

ผลศาสตร์การดูดับความขึ้นจากอะชิโรนโดยสารดูดับโรมเลกูลาร์ ซีฟ
ชนิดสามเอ ในหอดูดับ

นายแดน อินทร์มา

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-889-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DYNAMICS OF DEMOISTURIZATION FROM ACETONE BY THE 3A TYPE
MOLECULAR SIEVE ADSORBENT IN AN ADSORPTION COLUMN



Mr. Dan In-mar

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School


Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-634-889-2

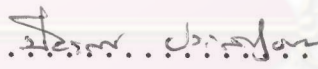
หัวข้อวิทยานิพนธ์ พลศาสตร์การดูดซับความชื้นจากอะซิโตนโดยสารดูดซับ
 โม่เลกูลาร์ ซีฟ ชนิดสามเอ ในหลอดดูดซับ
โดย นายแดน อินทร์มา
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร. เพ็ช สิริสุนทร)

.....  กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เดชา นิตศิริเวช)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

แดน อินทร์มา: พลศาสตร์การดูดซับความชื้นจากอะซิโตนโดยสารดูดซับโมเลกุลาร์ ซีฟ ชนิดสามเอ ในหอคอยดูดซับ (DYNAMICS OF DEMOISTURIZATION FROM ACETONE BY THE 3A TYPE MOLECULAR SIEVE IN AN ADSORPTION COLUMN) อ.ที่ปรึกษา ศ. ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม อ.ที่ปรึกษาร่วม ศ. ดร. เเค็จ สิทธิสุนทร, 152 หน้า.

ISBN 974-634-889-2

การทำวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะแยกเอาความชื้นออกจากอะซิโตนโดยใช้สารดูดซับโมเลกุลาร์ ซีฟ ชนิดสามเอ ซึ่งบรรจุในหอคอยดูดซับแบบเบนนิ่ง ศึกษาผลของอุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนไป สมดุลการดูดซับแบบอุณหภูมิคงที่ และผลของการเปลี่ยนอัตราการป้อนอะซิโตนเข้าหอคอยดูดซับต่อเวลาของการเคลื่อนที่ของเขตของการถ่ายเทมวลสาร, ความเร็วของการเคลื่อนที่ของเขตของการถ่ายเทมวลสาร ความยาวของเขตที่มีการถ่ายเทมวลสารและสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสารรวม

จากผลการวิจัยพบว่า ความชื้นสามารถจะแยกออกจากอะซิโตนได้โดยสารดูดซับโมเลกุลาร์ ซีฟ ชนิดสามเอ โดยอุณหภูมิมีผลต่อสมดุลการดูดซับ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การดูดซับจะน้อยลง สังเกตจากปริมาณการดูดซับที่คงที่แล้วจะต่ำ โดยสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน จะได้กราฟสมดุลแบบที่สอง คือเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตาม จนถึงปริมาณการดูดซับที่คงที่ค่าหนึ่งซึ่งจะคงที่ที่ ปริมาณนี้ต่อไป ไม่ว่าปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นเท่าใดก็ตาม

การทดลองพบว่าที่อัตราการป้อนสูงขึ้นจะให้ค่าของเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น ทำให้ความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารและความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสารรวมต่ำลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 1/20/2539

##C717296 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: ADSORPTION/DEMOISTURIZATION/ACETONE DRYING

DAN IN-MAR :: DYNAMICS OF DEMOISTURIZATION FROM ACETONE BY THE 3A
TYPE MOLECULAR SIEVE ADSORBENT IN AN ADSORPTION COLUMN. THESIS
ADVISOR : PROF. DR. PIYASAN PRASERTHDAM, Ph. D., THESIS CO-ADVISOR
: PROF. DR. PADET SIDISUNTHORN, Ph. D.. 152 pp. ISBN 974-634-889-2

The objectives of this work are to study how to separate moisture from acetone by the 3A type molecular sieve adsorbent in packed bed column, to study the effect of various temperatures in adsorption isotherm and the effect of various feeding flow rates of acetone to packed bed column in times of mass transfer moving, velocities of mass transfer zone moving, lengths of mass transfer zone and overall mass transfer coefficient.

