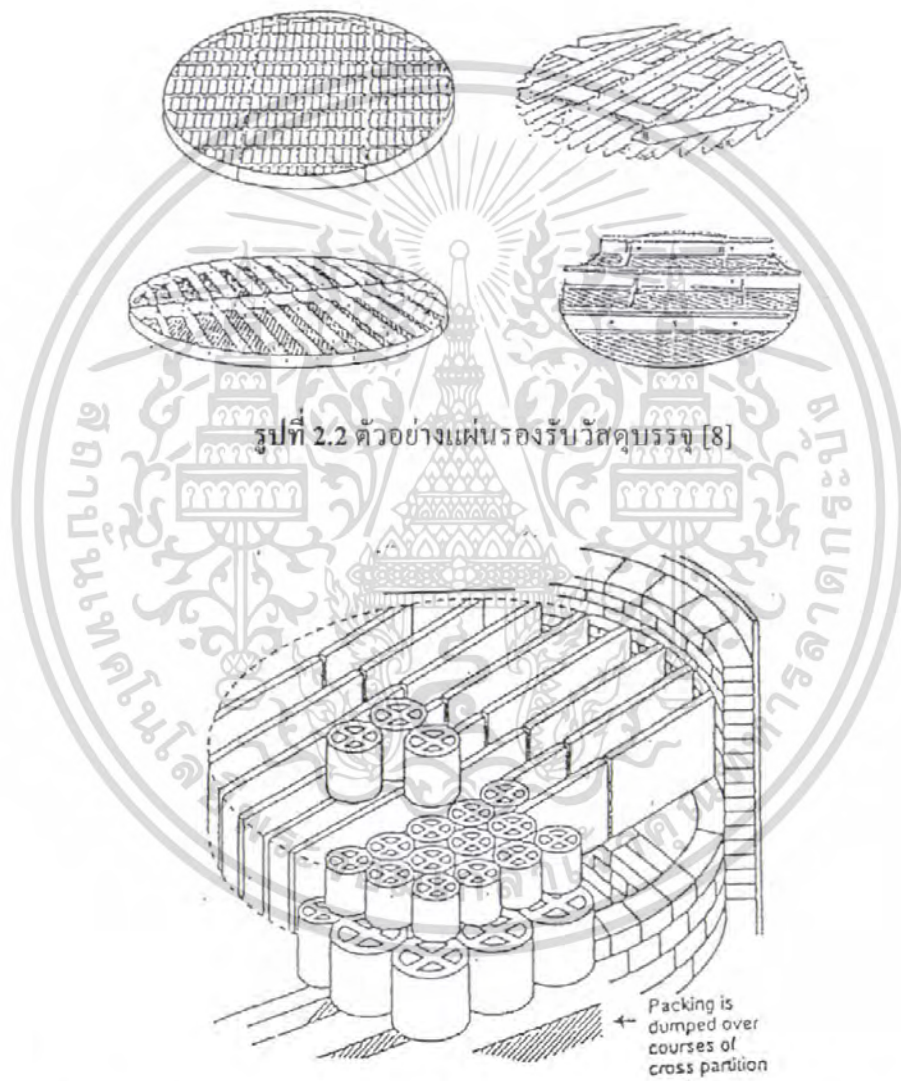
2.4.1.1 แผ่นรองรับวัสดุบรรจุ (Packing support)

หน้าที่ของแผ่นรองรับมีไว้เพื่อรับน้ำหนักของวัสดุบรรจุที่เปียก ในขณะที่เดียวกันก็ยอมให้ก๊าซไหลผ่านได้สะดวก แผ่นรองรับที่ออกแบบไม่ดีจะสร้างความดันลดสูงและเกิดการท่วมของของเหลวได้ กริด (Grid) หรือแผ่นรูพรุน (Perforated plate) อย่างธรรมดา จะยอมให้ของเหลวและก๊าซไหลผ่านช่องทางเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 2.2 บางครั้งมีการใช้กริดที่ให้ช่องว่างกว้างเพื่อให้ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

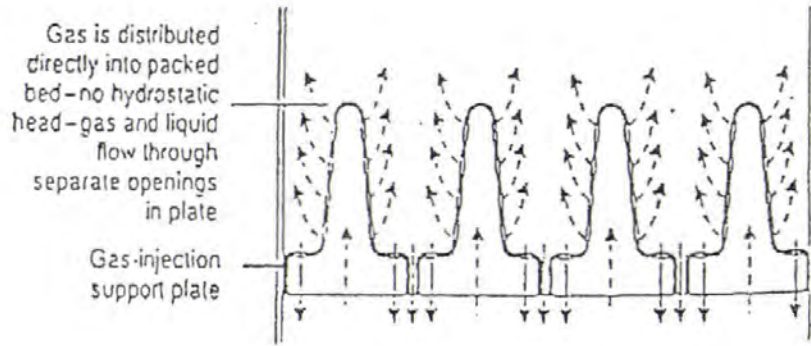
เหลวไหลผ่านได้ดี แล้ววางวัสดุบรรจุขนาดใหญ่สองถึงสามชั้น เพื่อเป็นตัวรองรับวัสดุบรรจุขนาดเล็กที่ใส่ในคอลัมน์แบบไม่เป็นระเบียบ (Random or dumped packing) แสดงดังรูปที่ 2.3

การออกแบบแผ่นรองรับวัสดุบรรจุที่เหมาะสม ควรแยกช่องทางการไหลของก๊าซออกจากของเหลว แสดงดังรูปที่ 2.4 และ 2.5 การออกแบบเช่นนี้จะช่วยให้ความดันลดต่ำและแทบที่จะไม่มีโอกาสเกิดการท่วมของของเหลวบนแผ่นรองรับ แผ่นรองรับจะมีขนาดต่างๆกัน วัสดุที่ใช้ อาจจะเป็น โลหะ เซรามิก และพลาสติก

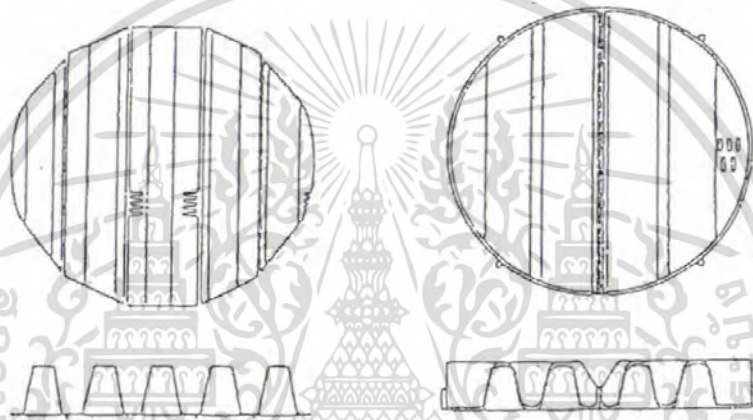


รูปที่ 2.3 วัสดุบรรจุเรียงเป็นระเบียบเพื่อเป็นตัวรองรับวัสดุบรรจุที่ไม่เป็นระเบียบ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



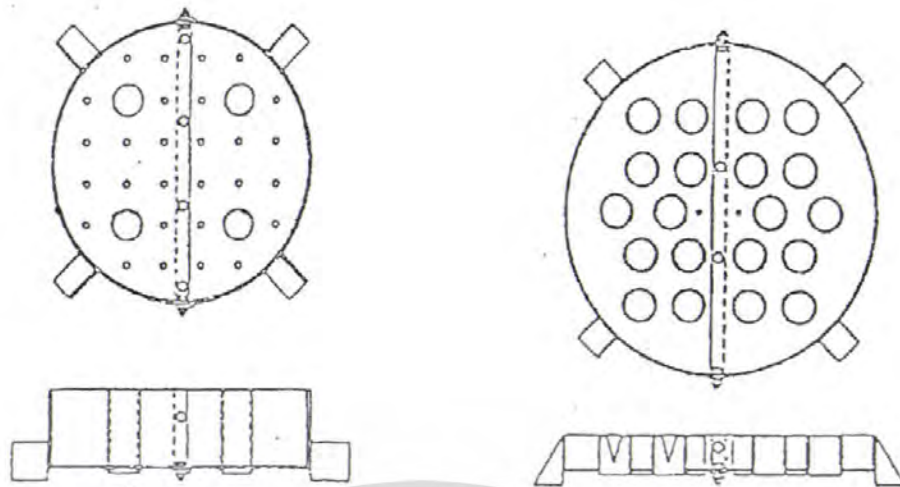
รูปที่ 2.4 ลักษณะของตัวรองรับที่ยอมให้ก๊าซผ่านสะดวก [8]



รูปที่ 2.5 แสดงการออกแบบตัวรองรับที่ยอมให้ก๊าซผ่านสะดวก [8]

2.4.1.2 ตัวกระจายของเหลว

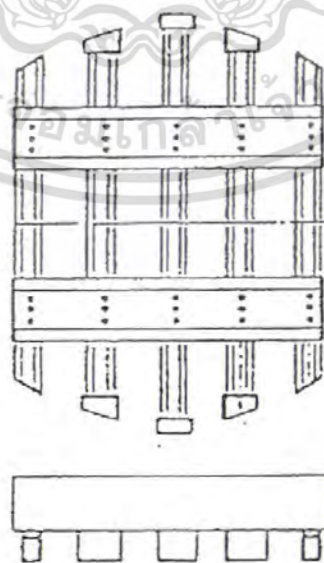
เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงภายในหอบรรจุ การกระจายของของเหลวบนวัสดุบรรจุอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นจึงต้องมีการใส่ตัวกระจายของเหลวเพิ่มเข้ามา ซึ่งตัวกระจายของเหลวนั้นมีหลายแบบ เช่น ถ้าหอบรรจุมีขนาดเล็กจะมีตัวกระจายของเหลวขนาดเล็ก ซึ่งมีเพียงรูเปิดตรงกลางหรือหัวฉีดฝอยเพียงตัวเดียว ก็เพียงพอสำหรับการกระจายของของเหลว แต่สำหรับวัสดุบรรจุที่มีขนาดใหญ่ การออกแบบตัวกระจายของเหลวจะมีความยุ่งยากมากขึ้น เนื่องจากจะต้องออกแบบให้ตัวกระจายของเหลวสามารถกระจายของเหลวได้ดีทุกค่าของอัตราการไหลของของเหลว แบบของตัวกระจายของเหลวที่นิยมใช้มากที่สุดมี 2 แบบ คือ แบบออริฟิซ และแบบเวียร์ (แสดงดังรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 ตัวกระจายของเหลวแบบออริฟิซและแบบเวียร์ [8]

ในแบบออริฟิซ ของเหลวจะไหลผ่านรูต่างๆที่อยู่บนแผ่นกระจายของเหลวและก๊าซจะไหลขึ้นตามท่อสั้นที่ติดอยู่บนแผ่นกระจายของเหลว ซึ่งจะมีขนาดพื้นที่เพียงพอเพื่อให้ก๊าซไหลอย่างสะดวกโดยเกิดความดันลดน้อยที่สุด ส่วนรูที่ของเหลวไหลลงควรมีขนาดเล็ก เพื่อให้มีระดับของเหลวอยู่บนแผ่นกระจายสำหรับอัตราการไหลของของเหลวที่ต่ำที่สุด และในทางตรงกันข้ามรูจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถป้องกันการดันของอัตราการไหลของของเหลวสูงสุด สำหรับแบบเวียร์นั้น ของเหลวจะไหลลงที่รอยบากของเวียร์ ส่วนก๊าซไหลขึ้นโดยใช้ท่อของเวียร์ เวียร์นั้นสามารถใช้ในช่วงของอัตราการไหลที่กว้างกว่าแบบออริฟิซ

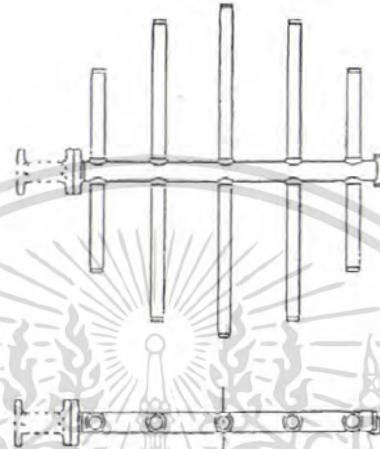
สำหรับหอบรรจุที่มีขนาดใหญ่ตัวกระจายแบบเป็นราง (Trough) แสดงดังรูปที่ 2.7 สามารถให้การกระจายตัวของของเหลวที่ดีและให้พื้นที่อิสระที่ก๊าซสามารถไหลขึ้นมาได้สูง



รูปที่ 2.7 ตัวกระจายของเหลวแบบราง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

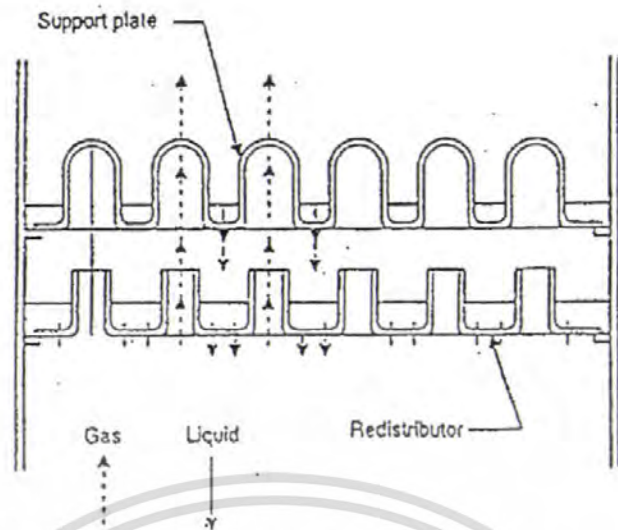
การไหลผ่านตัวกระจายของเหลวต้องอาศัยแรงโน้มถ่วง ดังนั้นอาจเกิดการกระจายตัวที่ไม่ดีได้ จึงมีแบบของตัวกระจายอีกแบบหนึ่ง คือ ตัวกระจายแบบเจาะรู แสดงดังรูปที่ 2.8 โดยของเหลวป้อนเข้าสู่คอลัมน์โดยใช้เครื่องสูบลม (หรือของเหลวที่อยู่ภายใต้ความดัน) ดังนั้นอัตราการไหลของของเหลวจะคงที่และท่อกระจายหรือแผ่นออริฟิซควรเลือกขนาดที่เหมาะสม เพื่อให้การไหลของของเหลวเกิดขึ้นทุกรูบนท่อกระจายหรือบนแผ่นออริฟิซ



รูปที่ 2.8 ตัวกระจายของเหลวแบบเจาะรู [8]

2.4.1.3 ตัวกระจายของเหลวใหม่ (Liquid redistributors)

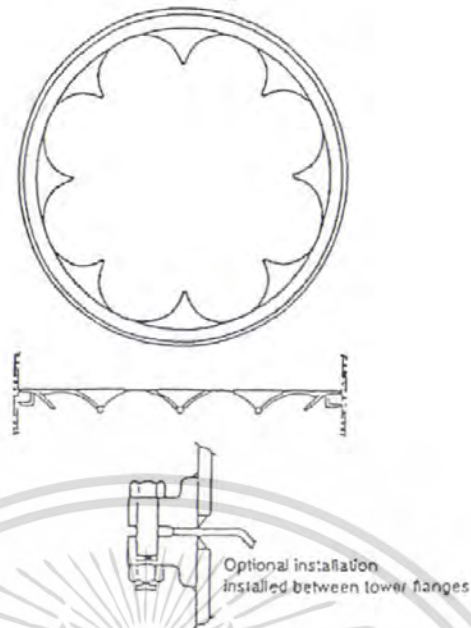
ของเหลวเมื่อไหลลงบนตัวบรรจุที่อยู่ในหอบรรจุ จะซึมผ่านตัวบรรจุลงสู่ก้นหอ โดยไหลลงในแนวคิ่ง ขณะเดียวกันก็ไหลสู่ทางออกด้านข้างเข้าหาผนังท่อด้วย ช่องว่างที่เกิดจากผนังคอลัมน์กับวัสดุบรรจุ จะมีช่องว่างสำหรับการไหลของของไหลมากกว่าบริเวณที่เป็นวัสดุบรรจุอย่างเดียว โดยปกติแล้วของเหลวมักจะไหลผ่านทางไหลที่สะดวกกว่า ดังนั้นของเหลวส่วนใหญ่เมื่อไหลผ่านวัสดุบรรจุไปได้ระยะหนึ่งก็จะไหลไปตามผนังท่อ แทนการไหลผ่านวัสดุบรรจุที่อยู่ตรงกลาง วัสดุบรรจุที่อยู่ตรงกลางจึงไม่สัมผัสกับของเหลว จึงทำให้ประสิทธิภาพของคอลัมน์ลดลง เพื่อไม่ให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องใส่ตัวกระจายของเหลวใหม่เพื่อให้ของเหลวส่วนใหญ่ที่ไหลอยู่ใกล้กับผนังท่อ กลับมาไหลกระจายตัวผ่านวัสดุบรรจุอีกครั้งและยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวรองรับวัสดุบรรจุที่อยู่ด้านบนได้ด้วย แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การกระจายของเหลวใหม่ [8]

