การแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำด้วยวิธีแอร์สตริปปิง

นายสมเกียรติ กันทรวรากร

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-742-9
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16654249

Separation of Vinyl Acetate by Air Stripping

Mr. Somkiat Kantara-Warakorn

A thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-742-9

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำด้วยวิธีแอร์สตริปปิง
โดย	นายสมเกียรติ กันทรวรากร
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานคณะกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา จงวิศาล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เจิดศักดิ์ ไชยคุนา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สมเกียรติ กันทรวรากร : การแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำด้วยวิธีแอร์สตริปปิง (Separation of vinyl Acetate by Air Stripping) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ศศิธร บุญ-หลง, 150 หน้า. ISBN 974-362-742-7

ในอุตสาหกรรมผลิตโคโพลิเมอร์ระหว่างไวนิลคลอไรด์กับไวนิลอะซิเตท, อุตสาหกรรมสี และอื่น ๆ มักจะมีไวนิลอะซิเตทอันเป็นสารของหลงเหลือภายหลังกระบวนการผลิตต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งจะปล่อยออกมากันน้ำเสีย ดังนั้น เพื่อที่จะกำจัดสารไวนิลอะซิเตทซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ สัตว์น้ำ และสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแยกสารก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ได้มีการกำจัดสารระเหยด้วย วิธีแอร์สตริปปิงในหอแพคในอุตสาหกรรมและกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป สำหรับการประยุกต์ใช้งานในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่มีอิทธิพลต่อการแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำ โดยศึกษาถึงอิทธิพล และอัตราส่วนของปริมาตรต่อการแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำ อุณหภูมิของอากาศและของเหลวที่ป้อน และความสูงของหอต่อประสิทธิภาพของหอ และศึกษาการถ่ายเทมวลสารในหอแยกสาร แอร์สตริปปิงแบบแพคในระดับห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนของอากาศต่อของเหลวที่ป้อนที่เหมาะสมที่สุดคือ 366 และอัตราส่วนอากาศต่อน้ำโดยปริมาตรนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการถ่ายเทมวล และประสิทธิภาพของหอ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของของเหลว และอากาศที่ป้อนก็มีอิทธิพลโดยตรงต่อการถ่ายเทมวล และประสิทธิภาพของหอ และพบว่า ความสูงของหอไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของหอ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในในหอ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C317933 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: VINYL ACETATE/AIR STRIPPING/COPOLYMER

SOMKIAT KANTARA-WARAKORN : SEPARATION OF VINYL ACETATE BY AIR STRIPPING, THESIS ADVISOR : ASST. PROF. DR.SASITHORN BOON-LONG, 150 PP, ISBN 942-632-742-7

In the production of copolymer vinyl chloride-vinyl acetate, paint industry and many other processes, vinyl acetate residue often leaves the process in the effluent stream. In order to elimate the toxic residual vinyl acetate that is harmful to humans and aquatic animals and affect the environment, it is necessary to separate it from the waste water before draining to the public water source.

Stripping of volatile organic solvent by air stripping in packed column have been used in various industries and waste water treatment processes. In this research, various factors influencing the separation of vinyl acetate from water by air stripping in packed column were investigated. The factors were air to liquid volumetric flowrate ratio, air and liquid intake temperature, packing height and mass transfer in stipping column.