Research results are as followings : moisture can be separated from acetone by the 3A type molecular sieve adsorbent. It was also found that there is a relationship in approaching the equilibrium of adsorption. Isotherm will be low when increasing temperature. The adsorption isotherm graph of all temperature is 2nd type. This means, when moisture content increase, the adsorption loading will be increased to constant value and the system approaches steady state.

The higher the feeding flow rate of acetone to column, the lengths of mass transfer zone will be longer because all of times of mass transfer zone and velocities of mass transfer zone are increasing. But when the feeding flow rate of acetone to column is higher, the overall mass transfer coefficients will be lower.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของท่าน ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม อาจารย์ที่ปรึกษา และท่าน ศาสตราจารย์ ดร. เผด็จ สิทธิสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษารวม ซึ่งท่านได้ให้ คำแนะนำและข้อเสนอแนะ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการ วิจัยมาด้วยดีโดยตลอด ทว่างานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่อการทำวิจัยในครั้งนี้ ทว่าให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่านกรรมการผู้จัดการ ท่านผู้จัดการระดับบริหารทุก ท่าน พี่และเพื่อนร่วมงาน ตลอดจนผู้อยู่ใต้บังคับบัญชาทุกท่าน ของบริษัท ยูไนเต็ดฟาร์ม แอนติไบโอติกส์ อินดัสตรีส์ จำกัด ที่ร่วมแรงร่วมใจและเป็น กำลังใจตลอดการทำวิจัย และเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนใน การทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้าย ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และสมาชิกใน ครอบครัวทุกท่าน ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

| | |
|------------------------------|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ฉ |
| สัญลักษณ์และคำย่อ | ณ |

บทที่

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | บทนำ | 1 |
| 1.1 | วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.2 | ขอบเขตของการวิจัย | 4 |
| 1.3 | ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย | 6 |
| 2 | วารสารปริทัศน์ | 7 |
| 2.1 | การดูฉบับ | 7 |
| 2.2 | เขตของการถ่ายเทมวลสาร | 13 |
| 2.3 | สารดูฉบับโม่เลกูลาร์ ซีฟ ชนิดเอ | 17 |
| 2.3.1 | ซีโรไลท์ | 17 |
| 2.3.2 | ซีโรไลท์ โม่เลกูลาร์ ซีฟ ชนิดเอ | 23 |
| 2.4 | การผลิตซีโรไลท์โม่เลกูลาร์ ซีฟ | 27 |
| 2.5 | การดูฉบับความชื้นด้วยสารดูฉบับโม่เลกูลาร์ ซีฟ | 30 |
| 2.6 | สมดุลการดูฉบับ | 36 |
| 2.7 | การดูฉบับที่รูพรุนขนาดเล็ก | 38 |
| 2.8 | การดูฉบับที่พื้นผิว | 40 |
| 2.9 | พลศาสตร์กลไกการดูฉบับภายในหอดูฉบับ | 43 |
| 2.10 | ความยาวของขอบเขตของการถ่ายเทมวลสาร | 46 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ (ต่อ) | หน้า |
|---|------|
| 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง | 47 |
| 3.1 สารที่ใช้ในการทดลอง | 47 |
| 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 47 |
| 3.2.1 หอดูดซับจำลอง | 47 |
| 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ | 54 |
| 3.3.1 เครื่องทดสอบหาปริมาณความชื้น | 54 |
| 3.4 วิธีการทดลอง | 57 |
| 3.4.1 การเตรียม | 57 |
| 3.4.2 การทดลองเพื่อหาสมมูลการดูดซับความชื้น จากอะซิโตน เมื่อแปรเปลี่ยนอุณหภูมิ | 57 |
| 3.4.3 การทดลองเพื่อหาความยาวของเขตของ การถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับที่ปฏิบัติการ ในสายการผลิต เมื่อแปรเปลี่ยนอัตราการ ป้อนอะซิโตนจาก 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที | 59 |
| 4 ผลการทดลอง | 61 |
| 4.1 ผลการทดลองเพื่อหาสมมูลการดูดซับความชื้น จากอะซิโตน เมื่อแปรเปลี่ยนอุณหภูมิ | 61 |
| 4.2 ผลการทดลองเพื่อหาความยาวของเขต ของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับที่ปฏิบัติ การในสายการผลิต เมื่อแปรเปลี่ยนอัตรา การป้อนอะซิโตนจาก 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที | 68 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ (ต่อ) | หน้า |
|--|------|
| 5 | 94 |
| 5.1 | 94 |
| 5.2 | 98 |
| 5.2.1 | 99 |
| 5.2.2 | 100 |
| 5.2.2.1 | 100 |
| 5.2.2.2 | 100 |
| 5.2.2.3 | 101 |
| 5.2.2.4 | 101 |
| 6 | 102 |
| 6.1 | 102 |
| 6.2 | 103 |
| 6.3 | 103 |
| รายการอ้างอิง | 105 |
| ภาคผนวก | 107 |
| ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลองและตัวอย่างการคำนวณ | 108 |
| ภาคผนวก ข. กราฟและสมการของสมดุลการดูดซับ | 134 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก (ต่อ)