สำหรับอีกแบบหนึ่งของตัวกระจายของเหลว ได้แก่ แบบกวาดผนัง (Wall wiper) แบบนี้จะประกอบด้วยวงแหวนซึ่งรวบรวมของเหลวจากผนังคอลัมน์ แล้วเปลี่ยนทิศทางการไหลสู่ศูนย์กลางของคอลัมน์ ซึ่งส่วนมากมักใช้กับคอลัมน์ที่มีขนาดเล็ก ตัวอย่างเช่น คอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.6 เมตร การออกแบบตัวกระจายของเหลวจะต้องระมัดระวังการท่วมเฉพาะที่ของของเหลวและต้องให้การไหลของก๊าซเป็นไปอย่างสะดวกด้วย (ตัวอย่างจากรูปที่ 2.10)

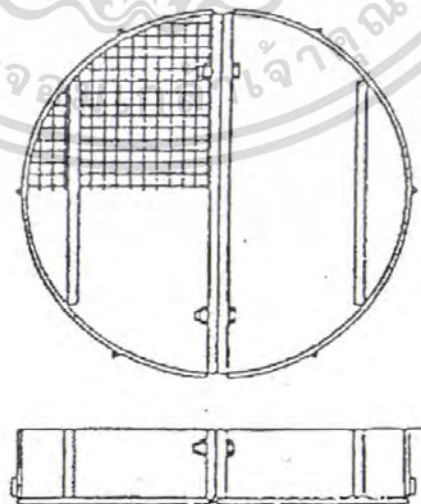
ระยะที่สูงที่สุดจากเบดสำหรับติดตั้งตัวกระจายของเหลวนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุบรรจุและกรรมวิธีที่ใช้ หอบรรจุที่ใช้ในกระบวนการการกลั่นจะมีการกระจายของของเหลวต่ำกว่ากระบวนการดูดซึม ในบางปฏิบัติทั่วไปมักใช้ความสูงของเบดไม่ควรเกิน 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์สำหรับแรชชิก ริง และ ไม่ควรเกิน 8 ถึง 10 เท่าสำหรับพอลริงและเบิร์ต แชคเด็ค สำหรับคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่มาก ความสูงของเบดจะถูกจำกัดโดยน้ำหนักสูงสุดของวัสดุบรรจุซึ่งรองรับ โดยตัวรองรับและผนังคอลัมน์ซึ่งความสูงนี้ควรมีค่าประมาณ 8 เมตร



รูปที่ 2.10 ตัวกระจายของเหลวใหม่ [8]

2.4.1.4 แผ่นทับหน้า (Hold – down plate)

ที่อัตราการไหลของก๊าซที่มีค่าสูงและพบว่าวัสดุเกิดการเคลื่อนที่พุ่งกระจายแล้วลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนของคอลัมน์ (Fluidization) ภายใต้สภาวะเช่นนี้ วัสดุบรรจุที่เป็นเซรามิกอาจแตกได้และชิ้นส่วนเล็กๆอาจจะหล่นลงสู่วัสดุบรรจุที่อยู่ด้านล่าง ถ้าวัสดุเป็นโลหะหรือพลาสติกก็อาจจะลอยออกจากคอลัมน์ได้ ดังนั้น แผ่นทับหน้าจะวางอยู่บนเบดเพื่อป้องกันการเกิดฟลูอิด ไคซ์ (แสดงดังรูปที่ 2.11) ช่องเปิดของแผ่นทับหน้าจะมีขนาดเล็กกว่าวัสดุบรรจุแต่ไม่ชิดขวางการไหลของก๊าซและของเหลว [8]



รูปที่ 2.11 แผ่นทับหน้าวางอยู่บนเบดของวัสดุบรรจุ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบหอบรรจุที่มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายประการ เช่น ความดันลด อัตราการไหล และน้ำหนักหอ เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ให้สอดคล้องกับสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ความดันลดต่ำ (Low pressure drop)

ในหอแบบบรรจุทั่วไป วัสดุบรรจุเป็นสิ่งสำคัญที่ก่อให้เกิดความต้านทานการไหลภายในคอลัมน์ ถ้าช่องว่างระหว่างวัสดุบรรจุก็ทำให้เกิดความดันลดลดลงด้วย

2. สมรรถนะในการรองรับปริมาณหรืออัตราการไหลของของไหลสูง (High capacity)

หอแบบบรรจุจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสม ในการรองรับปริมาณหรืออัตราการไหลของของไหลสูงๆ และวัสดุบรรจุภายในคอลัมน์จะต้องมีคุณสมบัติที่ก่อให้เกิดการไหลของของไหลได้สะดวก และมากพอที่จะไม่ก่อให้เกิดความดันลดสูงหรือไม่เกิดการสะสมของของไหลจนเกิดการท่วม (Flooding) ในคอลัมน์

3. น้ำหนักและลิกวิด โฮลด์อัปต่ำ (Low weight and low liquid hold up)

น้ำหนักรวมของคอลัมน์ น้ำหนักของวัสดุบรรจุและน้ำหนักที่เกิดจากลิกวิด โฮลด์อัปในหอต้องน้อยเพื่อก่อให้เกิดลิกวิด โฮลด์อัปได้เพียงพอสำหรับการถ่ายเทมวลที่ดี

4. พื้นที่ผิวสัมผัสต่อหน่วยปริมาตรสูง (Large active surface area per unit volume)

วัสดุบรรจุภายในคอลัมน์ที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส ไอและเฟสของเหลวสูงจะทำให้คอลัมน์มีประสิทธิภาพสูง

5. ปริมาตรช่องว่างต่อหน่วยปริมาตรรวมสูง (Large free volume per unit total volume)

กรณีที่อยู่ในคอลัมน์มีช่องว่างระหว่างวัสดุบรรจุมาก เมื่อเทียบกับปริมาตรทั้งหมด จะทำให้ประสิทธิภาพของคอลัมน์สูงด้วย

6. สมบัติอื่นๆ เช่น คอลัมน์และวัสดุบรรจุควรมีความต้านทานการกัดกร่อน มีความทนทาน เป็นต้น

เงื่อนไขทั่วไปที่หอบรรจุเอื้ออำนวยต่อการใช้งาน

1. เหมาะกับการใช้งานกับกรดและสารที่กัดกร่อนชนิดอื่นๆ ได้ เพราะสามารถเลือกใช้วัสดุบรรจุเป็นเซรามิก (Ceramic) หรือวัสดุที่ต้านทานการกัดกร่อนได้
2. ภายใต้ระบบสุญญากาศ ความดันลดที่เกิดขึ้นสำหรับวัสดุบรรจุที่ค่าน้อยกว่าคอลัมน์แบบชั้นมาก
3. ด้วยวิธีการหรือระบบที่เข้าไปเกี่ยวข้องกับความดันลดที่มีค่าน้อยๆ นั้น เมื่อเทียบกับคอลัมน์แบบชั้นแล้วจะพบว่า คอลัมน์ที่ใช้วัสดุบรรจุจะเหมาะแก่การนำไปใช้ในเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการเลือกใช้วัสดุบรรจุเพื่อให้เกิดความดันลดต่ำที่สุด ตัวอย่างของคอลัมน์ ได้แก่ คอลัมน์ภายใต้ความดันบรรยากาศ คอลัมน์ภายใต้ความดันต่ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สำหรับคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3 ฟุต แล้วจะเป็นการยุ่งยากในการติดตั้งคอลัมน์แบบชั้น จึงนิยมใช้คอลัมน์แบบบรรจุมากกว่า
5. วัสดุบรรจุจะให้ค่าความดันตกและประสิทธิภาพที่เหมาะสม
6. ภายในหอแบบบรรจุ ของเหลวจะเปลี่ยนเป็นฟองและสัมผัสกับไอน้ำมากขึ้น

เงื่อนไขที่หอแบบบรรจุไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้งานเมื่อเทียบกับหอแบบชั้น

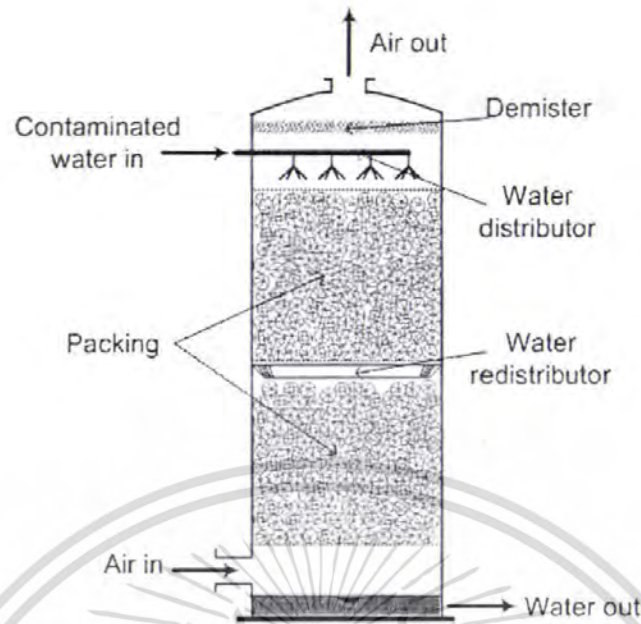
1. หอแบบชั้นจะสามารถถอดทำความสะอาดได้ง่ายกว่าหอแบบบรรจุ
2. วัสดุบรรจุจำนวนหนึ่งอาจสูญหายหรือแตกหักได้ง่ายในระหว่างที่ทำการบรรจุเข้าไปภายในหอหรืออาจได้รับความเสียหายจากการขยายตัวและหดตัวของอุณหภูมิ
3. หอแบบชั้นมีความสามารถในการจัดการกับวัตถุคิปรวมได้ดีกว่าหอแบบบรรจุ เพราะสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่หลายๆ ได้
4. หอบรรจุไม่เหมาะกับการใช้งานที่อัตราการป้อนของเหลวต่ำ เพราะจะเป็นการลดประสิทธิภาพในการสัมผัสกันระหว่างวัฏภาคไอน้ำกับวัฏภาคของเหลว

2.5 หลักการทำงานทั่วไปของการสตริบปีงอากาศ (Air stripping) โดยใช้หอบรรจุ

การสตริบปีงอากาศ เป็นกระบวนการที่ก๊าซซึ่งอยู่ในของเหลว ถูกทำให้สัมผัสกับอากาศ เกิดการถ่ายเทมวลของก๊าซจากวัฏภาคของเหลวไปยังวัฏภาคก๊าซ (อากาศ) ทำให้ก๊าซเข้าไปอยู่ในอากาศ โดยทั่วไปแล้วการทำงานของ การสตริบปีงอากาศ จะขึ้นอยู่กับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากก๊าซผสมที่ออกมาด้วย ซึ่งหากก๊าซผสมที่ออกมามีความเข้มข้นต่ำ จะสามารถปล่อยสู่บรรยากาศได้โดยตรง แต่ในทางกลับกัน อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลพิษทางอากาศก็เป็นสิ่งที่จำเป็น

ปัจจัยที่มีผลต่อการสตริบปีงอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน สัดส่วนของอากาศกับน้ำและอัตราการถ่ายเทมวลสารในกระบวนการ จะขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับอากาศและลักษณะการไหลของของเหลวกับอากาศ ส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสจะขึ้นกับขนาดและชนิดของวัสดุบรรจุ

หลักการทำงาน จะใช้หอดูดซึมประเภทหอบรรจุ ที่มีลักษณะการไหลแบบไหลสวนทางกัน ของเหลวจะถูกป้อนขึ้นสู่ยอดหอ จากนั้นจะไหลลงมาจากยอดหอ ส่วนอากาศจะถูกป้อนเข้าทางก้นหอ จากนั้นจะไหลขึ้นอยู่ยอดหอ โดยภายในหอจะมีวัสดุบรรจุอยู่ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับของเหลว ก๊าซที่ละลายอยู่ในของเหลวจะเกิดการถ่ายเทมวลเข้าไปอยู่ในอากาศ ทำให้ของเหลวที่ออกมามีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้น [15]



รูปที่ 2.12 แสดงการสตริบปิ้งน้ำด้วยอากาศโดยใช้หอบรรจุ [16]

2.6 สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย (Volatile organic compound, VOC)

สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย (Volatile Organic Chemical, VOC) คือ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหย เป็นไอได้ง่าย ที่อุณหภูมิและความดันปกติ โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นสำคัญ ซึ่งอาจมีอะตอมของออกซิเจนหรือ คลอรีนร่วมด้วย สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์หลายอย่างในชีวิตประจำวัน เช่น สีทาบ้าน ควันบุหรี่ สารฟอกสี สารตัวทำละลายในหมึกพิมพ์ สียรถยนต์ สารโรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง ผลิตภัณฑ์สำหรับเส้นผม สารฆ่าแมลง เป็นต้น สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายที่รู้จักกันดีได้แก่สารประกอบพวก มีเทน (methane: CH_4), เบนซีน (benzene: C_6H_6) และ ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde: CH_2O) โดยที่มีเทนจะเป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายที่มีอยู่มากที่สุดในธรรมชาติ สำหรับแหล่งกำเนิดหลักของสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายนี้ เกิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันหรือเชื้อเพลิงอื่นที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล หรือ เชื้อเพลิงเหลวประเภทอื่น ๆ ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะเกิดมาจากการเผาไหม้ตามธรรมชาติ เช่น เหม่า ควันไฟ หรือ เกิดมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในพื้นดินโดยพวกแบคทีเรีย ในภาวะที่ไร้ก๊าซออกซิเจน ทำให้น้ำบาดาลถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย การนำน้ำบาดาลมาใช้โดยไม่กำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายออกก่อนจึงอาจเป็นอันตรายได้

สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย แบ่งตามลักษณะของโมเลกุลได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Non-chlorinated VOC หรือ Non-halogenated hydrocarbons) เช่น สารในกลุ่มอัลลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง, ก๊าซโซลีน, เฮกเซน, ตัวทำละลายในอุตสาหกรรม, แอลกอฮอล์, อัลดีไฮด์, คีโตน) และกลุ่มอะโรมาติก (เช่น โทลูอีน, เบนซีน, ไซลีน, สไตรีน, ฟีนอล) สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายกลุ่มนี้มาจากการเผาไหม้ของขยะ พลาสติก วัสดุและอุปกรณ์เครื่องใช้ สีทาวัสดุเป็นต้น ซึ่งมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ

2.6.2 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (chlorinated VOC หรือ halogenated hydrocarbons) ได้แก่ สารเคมีสังเคราะห์ในอุตสาหกรรม สารไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบนี้ จะมีความเสถียรและสะสมได้นานในสิ่งแวดล้อม มากกว่ากลุ่มแรก เพราะมีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนซึ่งทนทานและ ยากต่อการ สลายตัวในธรรมชาติ อันตรายของสารกลุ่มนี้คือจะรบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม ยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง [10]

2.7 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

ชื่อสารเคมี	แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
ชื่อภาษาอังกฤษ	Ammonium hydroxide
ชื่อสามัญ	สารละลายแอมโมเนีย, แอมโมเนียเหลว
ลักษณะ	สารละลายใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน
ส่วนประกอบ	แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 20-30 %
ความเสถียร	เสถียร
สูตรโมเลกุล	NH_4OH

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสมบัติต่างๆของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ [7]

สมบัติ	ค่า	ณ อุณหภูมิหรือความดัน
พีเอช	ไม่มีข้อมูล	
จุดเดือด/ช่วงการเดือด	$-57.5^{\circ}C$	
จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมเหลว	$37.7^{\circ}C$	
จุดวาบไฟ	ไม่มีข้อมูล	
อุณหภูมิจุดติดไฟด้วยตนเอง	ไม่มีข้อมูล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติ	ค่า	ณ อุณหภูมิหรือความดัน
ขีดจำกัดการระเบิด	บน: ไม่มีข้อมูล ล่าง: ไม่มีข้อมูล	
ความดันไอ	483 kPa	20 °C
ความถ่วงจำเพาะ/ความหนาแน่น	0.91 g/cm ³	20 °C
การละลาย	สามารถละลายน้ำได้	20 °C

แอมโมเนียเป็นสารประกอบอนินทรีย์ในโคโรเจนที่มีบทบาทสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะเป็นทั้งสารพิษต่อสัตว์น้ำและปุ๋ยสำหรับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช แอมโมเนียเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในความเข้มข้นที่ต่ำ ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียโดยเฉลี่ยจากสัตว์ทะเล 17 ชนิด อยู่ที่ 1.86 mg NH₃/l ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ แอมโมเนียส่วนใหญ่ได้มาจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารเหลือตกค้าง เมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำไปนาน ๆ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงจึงสูงขึ้นจนอาจถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ในการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่ให้สูงเกินไป แต่การกระทำเช่นนี้อาจไปสร้างผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ ที่รองรับน้ำทิ้งโดยเฉพาะตามพื้นที่ที่มีฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่หนาแน่น เพราะน้ำทิ้งเหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงได้กำหนดค่าของแอมโมเนียไว้ทั้งในมาตรฐานคุณภาพน้ำ เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและมาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง แอมโมเนียจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำของหน่วยงานสังกัดสำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งวิเคราะห์กันอยู่เป็นประจำ [14]

2.8 การถ่ายเทมวลระหว่างภูมิภาค

การถ่ายเทมวลอาจเกิดภายในภูมิภาคเดียวเมื่อภายในภูมิภาคนั้นมีแรงขับเคลื่อน ซึ่งอาจเป็นความเข้มข้นซึ่งต่างกัน หรืออาจเป็นการที่องค์ประกอบหนึ่งในของเหลวกลายเป็นก๊าซหรือเกิดการก่อกวนตัวของไอที่ผิวระหว่างภูมิภาค การถ่ายเทมวลอาจเกิดข้ามภูมิภาค เช่น การถ่ายเทมวลขององค์ประกอบจากภายในภูมิภาคหนึ่งไปยังจุดต่อระหว่างภูมิภาคเข้าสู่ภายในของภูมิภาคที่สอง ภูมิภาคที่เกี่ยวข้องอาจเป็นของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน หรือเป็นของเหลวกับก๊าซ หรือของไหลกับของแข็ง ตัวอย่างกระบวนการที่มีการถ่ายเทมวลระหว่างภูมิภาค เช่น การดูดซึมก๊าซ การกลั่น การอบแห้ง การสกัดด้วยของเหลว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานต่อการถ่ายเทมวลระหว่างภูมิภาคสองภูมิภาค เป็นผลบวกของความต้านทานในแต่ละภูมิภาค และจะพบว่าผิวระหว่างภูมิภาคอยู่ที่สภาวะสมดุลโดยที่ส่วนประกอบ (หรือความเข้มข้น) ที่ผิวระหว่างภูมิภาคอาจแตกต่างกันได้ ทั้งนี้เพราะส่วนประกอบนั้นถูกกำหนดโดยความสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ [5]

2.9 เส้นปฏิบัติการ (Operating Line)

เมื่อสาร A ซึ่งละลายอยู่ในก๊าซ แพร่ผ่านก๊าซและเข้าสู่ของเหลว ซึ่งการทำคูลมวลสารของสาร A แสดงดังรูปที่ 2.13

$$L' \left(\frac{x_2}{1-x_2} \right) + V' \left(\frac{y_1}{1-y_1} \right) = L' \left(\frac{x_1}{1-x_1} \right) + V' \left(\frac{y_2}{1-y_2} \right) \quad (1)$$

เมื่อ L' , V' คือ อัตราการไหลโดยมวลของของเหลวและก๊าซที่ปราศจากตัวถูกละลาย (สาร A) (กิโลกรัมโมลต่อวินาที)

y_1 และ x_1 คือ เศษส่วนโมลของสาร A ในก๊าซและของเหลว

ซึ่ง L' และ V' จะมีค่าคงที่แต่ L และ V จะไม่คงที่

การทำคูลมวลสารรอบเส้นประ ตามรูปที่ 2.13 จะสามารถหาเส้นปฏิบัติการได้

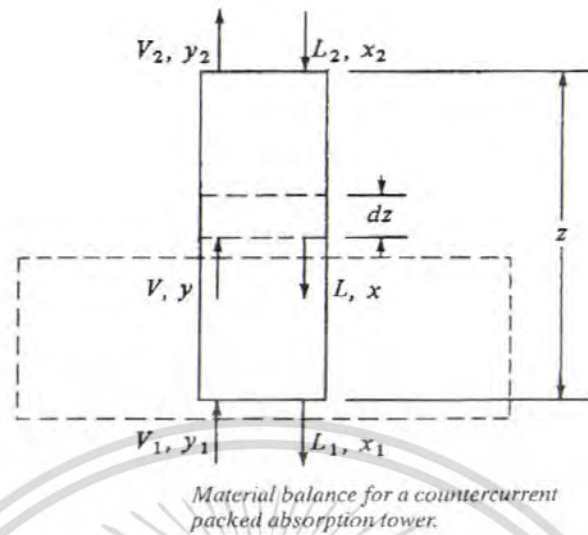
$$L' \left(\frac{x}{1-x} \right) + V' \left(\frac{y_1}{1-y_1} \right) = L' \left(\frac{x_1}{1-x_1} \right) + V' \left(\frac{y}{1-y} \right) \quad (2)$$

สมการ (2) เมื่อกำหนดจุดเส้นแกน xy จะได้เส้นโค้ง ดังรูปที่ 2.14a สมการ (2) สามารถเขียนให้อยู่ในเทอมของความดันย่อย p_1 ของสาร A เช่น เมื่อ $y_1/(1-y_1) = p_1/(P-p_1)$ ถ้า x และ y มีความเจือจางมาก $(1-x)$ และ $(1-y)$ สามารถแทนค่าเท่ากับ 1 และสมการ (2) จะเขียนแทนได้ดังสมการ (3)

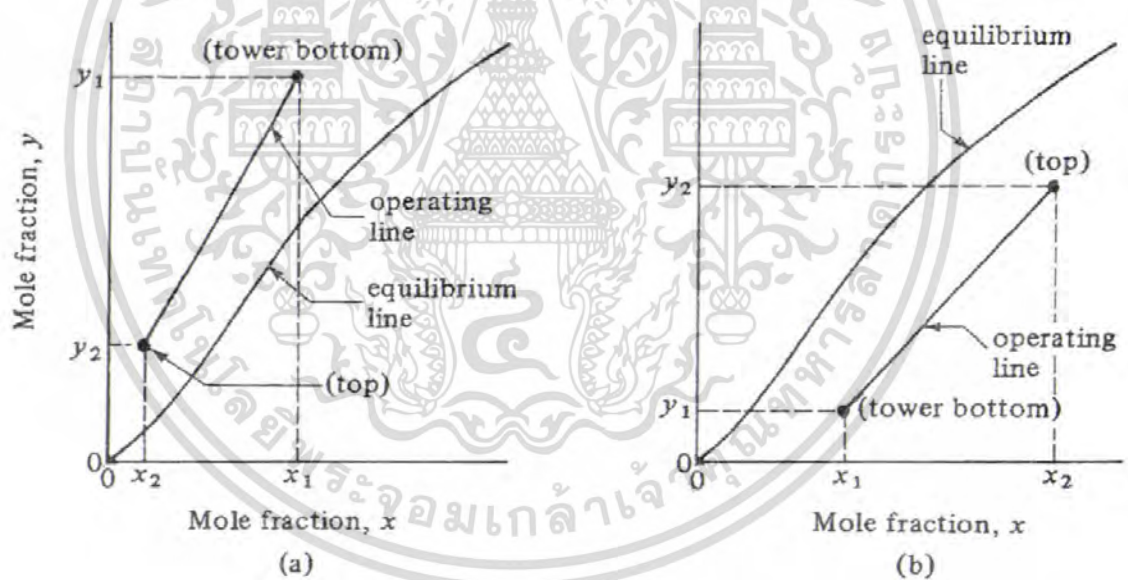
$$L'x + V'y_1 \cong L'x_1 + V'y \quad (3)$$

จะมีความชันเท่ากับ L'/V' และจะได้เส้นปฏิบัติการเป็นเส้นตรง

เมื่อตัวถูกละลายถ่ายเทมวลจากของเหลวไปก๊าซ จะเรียกว่า สตรีปปีง เส้นปฏิบัติการจะอยู่ต่ำกว่าเส้นสมดุล ดังรูปที่ 2.14b



รูปที่ 2.13 การทำคูลมวลสารสำหรับหอดูดซึมแบบบรรจุ ที่มีกรไหลแบบไหลสวนทาง [2]



Location of operating lines: (a) for absorption of A from V to L stream, (b) for stripping of A from L to V stream.

รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งของเส้นปฏิบัติการ (a) กระบวนการดูดซึม (b) กระบวนการสตรipping [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ข้อจำกัดและค่าที่เหมาะสมของอัตราส่วน L'/V'

ในกระบวนการดูดซึม (Absorption) อัตราการไหลของก๊าซ V_1 (แสดงดังรูปที่ 2.13) และค่า y_1 จะถูกกำหนดขึ้น ความเข้มข้นที่ตำแหน่งทางออก y_2 โดยทั่วไปแล้วจะถูกกำหนดโดยผู้ให้ออกแบบ และความเข้มข้นที่ตำแหน่งทางเข้าของของเหลว x_2 ส่วนใหญ่แล้วจะถูกกำหนดให้คงที่ โดยความต้องการของกระบวนการ ดังนั้น เราจะสามารถกำหนดค่าอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลเข้าได้ L_2 หรือ L'

จากรูปที่ 2.15a อัตราการไหล V_1 และค่าความเข้มข้น y_2, x_2 และ y_1 จะถูกกำหนดขึ้นเมื่อเส้นปฏิบัติการมีความชันต่ำสุดและสัมผัสกับเส้นสมดุลที่จุด P อัตราการไหลของของเหลว L' จะมีค่าต่ำสุดที่ L'_{\min} ค่าของ x_1 จะมีค่าสูงสุดที่ $x_{1\max}$ เมื่อ L' มีค่าต่ำสุด ที่จุด P แรงขับเคลื่อน $y - y^*, y - y_1, x^* - x$ และ $x_1 - x$ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เพื่อที่จะหาค่า L'_{\min} ค่า y_1 และ $x_{1\max}$ จะถูกแทนที่ด้วยสมการเส้นปฏิบัติการในกรณีเดียวกัน ถ้าเส้นสมดุลเป็นเส้นโค้งที่เว้าลงด้านล่าง ค่า L' ที่ต่ำที่สุดจากเส้นปฏิบัติการจะสัมผัสกับเส้นสมดุลแทนที่จะตัดกัน

การเลือกค่าที่เหมาะสมของ L'/V' ที่ใช้ในการออกแบบ จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในกระบวนการดูดซึม ค่าอัตราส่วน L'/V' ที่สูงมากเกินไป จะให้ค่าอัตราการไหลของของเหลวที่สูงมาก และจะทำให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกว้างมากตามไปด้วย ค่าใช้จ่ายในการนำตัวถูกละลายออกจากรัน้ำโดยวิธีการกลั่นก็จะสูงขึ้น ส่วนอัตราการไหลของของเหลวที่ต่ำในหอที่สูง จะทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงเช่นกัน

สำหรับกระบวนการสตริปปีง เมื่อเส้นปฏิบัติการมีค่าความชันสูงสุดและสัมผัสกับเส้นสมดุลที่จุด P แสดงดังรูปที่ 2.15b อัตราการไหลของก๊าซจะมีค่าต่ำสุด V'_{\min} ค่าของ y_2 จะมีค่าสูงสุดที่ $y_{2\max}$ [2]

2.11 การวิเคราะห์สมการสำหรับการหาจำนวนชั้นทางทฤษฎี

การวิเคราะห์สมการเพื่อคำนวณหาจำนวนชั้นทางทฤษฎี n ในหอดูดซึมจะใช้สมการเดียวกันกับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนชั้นของกระบวนการไหลแบบสวนทางกัน สำหรับการถ่ายเทมวล(ตัวถูกละลาย)จากวัฏภาคก๊าซไปยังวัฏภาคของเหลว (การดูดซึม)

$$n = \frac{\ln \left[\left(\frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} \right) (1 - 1/A) + 1/A \right]}{\ln A} \quad (4)$$

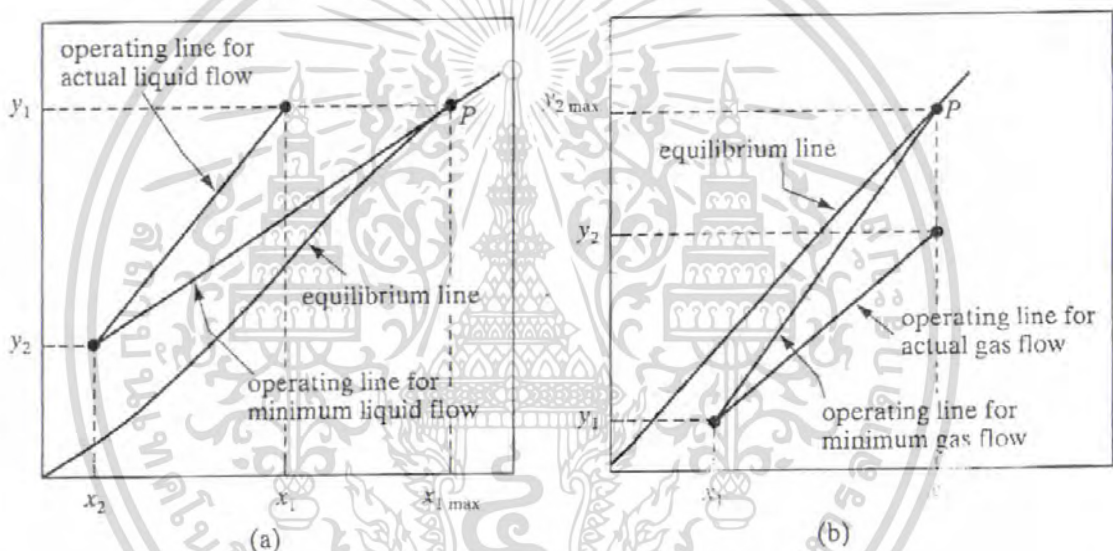
สำหรับการถ่ายเทมวล(ตัวถูกละลาย)จากวัฏภาคของเหลวไปยังวัฏภาคก๊าซ (การสตริปปีง)

$$n = \frac{\ln \left[\left(\frac{x_2 - y_1/m}{y_1 - y_1/m} \right) (1 - A) + A \right]}{\ln(1/A)} \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $A = L/mV$

ถ้าสมการเส้นสมดุล และ/หรือ เส้นปฏิบัติการ มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง m และ $A = L/mV$ จะมีค่าไม่คงที่ สำหรับกระบวนการดูดซึม (อ้างอิงจากรูปที่ 2.13) ที่ความเข้มข้นสูงสุดที่กั้นหอ ความชัน m_1 หรือ จุดที่ x_1 สัมผัสกับเส้นสมดุลจะถูกนำมาใช้ ที่ชั้นสูงสุดภายในหอที่มีความเข้มข้นเจือจางมาก ความชัน m_2 หรือ จุดที่ y_2 สัมผัสกับเส้นสมดุลจะถูกนำมาใช้ ดังนั้น $A_1 = L_1/m_1V_1$, $A_2 = L_2/m_2V_2$ และ $A = \sqrt{A_1A_2}$ ดังนั้น เมื่อเป็นระบบที่เจือจาง จะใช้ m_2 ในสมการที่ 4 สำหรับกระบวนการสตรipping ที่ชั้นบนสุดหรือตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูงสุด ความชัน m_2 หรือ จุดที่ y_2 สัมผัสกับเส้นสมดุลจะถูกนำมาใช้ ที่กั้นหอหรือตำแหน่งที่มีความเข้มข้นเจือจางที่สุด ชั้น m_1 หรือ จุดที่ x_1 สัมผัสกับเส้นสมดุลจะถูกนำมาใช้ ดังนั้น $A_1 = L_1/m_1V_1$, $A_2 = L_2/m_2V_2$ และ $A = \sqrt{A_1A_2}$ และเมื่อเป็นระบบที่เจือจาง จะใช้ m_1 ในสมการที่ 5 [2]



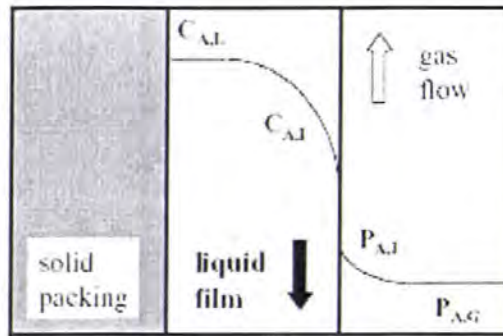
รูปที่ 2.15 เส้นปฏิบัติการสำหรับสภาวะจำกัด (a) กระบวนการดูดซึม (b) กระบวนการสตรipping [2]

2.12 ค่าสัมประสิทธิ์ความจุและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม

การสตรippingเป็นหน่วยปฏิบัติการที่ใช้งานในหลายอุตสาหกรรม เพื่อดึงสารประกอบที่ระเหยง่ายจากของเหลวไปยังก๊าซ อัตราการดึงสารประกอบที่ระเหยง่ายนี้จะสามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีฟิล์ม รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นตัวถูกละลาย (สาร A) ที่ถูกสตรipping จากวัฏภาคของเหลวไปยังวัฏภาคก๊าซ ที่สภาวะคงที่ ฟลักซ์ของ A ในก๊าซจะต้องเท่ากับในของเหลว ความสัมพันธ์นี้ได้มาจากสมการ

$$N_A = k_x(X_A - X_{A,i}) = k_y(Y_{A,i} - Y_A) \quad (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นตัวถูกละลายที่ถูกสตริปป์จิงจากวัฏภาคของเหลวไปยังวัฏภาคก๊าซ [5]

ซึ่งเป็นการยากมากที่จะวัดค่าความเข้มข้นของสารที่พื้นผิว (Interfacial concentration) ดังนั้นจึงมีการกำหนดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลโดยรวม (overall mass transfer coefficient) เพื่อที่จะคำนวณความต้านทานการถ่ายเทมวลของทั้งวัฏภาคของเหลวและวัฏภาคก๊าซ ที่สภาวะคงที่ที่มีความสัมพันธ์คล้ายกับสมการ (6) ผลของค่า K_x , K_y (overall mass transfer coefficient) สามารถหาได้และได้มาจากสมการ

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{Hk_y} \quad (7)$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{H}{k_x} \quad (8)$$

อัตราการถ่ายเทมวลทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของเฟสก๊าซ/ของเหลว ซึ่งเป็นการยากที่จะวัดพื้นที่ผิวทั้งหมดที่เกิดการถ่ายเทมวล เช่น เมื่อใช้วัสดุบรรจุแบบสุ่มในหอบรรจุ ค่าสัมประสิทธิ์ความจุโดยรวม (Overall capacity coefficient) จึงถูกกำหนดขึ้น ถ้าพื้นที่ผิวดต่อปริมาตรของการถ่ายเทมวลกำหนดให้เป็น a ในหน่วยตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาตรของวัสดุบรรจุในหอจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความจุโดยรวม เป็น $K_x a$ อัตราที่สาร A ถูกดึงออกจากของเหลวไปยังก๊าซ สามารถเขียนได้ในรูปของอัตราส่วน โมลในบัลค์ (bulk mole fraction) ของสาร A ในแต่ละวัฏภาค ซึ่งหาได้จากสมการ [2, 5]

$$J = K_x a (X_A^* - X_A) \quad (9)$$

สำหรับก๊าซที่ละลายในน้ำได้ดี เช่น แอมโมเนียในน้ำ H จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นเทอมสุดท้ายในสมการที่ (8) จะตัดทิ้งได้ และ $K_y \cong k_y$ ความต้านทานในการถ่ายเทมวลเกือบทั้งหมดจะขึ้นกับฟิล์มก๊าซและอัตราการในการดูดซึม

2.13 การหาความสูงของหอ

หาได้จากสมการ

$$z = H_G N_G = H_L N_L = H_{OG} N_{OG} = H_{OL} N_{OL} \quad (10)$$

เมื่อ z คือ ความสูงของหอ

H_G, H_L, H_{OG}, H_{OL} คือ ความสูงของ Transfer unit (HTU)

N_G, N_L, N_{OG}, N_{OL} คือ จำนวนของ Transfer unit (NTU)

ซึ่งในที่นี้จะขออธิบายการหาค่า NTU เมื่อสารละลายที่ใช้เป็นสารละลายเจือจางที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 10% เส้นปฏิบัติการและเส้นสมดุลจะเป็นเส้นตรง ค่า NTU จะหาได้จากสมการ

$$N_G = \frac{y_1 - y_2}{(y - y_i)_M} \quad (11)$$

$$N_L = \frac{x_1 - x_2}{(x_i - x)_M} \quad (12)$$

$$N_{OG} = \frac{(y_1 - y_2)}{(y - y^*)_M} \quad (13)$$

$$N_{OL} = \frac{x_1 - x_2}{(x^* - x)_M} \quad (14)$$

$$N_L = \frac{S}{S-1} \ln \frac{(x_1/x_2)(S-1)+1}{S} \quad (15)$$

และ $S = HV/L$

$$H_L = \frac{Z}{N_L} = \frac{L}{AK_2 a} \quad (16)$$

โดยที่ $(y - y_i)_M$ และ $(y - y^*)_M$ หาได้จากสมการ [2, 5]

$$(y - y_i)_M = \frac{(y_1 - y_{i1}) - (y_2 - y_{i2})}{\ln[(y_1 - y_{i1})/(y_2 - y_{i2})]} \quad (17)$$

$$(y - y^*)_M = \frac{(y_1 - y_1^*) - (y_2 - y_2^*)}{\ln[(y_1 - y_1^*)/(y_2 - y_2^*)]} \quad (18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 ความดันลดและสภาวะจุดท่วมของหอบรรจุ

เมื่อทราบประเภท ขนาดของวัสดุบรรจุ และอัตราการไหลของของเหลวในหอบรรจุ ชนิดจำกัดของอัตราการไหลของก๊าซ ที่หอยังสามารถดำเนินการได้ เรียกว่า ความเร็วของก๊าซที่สภาวะจุดท่วม (Flooding velocity) โดยหากก๊าซมีความเร็วที่สูงกว่าค่านี้ หอยจะไม่สามารถดำเนินการได้ ที่ความเร็วของก๊าซต่ำ ของเหลวจะสามารถไหลผ่านวัสดุบรรจุลงสู่ก้นหอยได้ โดยที่การไหลขึ้นของก๊าซไม่มีผลต่อของเหลว เมื่ออัตราการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วของก๊าซต่ำ จะเรียกอัตราการไหลของก๊าซนี้ว่า loading point ก๊าซจะเริ่มกีดขวางการไหลลงของของเหลว ของเหลวจะเริ่มไหลช้าลงและจะสะสมตามวัสดุบรรจุ ความดันลดของก๊าซจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออัตราการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้น ของเหลวจะเกิดการสะสมมากขึ้น ที่สภาวะจุดท่วม ของเหลวจะไม่สามารถไหลผ่านวัสดุบรรจุได้ และจะไหลขึ้นตามก๊าซ

ความสัมพันธ์ที่ใช้ในการประมาณค่าความดันลดในวัสดุบรรจุที่ใช้อย่างแพร่หลาย แสดงดังรูปที่ 2.17 เมื่อ G_x, G_y คือ ความเร็วเชิงมวลในของเหลวและก๊าซ (ปอนด์ต่อตารางฟุต)

μ_x คือ ความหนืดของของเหลว (เซนติพอยท์)

ρ_x, ρ_y คือ ความหนาแน่นเชิง โมลของของเหลวและก๊าซ (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

g_c เท่ากับ 32.174 ปอนด์ฟุตต่อปอนด์(แรง)วินาทีกำลังสอง

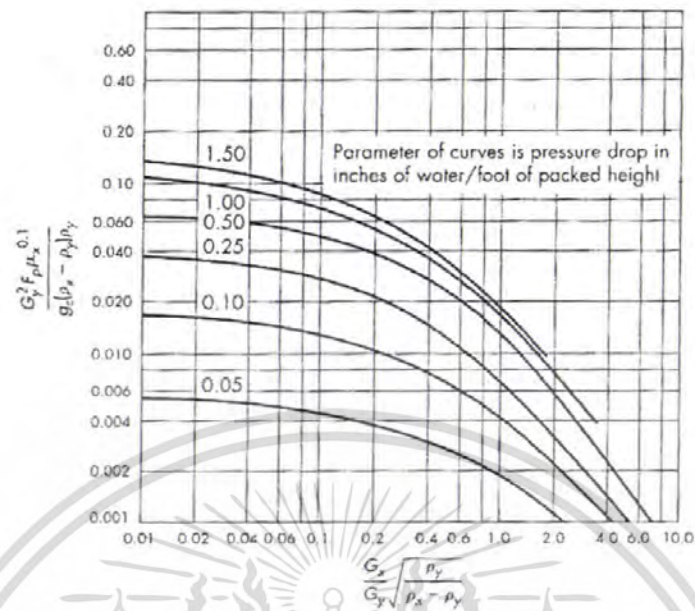
โดยความสัมพันธ์นี้ สามารถหาค่าสภาวะจุดท่วมได้ คือ เส้นที่เหนือเส้น $\Delta P = 1.5$ นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ แต่จากการศึกษาในปัจจุบันพบว่า สภาวะจุดท่วมจะเกิดในช่วงความดันลด 0.7 – 1.5 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ สำหรับ 2 – 3 นิ้ว ในการบรรจุ สมการอย่างง่ายสำหรับการหาความดันที่สภาวะจุดท่วม หาได้จาก

$$\Delta P_{\text{flood}} = 0.115 F_p^{0.7} \quad (19)$$

เมื่อ ΔP_{flood} คือ ความดันลดที่สภาวะจุดท่วม (นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ)

F_p คือ แฟ็คทิง แฟคเตอร์

สมการ (19) สามารถใช้ได้กับแฟ็คทิง แฟคเตอร์ ตั้งแต่ 10 – 60 สำหรับค่า F_p ที่สูงกว่านี้ ความดันลดที่สภาวะจุดท่วมจะเท่ากับ 2.0 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ [2]



Generalized correlation for pressure drop in packed columns. (1 in. H₂O/ft = 817 Pa/m) (After Eckert.¹)

รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ของความดันตกในหอบรรจุ [2]

2.15 กรด-เบส

ทฤษฎีกรด-เบส ของ อาร์เรเนียส “กรดคือสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H⁺) ส่วนเบสคือสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻)”

นิยามของอาร์เรเนียสมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น สารที่เป็นกรดหรือเบสนั้นต้องละลายในน้ำเท่านั้น ถ้าละลายในตัวทำละลายอื่นจะไม่จัดเป็นทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส และนอกจากนี้ทฤษฎีกรด-เบส ของอาร์เรเนียส ยังไม่สามารถอธิบายสารที่ในโมเลกุลไม่มี H⁺ หรือ OH⁻ ได้

ทฤษฎีกรด-เบส ของ เบรินสเตด-ลาวรี “กรดคือสารที่ให้โปรตรอน และเบสคือสารที่รับโปรตรอน”

นิยามของเบรินสเตด-ลาวรี สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารซึ่งในโมเลกุลไม่มี H⁺ หรือ OH⁻ เมื่อละลายน้ำแล้วสามารถแสดงสมบัติเป็นกรดและเบสได้

ทฤษฎีกรด-เบส ของ ลิวอิส “กรดคือสารที่สามารถรับคู่อิเล็กตรอน และเบสคือสารที่สามารถให้คู่อิเล็กตรอน” [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 การไทเทรต (Titration)

เป็นกระบวนการวิเคราะห์ หาปริมาณอย่างหนึ่ง ที่ทราบความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ถูกใช้ในการหาความเข้มข้นของสารละลายอีกชนิดหนึ่ง โดยให้สารเหล่านั้นทำปฏิกิริยาพอดีกัน เช่น การไทเทรต กรด-เบส การไทเทรตรีดอกซ์

2.16.1 การไทเทรต กรด-เบส (Acid-Base Titration)

เป็นกระบวนการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดหรือเบส โดยให้สารละลายกรดหรือเบสทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐานเบสหรือกรดซึ่งทราบความเข้มข้นที่แน่นอน และใช้อินดิเคเตอร์เป็นสารที่บอกจุดยุติ ด้วยการสังเกตจากสีที่เปลี่ยน ขณะไทเทรต pH จะเปลี่ยนไป ถ้าเลือกใช้อินดิเคเตอร์เหมาะสม จะบอกจุดยุติใกล้เคียงกับจุดสมมูล

2.16.2 จุดสมมูล (จุดสะเทิน = Equivalence point)

คือจุดที่กรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกัน จุดสมมูลจะมี pH เป็นอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของกรดและเบสที่นำมาไทเทรตกัน และขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดและเบส

2.16.3 จุดยุติ (End point)

คือจุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี ขณะไทเทรตกรด-เบสอยู่ จุดยุติจะใกล้เคียงกับจุดสมมูลได้นั้น จะต้องเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม ในทางปฏิบัติถือว่าจุดยุติ เป็นจุดเดียวกับจุดสมมูล

การหาความเข้มข้นของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์โดยการไทเทรต

1. ควบปริมาณของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ด้วยการบีบเปิดใส่ขวดชมพู
2. ไทเทรตสารละลายมาตรฐานจากบิวเรตลงในขวดชมพูที่มีแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์อยู่ด้วย
3. การไทเทรตกรด-เบสจนถึงจุดยุติโดยสังเกตจากอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี
4. อ่านปริมาตรของสารละลายกรด(สารละลายมาตรฐาน)ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายเบสนี้ บันทึกข้อมูล [11]

2.17 อินดิเคเตอร์

อินดิเคเตอร์กรด-เบส ที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการ ไทเทรตจะต้องมีค่า pH ที่จุดกึ่งกลางช่วงการเปลี่ยนสีใกล้เคียงหรือเท่ากับ pH ที่จุดสมมูลของปฏิกิริยา นอกจากนี้ การเลือกใช้อินดิเคเตอร์กรด-เบส ต้องพิจารณาสีที่ปรากฏ จะต้องมีความเข้มมากพอที่จะมองเห็นได้ง่าย หรือเห็นการเปลี่ยนสีได้ชัดเจน ช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ จะเกิดขึ้นในช่วง 2 หน่วย pH

ตัวอย่างเช่น การไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่ pH ของสารละลายผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการไทเทรต เมื่อถึงจุดสมมูลมีค่าใกล้เคียง 7 ก็ควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ 7 เช่น อาจใช้โบรโมไทมอลบลูหรือ ฟีนอล์ฟทาลีน ซึ่งจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู

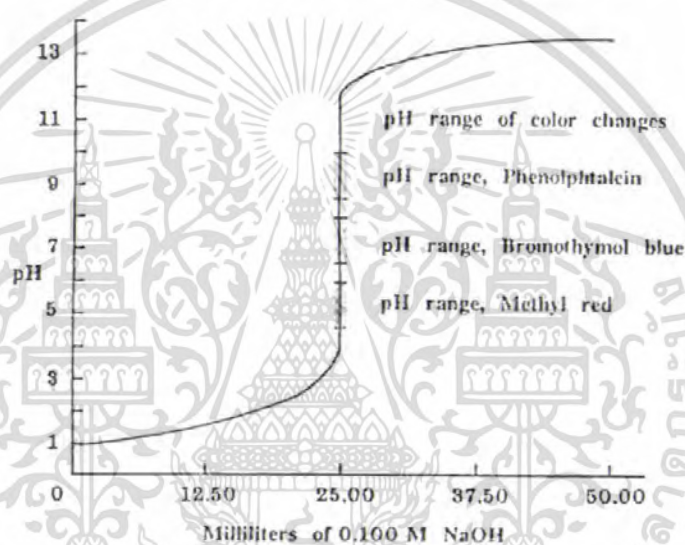
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง pH 8.20-10.00 เป็นต้น ดังนั้น ถ้าทราบ pH ของสารละลายที่จุดสมมูลของปฏิกิริยาการไทเทรตก็สามารถเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมได้

การเลือกอินดิเคเตอร์ ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส เพราะที่จุดสมมูลของแต่ละปฏิกิริยานั้น มีค่า pH ที่ต่างกัน

กราฟของการไทเทรตจะช่วยในการเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมได้ดี เพราะกราฟจะแสดงค่า pH ของสารละลายขณะไทเทรต ตั้งแต่ก่อนจุดสมมูล ที่จุดสมมูล และหลังจุดสมมูล จุดที่ pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งเป็นจุดสมมูลนั้น จะบอกช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ที่จะเลือกใช้ ในการพิจารณาเลือกอินดิเคเตอร์ จากกราฟของการไทเทรต จะแบ่งออกตามชนิดของปฏิกิริยาดังนี้

2.17.1 อินดิเคเตอร์สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสแก่



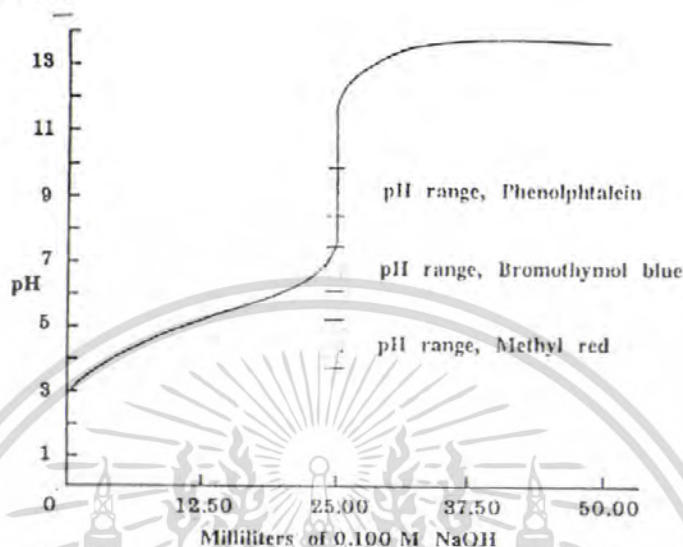
รูปที่ 2.18 แสดงการไทเทรตระหว่างกรดแก่และเบสแก่ จะแสดง pH ที่จุดสมมูลอยู่ที่ pH ใกล้เคียง 7 [13]

จากกราฟรูปที่ 2.18 จะเห็นว่าค่า pH เปลี่ยนแปลงรวดเร็วที่จุดใกล้ๆ จุดยุติ (ตั้งแต่ pH 4-10) ดังนั้นอินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนแปลงสีระหว่าง 4 ถึง 10 ก็สามารถนำมาใช้ได้ ซึ่งอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมที่อาจใช้ได้ ได้แก่ เมทิลเรด (4.4-6.2) โบรโมไทมอลบลู (6.0-7.5) และฟีนอล์ฟทาลีน (8.2-10.0) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 แต่เรามักจะนิยมใช้ฟีนอล์ฟทาลีน เพราะสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีได้ชัดเจน สำหรับ โบรโมคลีซอล กรีน (3.8-5.4) ไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นอินดิเคเตอร์สำหรับกรดแก่และเบสแก่ เพราะช่วงเปลี่ยนสีที่เป็นรูปเบสของอินดิเคเตอร์ จะเกิดก่อนจุดสมมูล ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการบอกจุดยุติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.2 อินดิเคเตอร์สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่

การเลือกอินดิเคเตอร์สำหรับการไทเทรตกรดอ่อน เช่น กรดแอซิดิก กับเบสแก่ เช่น NaOH จะมีข้อจำกัดมากกว่าที่จุดสมมูลของการไทเทรต สารละลายจะมีโซเดียมแอซิเตต ทำให้สารละลายเป็นเบส มี pH มากกว่า 7

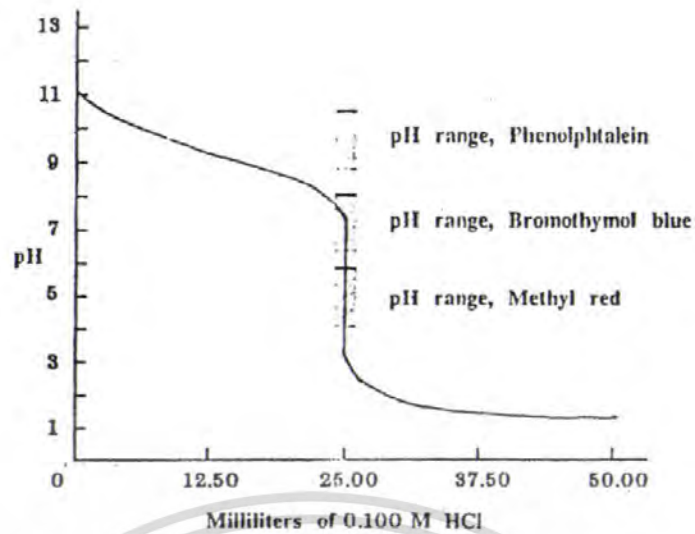


รูปที่ 2.19 แสดงการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่และอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม [13]

จากกราฟรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่า เมทิลเรด จะเปลี่ยนสีก่อนจุดสมมูลจึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นอินดิเคเตอร์สำหรับกรดแอซิดิกกับ NaOH (เข้มข้น 0.100 M) ฟีนอล์ฟทาลีนเปลี่ยนสีที่ช่วงจุดสมมูลพอดี โบรโมไทมอลบลู อาจจะใช้เป็นอินดิเคเตอร์ได้ดี เมื่อใช้สารมาตรฐานเทียบ

2.17.3 อินดิเคเตอร์สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน

การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายขณะไทเทรตเบสอ่อน เช่น NH_3 กับกรดแก่ เช่น HCl จะค่อยๆ ลดลง เมื่อใช้ HCl เป็นสารมาตรฐาน ที่จุดยุติจะได้เกลือ NH_4Cl และ $\text{pH} < 7$ ในการไทเทรต 0.100 M NH_3 กับ 0.100 M HCl จะได้กราฟของการไทเทรต (ดังรูปที่ 2.20)



รูปที่ 2.20 กราฟของการไทเทรตระหว่าง 0.1000 M NH_3 กับ 0.1000 M HCl [13]

จากกราฟรูปที่ 2.20 เราสามารถพิจารณาช่วง pH 3-7.5 ในการเลือกอินดิเคเตอร์ ซึ่งเราอาจใช้โบรโมไทมอลบลูหรือเมทิลเรดได้ แต่ไม่ควรใช้ฟีนอล์ฟทาไลน์เพราะช่วง pH ของฟีนอล์ฟทาไลน์มากกว่า 7 ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการบอกจุดสมมูล [13]

ตารางที่ 2.2 แสดงช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ [13]

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH
เมทิลไวโอเลต	-0.3-1.8
เมทิลออเรนจ์	2.8-3.8
คองโกเรด	2.8-4.8
เมทิลเรด	3.8-6.1
โบรโมไทมอลบลู	6.0-7.9
ลิตมัส	5.0-8.1
ฟีนอลเรด	6.8-8.6
ครีซอลเรด	7.0-9.1
ไทมอลบลู	0.5-1.8 และ 7.6-9.2
ฟีนอล์ฟทาไลน์	8.0-9.6
ไทมอลทาไลน์	10.2-11.7
โทรฟีโอสีนโอ	11.1-12.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีผู้วิจัยในเรื่องของการออกแบบหอสตรีปปีง เช่น S. H. Cypes และ J. R. Engstrom [5] ได้ศึกษาในเรื่องของการสร้างคอตมันท์ที่ใช้ในการสตรีปปีงแบบใหม่เพื่อเทียบประสิทธิภาพกับหอสตรีปปีงแบบบรรจุที่ใช้ทั่วไป และ M. R. Shah และคณะ [6] ได้ศึกษาเรื่องกระบวนการผสมระหว่างกระบวนการพอร์แนวพอร์ชันกับกระบวนการสตรีปปีงด้วยอากาศในการแยกสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายออกจากร้าน้ำบาดาล ซึ่งในบทความนี้มีการอธิบายทฤษฎีและสมการที่ใช้ในการออกแบบหอดูดซึมแบบบรรจุ [5, 6]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การทดลองหาอัตราการไหลสูงสุดของของเหลวและก๊าซที่เกิดสภาวะจุดท่วมของหอบรรจุ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหอบรรจุ

1. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.1 อุปกรณ์

- 1.1.1 หอคอยชิมโดยใช้ขวดเหล็กเป็นวัสดุบรรจุ
- 1.1.2 ป้อนขนาด 50 – 150 ลิตรต่อนาที ที่มีการบายพาส (by pass)
- 1.1.3 กระจบกดวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร
- 1.1.4 นาฬิกาจับเวลา
- 1.1.5 ขวดบรรจุน้ำปริมาตร 6 ลิตร และ ถังบรรจุน้ำขนาดใหญ่
- 1.1.6 ท่ออย่าง
- 1.1.7 วาล์วที่ต่อจากท่ออัดอากาศ โดยมีเกจวัดความดันอยู่ด้วย

1.2 สารเคมี

- 1.2.1 น้ำ
- 1.2.2 อากาศ

2 ขั้นตอนการทดลอง

- 2.1 ต่อชุดทดลอง โดยต่อท่อจากปั๊มเข้าสู่ด้านบนของหอและต่อท่อจากท่ออัดอากาศที่มีวาล์วติดอยู่เข้าทางด้านล่างของหอ
- 2.2 ปิดวาล์วที่ปั้มน้ำเข้าหอ เปิดวาล์วบายพาสจนสุดแล้วเปิดปั๊ม
- 2.3 เปิดวาล์วที่ปั้มน้ำเข้าหออย่างช้าๆ จนได้อัตราการไหลในระดับหนึ่ง สังเกตการไหลที่ด้านบนของหอ
- 2.4 เปิดวาล์วอัดอากาศเข้าสู่ด้านล่างหออย่างช้าๆ ให้มีความดันในหอไม่เกิน 0.1 เมกะปาสคาล สังเกตการไหลภายในหอ
- 2.5 ทำซ้ำข้อ 2.3 – 2.4 จนสังเกตเห็นที่ด้านบนของหอเกิดสภาวะจุดท่วม
- 2.6 ทำการหาอัตราการไหลของน้ำและอากาศที่ทำให้เกิดสภาวะจุดท่วมโดย
 - 2.6.1 อัตราการไหลของน้ำวัด โดยการให้น้ำไหลจากปั๊มเข้าสู่ถังแล้วจับเวลาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วหาปริมาตรน้ำโดยใช้กระจบกดวง
 - 2.6.2 อัตราการไหลของอากาศวัด โดยการแทนที่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของของเหลวและก๊าซ กับความเข้มข้นที่ลดลงของแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการสตริปปีงแล้ว

1. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.1 อุปกรณ์

- 1.1.1 หอคูดซึม โดยใช้ขวดพลาสติกเป็นวัสดุบรรจุ
- 1.1.2 ปิ๊มที่มีการทำบายพาส
- 1.1.3 โรตารีมิเตอร์วัดอัตราการไหลของของเหลว
- 1.1.4 ท่อยาง
- 1.1.5 บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
- 1.1.6 นาฬิกาจับเวลา
- 1.1.7 ถังขนาด 20 แกลลอน และ 4.5 แกลลอน
- 1.1.8 เกจวัดความดัน
- 1.1.9 บิวเรตและขวด
- 1.1.10 ปีเปตขนาด 1 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร
- 1.1.11 ลูกยางดูดสารเคมี
- 1.1.12 ขวดรูปชมพู
- 1.1.13 ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 1.1.14 กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร

1.2 สารเคมี

- 1.2.1 น้ำ
- 1.2.2 อากาศ
- 1.2.3 แอมโมเนียไฮดรอกไซด์เข้มข้น 28 - 30%
- 1.2.4 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 36%
- 1.2.5 เมทิลเรด

2. ขั้นตอนการทดลอง

- 2.1 จัดชุดทดลองหอสตริปปีง
- 2.2 เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 % โดยน้ำหนัก
- 2.3 เตรียมสารละลายแอมโมเนียในถังขนาด 20 แกลลอนให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 0.25 % โดยน้ำหนัก โดยการเก็บตัวอย่างของสารละลายปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด
- 2.4 ทำการไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนเพื่อหาความเข้มข้นเฉลี่ย หากยังไม่ได้ความเข้มข้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้องการ ต้องทำการเติมสารละลายแอมโมเนียหรือน้ำเพิ่มเข้าไป แล้วเก็บตัวอย่างสารละลายที่ผสมใหม่มาไทเทรตเพื่อหาความเข้มข้นใหม่ จนกว่าจะได้ความเข้มข้นประมาณ 0.25% โดยน้ำหนัก
- 2.5 ทำการต่อท่อขงออกมาจากวาล์วที่อัดอากาศ เปิดวาล์วอัดอากาศแล้วทำการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยวิธีการแทนที่น้ำให้ได้อัตราการไหลของอากาศค่าหนึ่ง
 - 2.6 ต่อท่อขงกลับเข้าไปที่หอสตริปปีง
 - 2.7 เปิดปั้มให้ทำงาน
 - 2.8 เปิดวาล์วให้สารละลายแอมโมเนียไหลเข้าสู่ด้านบนของหอที่อัตราการไหล 65 ลิตรต่อชั่วโมงโดยอ่านค่าจากรอตามิเตอร์
 - 2.9 รอประมาณ 30 วินาที แล้วจึงเก็บตัวอย่างสารละลายที่ออกทางก้นหอปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด
 - 2.10 ทำซ้ำข้อ (2.8) – (2.9) โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียจาก 65 ลิตรต่อชั่วโมง เป็น 100, 150 และ 200 ลิตรต่อชั่วโมง
 - 2.11 นำสารละลายตัวอย่างที่เก็บได้ทั้งหมดไปหาความเข้มข้นด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 % โดยน้ำหนัก โดยใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์
 - 2.12 ทำซ้ำข้อ (2.5) – (2.11) โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศอีก 3 ค่า
 - 2.13 จากอัตราการไหลของของเหลวและอากาศสูงสุดที่ใช้ ทำการเพิ่มอัตราการไหลของของเหลวจนเกิดสภาวะจุดท่วม แล้วทำการเก็บตัวอย่างสารละลายปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด ไปหาความเข้มข้นด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 % โดยน้ำหนัก โดยใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์

ส่วนที่ 3 การจำลองกระบวนการสตริปปีงโดยการใช้โปรแกรม Hysys 3.2

ในส่วนนี้เป็นการนำค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองมาจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys 3.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

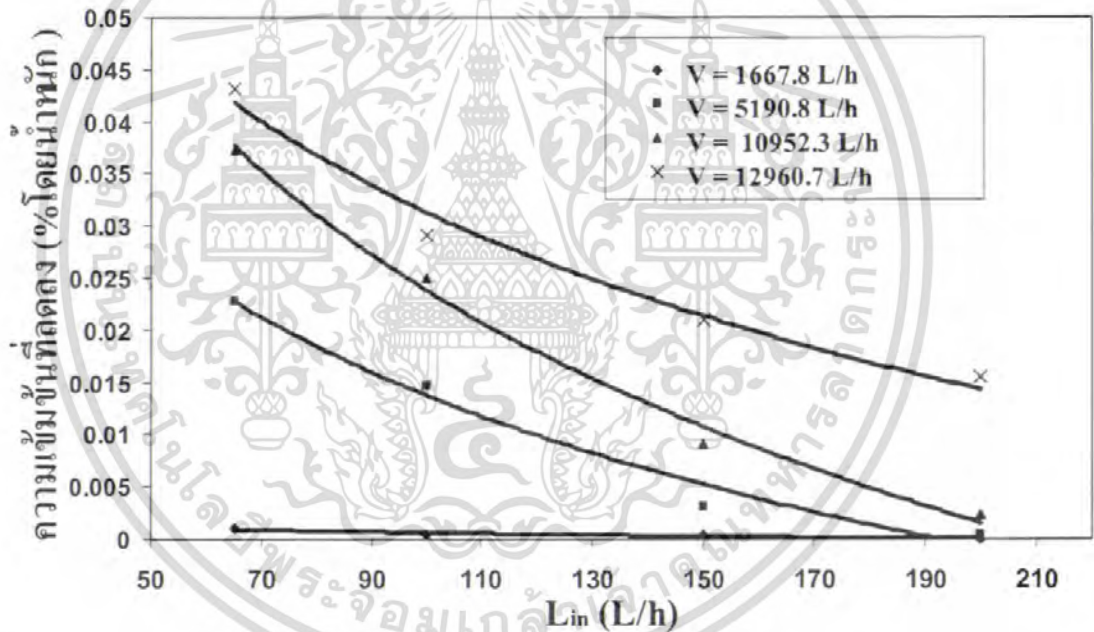
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 อัตราการไหลที่ทำให้เกิดสภาวะจุดท่วมในหอบรรจุ

อัตราการไหลของของเหลว	540	ลิตรต่อชั่วโมง
อัตราการไหลของก๊าซ	12960.7	ลิตรต่อชั่วโมง

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของอากาศคงที่

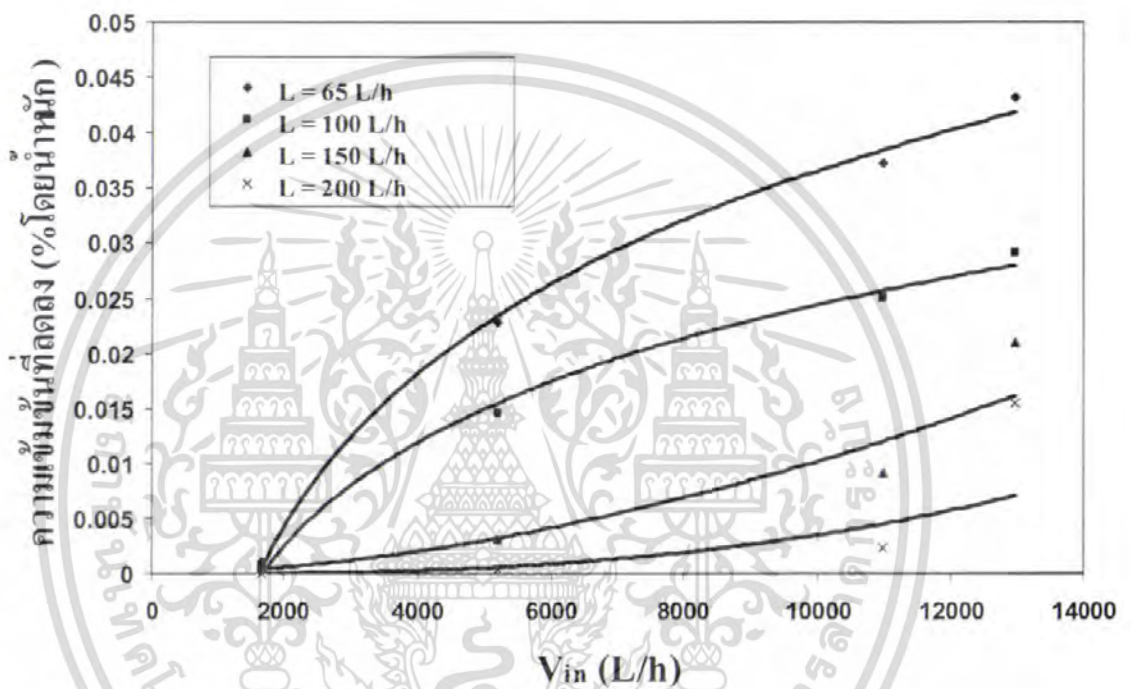


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.1 ที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ มีความสัมพันธ์เป็นไปในลักษณะเดียวกัน นั่นคือ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนีย จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการสตรีปิงลดลง (ความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียแสดงในรูปของประสิทธิภาพในการสตรีปิง) เนื่องจากของเหลวที่ไหลผ่านวัสดุบรรจุลงไปนั้นจะเกิดชั้นฟิล์มของของเหลวบางๆ เคลือบที่ผิวของวัสดุบรรจุ และที่ผิวของชั้นฟิล์มของของเหลวนั้นจะสัมผัสกับก๊าซ ทำให้เกิดแรงเอกสารถึงเป็นเอกสารที่ส่งวนไวสำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขับเคลื่อน (Driving force) ให้ตัวถูกละลายที่อยู่ในวัฏภาคของเหลวเกิดการถ่ายเทมวลไปยังวัฏภาค ก๊าซ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของเหลว จะทำให้ชั้นของของเหลวที่มีความหนามากขึ้น ในทางกลับกัน ชั้นของก๊าซจะบางลงทำให้มีส่วนของของเหลวที่ไม่เกิดการถ่ายเทมวลเพิ่มมากขึ้น

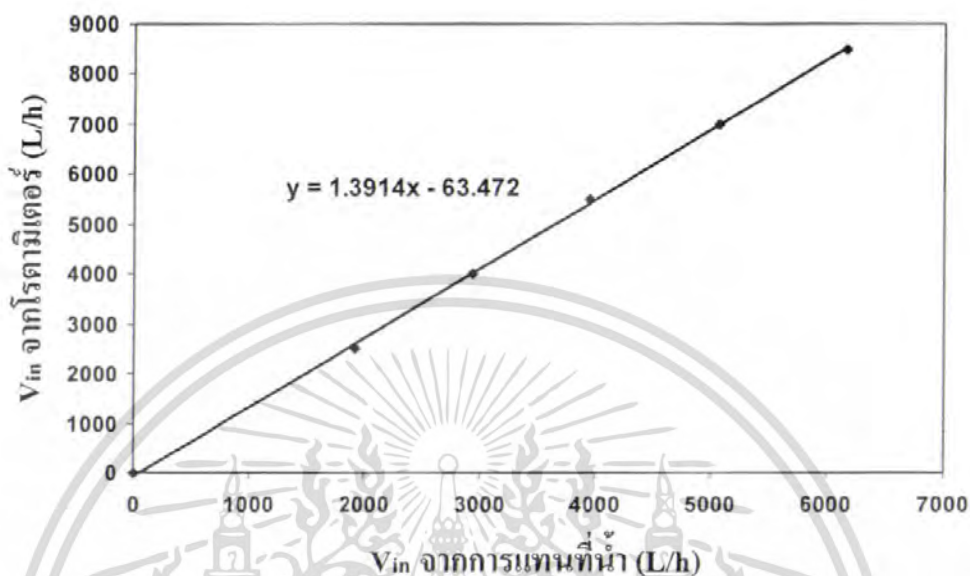
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียค่าต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.2 ที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่ มีความสัมพันธ์เป็นไปในลักษณะเดียวกัน นั่นคือ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการสตรีปิงเพิ่มขึ้น เนื่องจาก อัตราการไหลของอากาศเป็นสัดส่วน โดยตรงกับปริมาณของอากาศที่ผ่านเข้าหอในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งเมื่ออัตราการไหลของอากาศมากจะทำให้มีปริมาณของอากาศที่มากในการพามวลของตัวถูกละลายออกจากวัฏภาคของเหลว การถ่ายเทมวลก็จะเกิดมากขึ้น

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศที่วัดจากการแทนที่น้ำกับอัตราการไหลของอากาศที่อ่านค่าจากโรตاميเตอร์



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศที่วัดจากการแทนที่น้ำกับอัตราการไหลของอากาศที่อ่านค่าจากโรตاميเตอร์

จากกรวยรูปที่ 4.3 เป็นกราฟที่ใช้สอบเทียบ (Calibrate) อัตราการไหลของอากาศ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศที่วัดจากการแทนที่น้ำกับอัตราการไหลของอากาศที่อ่านค่าจากโรตاميเตอร์นั้นเป็นกราฟเป็นเส้นตรง ทำให้สามารถสอบเทียบอัตราการไหลที่วัดจากการแทนที่น้ำเป็นอัตราการไหลที่อ่านค่าจากโรตاميเตอร์ได้ เมื่อทำการสอบเทียบค่ากับอัตราการไหลที่ใช้ทดลองแล้วจะได้ผลออกมาดังนี้

ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการแทนที่น้ำเทียบกับอัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการอ่านค่าที่โรตاميเตอร์

อัตราการไหลที่ได้จากการแทนที่น้ำ (ลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลที่ได้จากการอ่านโรตاميเตอร์ (ลิตรต่อชั่วโมง)
1244.24	1667.76
3776.22	5190.77
7917.06	10952.32
9360.50	12960.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys 3.2

Workbook - Case (Main)					
Name	liquidin	air	liquidout	gasesout	"" New ""
Vapour Fraction	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	
Temperature [C]	28.00	28.00	25.00	27.97	
Pressure [kPa]	101.3	101.3	101.3	101.3	
Molar Flow [gmole/s]	0.9987	0.1461	0.9934	0.1515	
Mass Flow [kg/h]	64.76	15.23	64.42	15.57	
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	6.500e-002	1.732e-002	6.464e-002	1.767e-002	
Heat Flow [kJ/s]	-284.2	1.138e-002	-283.0	-1.201	
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.846e+005	77.85	-2.849e+005	-7926	
Comp Mole Frac (Ammonia)	0.0028	0.0000	0.0024	0.0024	

Streams Unit Ops

ProductBlock liquidout Tower Fluid Pkg All

Include Sub-Flowsheets
 Show Name Only
Number of Hidden Objects: 0

Horizontal Matrix

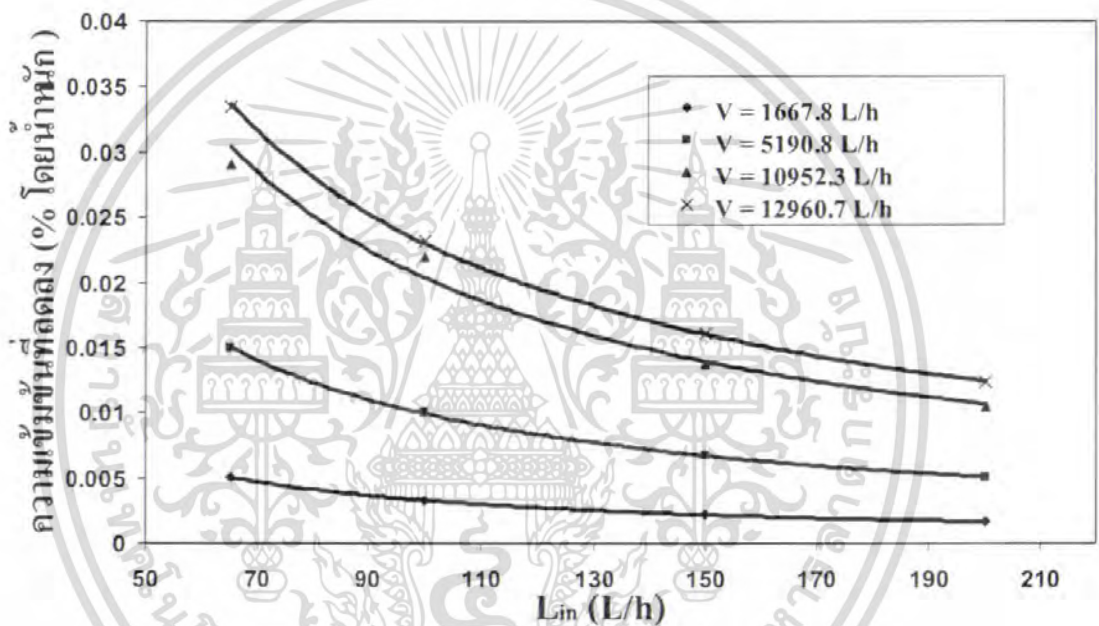
รูปที่ 4.4 ผลการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys ที่อัตราการไหลของอากาศ 12960.7 ลิตรต่อชั่วโมงและอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนีย 65 ลิตรต่อชั่วโมง

Tray Sizing: Packing																																			
Performance	Section Results <input type="radio"/> Trayed <input checked="" type="radio"/> Packed Export Pressures View Warnings...																																		
Results	Packing Results																																		
Trayed																																			
Table																																			
Plot																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Section</th> <th>Section_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Internals</td> <td>Packed</td> </tr> <tr> <td>Section Diameter [m]</td> <td>0.1064</td> </tr> <tr> <td>Max Flooding [%]</td> <td>38.98</td> </tr> <tr> <td>X-Sectional Area [m²]</td> <td>8.887e-003</td> </tr> <tr> <td>Section Height [m]</td> <td>1.261</td> </tr> <tr> <td>Section DeltaP [kPa]</td> <td>0.2589</td> </tr> <tr> <td>DP per Length [kPa/m]</td> <td>0.2511</td> </tr> <tr> <td>Flood Gas Vel. [m³/h-m²]</td> <td>3885</td> </tr> <tr> <td>Flood Gas Vel. [m/s]</td> <td>1.079</td> </tr> <tr> <td>Est. # Pieces of Packing</td> <td>4513</td> </tr> <tr> <td>Est. Mass of Packing [kg]</td> <td>13.5</td> </tr> <tr> <td>Est. Packing Cost (US\$)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>HETP [m]</td> <td>0.1577</td> </tr> <tr> <td>HETP Correlation</td> <td>Hands</td> </tr> <tr> <td>Packing Correlation</td> <td>Robbins</td> </tr> <tr> <td>Packing Type</td> <td>Raschig Rings 1</td> </tr> </tbody> </table>	Section	Section_1	Internals	Packed	Section Diameter [m]	0.1064	Max Flooding [%]	38.98	X-Sectional Area [m ²]	8.887e-003	Section Height [m]	1.261	Section DeltaP [kPa]	0.2589	DP per Length [kPa/m]	0.2511	Flood Gas Vel. [m ³ /h-m ²]	3885	Flood Gas Vel. [m/s]	1.079	Est. # Pieces of Packing	4513	Est. Mass of Packing [kg]	13.5	Est. Packing Cost (US\$)		HETP [m]	0.1577	HETP Correlation	Hands	Packing Correlation	Robbins	Packing Type	Raschig Rings 1
Section	Section_1																																		
Internals	Packed																																		
Section Diameter [m]	0.1064																																		
Max Flooding [%]	38.98																																		
X-Sectional Area [m ²]	8.887e-003																																		
Section Height [m]	1.261																																		
Section DeltaP [kPa]	0.2589																																		
DP per Length [kPa/m]	0.2511																																		
Flood Gas Vel. [m ³ /h-m ²]	3885																																		
Flood Gas Vel. [m/s]	1.079																																		
Est. # Pieces of Packing	4513																																		
Est. Mass of Packing [kg]	13.5																																		
Est. Packing Cost (US\$)																																			
HETP [m]	0.1577																																		
HETP Correlation	Hands																																		
Packing Correlation	Robbins																																		
Packing Type	Raschig Rings 1																																		
Design Performance Dynamics																																			
Delete	<input type="checkbox"/> Ignored																																		

รูปที่ 4.5 ผลการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys ซึ่งแสดงรายละเอียดของหอบรรจุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.4 เป็นตัวอย่างของผลการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys ที่อัตราการไหลของอากาศ 12960.7 ลิตรต่อชั่วโมงและอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนีย 65 ลิตรต่อชั่วโมง และในรูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดต่างๆ ของหอบรรจุที่โปรแกรมคำนวณออกมา โดยจะเห็นได้ว่าความสูงของหอบรรจุที่ได้จากโปรแกรม Hysys นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1.261 เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความสูงของหอที่ใช้ทดลองจริงคือ 1.29 เมตร

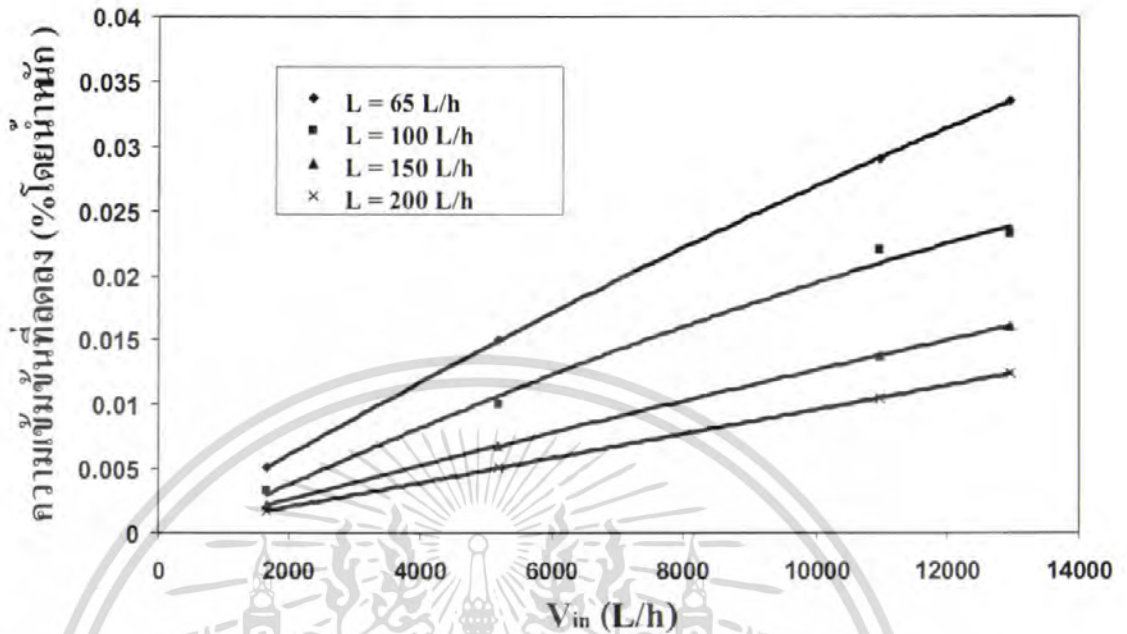
4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของอากาศคงที่



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆ จากการใช้โปรแกรม Hysys

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่

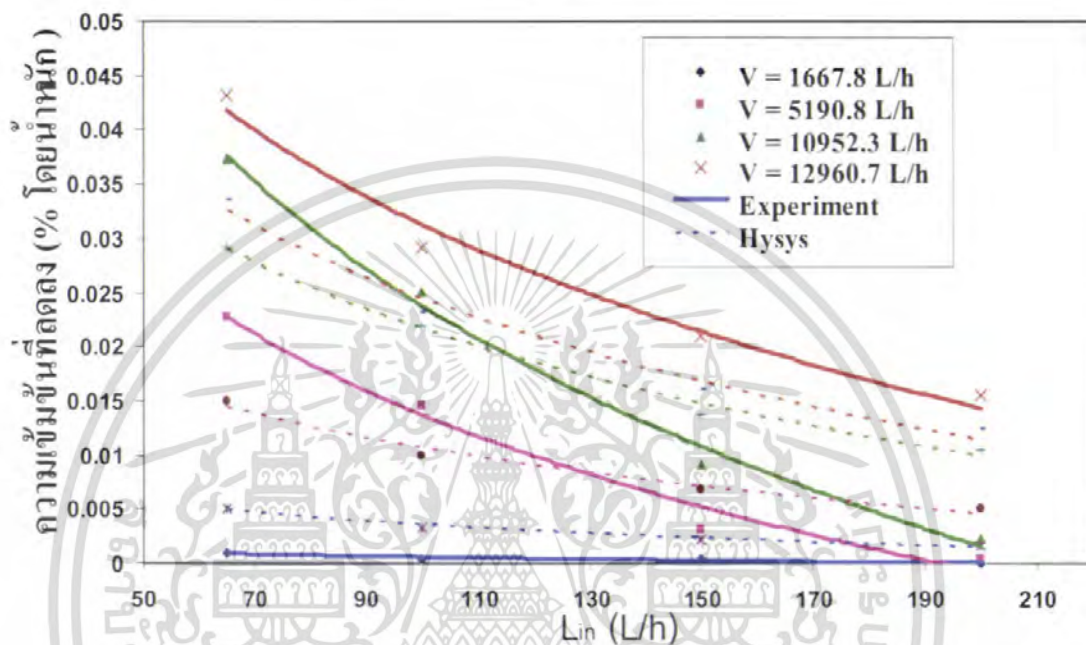


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียค่าต่างๆ จากการใช้โปรแกรม Hysys

จากกราฟรูปที่ 4.6 – 4.7 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของทั้ง 2 กราฟ มีแนวโน้มที่คล้ายกับกราฟที่ได้จากการทดลอง แต่ความชันของกราฟจะแตกต่างกัน เนื่องมาจากตัวแปรบางตัวที่ใช้ในการจำลองกระบวนการนั้น แตกต่างจากตัวแปรที่ใช้ในการทดลองจริง ทำให้ประสิทธิภาพที่ได้แตกต่างกัน และจากการเปรียบเทียบกราฟทั้งสองรูป สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ มีผลต่อประสิทธิภาพในการสตริปปีงมากกว่าการเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนีย โดยความชันของเส้นกราฟรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศนั้นจะมีความชันมากกว่าเส้นกราฟรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นการปรับค่าอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนีย

4.6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองจริงกับผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys 3.2

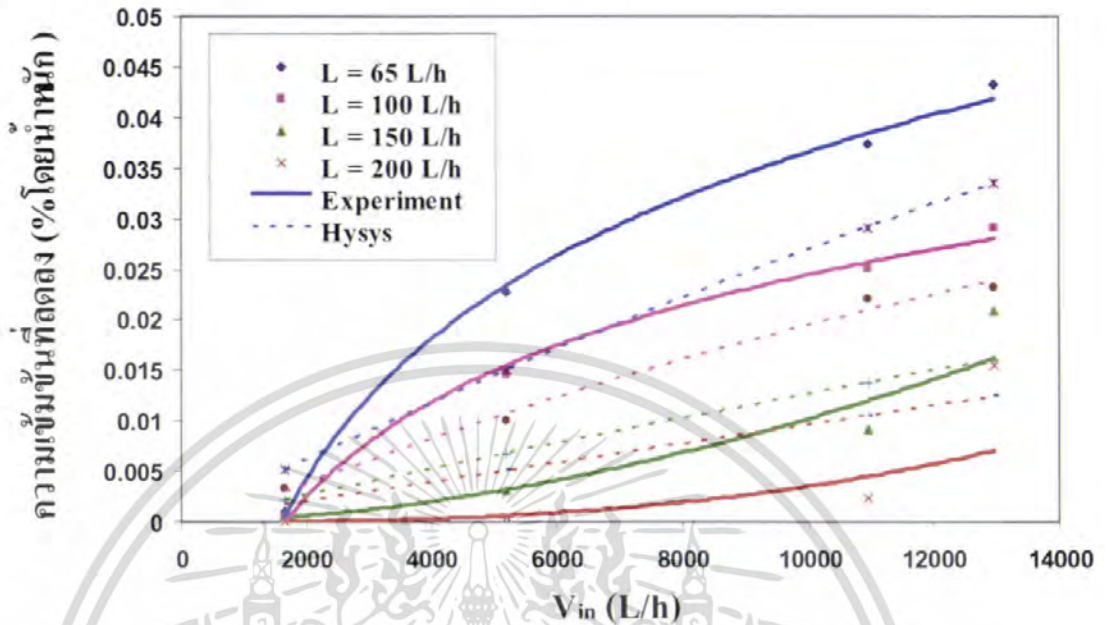
4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของอากาศคงที่



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่ได้จากการทดลองและจากการใช้โปรแกรม Hysys

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่

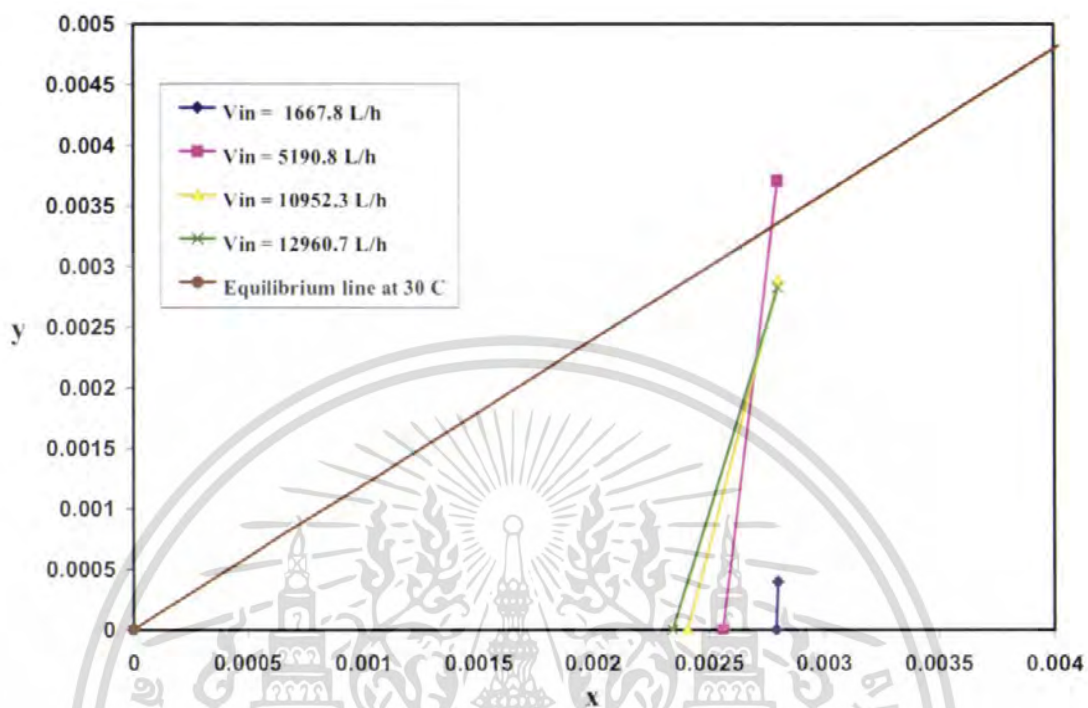


รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายแอมโมเนียที่ได้จากการทดลองและจากการใช้โปรแกรม Hysys

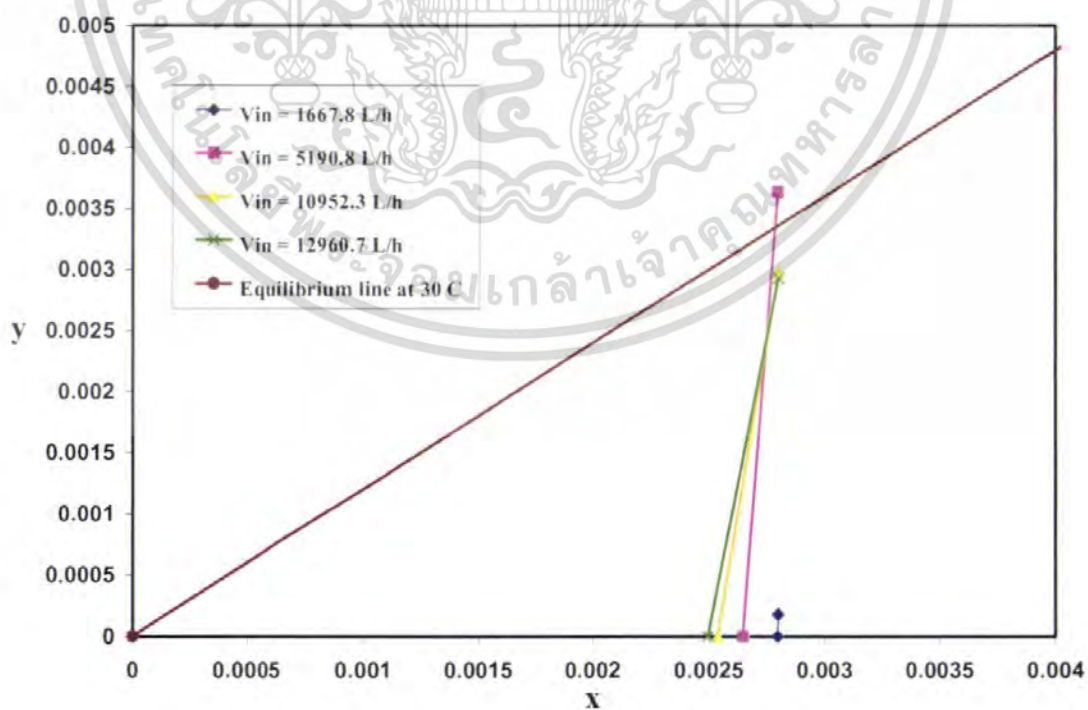
จากกราฟรูปที่ 4.8-4.9 จะเห็นได้ว่ากราฟที่นำมาเปรียบเทียบนั้น มีแนวโน้มที่ไปในทิศทางเดียวกัน แต่ผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม Hysys จะยังมีค่าที่แตกต่างกันอยู่ เนื่องมาจากตัวแปรบางตัวที่ใช้ในการจำลองกระบวนการนั้น แตกต่างจากตัวแปรที่ใช้ในการทดลองจริง เช่น วัสดุบรรจุที่ใช้ในการจำลองกระบวนการนั้น เป็นวัสดุบรรจุมาตรฐานที่มีอยู่ทั่วไป ซึ่งไม่เหมือนกับวัสดุบรรจุที่ใช้ทดลอง ค่าแฟล็กกิงแฟลคเตอร์ของวัสดุบรรจุจึงแตกต่างกัน แต่ในการจำลองกระบวนการนั้น ได้เลือกใช้วัสดุบรรจุมาตรฐานที่มีค่าแฟล็กกิงแฟลคเตอร์ใกล้เคียงกับวัสดุบรรจุที่ใช้ในการทดลองแล้ว แต่ค่าแฟล็กกิงแฟลคเตอร์ของวัสดุบรรจุทั้งสองชนิดก็ยังคงแตกต่างกันอยู่มาก ทำให้ค่าของผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 เส้นปฏิบัติการที่ได้จากการทดลอง

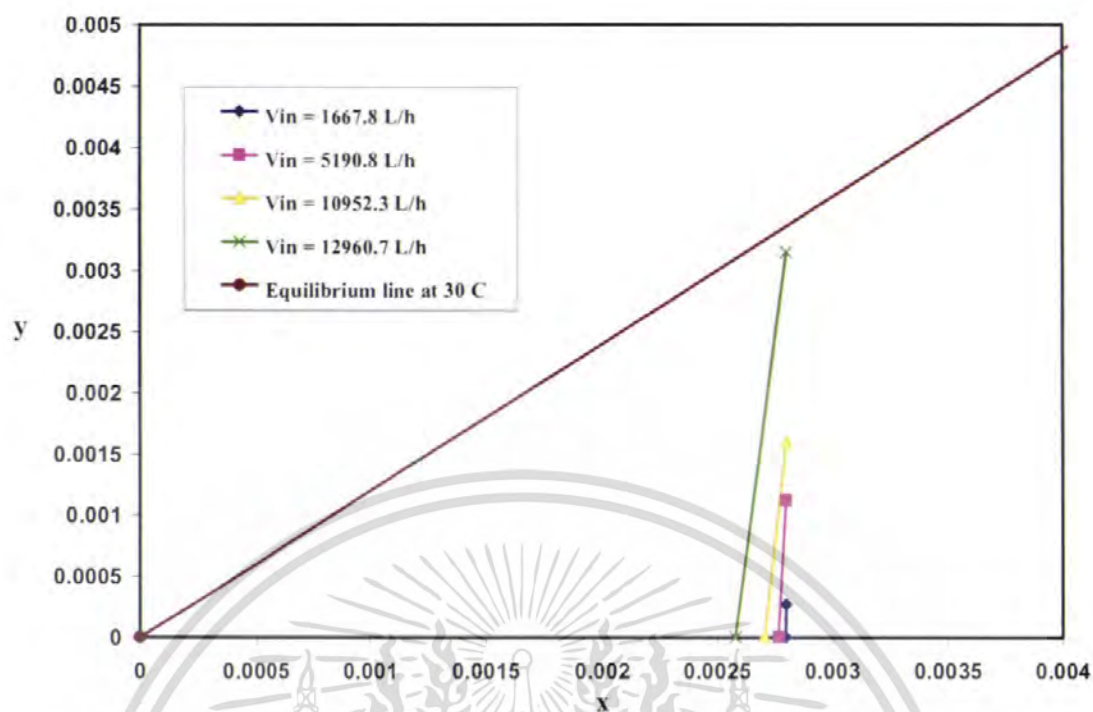


รูปที่ 4.10 เส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของสารละลายเอมโมเนียคงที่เท่ากับ 65 ลิตรต่อชั่วโมง

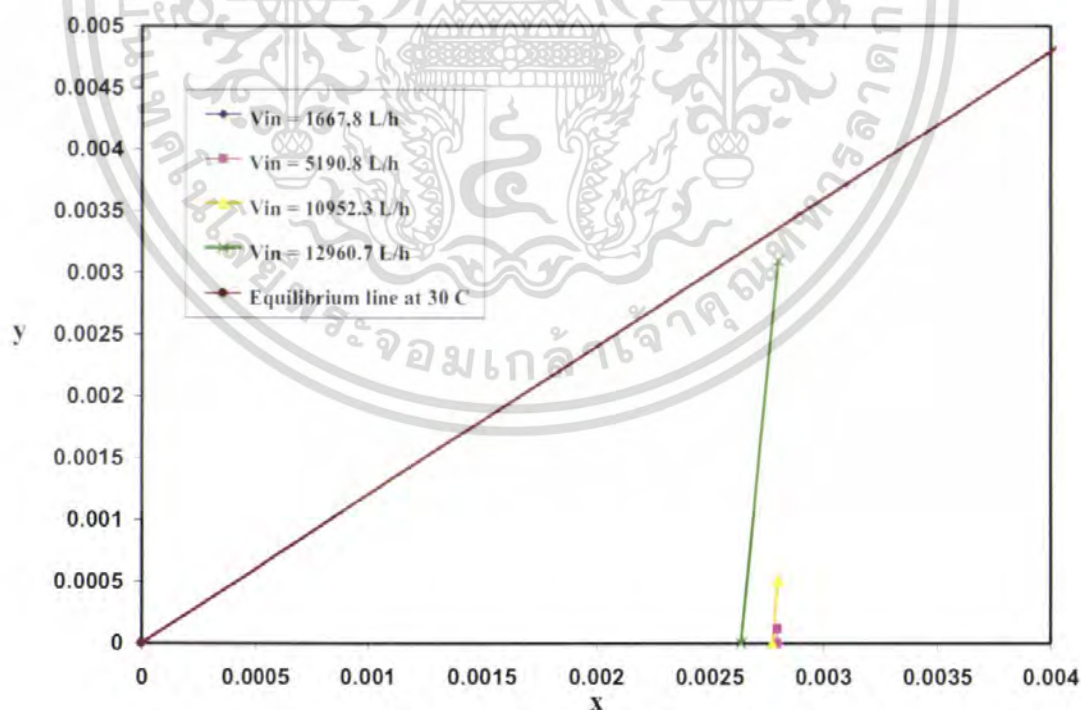


รูปที่ 4.11 เส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของสารละลายเอมโมเนียคงที่เท่ากับ 100 ลิตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 เส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่เท่ากับ 150 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.13 เส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่เท่ากับ 200 ลิตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10-4.13 ที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่ เท่ากับ 65, 100, 150 และ 200 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ เส้นปฏิบัติการจะมีความชันลดลง ทั้งนี้ เนื่องจาก สมการของเส้นปฏิบัติการในระบบที่มีความเข้มข้นเจือจาง เท่ากับ L'/V' ดังนั้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มสูงขึ้น ความชันของเส้นปฏิบัติการจึงลดลง ซึ่งทำให้สตรีปสารละลายได้มากขึ้น จากรูปที่ 4.8-4.11 จะเห็นได้ว่า เส้นปฏิบัติการที่ได้จากการทดลองจะต่างไปจากเส้นปฏิบัติการจากรูปที่ 2.15b เนื่องจาก เส้นปฏิบัติการจากรูปที่ 2.15b นั้น มีการกำหนดความเข้มข้นของตัวถูกละลายในของเหลวที่ขาเข้าและขาออกจากหอ และกำหนดความเข้มข้นของตัวถูกละลายในก๊าซขาเข้า ทำให้จุด (x_1, y_1) ของเส้นปฏิบัติการแต่ละเส้นเป็นจุดเดียวกัน แต่ในการทดลองนั้น ได้กำหนดความเข้มข้นของตัวถูกละลายในของเหลวที่เข้าและความเข้มข้นของตัวถูกละลายในก๊าซขาเข้าเท่านั้น ทำให้จุด (x_1, y_1) ของเส้นปฏิบัติการแต่ละเส้นเป็นจุดเดียวกัน จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 5190.8 ลิตรต่อชั่วโมง จุด (x_2, y_2) อยู่เหนือเส้นสมดุล อาจมีผลเนื่องจาก ขณะที่เก็บสารละลายตัวอย่าง อาจมีแอมโมเนียบางส่วนระเหยออกไป จึงทำให้ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียขาออก มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและวิเคราะห์

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 12960.7 ลิตรต่อชั่วโมง จะได้อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียที่ทำให้เกิดสภาวะจุดท่วมในหอบรรจุ คือ 540 ลิตรต่อชั่วโมง

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ มีความสัมพันธ์เป็นไปในลักษณะเดียวกัน นั่นคือ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนีย จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการสตรippingลดลง เนื่องจากของเหลวที่ไหลผ่านวัสดูดซับลงไปในนั้นจะเกิดชั้นฟิล์มของของเหลวบางๆ เคลือบที่ผิวของวัสดูดซับ และที่ผิวของชั้นฟิล์มของของเหลวนี้ จะสัมผัสกับก๊าซ ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน (Driving force) ให้ตัวถูกละลายที่อยู่ในวัฏภาคของเหลวเกิดการถ่ายเทมวลไปยังวัฏภาคก๊าซ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของเหลว จะทำให้ชั้นของของเหลวนี้มีความหนามากขึ้น ในทางกลับกัน ชั้นของก๊าซจะบางลงทำให้มีส่วนของของเหลวที่ไม่เกิดการถ่ายเทมวลเพิ่มมากขึ้น และการเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายยังทำให้เวลาที่สารละลายเกิดการแลกเปลี่ยนมวลกับอากาศลดน้อยลงด้วย ซึ่งที่อัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 12960.7 L/h เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียจาก 65 เป็น 200 L/h จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการสตรippingลดลงจาก 16.3% เหลือ 5.9% ในทางกลับกัน ที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์คงที่ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการสตรippingเพิ่มขึ้น เนื่องจาก อัตราการไหลของอากาศเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของอากาศที่ผ่านเข้าหอในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งเมื่ออัตราการไหลของอากาศสูงจะทำให้มีปริมาณของอากาศที่มากในการพามวลของตัวถูกละลายออกจากวัฏภาคของเหลว การถ่ายเทมวลก็จะเกิดมากขึ้น และการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศทำให้อากาศเกิดขบวนการเคลื่อนที่ของสารละลายมากขึ้น สารละลายก็จะสะสมอยู่ตามวัสดูดซับเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่เท่ากับ 65 L/h เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจาก 1667.8 เป็น 12960.7 L/h จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการสตรippingเพิ่มมากขึ้นจาก 0.4% เป็น 16.3% และจากผลการทดลองสรุปได้ว่าอัตราการไหลของอากาศมีผลมากกว่าอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนีย ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการ $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{H}{k_x}$ ซึ่งก๊าซที่ละลาย

ในน้ำได้ดี เช่น แอมโมเนียในน้ำ ค่า H จะมีค่าน้อยมาก ทำให้สามารถตัดเทอมสุดท้ายในสมการทิ้งได้ และทำให้ $K_y \cong k_y$ ดังนั้นความต้านทานในการถ่ายเทมวลเกือบทั้งหมดจะขึ้นกับชั้นฟิล์มของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys มีแนวโน้มที่เหมือนกับผลการทดลองจริง แต่ค่าที่ได้แตกต่างกันเนื่องจากตัวแปรบางตัวที่ใช้ในการจำลองกระบวนการแตกต่างจากค่าที่ใช้ในการทดลองจริง เช่น วัสดุบรรจุที่ใช้ในการทดลองไม่ใช่วัสดุบรรจุมาตรฐาน ทำให้ไม่สามารถเลือกวัสดุบรรจุที่มีค่าแฟกิ้งแฟคเตอร์ที่เท่ากันใส่ลงในโปรแกรม Hysys ได้

จากการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า วัสดุบรรจุที่ใช้มีความเหมาะสม เพราะที่ค่าอัตราการไหลของอากาศสูง จะมีประสิทธิภาพในการสตริปปีงสูงกว่าค่าที่ได้จากโปรแกรม Hysys ซึ่งใช้วัสดุบรรจุที่เป็นมาตรฐาน ค่าแฟกิ้งแฟคเตอร์ของวัสดุบรรจุที่ใช้ทดลองก็มีค่าสูงกว่าวัสดุบรรจุมาตรฐานมาก และวัสดุบรรจุที่ใช้ยังมีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวลสูง ให้ค่าความดันตกที่ต่ำ อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่าวัสดุบรรจุมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปด้วย

เส้นปฏิบัติการที่ได้จากการทดลอง ที่อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ เส้นปฏิบัติการจะมีความชันลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก สมการของเส้นปฏิบัติการในระบบที่มีความเข้มข้นเจือจาง เท่ากับ L/V' ดังนั้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ความชันของเส้นปฏิบัติการจึงลดลง ซึ่งทำให้สตริปปีสารละลายได้มากขึ้น

ในการออกแบบหอสตริปปีแบบบรรจุ ควรจะศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อกระบวนการสตริปปีง เช่น อัตราการไหล ชนิดของวัสดุบรรจุ อุณหภูมิ สารที่ใช้ ฯลฯ เพื่อให้หอสตริปปีงที่ใช้มีประสิทธิภาพสูงสุดและตรงกับความต้องการในการใช้งาน ทั้งนี้ จะต้องคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่ทำให้เกิดสถานะจุดท่วมในหอบรรจุด้วย

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การวัดอัตราการไหลของอากาศโดยการแทนที่น้ำและจับเวลา อาจเกิดความผิดพลาดจากการสังเกตได้ง่าย และการจับเวลาอาจจะไม่พอดี
2. ในการผสมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จะต้องผสมทีละปริมาณมากๆ ในถึงขนาดใหญ่ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน และต้องผสมสารหรือน้ำเพิ่มเข้าไปหลายครั้ง
3. การไทเทรตจะต้องใช้การสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายที่ใส่อินดิเคเตอร์ ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการสังเกตของผู้ทดลอง
4. ต้องรักษาระดับของสารละลายที่อยู่ในถังเพราะถ้าสารละลายน้อยจนถึงระดับหนึ่งจะทำให้ปั๊มสูบลำดับด้วยอัตราที่ไม่คงที่หรือไม่สามารถสูบได้เลย
5. เครื่องมือวัดความดันที่ใช้ ไม่ละเอียดพอที่จะใช้วัดความดันลดในท่อได้ ควรจะใช้เครื่องมือวัดความดันที่เหมาะสม
6. ตัวอย่างสารละลายที่เก็บควรเก็บในภาชนะที่มีฝาปิดเพื่อป้องกันการระเหยของสารละลาย ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นที่ได้เปลี่ยนแปลงไป
7. ในการทดลองใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีกลิ่นรุนแรง และเป็นอันตรายต่อร่างกาย จึงควรใช้อุปกรณ์ป้องกัน เช่น ถุงมือ แว่นตา ผ้าปิดจมูก ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อประสิทธิภาพในการสตริปปีงของหอบรรจุ พบว่า ยังมีตัวแปรอีกหลายตัวที่มีผลต่อการสตริปปีง ซึ่งยังไม่ได้ทำการทดลองศึกษาผลของตัวแปรนั้นๆ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ ดังนั้นควรจะทำการศึกษาผลของค่าตัวแปรดังกล่าว เพื่อพิจารณาความสำคัญของตัวแปรนั้นๆ ที่จำเป็นต้องควบคุมในการออกแบบหอบรรจุแบบบรรจุ เช่น

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสตริปปีง โดยการให้ความร้อนแก่ของเหลวหรือก๊าซ ก่อนเข้าสู่กระบวนการสตริปปีง ซึ่งอุณหภูมินั้นมีผลต่อค่าความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในของเหลวและก๊าซ
2. เปลี่ยนชนิดของวัสดุบรรจุที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งวัสดุบรรจุนั้น จะมีผลต่อพื้นที่ผิวที่เกิดการถ่ายเทมวลในหอบรรจุ และยังมีผลต่อค่าความดันลดในหอคั่ว อีกทั้งวัสดุบรรจุแบบมาตรฐานจะมีค่าตัวแปรต่างๆที่เป็นมาตรฐาน จึงสามารถคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบหอบรรจุแบบบรรจุได้ง่ายกว่า แต่วัสดุบรรจุแบบมาตรฐานทั่วไปนั้นจะมีราคาแพง หากต้องการนำมาทดลอง ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง
3. เปลี่ยนชนิดของตัวถูกละลาย ตัวทำละลายที่เป็นของเหลว และก๊าซที่ใช้ ซึ่งจะมีผลทั้งความสามารถในการละลาย ความหนืด ความหนาแน่น ฯลฯ ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารนั้นๆ โดยที่ค่าตัวแปรที่กล่าวมา มีผลต่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลระหว่างวัฏภาค และมีผลต่อสมรรถนะ (Capacity) ของหอคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เบ็ญจมาพร สัมฤทธิ์, มงคล ดันดีวิวัฒน์วงศา, “ความสัมพันธ์ทางด้านพลศาสตร์ของการดูดซึมโดยใช้หอดูดซึมแบบบรรจุ”, ปรินูญานินพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] C. J. Geankoplis, “Transport Processes and Separation Process Principles”, 4th Ed., Prentice-Hall, Inc.
- [3] J. D. Seader and E. J. Henley, “Separation Process Principles”, John Wiley & Sons, Inc., 1998
- [4] W. L. McCabe, J. C. Smith and P. Harriott, “Unit Operations of Chemical Engineering”, 7th Ed, McGraw-Hill, Inc.
- [5] S. H. Cypes and J. R. Engstrom, “Analysis of a toluene stripping process: a comparison between a microfabricated stripping column and a conventional packed tower”, J. Chem. Eng. 101 (2004) 49-56
- [6] M. R. Shah, R. D. Noble and D. E. Clough, “Pervaporation–air stripping hybrid process for removal of VOCs from groundwater”, J. Membr. Sci. 241 (2004) 257–263
- [7] United States Environmental Protection Agency, “Wastewater technology fact sheet ammonia stripping”, EPA 832-F-00-019, Washington, D.C., 2000
- [8] M. S. Peters and K. D. Timmerhaus, “Plant Design and Economics for Chemical Engineers”, 4th Ed., McGraw-Hill, Inc., 1991
- [9] H. Z.Kister, “Distillation Design”, McGraw-Hill, Inc., 1992
- [10] นิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม. “ผลกระทบของสารมลพิษทางอากาศ” [online]. Available: http://www.il.mahidol.ac.th/course/ecology/chapter2/chapter2_airpollution5.html
- [11] School net Thailand (2005 Edition). “การไทเทรตกรด-เบส” [online]. Available: http://www.school.net.th/library/snet5/topic4/top46_1.html
- [12] ชญาณี ภู่อธิติ. “กรด-เบส” [online]. Available: http://www.damrong.ac.th/dslib/PDF/vit41101_1.pdf
- [13] E-Ruejang. “อินดิเคเตอร์กับการไทเทรตกรด-เบส” [online]. Available: <http://ccsmail.sut.ac.th/e-ru/teacher/file/file1834.doc>
- [14] กรมประมง. “การวิเคราะห์หาแอมโมเนียในน้ำ” [online]. Available: <http://www.fisheries.go.th/train-gr/003/Am01/Am002.doc>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] FRTR Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0. "4.45 Air Stripping" [online]. Available: <http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4-46.html>
- [16] Wikipedia the free encyclopedia. "Air Stripping" [online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Air_stripping. 2007



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลของหอบรรจุที่ใช้ในการทดลอง

ความสูงของคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุบรรจุ	4.224 ฟุต
เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์	0.349 ฟุต
พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์	0.096 ตารางฟุต
ปริมาตรของคอลัมน์	0.404 ลูกบาศก์ฟุต
น้ำหนักของวัสดุบรรจุทั้งหมด	2.715 ปอนด์
พื้นที่ผิวของวัสดุบรรจุทั้งหมด	150.635 ตารางฟุต
ปริมาตรของวัสดุบรรจุทั้งหมด	8.147×10^{-3} ลูกบาศก์ฟุต
พื้นที่ผิวของวัสดุบรรจุต่อปริมาตรคอลัมน์ (a)	372.859 ตารางฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต
สัดส่วนช่องว่าง (ϵ)	0.941
ค่าแฟคทิง แฟลเตอร์	396.216 ตารางฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 การหาอัตราการไหลของอากาศโดยการแทนที่น้ำปริมาตร 6.275 ลิตร

การทดลอง	เวลา (วินาที)				อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1	18.42	17.62	18.42	18.16	1244.24
2	5.95	5.92	6.07	5.98	3776.22
3	2.78	2.88	2.90	2.85	7917.06
4	2.41	2.43	2.40	2.41	9360.50

ตารางที่ ข-2 การหาความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียด้วยการไทเทรต ก่อนการสตรีปปีง

การทดลอง	ปริมาตรสารละลาย กรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลาย แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (% โดยน้ำหนัก)
ครั้งที่ 1	19.4	0.2647
ครั้งที่ 2	19.3	0.2633
ครั้งที่ 3	19.5	0.2660
เฉลี่ย	19.4	0.2647

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียด้วยการไทเทรตที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆ

1. ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 1667.8 ลิตรต่อชั่วโมง

อัตราการไหลของ ของเหลว (ลิตรต่อชั่วโมง)	ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (มิลลิลิตร)				ความเข้มข้นของสารละลาย แอมโมเนีย (% โดยน้ำหนัก)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
65.00	19.30	19.40	19.30	19.33	0.2637
100.00	19.30	19.40	19.40	19.37	0.2643
150.00	19.40	19.30	19.40	19.37	0.2643
200.00	19.40	19.40	19.40	19.40	0.2647

2. ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 5190.8 ลิตรต่อชั่วโมง

อัตราการไหลของ ของเหลว (ลิตรต่อชั่วโมง)	ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (มิลลิลิตร)				ความเข้มข้นของสารละลาย แอมโมเนีย (% โดยน้ำหนัก)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
65.00	18.4	18.3	18.4	18.37	0.2419
100.00	18.7	18.8	18.8	18.77	0.2501
150.00	19.1	19.2	19.2	19.17	0.2615
200.00	19.4	19.4	19.3	19.37	0.2643

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 10952.3 ลิตรต่อชั่วโมง

อัตราการไหลของ ของเหลว (ลิตรต่อชั่วโมง)	ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (มิลลิลิตร)				ความเข้มข้นของสารละลาย แอมโมเนีย (% โดยน้ำหนัก)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
65.00	17	16.9	17	16.67	0.2274
100.00	17.9	17.9	17.8	17.87	0.2397
150.00	18.8	18.7	18.7	18.73	0.2556
200.00	19.2	19.3	19.2	19.23	0.2624

4. ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 12960.7 ลิตรต่อชั่วโมง

อัตราการไหลของ ของเหลว (ลิตรต่อชั่วโมง)	ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (มิลลิลิตร)				ความเข้มข้นของสารละลาย แอมโมเนีย (% โดยน้ำหนัก)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
65.00	16.3	16.4	16.4	16.36	0.2215
100.00	17.5	17.5	17.4	17.47	0.2356
150.00	18.1	18.2	18.1	18.13	0.2437
200.00	18.5	18.5	18.6	18.53	0.2492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 แสดงผลการคำนวณสำหรับการหาเส้นปฏิบัติการที่อัตราการไหลของสารละลายค่าต่างๆ

$$x_2 = 0.0028$$

1. ที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 65 ลิตรต่อชั่วโมง

L' เท่ากับ 3.60 กิโลโมลต่อชั่วโมง

$V_m, L/H$	x_1	$V', kmol/H$	y_2
1667.8	0.00279	0.074	0.0004
5190.8	0.00256	0.232	0.0037
10952.3	0.00241	0.489	0.0029
12960.7	0.00234	0.579	0.0028

2. ที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 100 ลิตรต่อชั่วโมง

L' เท่ากับ 5.53 กิโลโมลต่อชั่วโมง

$V_m, L/H$	x_1	$V', kmol/H$	y_2
1667.8	0.00280	0.074	0.0002
5190.8	0.00265	0.232	0.0036
10952.3	0.00254	0.489	0.0030
12960.7	0.00249	0.579	0.0029

3. ที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 150 ลิตรต่อชั่วโมง

L' เท่ากับ 8.30 กิโลโมลต่อชั่วโมง

$V_m, L/H$	x_1	$V', kmol/H$	y_2
1667.8	0.00280	0.074	0.0003
5190.8	0.00277	0.232	0.0011
10952.3	0.00271	0.489	0.0016
12960.7	0.00258	0.579	0.0031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 200 ลิตรต่อชั่วโมง
 L' เท่ากับ 11.07 กิโลโมลต่อชั่วโมง

$V_m, L/H$	x_1	$V', kmol/H$	y_2
1667.8	0.00280	0.074	0
5190.8	0.00280	0.232	0.0001
10952.3	0.00278	0.489	0.0005
12960.7	0.00264	0.579	0.0031



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาค่าแพคกิ้ง แฟคเตอร์

แฟคกิ้ง แฟคเตอร์ เป็นค่าคงที่เฉพาะของวัสดุบรรจุแต่ละชนิด ยกตัวอย่างเช่น แรชชิก ริง, พอลริง ที่ทำมาจากโลหะมีค่า a และ ε ดังตาราง (17)

ตาราง ก-1 แสดงค่าคงที่เฉพาะของวัสดุบรรจุที่ทำมาจากโลหะ

ชนิดของวัสดุบรรจุ	ขนาด (inch)	a (ft^2 / ft^3)	ε (ft^3 / ft^3)
พอลริง (Pall ring)	2.0	34.3	0.951
	1.4	47.9	0.946
	1.0	65.5	0.942
	5/8	112.3	0.933
ไฮโฟล์ ริง (Hiflow ring)	2.0	28.1	0.977
	1.0	60.5	0.962
ซี เอ็ม อาร์ (CMR)	1.5	53.3	0.974
	1.0	70.9	0.971
	5/8	103.6	0.951
แรชชิก ริง (Raschig ring)	5/8	177.5	0.917

วิธีการหาแฟคกิ้ง แฟคเตอร์ (Packing factor) นั้น โลโบ (Lobo) และคณะ ได้คิดค้นวิธีการทำนายค่าสำหรับวัสดุบรรจุหลายชนิดที่มีขนาดแตกต่างกันไป โดยประมาณได้จากความสัมพันธ์ดังสมการ (17)

$$F_p = \frac{a}{\varepsilon^3} \quad (ก-1)$$

โดยที่ F_p คือ แฟคกิ้ง แฟคเตอร์
 a คือ พื้นที่ผิวของวัสดุบรรจุต่อปริมาตรคอลัมน์ (ตารางฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต)
 ε คือ สัดส่วนช่องว่างของวัสดุบรรจุ (ลูกบาศก์ฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้