Results showed that the most appropriate air to liquid volumetric flowrate ratio was 366 and this ratio was directly proportional to the mass transfer and efficiency of the column. Moreover, it was found that the air and liquid intake temperature directly infulenced the mass transfer and efficiency of the column, but the height of the column had no influence on the efficiency of the column nor on the mass transfer.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอแสดงความรู้สึกอย่างแท้จริงว่า ผลงานวิจัยนี้เกิดขึ้นเนื่องด้วยความร่วมมือ ความเอื้ออาทร ความปรารถนาดี ความห่วงใย และความเมตตาของบุคคลที่ข้าพเจ้ารัก และนับถือหลาย ๆ ท่าน ตั้งแต่ครั้งทำงานที่บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) มีท่าน ดร.เทวรักษ์ โรจนพฤกษ์ ผู้คอยหนุนให้ข้าพเจ้าเรียนเสมอ, คุณสมิทธ์ สุกิตติวงศ์ และคุณวารุณี พันธ์เมธีรัตน์ ผู้คอยให้ความห่วงใยอย่างสม่ำเสมอประดุจดังพี่ชายคนโต และพี่สาวของข้าพเจ้า คุณสุกัญญา อัศวชัยอุดม คุณสุปราณี อนุทรงศักดิ์ และคุณสมบุญ นนทกนก ได้คอยสนับสนุนด้านข้อมูล และการจัดหาสารเคมี โดยเฉพาะท่าน ดร.ขอพร สุสังกร์กาญจน์ ที่กรุณาอนุเคราะห์การตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี และเพื่อน ๆ ที่รักที่บริษัท ไทยพลาสติกฯ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ซึ่งต้องขอกล่าวขอบคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณ คุณภัทรา สุดโต เพื่อนผู้เป็นมิตรแท้เสมอจากบริษัท TOA ที่ช่วยประสานงานการจัดหาสารตัวอย่างให้ ขอขอบคุณ คุณเพ็ญพิชชา ไชยราชย์ จากกรมวิทยาศาสตร์และบริการ ในการช่วยจัดหา ค้นคว้า ประสานงานเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ทั้งใน และต่างประเทศตลอดจนงานช่วยแปลเอกสารสำคัญบางประการ ขอขอบคุณ ศ.ดร. มอนิกา เพื่อนในสาธารณรัฐเชคฯ ที่ช่วยแปลเอกสารอ้างอิงให้กับข้าพเจ้า ขอขอบคุณ คุณบุญเลิศ ชิวค้า และคุณสาธิต จุฑาประทีป ที่กรุณาช่วยประสานงานด้านการทดลอง และอุปกรณ์การทดลองภาควิชาฯ ขอขอบคุณ คุณอุ่นจิตร์ ห่อสกุลกล และคุณทักษิณ แสสนธิ์ ในการรวบรวมจัดพิมพ์ และจัดรูปเล่มต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ด้วยดีโดยตลอด ขอขอบคุณพี่มณฑา ธุรการภาคฯ ผู้ช่วยเหลือข้าพเจ้าด้วยดีโดยตลอด ทั้งให้กำลังใจผมอยู่เสมอในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณท่าน ผศ. ดร.ศศิธร บุญ-หลง ท่านผู้ให้คำปรึกษาที่ดีแก่ข้าพเจ้าอยู่เสมอ ทั้งไม่เคยตำหนิ แม้ยามที่ควรแก่การตำหนิ และขอขอบคุณท่านอาจารย์ต่าง ๆ ที่เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ด้วยเป็นอย่างสูง

ท้ายสุดขอขอบคุณ คุณนพพร อยู่วัฒนา ผู้เป็นที่รักยิ่ง ที่คอยให้กำลังใจผู้ทำวิจัยอยู่เสมอตลอดเวลาการทำวิจัยนี้ อีกทั้งช่วยจัดหาจัดส่งมอบอุปกรณ์ทำวิจัยด้วยความเหนื็ดเหนื่อย และขอบคุณพระเจ้าผู้ทรงให้ข้าพเจ้ามีโอกาสศึกษาในสถานศึกษาอันทรงเกียรติแห่งนี้ มีเพื่อน และพี่ที่ดี ๆ จนประสบความสำเร็จในที่สุด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญภาพ.....ญ
สัญญลักษณ์.....ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....3
1.4 แนวความคิด ขั้นตอน และการทดลองศึกษาวิจัย.....3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....4
1.6 คุณสมบัติทางกายภาพ.....4
1.7 คุณสมบัติทางเคมี.....10
1.8 ความเป็นพิษอื่น ๆ ของไวนิลอะซิเตท.....15
1.9 การแยกสารด้วยอากาศ.....18
19.1 ความต้องการในการบำบัดหรือเตรียมการก่อนส่งเข้าหอแยก.....20
1.9.2 ตัวแปรการดำเนินการ.....22
1.9.3 การออกแบบขั้นพื้นฐาน.....27
1.9.4 การบำบัดภายหลังที่ต้องการ.....28
1.9.5 ตัวอย่างอธิบายการศึกษาสมรรถนะของระบบการแยก
ด้วยอากาศ.....29
1.9.6 การประยุกต์ใช้งาน.....34
1.9.7 ข้อดีของการใช้ระบบการแยกสารด้วยอากาศ.....34