| | |
|---|-----|
| ภาคผนวก ค. การคำนวณหา NTU..... | 138 |
| ภาคผนวก ง. ข้อมูลเบื้องต้นของสารดูดซับความชื้น รมเลกูลาร์ ซีฟ ชนิดสามเอ..... | 141 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 152 |



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| 2.1 | แสดงชนิดของชิโรโลทโรมเลกุลาร์ ชิฟ สูตรโรมเลกุล และการประยุกต์ใช้งาน.....25 |
| 2.2 | แสดงความสามารถในการดูดซับในสารและสาร ประกอบต่างๆ.....25 |
| 2.3 | แสดง เส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤตของสารและสาร ประกอบชนิดต่างๆ.....31 |
| 4.1.1 | แสดงค่าคงที่และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....69 |
| 4.2.1 | แสดงเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสาร ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที....87 |
| 4.2.2 | แสดงความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที....88 |
| 4.2.3 | แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวมและจำนวน ของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที.....90 |
| 5.1.1 | แสดงค่าเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับจากการทดลองกับ ค่าคงที่คำนวณจากสมการสมดุลการดูดซับ.....97 |
| ก.1 | แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่น ของอะซิโตน ก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส....109 |
| ก.2 | แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่น ของอะซิโตน ก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส...110 |
| ก.3 | แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่น ของอะซิโตน ก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส...111 |
| ก.4 | แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่น ของอะซิโตน ก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส...112 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| ก. 5 แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่น ของอะซิโตน ก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส | 113 |
| ก. 6 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่น ของอะซิโตน หลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส | 114 |
| ก. 7 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่น ของอะซิโตน หลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส | 115 |
| ก. 8 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่น ของอะซิโตน หลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส | 116 |
| ก. 9 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่น ของอะซิโตน หลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส | 117 |
| ก. 10 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่น ของอะซิโตน หลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส | 118 |
| ก. 11 แสดงปริมาณความชื้นที่อิ่มตัวและปริมาณการ ดูดซับที่คงที่ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส | 119 |
| ก. 12 แสดงปริมาณความชื้นที่อิ่มตัวและปริมาณการ ดูดซับที่คงที่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส | 120 |
| ก. 13 แสดงปริมาณความชื้นที่อิ่มตัวและปริมาณการ ดูดซับที่คงที่ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส | 121 |
| ก. 14 แสดงปริมาณความชื้นที่อิ่มตัวและปริมาณการ ดูดซับที่คงที่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส | 122 |
| ก. 15 แสดงปริมาณความชื้นที่อิ่มตัวและปริมาณการ ดูดซับที่คงที่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส | 123 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| ก.16 | แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....124 |
| ก.17 | แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....125 |
| ก.18 | แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....126 |
| ก.19 | แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....127 |
| ก.20 | แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....128 |
| ก.21 | แสดงการเตรียมสารดูดซับโพลีเมอร์ ซีฟ ชนิดสามเอ รดยบันที่ก้นน้ำหนักในแต่ละระยะความสูงของหอดูดซับ เพื่อทำการทดลองที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที.....129 |
| ก.22 | แสดงปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 40 เซนติเมตรของหอดูดซับ ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5 ลิตรต่อนาที.....130 |
| ก.23 | แสดงปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 40 เซนติเมตรของหอดูดซับ ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 10 ลิตรต่อนาที.....131 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ก. 24 แสดงปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 40 เซนติเมตรของหลอดขับ ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 15 ลิตรต่อนาที..... | 132 |
| ก. 25 แสดงปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 40 เซนติเมตรของหลอดขับ ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 20 ลิตรต่อนาที..... | 133 |



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 2.1 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของการดูดซับ 8 |
| 2.2 | แสดงหน่วยปฏิบัติการดูดซับด้วย หอดูดซับแบบเบตนิ่ง 11 |
| 2.3 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาและสัดส่วนความเข้มข้น ของสารที่ถูกดูดซับขณะ เวลานั้นๆกับความเข้มข้นของสาร ที่ถูกดูดซับ เริ่มต้นก่อนถูกดูดซับ 14 |
| 2.4 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาและสัดส่วนความเข้มข้น ของสารที่ถูกดูดซับขณะ เวลานั้นๆกับความเข้มข้นของสาร ที่ถูกดูดซับ เริ่มต้นก่อนถูกดูดซับ 15 |
| 2.5 | แสดงระบบรุกรุนและโครงสร้างการจัดตัวของสารดูดซับ 19 |
| 2.6 ก | แสดงหน่วยย่อยไรขดาลีทประกอบด้วยอะตอมของซิลิกา และอลูมินา 20 |
| 2.6 ข | แสดงหน่วยย่อยไรขดาลีทประกอบด้วยอะตอมของ ออกซิเจน 20 |
| 2.7 ก | แสดงการจัดเรียงตัวของหน่วยชั้นที่สองของหน่วยย่อย ไรขดาลีทแบบหน่วย 20 |
| 2.7 ข | แสดงหน่วยชั้นที่สอง เฉพาะหน่วยย่อยแอลฟา 20 |
| 2.8 | แสดงลักษณะของหน่วยย่อยแอลฟาและหน่วยย่อย ไรขดาลีท 21 |
| 2.9 | แสดงการจัดเรียงตัวของหน่วยย่อยทั้งสองในหน่วย ชั้นที่สอง 21 |
| 2.10 | แสดงรูปถ่ายของผลึกของซีโรไลท์ รมเลกูลาร์ ซีฟ ชนิดเอ 22 |
| 2.11 | แสดงการเลือกดูดซับในสารชนิดต่างๆ 26 |
| 2.12 | กระบวนการผลิตซีโรไลท์ รมเลกูลาร์ ซีฟ ของบริษัท เกรซ จีเอ็มพีเอช 29 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 2.13 | กระบวนการผลิตชิโรไลท์ รัมเลกูลาร์ ซีฟ ของบริษัท ยูเนี่ยน คาร์ไบ 28 |
| 2.14 | แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นด้วยสารดูดซับ อลูมินาเปรียบเทียบกับชิโรไลท์ รัมเลกูลาร์ ซีฟ ชนิดสี่เอของเกรซ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 32 |
| 2.15 | แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นด้วยสารดูดซับ อลูมินาเปรียบเทียบกับชิโรไลท์ รัมเลกูลาร์ ซีฟ ชนิดสี่เอของเกรซ ที่ความชื้นมีความดันย่อย 10 เฮกซะปาสคาล 32 |
| 2.16 | แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นด้วยสารดูดซับ ชิโรไลท์ รัมเลกูลาร์ ซีฟ ชนิดสามเอของเกรซ ที่ อุณหภูมิต่างๆ 34 |
| 2.17 | แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นด้วยสารดูดซับ ชิโรไลท์ รัมเลกูลาร์ ซีฟ ชนิดสี่เอของเกรซ ที่ อุณหภูมิต่างๆ 35 |
| 2.18 | แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นด้วยสารดูดซับ ชิโรไลท์ รัมเลกูลาร์ ซีฟ ชนิดสิบเอของเกรซ ที่ อุณหภูมิต่างๆ 35 |
| 2.19 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ของไอโซเทอร์มของสมดุล การดูดซับ 36 |
| 2.20 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ของไอโซสเทียร์ของสมดุล การดูดซับ 37 |
| 2.21 | แสดงสมดุลการดูดซับของมีเทนและโพรเพนด้วย แอททิเวทคาร์บอน 39 |
| 2.22 | แสดงสภาวะสมดุลการดูดซับแบบไม่เป็นเส้นตรง 42 |