หน้า

บทที่ 2 การรวบรวมเอกสาร และผลงานวิจัยในอดีต.....36
2.1 ประวัติความเป็นมา และผลงานวิจัยในอดีต.....36
2.2 บทความเอกสาร หนังสือ ที่กล่าวถึงทฤษฎี โครงสร้างการออกแบบ และหลักการทั่ว ๆ ไป ในการออกแบบหอแพค สำหรับแอร์สตริปปิง.....38
2.3 เอกสาร บทความ เฉพาะเรื่องเกี่ยวกับการนำแอร์สตริปปิงไปประยุกต์ใช้งาน.....40
บทที่ 3 ทฤษฎีการถ่ายเทมวลสาร และการออกแบบหอแยกด้วยแอร์สตริปปิง.....41
3.1 บทนำ.....41
3.2 ทฤษฎีการไหลสวนทางกันโดยใช้แอร์สตริปปิง.....41
3.2.1 สมการการออกแบบ (Design Equations).....41
3.2.2 สตริปปิงแฟคเตอร์ (Stripping Factor).....45
3.3 ทฤษฎีของความต้านทานสองชนิด (Two resistance theory).....45
3.4 แบบจำลองที่ใช้สำหรับทำนายค่าคงที่อัตราถ่ายเทมวล.....46
3.4.1 แบบจำลองของเชอร์วูด-ฮอลโลเวย์.....46
3.4.2 แบบจำลองของชัลแมน.....47
3.4.3 แบบจำลองของออนดา.....48
3.5 เปรียบเทียบการใช้งานของแบบจำลอง.....50
3.6 ส่วนประกอบของหอแพค.....51
3.7 ชนิดและประเภทของแพคกิ้ง.....51
3.7.1 ชนิดของแพคกิ้ง.....51
3.7.2 ความดันลดของหอแพค.....56
3.8 ค่าความดันลดที่ยอมได้.....61
3.9 จุดการโหลด (Loading Point).....62
3.10 จุดการท่วม.....63
3.11 การกระจายของของเหลวในหอแพค.....64

หน้า

3.12 โฮลด์อัพ (Hold-up).....69
3.13 การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดขวางของหอแพค.....66
3.14 ตัวกระจายของเหลว.....68
3.15 ตัวกระจายของเหลวอีกครั้ง.....68
3.16 ตัวรองรับแพคกิ้ง.....91
3.17 แผ่นโฮลด์ดาวน์.....72
บทที่ 4 การทดลอง.....73
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....74
4.2 อุปกรณ์การวิเคราะห์ อุปกรณ์วัดที่เกี่ยวข้อง และการใช้งาน.....80
4.3 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง.....86
4.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....86
4.5 การสร้างกราฟเทียบวัดสำหรับปริมาณไวนิลอะซิเตทในน้ำ
ด้วยเทคนิคการวัดการดูดกลืนแสงยูวี.....88
4.6 การทดลอง.....90
4.6.1 การศึกษาความดันลดตกคร่อมตัวรองรับแพคกิ้งที่เป็น
เทฟล่อน.....90
4.6.2 การหาความดันลดต่อแพคกิ้งที่มีความสูง 1 ฟุต ที่หอแห้ง.....91
4.6.3 การหาความดันลดต่อแพคกิ้งที่มีความสูง 1 ฟุต ที่หอเปียก
ทั้งขณะที่มีน้ำไหลสวนทาง และไม่มีน้ำไหลสวนทาง.....92
4.6.4 การหาจุดโหลด (Loading Point) และจุดท่วม
(Flooding Point).....93
4.6.5 การศึกษาการถ่ายเทมวลสารที่ 70% ของจุดท่วม
ณ อุณหภูมิห้อง และแปรผันค่าสัดส่วนปริมาณ
อากาศต่อน้ำ.....94

หน้า

4.6.6 การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าต่อประสิทธิภาพของหอ....95
4.6.7 การศึกษาผลของอุณหภูมิของสารละลายขาเข้าต่อประสิทธิภาพของหอ....96
4.6.8 การศึกษาปรากฏการณ์การถ่ายเทมวล และประสิทธิภาพของหอเมื่อป้อนสารละลาย และอากาศที่มีความร้อนเข้าหอ....97
4.6.9 การศึกษาการถ่ายเทมวลสารเมื่อป้อนไวนิลอะซิเตทในน้ำที่ความเข้มข้น 1,000PPM....98
บทที่ 5 ผลการทดลอง....99
5.1 ผลการวัดความดันลดในหอที่มีตัวรองรับแพคกิ้งเทฟล่อน....99
5.2 ผลการวัดความดันลดในหอที่มีแพคกิ้งสูง 1 ฟุต....99
5.3 ผลการวัดความดันลดในหอที่มีแพคกิ้งสูง 1 ฟุต ซึ่งเป็นหอเปียกน้ำ....99
5.4 ผลการศึกษาการถ่ายเทมวลสารในหอที่อัตราส่วนการป้อนอากาศต่อสารละลาย ของเหลวต่าง ๆ กัน....99
5.5 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำป้อนขาเข้าต่อการถ่ายเทมวลสาร....100
5.6 ผลการทดลองศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำป้อนขาเข้าต่อการถ่ายเทมวลสาร....100
5.7 การทดลองศึกษาผลของการป้อนสารละลายและอากาศด้วยความร้อนต่อการถ่ายเทมวล....100
5.8 ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลที่ความสูงของหอต่าง ๆ กัน....100
5.9 ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลเมื่อป้อนไวนิลอะซิเตทในน้ำด้วยความเข้มข้น 1,000 PPM....100

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง....136

6.1 สมมติฐาน....136

6.2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อของเหลวต่อการถ่ายเทมวลสาร....136

6.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ป้อนเข้าหอต่อประสิทธิภาพของหอ....136

6.2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิน้ำที่ป้อนเข้าต่อประสิทธิภาพของหอ....137

6.2.4 อิทธิพลของการป้อนของเหลว และอากาศด้วยความร้อน....137

6.2.5 อิทธิพลของความสูงของแพคกิ้งต่อการถ่ายเทมวลสาร....138

6.2.6 การป้อนสารที่ความเข้มข้น 1,000 PPM....138

6.2.7 เปรียบเทียบสมการเมอร์เคล (Merkel) กับสมการ การออกแบบหอแยกสตริปปิง....138

6.3 วิจารณ์การทดลอง....139

6.4 ข้อเสนอแนะ....139

รายการอ้างอิง....141

ภาคผนวก....144

ภาคผนวก ก. การเตรียมสารตัวอย่างเพื่อวัดการดูดกลืนแสงยูวี....144

ภาคผนวก ข. อธิบายการคำนวณ....149

ประวัติผู้เขียน....150

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	ความดันไอของไวนิลอะซิเตทที่อุณหภูมิต่าง ๆ	5
1-2	แสดงสมดุลย์ระหว่างของเหลวและไอ (liquid-vapor-equilibria) ของไวนิลอะซิเตทกับอะซิโตน	8
1-3	ความสามารถในการละลายของระบบไวนิลอะซิเตท-น้ำ-เมธานอล ที่อุณหภูมิ 20 °C	8
1-4	ความสามารถในการละลายในกันและกันของไวนิลอะซิเตทและน้ำ	9
1-5	ผังภาพแสดงระบบแอร์สตริปปิง	19
1-6	ระบบการแยกด้วยแอร์สตริปปิง	21
3-1	ผังแสดงหอแยกแบบสตริปปิงคอลัมน์ระดับไพล็อตสเกล	43
3-2	ภาพแสดงการไหลสวนทางกันในหอแพค	43
3-3	ภาพแสดงภายในของหอแพค	53
4-1	ชิ้นส่วนของหอแก้วสตริปปิงตอนบน	71
4-2	ภาพแสดงการติดตั้งหอแพคและชุดจำลองการทดลองทั้งหมด	71
4-3	ท่อล่างของหอส่วนก้นกลม	72
4-4	แพคกิ้ง	72
4-5	อุปกรณ์ทำน้ำร้อน	73
4-6	อุปกรณ์ส่งลมและชุดทำความร้อนอากาศในตัว	73
4-7	ปั๊มน้ำ	76
4-8	มานอมิเตอร์ U- Tube	76
4-9	อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง	77
4-10	เครื่องวัดการดูดกลืนแสงยูวี	79
4-11	ช่องใส่เซลเพื่อวิเคราะห์สารตัวอย่างในเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสงยูวี	79
4-12	ภาพแสดงช่วงสเปคตรัมของเบนซีนในไซโคลเฮกเซนที่ดูดกลืนแสง	80
4-13	ภาพแสดงการกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ บนหอ	86

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5-1	ภาพแสดงประสิทธิภาพของหอที่อัตราส่วนอากาศต่อสารละลายโดยปริมาตรต่าง ๆ	110
5-2	ภาพแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิการป้อนอากาศเข้าสู่หอต่อประสิทธิภาพของหอ	115
5-3	ภาพแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิของสารละลายที่ป้อนเข้าสู่หอต่อประสิทธิภาพของหอ	121
5-4	ภาพแสดงอิทธิพลของการป้อนสารละลายและอากาศด้วยความร้อนต่อประสิทธิภาพของหอ	126
5-5	ภาพแสดงอิทธิพลของความสูงของแพคกิ้งต่อประสิทธิภาพของหอ	132

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	คุณสมบัติทางกายภาพของไวนิลอะซิเตท	6-7
1.2	แสดงค่าจุดเดือดและองค์ประกอบของอะซีโอโทรปที่มีไวนิลอะซิเตทอยู่ พบว่าไม่มีจุดอะซีโอโทรปในระบบน้ำ-ไวนิลอะซิเตท	9
1.3	แสดงอัตราคงที่ของการไฮโดรไลส์ของเอสเทอร์ชนิดต่าง ๆ ในสภาวะที่เป็นด่าง	10
1.4	ข้อกำหนดมาตรฐานในเชิงอุตสาหกรรมของไวนิลอะซิเตท	14
1.5	ความเป็นพิษต่อน้ำ	16
1.6	อัตราค่าความเป็นพิษของ NAS สำหรับการขนส่งโดยทางน้ำ	16
1.7	ระดับความเป็นพิษแบบ NFPA	16
1.8	ความต้องการออกซิเจนที่สารจุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลาย	17
1.9	ความเป็นพิษต่อน้ำสะอาด	17
1.10	ความเป็นพิษต่อน้ำทะเล	17
1.11	ความเป็นพิษต่อสัตว์	17
1.12	ค่าคงที่เฮนรี่ของสารประกอบที่น่าสนใจที่มีค่ามากกว่า	23-25
1.13	ผลการศึกษาแอร์สตริปปิงในไพล็อตสเกล	31
1.14	ผลการศึกษาแอร์สตริปปิงในแบนช์สเกล	32
1.15	ผลการศึกษาแอร์สตริปปิงในไพล็อตสเกล	33
3.1	แนวทางการเลือกและการออกแบบโดยทั่วไปสำหรับแพคกิ้งแบบแรนดอม	55
4.1	การดูดกลืนของแสงและสีที่มองเห็นได้	78
4.2	การเทียบวัดการดูดกลืนแสงยูวีที่ความเข้มข้นของไวนิลอะซิเตทในน้ำ ที่ปริมาณต่าง ๆ สำหรับการทดลองที่ 4.6.1-4.6.7	81
4.3	การเทียบวัดปริมาณไวนิลอะซิเตทในน้ำสำหรับการทดลองที่ 4.6.8	82
4.4	การเทียบปรับอัตราการไหลโดยการส่งน้ำด้วยปั๊มน้ำ	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.1	การวัดความดันลดในหอที่มีตัวรองรับแพคกิ้ง (การทดลองที่ 4.6.1)	101
5.2	การวัดความดันลดต่อหนึ่งหน่วยความสูงของแพคกิ้ง (1 ฟุต) (การทดลองที่ 4.6.2)	102
5.3	การทดลองหาความดันลดในหอเปียกที่หนึ่งหน่วยความสูงของแพคกิ้ง (1 ฟุต) (การทดลองที่ 4.6.3)	103
5.4.1	การถ่ายเทมวลสารในหอแพคด้วยแอร์สตริปปิง (ขณะไม่มีการป้อนอากาศหรือปล่อยสารละลายลงผ่านหอแพคอย่างเดียว) (การทดลองที่ 4.6.4)	104
5.4.2	การถ่ายเทมวลสารในหอแพคด้วยแอร์สตริปปิงขณะป้อนอากาศด้วยอัตราป้อน 550 ลิตรต่อนาที (G_1) (การทดลองที่ 4.6.4)	105
5.4.3	การถ่ายเทมวลสารในหอแพคด้วยแอร์สตริปปิงขณะป้อนอากาศด้วยอัตราป้อน 770 ลิตรต่อนาที (G_2) (การทดลองที่ 4.6.4)	106
5.4.4	การเทียบวัดความดันลดที่อัตราการป้อนน้ำต่าง ๆ ขณะแพคด้วยแพคกิ้งสูง 85 ซม.	107
5.4.5	สรุปผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลสารในหอแพคด้วยแอร์สตริปปิง (ขณะไม่มีการป้อนอากาศหรือปล่อยสารละลายลงผ่านหอแพคเปล่า) (การทดลองที่ 4.6.4)	108
5.4.6	ตารางการวิเคราะห์ผลการทดลองการถ่ายเทมวลสารในหอแพคด้วยแอร์สตริปปิงที่อัตราป้อนอากาศต่อน้ำต่าง ๆ กัน	109
5.5.1	ผลการทดลองการศึกษาผลของการป้อนอากาศร้อนเข้าหอแยกด้วยแอร์สตริปปิง (การทดลองที่ 4.6.5)	111
5.5.2	ผลการทดลองการศึกษาผลของการป้อนอากาศร้อนเข้าหอแยกด้วยแอร์สตริปปิง (การทดลองที่ 4.6.5)	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.5.3 สรุปผลการทดลองการศึกษาผลของการป้อนอากาศร้อนเข้าหอแยกสาร ด้วยแอร์สตริปปิง (การทดลองที่ 4.6.5) 113

5.5.4 ตารางการวิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลสารในหอแพค เมื่อป้อนอากาศ 114

5.6.1 ผลการทดลองการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำป้อนขาเข้าต่อการถ่ายเทมวลสาร (การทดลองที่ 4.6.6) 116

5.6.2 ผลการทดลองการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำป้อนขาเข้าต่อการถ่ายเทมวลสาร ภายในหอ (การทดลองที่ 4.6.5) 117

5.6.3 ผลการทดลองการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำป้อนขาเข้าต่อการถ่ายเทมวลสาร ในหอ (การทดลองที่ 4.6.6) 118

5.6.4 สรุปผลการทดลองการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าต่อการถ่ายเทมวล (จากการทดลองที่ 4.6.6) 119

5.6.5 ตารางการวิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหอ ต่อการถ่ายเทมวลสาร 120

5.7.1 ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลเมื่อมีการป้อนสารละลายและ อากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ (การทดลองที่ 4.6.7) 119

5.7.2 ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลเมื่อมีการป้อนสารละลายและ อากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ (การทดลองที่ 4.6.7) 123

5.7.3 สรุปผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลเมื่อมีการป้อนสารละลาย และอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ (การทดลองที่ 4.6.7) 124

5.7.4 ตารางการวิเคราะห์ผลการทดลองเมื่อป้อนสารละลายและอากาศเข้าหอ ด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ 125

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.8.1 ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลที่ความสูงของแพคกิ้งต่าง ๆ (แพคกิ้งสูง 30 ซม.) (การทดลองที่ 4.6.8).....127

5.8.2 ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลที่ความสูงของแพคกิ้งต่าง ๆ (แพคกิ้งสูง 60 ซม.) (การทดลองที่ 4.6.8).....128

5.8.3 ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลที่ความสูงของแพคกิ้งต่าง ๆ (แพคกิ้งสูง 85 ซม.) (การทดลองที่ 4.6.8).....129

5.8.4 สรุปผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลที่ความสูงของแพคกิ้งที่ระดับต่าง ๆ (การทดลองที่ 4.6.8, อัตราป้อนอากาศ = 770 ลิตร/นาที, เปิดฮีทเตอร์อากาศ).....130

5.8.5 ตารางการวิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาผลของความสูงของหอต่อการถ่ายเทมวลสาร.....131

5.9.1 ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลเมื่อป้อนไวนิลอะซิเตทในน้ำด้วยความเข้มข้น 1,000 PPM (จากการทดลองที่ 4.6.9).....133

5.9.2 สรุปผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลสารเมื่อป้อนไวนิลอะซิเตทในน้ำด้วยความเข้มข้น 1,000 PPM (จากการทดลองที่ 4.6.9).....134

5.9.3 ตารางการวิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาการถ่ายเทมวลสารเมื่อป้อนไวนิลอะซิเตทด้วยความเข้มข้น 1,000 PPM.....135

สัญลักษณ์

a_t = พื้นที่ผิวเฉพาะของแพคกิ้ง

a_w = พื้นที่ผิวเปียกของแพคกิ้ง

C_{in} = ความเข้มข้นขาเข้าของของเหลวที่ถูกดึงออก (kg/m^3)

$C_{L,1}$ = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายขาออกหอ (kg/m^3)

$C_{L,2}$ = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายขาเข้าหอ (kg/m^3)

Cout = ความเข้มข้นของของเหลวขาออก (kg/m^3)

D = การแพร่เชิงโมเลกุล ($M^2.S^{-1}$)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางเสมือนเส้นผ่าศูนย์กลางทรงกลมที่มีพื้นที่ผิวเท่ากับพื้นที่ผิวแพคกิ้งนั้น ๆ

d_n = ขนาดของนอมินัลของราสชิงริง (mm)

d_p = ขนาดของแพคกิ้ง (m)

F_p = แฟกเตอร์ของแพคกิ้ง เป็นคุณลักษณะของขนาดและชนิดของแพคกิ้ง

G_a = กาลิเลโอนัมเบอร์ (ไร้มิติ)

g_c = ความเร่งเนื่องจากแรงถ่วง

G_v = อัตราไหลเชิงมวลของแก๊สต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด (กิโลกรัม/ตร.เมตรวินาที)

G_w = อัตราไหลเชิงมวลของของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด (กิโลกรัม/ตร.เมตรวินาที)

H_C = ค่าคงที่ของเฮนรี่ ($atm\text{-}m^{-3}/mole$)

HTU = หน่วยความสูงของการถ่ายเท (m)

H_W = ค่าโฮลด์ อัพ (m^3_{lig}/m^3_{col})

K = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม (S^{-1})

k = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในแต่ละเฟส (S^{-1})

K_La = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม K_L ($m.s^{-1}$), พื้นที่ผิวเฉพาะต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของหอ ($M^2 M^{-3}$, M^{-1})

L_M = อัตราป้อนของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ($kg.\ m^{-2}.s^{-1}$)

L_W = อัตราการเปียก

NTU = หน่วยของการถ่ายเท (ไร้มิติ)

ΔP = ความดันลด

ΔP_D = ความดันลดเมื่อหอแห้ง

สัญลักษณ์ (ต่อ)

ΔP_W = ความดันลดเมื่อหอเปียก

Py = ความดันย่อยของสารประกอบ y (atm)

Q_G = อัตราป้อนอากาศเชิงปริมาตร ($m^3 . s^{-1}$)

Re = เรโนลด์นัมเบอร์ (ตัวแปรไร้มิติ)

R_G = ค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลสารในก๊าซ (s^{-1})

R_L = ค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลสารในของเหลว (s^{-1})

R_T = ค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลสารรวม ($m . s^{-1}$)

S = สตริปปิงแฟคเตอร์ (stripping factor)

S_B = พื้นที่ผิวของแพคกิ้งต่อหน่วยปริมาณของเบด

Sc = ชมิดช์นัมเบอร์ (ตัวแปรไร้มิติ)

Sh = เชอร์วูดนัมเบอร์ (ตัวแปรไร้มิติ)

U_G = ความเร็วอากาศ (m/s)

Z = หน่วยความสูงของแพคกิ้ง (m)

<u>สัญลักษณ์กรีก</u>

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (1,000 kg/m^3)

ρ_G = ความหนาแน่นของก๊าซ

ρ_V = ความหนาแน่นของของเหลวและไอ (กิโลกรัม/ลบ.เมตร)

μ = ความเร็วของของเหลว (Pa . s)

μ_L = ความหนืดของน้ำที่ 293 K ($1mNs/m^2$)

σ_C = พื้นที่ผิววิกฤตของแพคกิ้ง

σ_L = ความตึงผิว