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

| | | |
|-------|--|----|
| 2.23 | แสดงรูปแบบของการกระจายความเข้มข้นตามระยะของหลอดขับ | 43 |
| 3.1 | แบบแปลนการทดลองตามอุปกรณ์การทดลองที่ 3.2.1.1 | 48 |
| 3.2 | แสดงการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการทดลอง ตามอุปกรณ์การทดลองในข้อ 3.2.1.1 | 49 |
| 3.3 | แบบแปลนการทดลองตามอุปกรณ์การทดลองที่ 3.2.1.2 | 51 |
| 3.4 | แสดงการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการทดลอง ตามอุปกรณ์การทดลองในข้อ 3.2.1.2 (รูปถ่ายด้านหน้า) | 52 |
| 3.5 | แสดงการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการทดลอง ตามอุปกรณ์การทดลองในข้อ 3.2.1.2 (รูปถ่ายแสดงการลาเียงอะซิโรนผ่านหลอดขับเข้าและออก) | 52 |
| 3.6 | แสดงการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการทดลอง ตามอุปกรณ์การทดลองในข้อ 3.2.1.2 (รูปถ่ายด้านข้าง) | 53 |
| 3.7 | แสดงเครื่องมือ Karl Fischer | 56 |
| 4.1.1 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโรนกับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส | 63 |
| 4.1.2 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโรนกับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส | 64 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 4.1.3 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนกับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....65 |
| 4.1.4 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนกับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....66 |
| 4.1.5 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนกับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....67 |
| 4.1.6 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนกับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ ต่างๆ จากสมการสมดุลการดูดซับ.....70 |
| 4.2.1 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนที่ผ่านออกมาจากระยะ 10,20, 30,40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ กับเวลา (นาที) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5 ลิตรต่อนาที.....72 |
| 4.2.2 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนที่ผ่านออกมาจากระยะ 10,20, 30,40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ กับเวลา (นาที) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 10 ลิตรต่อนาที.....73 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 4.2.3 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ กับเวลา (นาที) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 15 ลิตรต่อนาที..... 74 |
| 4.2.4 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ กับเวลา (นาที) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 20 ลิตรต่อนาที..... 75 |
| 4.2.5 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนที่ผ่านออกมาจากระยะ 10 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ กับเวลา (นาที) ที่อัตรา การป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที..... 76 |
| 4.2.6 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนที่ผ่านออกมาจากระยะ 20 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ กับเวลา (นาที) ที่อัตรา การป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที..... 77 |
| 4.2.7 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนที่ผ่านออกมาจากระยะ 30 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ กับเวลา (นาที) ที่อัตรา การป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที..... 78 |
| 4.2.8 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนที่ผ่านออกมาจากระยะ 40 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ กับเวลา (นาที) ที่อัตรา การป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที..... 79 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 4.2.9 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ ความชื้นจากอะซิโตนที่ผ่านออกมาจากระยะ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ กับเวลา (นาที) ที่อัตราการ การป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที.....80 |
| 4.2.10 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของปริมาณ ความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ ขณะเวลาใดๆ ต่อ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น กับเวลา (นาที) ที่อัตราการ การป้อนอะซิโตน 5 ลิตรต่อนาที.....83 |
| 4.2.11 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของปริมาณ ความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ ขณะเวลาใดๆ ต่อ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น กับเวลา (นาที) ที่อัตราการ การป้อนอะซิโตน 10 ลิตรต่อนาที.....84 |
| 4.2.12 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของปริมาณ ความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ ขณะเวลาใดๆ ต่อ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น กับเวลา (นาที) ที่อัตราการ การป้อนอะซิโตน 15 ลิตรต่อนาที.....85 |
| 4.2.13 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของปริมาณ ความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ ขณะเวลาใดๆ ต่อ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น กับเวลา (นาที) ที่อัตราการ การป้อนอะซิโตน 20 ลิตรต่อนาที.....86 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 4.2.14 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเขต ของการถ่ายเทมวลสาร กับอัตราการป้อนอะซิโตน.....91 |
| 4.2.15 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเขต ของการถ่ายเทมวลสาร กับอัตราการป้อนอะซิโตน.....92 |
| 4.2.16 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเท มวลสารรวม กับอัตราการป้อนอะซิโตน.....93 |
| 5.1.1 | แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ กับปริมาณความชื้น ของสมดุลการดูดซับที่อุณหภูมิ 5, 10, 20, 30 40 องศาเซลเซียส.....95 |
| ข.1 | แสดงกราฟของสมดุลการดูดซับลักษณะต่างๆ 6 ลักษณะ136 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์และคำย่อ

| | | |
|---------------------------------|----------|--|
| C | แทน | ร้อยละของปริมาณความชื้นใดๆ |
| C _B | แทน | สัดส่วนของปริมาณความชื้นขณะที่เป็น 0.1 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้น |
| C _E | แทน | สัดส่วนของปริมาณความชื้นขณะที่เป็น 0.9 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้น |
| C _r | แทน | สัดส่วนของความเข้มข้นต่อความเข้มข้นที่อิ่มตัว (C/C _s) |
| C _s | แทน | ความเข้มข้นหรือปริมาณความชื้นที่คงที่ภายหลังการผ่านหอดูดซับ |
| HTU | ย่อมาจาก | High of Transfer Unit |
| K | แทน | ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ |
| k _a | แทน | ค่าคงที่ของการดูดซับ (Adsorption) |
| k _d | แทน | ค่าคงที่ของการปลดปล่อย (Desorption) |
| k _p , k _f | แทน | ค่าคงที่ของการดูดซับของฟรุนดลิช (Freundlich) |
| K _F | ย่อมาจาก | Karl Fischer |
| K _{Fav} | แทน | สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสารรวม (นาทีก) ⁻¹ |
| K _H | แทน | ค่าคงที่ของการดูดซับของเฮนรี (Henry) |
| MLS | ย่อมาจาก | สารดูดซับ Molecular Sieve |
| MTZ | ย่อมาจาก | Mass Transfer Zone |
| M _a | แทน | น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม) |
| M _o | แทน | น้ำหนักของความชื้นเริ่มต้น (กรัม) |
| M _s | แทน | น้ำหนักของความชื้นภายหลังการเกิดการดูดซับ (กรัม) |
| NTU | ย่อมาจาก | Number of Transfer Unit |
| p _b | แทน | ความหนาแน่นของเบด (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) |
| q | แทน | ปริมาณการดูดซับ (กรัมต่อกรัมสารดูดซับ) |
| q _e , q _s | แทน | ปริมาณการดูดซับที่สมดุล (กรัมต่อกรัมสารดูดซับ) |

สัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | |
|--------|--|
| q_m | แทน ปริมาณการดูดซับในชั้นแรก (Monolayer loading) (กรัมต่อกรัมสารดูดซับ) |
| r | แทน Adsorption parameter |
| t | แทน เวลา (นาที) |
| T | แทน อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) |
| u | แทน ความเร็วเชิงเส้นของอะซิโตนในหลอดดูดซับ (เซนติเมตรต่อนาที) |
| $V(C)$ | แทน ความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสาร (เซนติเมตรต่อนาที) |
| Y | แทน สัดส่วนของปริมาณการดูดซับ (q/q_s) |
| Z | แทน ระยะของหลอดดูดซับทั้งหมด (เซนติเมตร) |
| Z_a | แทน ความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสาร (เซนติเมตร) |
| z | แทน ระยะใดระยะหนึ่งของหลอดดูดซับ (เซนติเมตร) |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย