

การแยกไฮไลต์ไอโซเมอร์ผสมโดยการดูดซับบนซีไอไลต์



นายคงศักดิ์ วัฒนวงศ์พิทักษ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-333-347-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MIXED XYLENE ISOMERS SEPARATION BY ADSORPTION ON ZEOLITE



Mr.Kongsak Wattanawongpitak

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-333-347-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกไซลีนไอโซเมอร์ผสมโดยการดูดซับบนซีโอไลต์
โดย	นายคงศักดิ์ วัฒนวงศ์พิทักษ์
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสุทธิ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจริต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสุทธิ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.แก้ววดี พุกษาทร)

คงศักดิ์ วัฒนวงศ์พิทักษ์ : การแยกไซลีนไอโซเมอร์ผสมโดยการดูดซับบนซีโอไลต์. (MIXED XYLENE SEPARATION BY ADSORPTION ON ZEOLITE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสุทธิ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ , 71 หน้า. ISBN 974-333-347-9.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการและภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไซลีนไอโซเมอร์ผสมด้วยไซโตเดียมวายซีโอไลต์ได้แก่ พาราไซลีน เมตาไซลีนและออร์โทไซลีน แต่ละชนิดให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิ และไอออนที่นำมาแลกเปลี่ยนและในขนาดขยายส่วน ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อัตราการไหลของสารป้อน และอุณหภูมิ

ส่วนแรก การทดลองในห้องปฏิบัติการสำหรับหาภาวะที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางหาภาวะในขนาดขยายส่วนต่อไป ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับพาราไซลีน คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ไอออนแลกเปลี่ยนเป็นแบเรียมวายซีโอไลต์ ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 2.92 โดยน้ำหนัก และภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเมตาไซลีน คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และไอออนที่แลกเปลี่ยนเป็นแบเรียมวายซีโอไลต์ ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 4.56 โดยน้ำหนัก

ส่วนที่สอง การทดลองขนาดขยายส่วน ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับพาราไซลีน คือ อัตราการไหลขาเข้าของสารป้อน 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ไอออนแลกเปลี่ยนเป็นแบเรียมวายซีโอไลต์ ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 52.46 โดยน้ำหนัก และภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเมตาไซลีน คือ อัตราการไหลขาเข้าของสารป้อน 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ไอออนแลกเปลี่ยนเป็นลิเทียมวายซีโอไลต์ ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 62.03 โดยน้ำหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3972788423 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: XYLENES / ADSORPTION / FAUJASITE / ZEOLITE Y / DIFFUSION

KONGSAK WATTANAWONGPITAK : MIXED XYLENE SEPARATION BY ADSORPTION ON ZEOLTE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SOMKIAT NGAMPRASERTSITH, Ph.D., THESIS COADVISOR : PROF. SOMSAK DAMRONGLERD, Ph.D., 71 pp. ISBN 974-333-347-9.

This research was a study of process and appropriate conditions for adsorption of mixed xylene isomer on NaY-Zeolite such as P- xylene, m-xylene and o-xylene in order to increase more purity for such each substance in laboratory scale. The variables for this study were adsorption time, temperature and exchanged ions Y-Zeolite. In the pilot scale, the variables as feed flow rate and temperature were studied.

First part of experiment was done in laboratory scale to find the appropriate conditions in order to be a leading way to that find the suitable conditions in order to be a leading way to find the suitable conditions in pilot scale. In this part was found that the appropriate conditions to adsorb p-xylene were 60 minutes of adsorption, 120 ° C on BaY-Zeolite and percentage of adsorption of 2.92 by weight. The appropriate conditions to adsorb m-xylene were 60 minutes of adsorption, 120 ° C on BaY-Zeolite as well as the conditions for p-xylene adsorption and the percentage of adsorption of 4.56 by weight. Second part of experiment was done in pilot scale. The results was found that the appropriate condition for p-xylene adsorption were feed flowrate of 120 ml/hour at temperature of 120 ° C, on BaY-Zeolite and percentage of adsorption equal to 52.46 by weight. The appropriate conditions for m-xylene adsorption were found at feed flowrate of 120 ml/hour at 120 ° C on LiY-Zeolite and percentage of adsorption equal to 62.03 by weight.

Department Chemical Technology
Field of study Chemical Technology
Academic year 2000

Student's signature
Advisor's signature
Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสุสัทธ
อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัย ที่
ได้กรุณาให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณสุณี พรรคประพันธ์ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้ความช่วย
เหลือในการสร้างเครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัทเซลล์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยให้กับงาน
วิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยส่วนหนึ่งด้วย

ขอขอบพระคุณ บริษัท อะโรเมติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาให้
ความอนุเคราะห์ทางด้านวัสดุสำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆเพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาเคมีเทคนิคเป็นอย่างมากที่คอยให้
กำลังใจ และช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา พี่ชาย และน้องชาย ที่ช่วยเหลือทั้ง
ด้านกำลังทรัพย์ กำลังใจด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำและทฤษฎี.....	3
2.2 ลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับ.....	9
2.3 ลักษณะเฉพาะของ desorbent.....	9
2.4 การดูดซับ.....	10
2.4.1 สมบัติของการดูดซับ.....	10
2.5 ความรู้เกี่ยวกับซีโอไลต์.....	13
2.6 ซีโอไลต์ Y (zeolite Y).....	19
2.7 ประโยชน์ของซีโอไลต์.....	21
2.8 การกำจัดโมเลกุลน้ำในโครงสร้างซีโอไลต์.....	22
2.8.1 เสถียรภาพต่อความร้อน.....	22
2.8.2 เสถียรภาพต่อความดัน.....	23
2.8.3 เสถียรภาพต่อสารละลายกรดแก่และเบสแก่.....	23
2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	26
4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	33
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	49
รายการอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	53
ภาคผนวก ก.....	54
ภาคผนวก ข.....	55

สารบัญ (ต่อ)

๗

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ค.....	59
ภาคผนวก ง.....	60
ภาคผนวก จ.....	62
ภาคผนวก ฉ.....	63
ภาคผนวก ช.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	71



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของไซลีน และเอทิลเบนซีน.....	3
2.2 สมดุลองค์ประกอบของสารประกอบอะโรมาติกส์ ไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างๆ.....	4
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์แบ่งตามขนาดของช่องว่าง.....	17
2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์ แบ่งตามสัดส่วนของซิลิกากับอะลูมินา.....	18
3.1 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิ 20°C.....	28
3.2 สมบัติของน้ำมันถ้ายโอนความร้อนคุณภาพสูง (TRANSCAL N) บริษัท บีพีออยล์ (ประเทศไทย) จำกัด.....	29
4.1 ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของสารป้อนใช้ทดลองให้ผลดังตารางที่ 4.2 – 4.3.....	33
4.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 80, 100, 120 และ 130 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 60 นาที.....	34
4.3 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยซีโอไลต์ ที่เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส...	35
4.4 ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของสารป้อนใช้ทดลองให้ผลดังตารางที่ 4.5 – 4.7.....	35
4.5 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ ที่เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส...	35
4.6 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยโพแทสเซียมวายซีโอไลต์ ที่เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส...	36
4.7 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยแบเลียมวายซีโอไลต์ ที่เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส...	37
4.8 ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของสารป้อนใช้ทดลองให้ผลดังตารางที่ 4.9 – 4.18.....	37
4.9 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีน หลังจากดูดซับด้วยแบเรียมวายซีโอไลต์ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิ ในการดูดซับ 80 องศาเซลเซียส.....	38

สารบัญรูป

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการแยกเมตาโซลีนไอโซเมอร์ออกจากโซลีนไอโซเมอร์ผสม โดยใช้วิธีการดูดซับด้วยซีโอไลต์.....	5
2.2 แสดงหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิของซีโอไลต์.....	13
2.3 แสดงหน่วยโครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์.....	14
2.4 แสดงหน่วยโครงสร้างรูปทรงหลายหน้าของซีโอไลต์.....	14
2.5 แสดงประจุลบในโครงสร้างตาข่ายที่เกิดประจุ.....	15
2.6 ระบบของผลึกซีโอไลต์ และขนาดของช่องว่าง.....	16
2.7 แสดงโครงสร้างและขนาดของซีโอไลต์ Y.....	20
2.8 แสดง DTA curve ของซีโอไลต์ X และ Y.....	23
3.1 แสดงแผนภาพของหอดูดซับ.....	26
3.2 หอดูดซับ.....	27
3.3 ซีโอไลต์ที่ผ่านการขึ้นรูปให้เป็นเม็ดทรงกระบอก.....	27
4.1 การดูดซับเมตาโซลีนภายในโพรงของซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวาย.....	34
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.....	38
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส.....	39
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส.....	40
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส.....	41
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับกับอุณหภูมิ 80 100 120 และ 130 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....	42

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.....	43
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส.....	44
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส.....	45
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส.....	46
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาโซลีนหลังจากผ่าน หอดูดซับ กับอุณหภูมิ 80 100 120 และ 130 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....	47

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไซลีน (xylene) เป็นสารประกอบอะโรมาติกส์ที่มีความต้องการและใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพาราไซลีน ซึ่งใช้ในการผลิตกรดเตตระพทาสิก เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเอสเตอร์เรซิน และไฟเบอร์ เมตาไซลีนใช้ในการผลิตกรดไอโซพทาสิก ส่วนออร์โทไซลีนใช้ในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮดรายด์ เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าให้แก่ไซลีน ดังจะสังเกตได้จากปริมาณการนำเข้าปี 2539 ของไซลีนไอโซเมอร์ผสม พาราไซลีน เมตาไซลีน และออร์โทไซลีน มีประมาณ 5.3, 222000, 960 และ 25000 ตัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณการนำเข้าของไซลีนไอโซเมอร์ผสมจะน้อยมากเมื่อเทียบกับไซลีนไอโซเมอร์ชนิดอื่นๆ แสดงถึงปริมาณความต้องการที่จะนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งน้อยกว่าการใช้ประโยชน์ในแต่ละไอโซเมอร์ แต่การแยกไอโซเมอร์แต่ละชนิดออกจากกันนั้นกระทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากจุดเดือดที่ใกล้เคียงกัน โดยที่จุดเดือดของพาราไซลีน, เมตาไซลีน, และออร์โทไซลีน เท่ากับ 138.37°C , 139.12°C และ 144.41°C ตามลำดับ ไซลีนทั้งสามชนิดดังกล่าวนี้มีค่าการระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility) ที่ต่ำมากจึงไม่สามารถแยกได้โดยวิธีการกลั่นได้ แต่จะสามารถแยกได้ โดยอาศัยหลักการของการแยกแบบดูดซับบนตัวดูดซับในภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นการแยกไซลีนไอโซเมอร์แต่ละชนิดออกจากกันก็จะเป็นการเพิ่มคุณค่าผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น และช่วยลดการนำเข้าจากต่างประเทศไปได้อีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษากระบวนการ และภาวะที่เหมาะสมในการแยกพาราไซลีน เมตาไซลีน และออร์โทไซลีน จากไซลีนไอโซเมอร์ผสม

ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการศึกษาการแยกไซลีนไอโซเมอร์ผสมด้วยวิธีการดูดซับบนตัวดูดซับซีโอไลต์ประเภทวาย ซึ่งได้ทำการแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่างๆ ได้แก่ แบริยม, โพแทสเซียม และลิเทียม พร้อมกับเปรียบเทียบผลของการดูดซับ ทั้งในการทดลองขนาดปฏิบัติการ และขนาดขยายส่วน เพื่อนำไปสู่การใช้งานจริงต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เรียนรู้แนวทาง และวิธีการแยกโซลีนไอโซเมอร์ผสมออกจากกันให้มีความบริสุทธิ์สูงพอที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับงานด้านอื่นๆต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำและทฤษฎี [1,2,3]

กระบวนการดูดซับแบบวัฏภาคของเหลวสามารถใช้แยกไซลีนไอโซเมอร์ผสมออกจากสารผสมที่ประกอบด้วยสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ พาราไซลีน เมตาไซลีน ออร์โทไซลีน และเอทิลเบนซีน โดยใช้ซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวาย (NaY zeolite) ที่มีค่าปริมาณน้ำ (water content) ต่ำ และใช้โทลูอีนเป็น desorbent ตารางที่ 2.1 แสดงจุดหลอมเหลว และจุดเดือดของไซลีน และเอทิลเบนซีน สารเหล่านี้ส่วนใหญ่ได้จากกระบวนการรีฟอร์มมิง และกระบวนการไอโซเมอไรเซชันในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันและปิโตรเคมี โดยสารเหล่านี้มีจุดเดือดค่าใกล้เคียงกันมาก จึงไม่สามารถใช้กระบวนการกลั่นแยกได้

ตารางที่ 2.1 จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของไซลีน และเอทิลเบนซีน [4]

สารเคมี	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
พาราไซลีน (Paraxylene)	13.263	138.37
เมตาไซลีน (Metaxylene)	-47.872	139.12
ออร์โทไซลีน (Orthoxylene)	-25.182	144.41
เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)	-94.975	136.19

ไซลีนไอโซเมอร์ผสมที่ได้มาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันจะมีส่วนผสมของเอทิลเบนซีนด้วย แต่ละองค์ประกอบคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้ เอทิลเบนซีนร้อยละ 20, พาราไซลีนร้อยละ 18, เมตาไซลีนร้อยละ 40, และออร์โทไซลีนร้อยละ 20 [1] อย่างไรก็ตามไซลีนไอโซเมอร์ผสมจะมีขอบเขตของการใช้งานจำกัด เช่น นำไปเป็นตัวทำละลายเป็นต้น ในขณะที่ไอโซเมอร์บริสุทธิ์แต่ละตัวจะถูกนำไปใช้เฉพาะงานได้กว้างกว่า เช่น เมตาไซลีนนำไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ได้ พาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride) ใช้ในอุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์, เรซิน (Resin) และพลาสติกไซเซออร์ (Plasticizer) ออร์โทไซลีนนำไปผลิตเป็นกรดพทาลิก (phthalic acid) ใช้ในอุตสาหกรรมกาวพลาสติก, ยาฆ่าแมลง, น้ำยาฟอกหนัง พาราไซลีนนำไปผลิตเป็นกรดทาเรพทาลิก (Terephthalic acid) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญ เพราะมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น เส้นใยสังเคราะห์ และแผ่นฟิล์ม เป็นต้น

กระบวนการรีฟอร์มมิงของแนฟทา (naphtha) โดยใช้แพลทินัม – แฮโลเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (platinum – halogen catalyst) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสัดส่วนจะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิตารางที่ 2.2 และทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นในขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วน หรือการสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย หรือกระบวนการไซลีนไอโซเมอไรเซชัน (xylene Isomerisation) เพื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบในสารประกอบอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอน

ตารางที่ 2.2 สมดุลองค์ประกอบของสารประกอบอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างๆ [1]

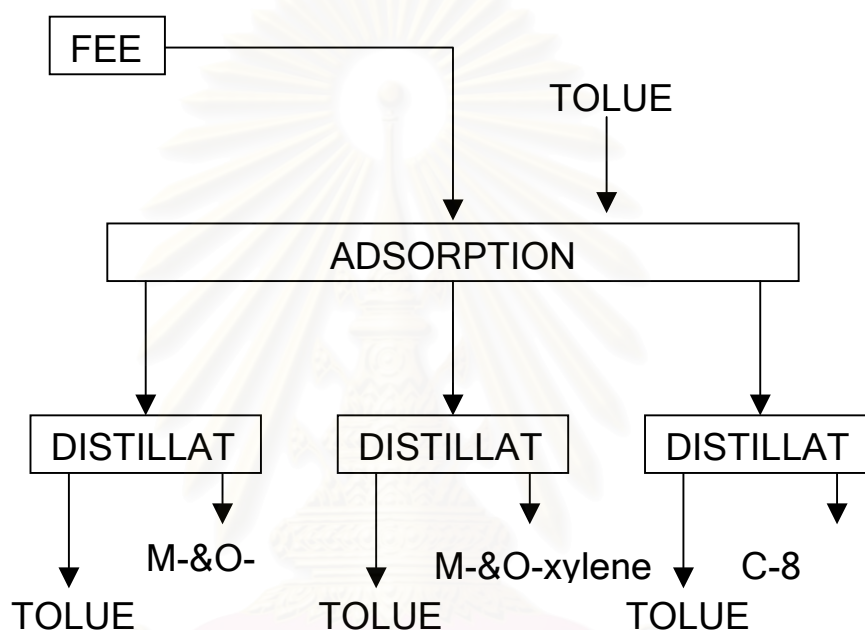
สารประกอบอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอน	อุณหภูมิ (องศาฟาเรนไฮต์)		
	620	800	980
	ร้อยละโดยโมลของไอโซเมอร์		
เอทิลเบนซีน	6	8	11
พาราไซลีน	22	22	21
เมตาไซลีน	50	48	45
ออร์โทไซลีน	22	22	23

การแยกไซลีนไอโซเมอร์ผสม เริ่มจากการแยกพาราไซลีนออกก่อน โดยวิธีการดูดซับพาราไซลีนบนซีโอไลต์ประเภทเบเรียมวาย (BaY zeolite) หรือโพแทสเซียมวาย (KY zeolite) จากนั้นในสารผสมจะเหลือเพียง เมตาไซลีน และออร์โทไซลีนซึ่งจะแยกโดยใช้วิธีการดูดซับเมตาไซลีนบนซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวาย (NaY zeolite) หรือลิเทียมวาย (LiY zeolite) [6,7,8,9]

รอบ (cyclic) ของการแยกพาราไซลีนออกจากไซลีนไอโซเมอร์ผสมโดยการดูดซับด้วยซีโอไลต์ประเภทเบเรียมวาย สามารถแยกสารออกเป็นส่วนๆ โดยแต่ละส่วนจะมีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ดังนี้

1. สัดส่วนราฟฟินेट (raffinate fraction) เป็นส่วนขององค์ประกอบที่ดูดซับต่อตัวดูดซับน้อยที่สุด ได้แก่ เมตาไซลีนและออร์โทไซลีน ซึ่งจะมีความบริสุทธิ์สูง เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบอื่นๆ
2. สัดส่วนสารมัธยันตร์ (intermediate fraction) เป็นส่วนขององค์ประกอบที่มีพาราไซลีนที่เหลือจากการดูดซับบนเป็อนมาบางส่วน ทำให้ความบริสุทธิ์ของเมตาไซลีนและออร์โทไซลีนต่ำลง ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือออกมาถัดจากสัดส่วนราฟฟินेट

3. ส่วนท้ายสุด เป็นส่วนที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆใกล้เคียงกับสารป้อน เนื่องจากตัวดูดซับอิ่มตัวด้วยตัวถูกดูดซับ
- ส่วนที่สองและสามอาจจะนำมารวมกัน หรือไปรวมกับสารป้อน เพื่อนำกลับไปทำการแยกใหม่ให้ได้ความบริสุทธิ์มากกว่าเดิม ขั้นตอนการแยกในส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการแยกพาราไซลีนไอโซเมอร์ออกจากไซลีนไอโซเมอร์ผสม โดยการดูดซับด้วยซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวาย [6]

กระบวนการแยกในแต่ละรอบอาจจะทำการทดลองในรูปของวัฏภาคของเหลวหรือวัฏภาคของแก๊ส (liquid phase or vapor phase) ก็ได้ ถ้าทดลองในรูปแบบของวัฏภาคของเหลวก็จะกระทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า ง่ายต่อการควบคุมการไหล และสามารถแยกแต่ละส่วนออกจากกันได้ง่าย แต่ถ้าทำการทดลองที่วัฏภาคของแก๊สแล้วก็จะทำให้ได้ประสิทธิภาพในการแยกที่สูงกว่า ในการทดลองนี้จะอยู่ในรูปแบบของวัฏภาคของเหลวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 – 450 องศาฟาเรนไฮต์ และที่ความดันที่เพียงพอที่จะคงความเป็นวัฏภาคของเหลวไว้ได้ โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงความดันปกติประมาณ 500 psig ภาวะสำหรับการทดลองแบบวัฏภาคของแก๊สนั้นจะกระทำที่อุณหภูมิระหว่าง 290 – 450 องศาฟาเรนไฮต์ และความดันที่ต้องการจะอยู่ระหว่างความดันปกติประมาณ 80 psig ทั้งวัฏภาคของเหลวหรือวัฏภาคของแก๊สจะทำการทดลองที่อุณหภูมิและความดันคงที่

เสมอ ปริมาณของ desorbent ที่ใช้จะต้องพอเพียงที่จะไปแทนที่ทุกๆองค์ประกอบที่ถูกดูดซับไว้กับตัวดูดซับ สังเกตได้จากถ้า desorbent น้อยเกินไปจะทำให้ได้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ต่ำลง แต่ถ้ามากเกินไป การแยกก็ยังคงเกิดขึ้นได้แต่เวลาที่ใช้ในแต่ละรอบ และปริมาณของ desorbent ที่จะต้องแยกออกจากผลิตภัณฑ์ในแต่ละส่วนนั้นก็จะเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น charge ratio คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณของสารผสมป้อนต่อปริมาณของ desorbent ที่ใช้ในแต่ละรอบ ซึ่งปริมาณนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้ ได้แก่ ความจุของตัวดูดซับ (adsorbent capacity), selectivity, ขนาดของอนุภาคของตัวดูดซับ (particle size), อัตราการไหลของสารป้อน, ส่วนประกอบของสารผสมป้อน, ความยาวของคอลัมน์ การออกแบบกระบวนการผลิตนั้นจะสัมพันธ์โดยตรงกับต้นทุนของเบดดูดซับ (adsorbed bed) ต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ และต้นทุนของการแยก desorbent ออกจาก effluent fractions ทั้งสองต้นทุนจะถูกพิจารณาพร้อมๆกัน

ในการทดลองนี้เป็นการแยกเมตาไซลีนจากสารผสมที่ประกอบด้วยเมตาไซลีน และสารประกอบอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนอย่างน้อยหนึ่งชนิด โดยใช้การดูดซับที่อุณหภูมิระหว่าง 80 – 130 องศาเซลเซียส ด้วยซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวาย (NaY zeolite) และซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวาย (LiY zeolite) เมตาไซลีนจะถูกดูดซับไว้ด้วยซีโอไลต์ดังกล่าว ส่วนสารที่ไม่ได้ถูกดูดซับจะไหลออกไป และจะสามารถนำเมตาไซลีนกลับคืนได้โดยการ desorption ด้วย desorbent ใน desorption condition ส่วนการแยกพาราไซลีนจากสารผสมที่ประกอบด้วยพาราไซลีน และสารประกอบอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนอย่างน้อยหนึ่งชนิด โดยใช้การดูดซับที่อุณหภูมิระหว่าง 80 – 130 องศาเซลเซียส ด้วยซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวาย (BaY zeolite) และซีโอไลต์ประเภทโพแทสเซียมวาย (KY zeolite) พาราไซลีนจะถูกดูดซับไว้ด้วยซีโอไลต์ดังกล่าว ส่วนสารที่ไม่ได้ถูกดูดซับจะไหลออกไป และจะสามารถนำพาราไซลีนกลับคืนได้โดยการ desorption ด้วย desorbent ใน desorption condition

เมตาไซลีนเป็นสารที่มีความสำคัญและมีค่าสารหนึ่งในอุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง และอุตสาหกรรมผลิตกรดไอโซพทาสิก ได้มาจาก effluent ของแนฟทารีฟอร์มมิงโซน (naphtha reforming zone) ซึ่งจะมีสารประกอบอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนความเข้มข้นสูงซึ่งสามารถนำเมตาไซลีนกลับคืนได้หลายวิธีนอกเหนือจากวิธีการดูดซับ ได้แก่ การกลั่นลำดับส่วนและการตกผลึก, การกลั่นสกัดแยก (extraction distillation) แต่อย่างไรก็ตามวิธีเหล่านี้ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรในทางอุตสาหกรรมและเมตาไซลีนสามารถเปลี่ยนรูปเป็นสารอื่นได้ง่าย ได้แก่ เบนซีน หรือพาราไซลีน ดังนั้นการแยกโดยวิธีการดูดซับสามารถใช้ในการนำเมตาไซลีนกลับคืนด้วยตัวดูดซับซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวาย (NaY zeolite) หรือลิเทียมวาย และโทลูอินเป็น desorbent นั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแยกเมตาไซลีน [Neuzil, 1982] อย่างไรก็ตามเมื่อวิธี

การนี้ได้ทำการทดลองระบบปฏิบัติการขนาด pilot scale พบว่ามีข้อเสียอยู่ 2 ประการที่มีผลกระทบต่ออย่างมากเมื่อขยายขนาดเป็น commercial scale ได้แก่ (1) จำเป็นต้องใช้อัตราส่วนของปริมาณของตัวดูดซับต่อสารป้อน (A/F ratio) ที่สูง และจะยิ่งสูงขึ้นใน commercial scale และ (2) ประสิทธิภาพจะต่ำลง ถ้ามีความเข้มข้นของออร์โทไซลีนในสารป้อนสูง [2]

ซีโอไลต์ประเภทวาย (Y zeolite) ที่ใช้จะมีอัตราส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินาอยู่ระหว่าง 1.5 : 1 ถึง 2.1 : 1 ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 1.8 : 1 ซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดลองจะเป็นซีโอไลต์ประเภทไซเดียมวาย (NaY zeolite) ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับซีโอไลต์ได้ โดยการแทนที่ไซเดียม (Na) ด้วยลิเทียม (Li) โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (ions exchange) พบว่าร้อยละ 10 – 30 ของการแลกเปลี่ยนลิเทียม (Lithium exchange) จะช่วยให้ประสิทธิภาพดีขึ้น ส่วนในการดูดซับพาราไซลีนนั้นจะแทนที่ไซเดียมด้วยโพแทสเซียม หรือแบเรียมซึ่งมีความเป็นขั้วสูงกว่าทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับพาราไซลีนดีขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวดูดซับ นอกเหนือจากส่วนประกอบของตัวดูดซับเองที่มีผล ได้แก่

1. ภาวะการปฏิบัติการ (Operating condition)
2. องค์ประกอบของกระแสป้อน (Feed stream composition)
3. ปริมาณน้ำในตัวดูดซับ (Water content of adsorbent)
4. องค์ประกอบของ Desorbent composition

โดยทั่วไปอนุภาคของตัวดูดซับ (adsorbent particles) ที่ใช้ในกระบวนการแยกนั้นจะประกอบไปด้วยผลึกซีโอไลต์ (zeolite crystals) ขนาดเล็กๆกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของสารอนินทรีย์ในรูปอสัณฐาน (amorphous inorganic matrix) ได้แก่ อะลูมินา หรือดินเหนียว (clay) มีตัวประสานดินเหนียว (clay binder) ประกอบไปด้วยซิลิกา และอะลูมินา ภายในอนุภาคตัวดูดซับจะมีซีโอไลต์อยู่ 75 – 98 ร้อยละโดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอิสระระเหยง่าย (volatile free composition) ซึ่งหาหลังจากนำตัวดูดซับไปเผา (calcine) ที่อุณหภูมิ 900 °C เพื่อที่จะไล่สารระเหยง่าย (volatile matter) ต่างๆออกไป ในส่วนที่ไม่มีซีโอไลต์เกาะอยู่บนตัวดูดซับก็จะเป็น inorganic matrix material ตัวดูดซับที่ใช้จะมีขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 16 – 60 mesh (ตามมาตราฐาน U.S. mesh) แม้ว่ากระบวนการแยกโดยการดูดซับสามารถกระทำได้ทั้งแบบวัฏภาคของเหลวหรือวัฏภาคของแก๊สก็ได้ แต่นิยมกระทำแบบวัฏภาคของเหลวมากกว่า เนื่องจากไซลีนจะอยู่ในรูปของเหลวในภาวะปกติ ภาวะของการดูดซับ (adsorption conditions) จะใช้ที่อุณหภูมิระหว่าง 20 – 200 °C อย่างไรก็ตามอุณหภูมิระหว่าง 120 – 130 °C จะให้ผลการแยกที่ดีที่สุด การเพิ่มอุณหภูมิจะมีแนวโน้มที่จะไปลด retention volume และจะใช้ความดันระหว่างความดัน

บรรยากาศปกติจนถึง 150 psig เพื่อให้แน่ใจว่าทำการแยกแบบวัฏภาคของเหลว ส่วนภาวะ desorption (desorption condition) ก็จะใช้ที่ภาวะเดียวกัน

ในการทดลองจะทำการแยกเมตาไซลีน โดยการผ่านสารผสมป้อนที่ประกอบด้วยของผสมของสารประกอบอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนไปบนตัวดูดซับที่ซึ่งจะเลือกดูดซับเฉพาะเมตาไซลีนในขณะที่ปล่อยให้ส่วนประกอบอื่นไหลผ่านไปได้ หลังจากนั้นก็จะทำการชะล้าง (flush) ด้วยไนโตรเจน เพื่อไล่สารที่ไม่ดูดซับ (nonadsorbed materials) ที่ตกค้างอยู่รอบๆตัวดูดซับออกไป จากนั้นก็ทำการ desorb เมตาไซลีนด้วย desorbent ต่อไป

Selectivity (β) สามารถแสดงในรูปของความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆในสารผสมป้อน และ desorbent ซึ่งจะถูกนิยามเป็นอัตราส่วนระหว่างองค์ประกอบที่ต้องการหา selectivity กับองค์ประกอบอ้างอิงในวัฏภาคดูดซับ (adsorbed phase) หารด้วยอัตราส่วนของสององค์ประกอบนั้นในวัฏภาคที่ไม่ได้ถูกดูดซับ (unadsorbed phase) ที่ภาวะสมดุล (equilibrium conditions) ดังสมการ

$$\text{Selectivity} = \frac{\text{wt. Percent C} / \text{wt. Percent D}_A}{\text{wt. Percent C} / \text{wt. Percent D}_U}$$

โดยที่ C,D เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสององค์ประกอบนั้นในสารผสมป้อน

A,U เป็นวัฏภาคดูดซับ และวัฏภาคที่ไม่ได้ถูกดูดซับ ตามลำดับ

ภาวะสมดุลจะถูกวัดเมื่อสารป้อนที่ไหลผ่านเบดดูดซับไม่มีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบอีก นั่นก็คือไม่มี net transfer ขององค์ประกอบเกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคดูดซับและวัฏภาคที่ไม่ได้ถูกดูดซับ

Selectivity = 1.0 แสดงว่าทั้งองค์ประกอบ C และ D สามารถถูกดูดซับได้ในปริมาณเท่าๆกัน

Selectivity > 1.0 แสดงว่าองค์ประกอบ C สามารถถูกดูดซับได้มากกว่า

Selectivity < 1.0 แสดงว่าองค์ประกอบ D สามารถถูกดูดซับได้มากกว่า

ในทางทฤษฎีแล้วการแยกองค์ประกอบสกัด (extract component) จากองค์ประกอบราฟฟิเนต (raffinate component) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ Selectivity ขององค์ประกอบสกัด เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบราฟฟิเนต ในตัวดูดซับต้องมากกว่า 1.0 ยิ่งเข้าใกล้ 2.0 จะยิ่งดีขึ้น

Selectivity ยิ่งสูง การแยกโดยการดูดซับก็จะเกิดได้ง่ายขึ้น นั่นแสดงถึงการที่จะใช้ปริมาณของตัวดูดซับที่ลดลง

2.2 ลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับ (characteristics of adsorbent) [4]

1. ความจุของการดูดซับ (adsorptive capacity) เป็นความจุขององค์ประกอบสกัดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของตัวดูดซับยิ่งมีความจุมากเท่าไร ประสิทธิภาพของการแยกก็จะยิ่งมากขึ้นซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์และผลได้ (yield) ที่สูงขึ้นด้วย และปริมาณของตัวดูดซับ และต้นทุนการผลิตก็จะลดลง
2. Selectivity ความสามารถในการแยกองค์ประกอบต่างๆภายในสารผสมป้อนหรือเป็นการเลือกดูดซับองค์ประกอบหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบอื่นๆภายในสารป้อน Selectivity ไม่เพียงแต่แสดงอยู่ในรูปขององค์ประกอบหนึ่งเปรียบเทียบกับองค์ประกอบอื่นในสารผสมป้อนเท่านั้น แต่ยังสามารถแสดงเปรียบเทียบได้กับทุกอย่างองค์ประกอบภายในสารป้อนรวมทั้ง desorbent ด้วย ในรูปของสัดส่วนของความเข้มข้นของสององค์ประกอบในวัฏภาคดูดซับหารด้วยสัดส่วนของความเข้มข้นของสององค์ประกอบเดียวกันในวัฏภาคที่ไม่ได้ถูกดูดซับที่ภาวะสมดุล
3. อัตราการดูดซับ (Rate of adsorption) และ desorption ขององค์ประกอบสกัดต้องรวดเร็วเพียงพอที่ทำให้ความเร็วในแต่ละรอบของการแยกมีมากขึ้น ยังผลให้ประสิทธิภาพในการแยกดีขึ้นด้วย

2.3 ลักษณะเฉพาะของ desorbent [4]

1. Selectivity ของ desorbent จะต่อน้อยกว่า Selectivity ของตัวดูดซับ นั่นคือ desorbent ควรจะแทนที่องค์ประกอบสกัดภายในตัวดูดซับด้วยแรงในการดูดซับที่ไม่สูงเกินไป เพื่อป้องกันการดูดซับอย่างถาวรของ desorbent ในรอบต่อไปของการดูดซับ
2. ความเข้ากันได้ (compatible) กับตัวดูดซับและสารผสมป้อนที่ใช้
3. desorbent ที่ใช้ต้องไม่ลดหรือทำลาย selectivity ของตัวดูดซับ
4. desorbent ไม่ควรที่จะเกิดปฏิกิริยาหรือมีส่วนทำให้เกิดปฏิกิริยาทั้งกับองค์ประกอบสกัดหรือกับองค์ประกอบกราฟไฟเนต
5. desorbent ควรจะแยกออกได้โดยง่ายด้วยวิธีการแบบง่ายๆ เช่น การกลั่น หรือการระเหย ในส่วนของสารที่แยกมาได้ในแต่ละรอบของการแยกทั้งสารสกัด หรือสารกราฟไฟเนตก็ตาม จะมี desorbent ผสมอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นถ้าไม่สามารถแยก

desorbent ออกได้ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำ และก็จะสูญเสีย desorbent ไปโดยเปล่าประโยชน์ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ desorbent ที่ใช้ส่วนใหญ่จะต้องมีจุดเดือดที่แตกต่างกันกับจุดเดือดเฉลี่ยของสารผสมป้อนอย่างน้อย 15 องศาเซลเซียส (สูงหรือต่ำจากจุดเดือดเฉลี่ยก็ได้)

6. หาได้ง่าย และราคาพอสมควร

2.4 การดูดซับ [4]

การดูดซับมีอยู่ 2 ชนิดคือ การดูดซับแบบฟิสิกส์ และการดูดซับแบบเคมี การดูดซับแบบฟิสิกส์เกิดจากการจับกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ส่วนในการดูดซับแบบเคมีจะเกิดจากพันธะทางเคมีเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี และมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ระหว่างตัวดูดซับ (adsorbent) และตัวถูกดูดซับ (adsorbate) การดูดซับแบบฟิสิกส์ใช้เป็นวิธีหาพื้นที่ผิวของคะตะลิสต์ (catalyst) และขนาดของรูพรุน รวมทั้งการกระจายขนาดของรูพรุนเท่านั้น และปฏิกิริยาจำนวนไม่มากที่การดูดซับแบบฟิสิกส์เข้าไปมีผลต่ออัตราเร็ว แต่ถ้าปฏิกิริยาเกิดที่สถานะไอของสารและเกิดการกลั่นตัวที่ผิวของคะตะลิสต์ลักษณะเช่นนี้ การดูดซับแบบฟิสิกส์จะเข้าไปเกี่ยวข้องอย่างมาก

การดูดซับแบบเคมีจะเกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้ของแข็งเป็นคะตะลิสต์ โดยจะเป็นขั้นตอนของการเกิดสารมัธยันตร์ (intermediate) ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป โดยมีสารตั้งต้นหนึ่งสารหรือมากกว่าการดูดซับแบบเคมีสามารถใช้เป็นเทคนิคในการหาพื้นที่ผิวเฉพาะส่วนที่เกิดการกระตุ้น (active site) แต่สำหรับพื้นที่ผิวทั้งหมดจะหาได้จากการดูดซับแบบฟิสิกส์

จากหลักฐาน [4] พบว่าจะเกิดการดูดซับแบบเคมีในปฏิกิริยาที่ใช้คะตะลิสต์ของแข็งเกือบทุกปฏิกิริยา และการดูดซับบางแบบจะเกิดขึ้นที่เวลาจำกัด เนื่องจากปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่เกิดการดูดซับแบบฟิสิกส์ สุดท้ายแรงที่เกิดจากการดูดซับแบบฟิสิกส์จะน้อยกว่าแรงของการดูดซับแบบเคมี นอกจากนี้โดยทั่วไปการทำงานและความสามารถของคะตะลิสต์ในการดูดซับแบบเคมีสามารถเกิดได้แม้ว่าสารตั้งต้นมีจำนวนมากกว่าหนึ่ง

การดูดซับแบบฟิสิกส์อาจช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลจะถูกดึงเข้ามาชิดกันจนแทบจะเป็นของเหลวมากกว่าที่จะเกิดเป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) แบบการดูดซับแบบเคมี

2.4.1 สมบัติของการดูดซับ

การดูดซับแบบเคมีจะเกี่ยวข้องกับพันธะทางอิเล็กตรอนของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ปัญหาคือจะทำนายการทดลองว่าเกิดขึ้นได้อย่างไรซึ่งในการเกิดจะเป็นสถานการณ์เฉพาะ อาจจะใช้การศึกษาโดยตรงของแรงอิเล็กตรอนิก ที่แตกต่างกัน 2 สนาม เป็นการยากที่จะใช้เทคนิคใน

การค้นหาจำนวนโมเลกุลขนาดเล็กๆ ที่ถูกดูดซับซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของตัวอย่างและขอบเขตจำกัดของเครื่องมือ ปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการดูดซับ ได้แก่

- ความร้อน

ความร้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกความแตกต่างในการดูดซับแบบฟิสิกส์ ความร้อนเฉลี่ยในการดูดซับต่อโมลสำหรับการเกิดของ monolayer ของการดูดซับไอโดยปกติค่อนข้างจะมากกว่าการทำให้เป็นของเหลวจะมีค่าประมาณ 10 kJ/mol ความร้อนในการดูดซับแบบเคมีจะมีค่าความร้อนเฉลี่ยในการดูดซับต่อโมลสูงใกล้เคียงกับปฏิกิริยาเคมี (80-200 kJ/mol) หรืออาจมากกว่า 600 kJ/mol ก็ได้ ในการดูดซับทั้ง 2 แบบ ความร้อนที่ใช้ จะบอกถึงสัดส่วนพื้นที่ผิวที่ถูกปกคลุมด้วย

การดูดซับแบบฟิสิกส์จะเป็นการคายความร้อน ส่วนการดูดซับแบบเคมี ปกติจะเป็นการคายความร้อน แต่ในทฤษฎีเป็นไปได้ที่การดูดซับแบบเคมีจะเป็นการดูดความร้อนเหมือนการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยปกติกระบวนการจะเกิดขึ้นได้พลังงานเสรีจะเป็นลบจากความสัมพันธ์ ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$) ΔH ต้องมีค่าน้อยกว่า $T\Delta S$ การดูดซับแบบดูดความร้อน เช่น ไฮโดรเจนถูกดูดซับบนเหล็กที่ปนเปื้อนด้วยกำมะถัน ในกระบวนการนี้เอ็นโทรปีของการดูดซับ Species จะลดลงเพราะการลดจำนวนของความเป็นอิสระ อย่างไรก็ตามในการเกิดการดูดซับแบบดูดความร้อนเกิดขึ้นได้ยาก

- อัตราการดูดซับ

การดูดซับแบบฟิสิกส์เหมือนกับการกลั่นตัวไม่ต้องใช้พลังงานการกระตุ้น และเกิดได้เมื่อโมเลกุลกระทบผิว อย่างไรก็ตามรูปทรงบนของแข็ง เช่น ซีโอไลต์ หรือคาร์บอนจะเกิดขึ้นได้ช้าสำหรับไอซึ่งจะสำรวจได้จากอัตราที่แท้จริงโดยกำหนดจากอัตราการแพร่ของไอไปยังรอยแตก หรือรู ในกระบวนการดูดซับแบบเคมีจะแสดงพลังงานการกระตุ้นและกระบวนการที่มีอัตราที่เหมาะสมที่สุด บางครั้งการดูดซับแบบเคมีจะเกิดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ไฮโดรเจนบนโลหะทั้งสแตน ที่อุณหภูมิ -183°C อัตราการเกิดการดูดซับจะเป็นเครื่องวัดความแตกต่างของการดูดซับทั้งสองชนิด

- อุณหภูมิที่มีผลโดยรวมในการดูดซับ

โดยมากจะสัมพันธ์กับความดันสัมพัทธ์ P/P_0 โดย P เป็นความดันย่อยของไอในระบบ และ P_0 เป็นความดันของไอที่ออกมาอยู่เหนือของเหลวที่อุณหภูมิเท่ากับความดันสัมพัทธ์จะใช้หลักการคล้ายกับความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อ $P/P_0 = 0.1$ หรือน้อยกว่า การดูดซับแบบฟิสิกส์จะไม่ถูกนำไปพิจารณา ยกเว้นเมื่อรูของของแข็งละเอียด เมื่อค่า $P/P_0 = 0.1$ การดูดซับจะสัมพันธ์กับ monolayer และเมื่อค่า P/P_0 เพิ่มขึ้นการดูดซับแบบ multilayer จะเกิดจนกระทั่งค่า $P/P_0 = 1$

ในบางกรณีเป็นการยากที่จะบอกความแตกต่างระหว่าง strong chemisorption กับการเกิดปฏิกิริยาในของแข็ง โดยทั่วไปการจัดตัวของโครงสร้างอะตอมในของแข็งส่วนใหญ่จะไม่มีผลกับกระบวนการในเทอมของการดูดซับแบบเคมี ถ้าอะตอมในของแข็งแทนที่หรือจัดตัวใหม่ในเทอมของการเกิดปฏิกิริยา ถ้าตัวถูกดูดซับถูกจำกัด เช่นจะมีความหนาพอสำหรับ 1 โมเลกุลในเทอมนี้ จะเป็นการดูดซับใน monolayer ของออกซิเจนและออกซิเจนจะทะลุเข้าไปบนพื้นผิวได้ไม่ยากเช่น การเกิดสนิมเหล็ก บางครั้งจะอยู่ในเทอมของ corrosive chemisorption

- ขอบเขตการดูดซับ

การดูดซับแบบฟิสิกส์จะเกิดเป็น multilayer และค่า P/P_0 ประมาณ 0.1-0.3 ในการดูดซับแบบเคมีจะเกิดได้เพียง 1 ชั้นของพื้นผิว บางครั้งจะเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า 1 ชั้น การดูดซับแบบฟิสิกส์และแบบเคมีจะเกิดขึ้นด้วยกัน ในตอนแรกแก๊สจะเกิดการดูดซับแบบฟิสิกส์และจะเกิดการรวมตัวเป็นแบบเคมีอย่างช้าๆ เช่น ไฮโดรเจนจะเกิดการดูดซับได้อย่างง่ายบนผิวโลหะ เช่น นิกเกิล และแพทินัมเกิดการรวมตัวเป็น PdH และ PdH₂ ซึ่งพฤติกรรมนี้แสดงว่า Pd และ Ni เป็น คะตะลิสต์ที่ดีในการดูดซับไฮโดรเจน

- ความสามารถในการผันกลับ

ในการดูดซับแบบฟิสิกส์ จะเกิดการผันกลับอย่างสมบูรณ์และสมดุลของการดูดซับจะเร็วมากจนกระทั่งเกิดการแพร่ผ่านรูของโครงสร้างเกิดขึ้น วัฏจักร adsorption และ desorption เกิดได้ทั้งแบบเพิ่ม และลดอุณหภูมิ ความดัน และเกิดขึ้นได้โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงของตัวถูกดูดซับ

การดูดซับแบบเคมี มีทั้งผันกลับได้และผันกลับไม่ได้ เช่น ในการดูดซับออกซิเจนบน charcoal แล้วปล่อย จะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ กับความร้อน และไฮโดรเจนถูกดูดซับบนออกไซด์ ผลที่ได้จะเป็นน้ำกับความร้อน การดูดซับเอทิลีนบนนิกเกิล ผลที่ได้จะเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมา ในการตรวจสอบว่าเป็นการดูดซับแบบเคมีหรือไม่ จะใช้ Hydrogen-deuterium เป็นตัวถูกดูดซับในการวิเคราะห์ และถ้า HD ที่ถูกพบในการ desorbed แก๊สออกมาอยู่ในรูป H₂D₂ แสดงว่าเกิดการดูดซับแบบเคมี ในการดูดซับแบบเคมีที่จับกันอย่างแข็งแรง เช่น การดูดซับออกซิเจนบนโลหะสามารถนำโลหะกลับมาได้โดยการใช้อุณหภูมิสูง หรือ การทำปฏิกิริยา

- Specificity

การดูดซับทางฟิสิกส์เกิดขึ้นไม่จำเป็นว่ามันจะเกิดกับไอ หรือแก๊สบนพื้นผิวใดๆก็ได้ โดยมีข้อแม้ว่า P/P_0 ต้องมากเพียงพอ แต่สำหรับการดูดซับแบบเคมีจะมีความจำเพาะเจาะจงสูงซึ่งจะเกิดเมื่อตัวถูกดูดซับมีความสามารถที่จะสร้างพันธะกับตัวดูดซับเท่านั้น

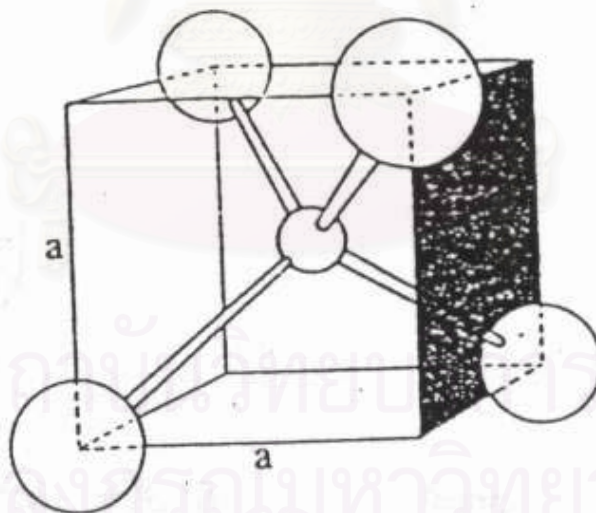
การดูดซับไฮโดรเจนบน Nickle powder ที่ความดันคงที่และอุณหภูมิต่ำ กระบวนการเป็นการดูดซับแบบฟิสิกส์หรืออาจเป็นการดูดซับแบบเคมีอย่างอ่อนและผันกลับได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาณที่ถูกดูดซับมากขึ้น (อุณหภูมิเหนืออุณหภูมิวิกฤต) กระบวนการที่อุณหภูมิสูงเป็นการดูดซับแบบเคมี

2.5 ความรู้เกี่ยวกับซีโอไลต์ [4, 10, 11, 12]

ซีโอไลต์ เป็นผลึกของสารประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกตของธาตุแอลคาไล หรือแอลคาไลน์เอิร์ท โดยธาตุที่พบมาก ได้แก่ โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), แมกนีเซียม (Mg), แคลเซียม (Ca), สตรอนเทียม (Sr) และแบเรียม (Ba) ซีโอไลต์มีโครงสร้างเป็นตาข่าย 3 มิติ (3 – dimensional framework structure) เกิดจากการต่อกันของโครงสร้าง tetrahedron ของซิลิกอน tetrahedron ออกไซด์ (SiO_4)⁴⁻ และอะลูมิเนียม tetrahedron ออกไซด์ (AlO_4)⁵⁻ โดยใช้อะตอมของออกซิเจนที่มุมของ tetrahedron ร่วมกัน (corner share)

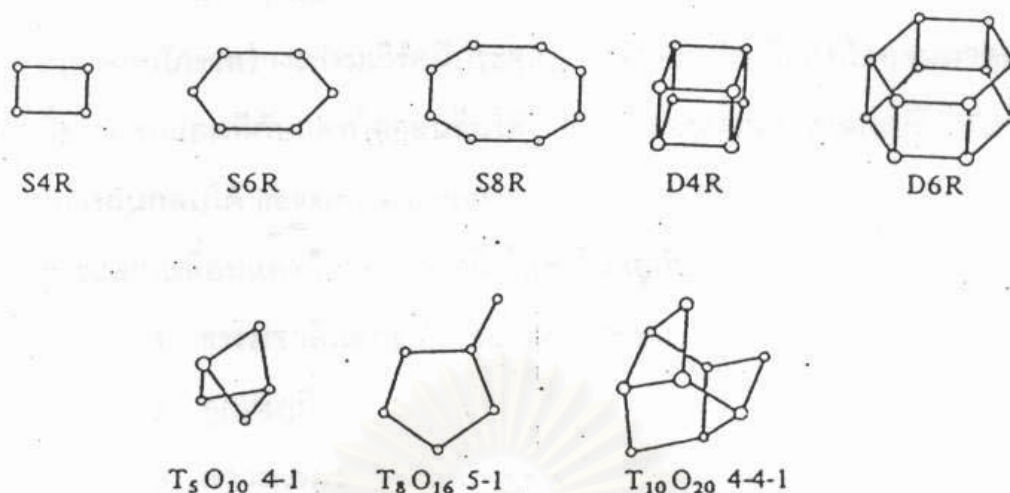
โครงสร้างตาข่าย 3 มิติของซีโอไลต์จะประกอบด้วยหน่วยต่างๆ ดังนี้

1. หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary building units) เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดมีรูปทรงเป็น tetrahedron ของซิลิกอน tetrahedron ออกไซด์ (SiO_4)⁴⁻ หรืออะลูมิเนียม tetrahedron ออกไซด์ (AlO_4)⁵⁻ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิของซีโอไลต์ [4]

2. หน่วยโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary building units) เป็นหน่วยที่เกิดจากการต่อกันของโครงสร้างปฐมภูมิให้เป็นรูปทรงที่มีเหลี่ยมต่างๆ ดังรูปที่ 2.3



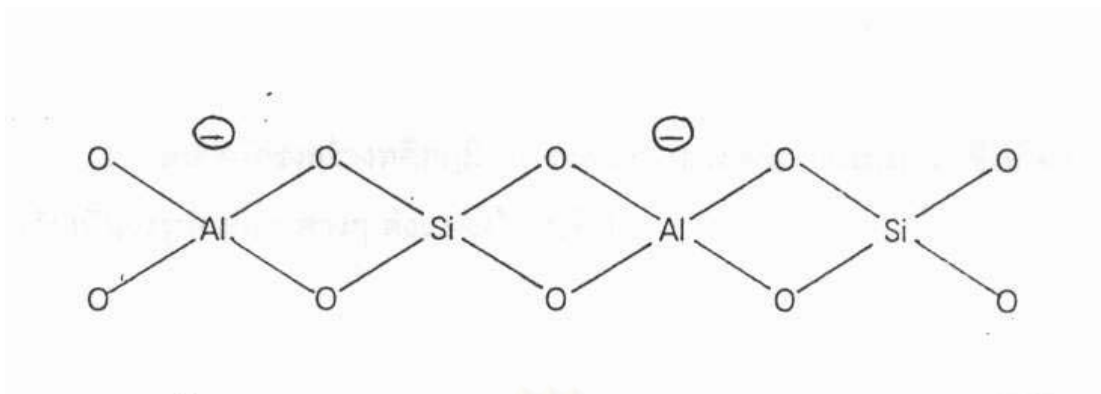
รูปที่ 2.3 แสดงหน่วยโครงสร้างพหุติภูมิของซีโอไลต์ [4]

3. หน่วยโครงสร้างรูปทรงหลายหน้า (Polyhedral units) ได้จากการต่อกันของโครงสร้างปฐมภูมิให้เป็นรูปทรงที่สมมาตร ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงภายในโครงสร้างซีโอไลต์ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงหน่วยโครงสร้างรูปทรงหลายหน้าของซีโอไลต์ [4]

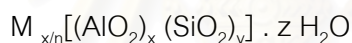
เมื่อพิจารณาหน่วยปฐมภูมิเทระฮีดรอน พบว่าถ้าทุกหน่วยเป็น $(\text{SiO}_4)^{4-}$ สูตรเอมพิริคัลของสารนี้คือ SiO_2 นั่นเอง ซึ่งมีสภาพประจุเป็นกลาง แต่ถ้าแทนที่ $(\text{SiO}_4)^{4-}$ ด้วย $(\text{AlO}_4)^{5-}$ จะได้สูตรเอมพิริคัลคือ $(\text{AlO}_2)^-$ ดังนั้นจึงมีประจุลบสำหรับทุกหน่วยของ $(\text{AlO}_2)^-$ หรือ $(\text{AlO}_4)^{5-}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงประจุลบในโครงสร้างตาข่ายที่เกิดประจุ [4]

ตำแหน่งประจุลบที่เกิดขึ้นจะอยู่บริเวณรอบ $(\text{AlO}_2)^-$ หรือ $(\text{AlO}_4)^{5-}$ ซึ่งเป็นที่อยู่ของแคตไอออน โดยยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงคูลอมบิก (Coulombic force) เพื่อให้เกิดสมดุลทางประจุ ดังนั้นจำนวนแคตไอออนที่พบในซีโอไลต์จะขึ้นกับจำนวนของหน่วย $(\text{AlO}_4)^{5-}$ และเลขออกซิเดชันของแคตไอออน ดังนั้นซีโอไลต์จึงมีสมบัติในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้

สูตรทั่วไปของซีโอไลต์ คือ



เมื่อ M คือ แคตไอออนของโลหะแอลคาไล และแอลคาไลน์เอิร์ท

n คือ ประจุ หรือเลขออกซิเดชันของแคตไอออน M

x คือ จำนวนโมลของ AlO_2^-

y คือ จำนวนโมลของ SiO_2

z คือ จำนวนโมลของน้ำที่อยู่ในช่องว่างภายในโครงสร้างของซีโอไลต์

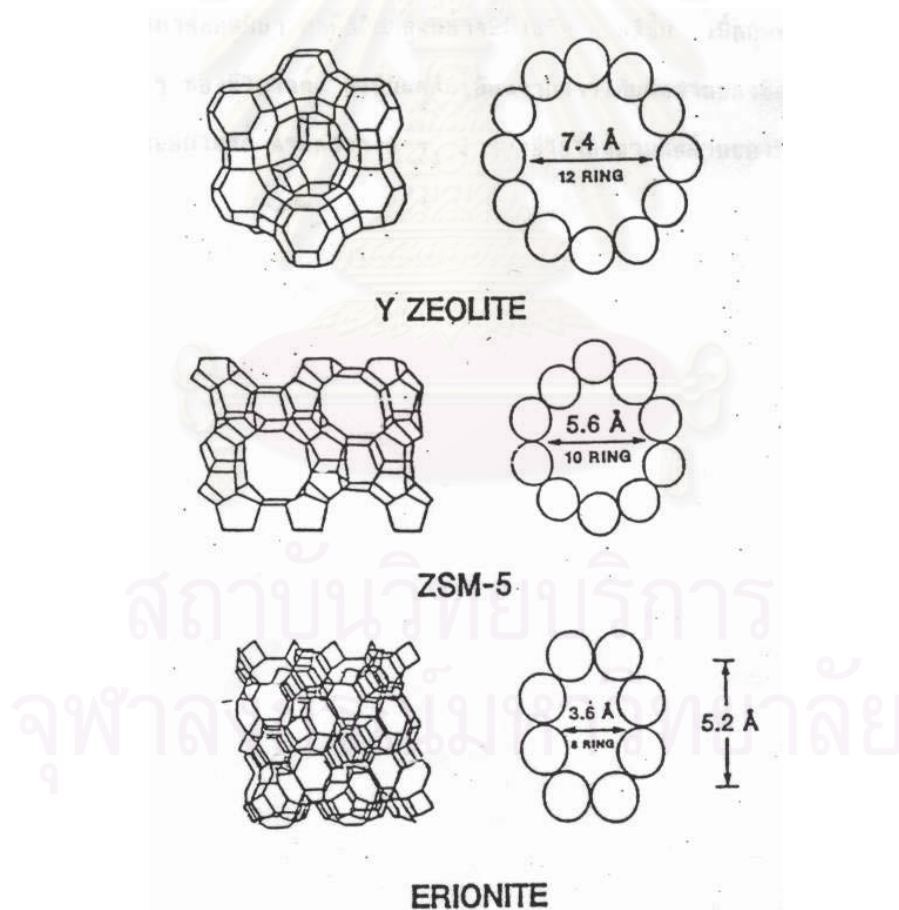
แคตไอออน และโมเลกุลของน้ำเป็นส่วนที่อยู่นอกโครงสร้างตาข่ายของซีโอไลต์ โดยปกติการแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือการกำจัดน้ำออกจากซีโอไลต์จึงไม่ทำให้โครงสร้างของซีโอไลต์เปลี่ยนแปลง

สมบัติที่สำคัญของซีโอไลต์ มีดังนี้

1. การแลกเปลี่ยนไอออน ซีโอไลต์สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้ โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนแคตไอออนนี้เป็นกระบวนการแบบผันกลับได้
2. การดูดซับน้ำ ซีโอไลต์สามารถดูดซับน้ำให้เข้าไปอยู่ในช่องว่างบริเวณผนังด้านในของโพรงชนิดต่างๆได้ และสามารถกำจัดน้ำออกได้ที่อุณหภูมิที่สูงพอ

3. การคัดขนาด และรูปร่างของโมเลกุลที่ผ่านเข้าออกจากโพรงของซีโอไลต์ ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ประกอบด้วยโพรงขนาดต่างๆกัน มีทางให้โมเลกุลของสารอื่นผ่านเข้าออกได้เรียกว่า ปากโพรง (aperture) โดยที่โมเลกุลที่มีรูปร่าง และขนาดพอเหมาะ สำหรับปากโพรงเท่านั้น จึงจะสามารถผ่านเข้าออกจากโพรงของซีโอไลต์ได้ ทำให้ซีโอไลต์มีสมบัติในการกรองแยกโมเลกุลได้ (molecular sieve)

นอกจากนี้สมบัติที่สำคัญอีกประการก็คือ ปริมาณของส่วนที่แสดงความเป็นกรด (acid site density) , ความรุนแรงของกรด (acid strength) และขนาดของช่องว่าง (pore site) ภายในผลึก ซึ่งรวมถึงลักษณะรูปทรง และขนาดของทางเข้าออกของช่องว่าง (pore entrance) ตารางที่ 2.3 แสดงถึงลักษณะของช่องว่างทั้งขนาด และระบบ สำหรับซีโอไลต์ ซึ่งมีระบบของช่องว่างที่ทำให้ขนาดช่องว่างแตกต่างกัน การแบ่งประเภทของมันตามขนาดของช่องว่างให้ค้ำึงถึงขนาดของช่องว่างที่ใหญ่ที่สุด เช่น มอริตไนต์ เป็นต้น รูปที่ 2.6 แสดงขนาดของช่องว่างของซีโอไลต์



รูปที่ 2.6 ระบบของผลึกซีโอไลต์ และขนาดของช่องว่าง [4]

ตารางที่ 2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์แบ่งตามขนาดของช่องว่าง [4]

ซีโอไลต์	ระบบของช่องว่าง* (Channel System)	โพรง** (Cavity)
รูขนาดใหญ่เฟอไรต์		
(Faujasite)	(2) 7.4, 3 มิติ (Dimension)	$\beta = 6.6^\circ \text{A}$, $\alpha = 11.4^\circ \text{A}$
มอร์ดไนต์ (Mordenite)	(8) 2.9 x 5.7, 1 มิติ	มีระบบเชื่อมต่อกันระหว่างช่องว่าง
	(12) 6.7 x 7.0, 1 มิติ	(Inter connected Channels)
	(12) 7.1, 1 มิติ	ระบบเดี่ยว (Unidimension)
รูขนาดปานกลางเพนตาซิล		
(ZSM-5)	(10) 5.4 x 5.6, 1 มิติ	มีระบบเชื่อมต่อกันระหว่างช่องว่าง
เฟอไรต์ไรต์จากการสังเคราะห์	(8) 3.4 x 4.8, 1 มิติ	มีระบบเชื่อมต่อกันระหว่างช่องว่าง
(Synthetic Ferricrite)	(10) 4.3 x 5.5, 2 มิติ	มีระบบเชื่อมต่อกันระหว่างช่องว่าง
รูขนาดเล็กเออร์โอไนต์	(8) 3.6 x 5.2, 2 มิติ	6.3 x 13

* ตัวเลขในวงเล็บ คือ จำนวนของอะตอมออกซิเจนต่อ 1 วงแหวน, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู (pore) ของวงแหวน 1 วง หน่วยเป็นอังสตรอม, และทิศทางของช่องว่าง (Channels)

** ขนาดของโพรง หน่วยเป็นอังสตรอม

สำหรับปริมาณของส่วนที่แสดงความเป็นกรด และความรุนแรงของกรดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยของความหนาแน่นของหน่วยรูปทรงสี่หน้าซึ่งมีโลหะที่มีตัวเลขออกซิเดชันเท่ากับ 3 (เช่น Al^{3+}) ในโครงสร้างผลึก และตำแหน่งของหน่วยรูปทรงสี่หน้าในผลึก รวมทั้งชนิดของโลหะประจุบวกซึ่งมีหน้าที่ให้เกิดความสมดุลทางประจุไฟฟ้าด้วย เพราะฉะนั้นบางครั้งซีโอไลต์จะถูกแบ่งตาม

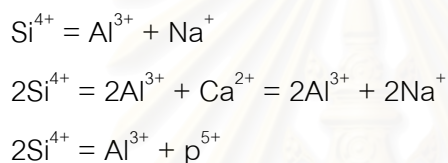
สัดส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา ถ้ามีซิลิกาสูงแล้วจะมีเสถียรภาพดีขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ใดๆก็ตามสมบัติต่าง ๆ ของซีโอไลต์ ที่เป็นผลสืบเนื่องจากการเพิ่มสัดส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา ยังสรุปเป็นทฤษฎีที่แน่นอนไม่ได้ ตามตารางที่ 2.4 แบ่งซีโอไลต์ตามสัดส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา

ตารางที่ 2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์ แบ่งตามสัดส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา [4]

ระดับ	สัดส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา (Si / Al ratio)	ชนิดของซีโอไลต์ (Types)
ต่ำ	1.0 – 1.5	A, X
ปานกลาง	2.0 – 2.5	ก) จากธรรมชาติ เช่น เออร์ริโอไนต์ (Erionite), ซาบาไซต์ (Chabazite) และมอร์ดินีต์ (Mordenite) ข) จากการสังเคราะห์ เช่น เฟอร์จาชิต์แบบ Y (Faujasite type Y), L, และมอร์ดินีต์แบบรูขนาดใหญ่ (Large pore mordenite)
สูง	10 – 100	ก) ปรับปรุงโดยอาศัยความร้อน เช่น เฟอร์จาชิต์, มอร์ดินีต์, และเออร์ริโอไนต์ ข) จากการสังเคราะห์ เช่น เพนตาซิล (ZSM-5)

ถ้าเราคิดจะปรับปรุงสมบัติบางอย่างของซีโอไลต์ โดยการเปลี่ยนจากการที่หน่วยรูปทรงสี่หน้ามีธาตุซิลิกอนเป็นศูนย์กลางของออกซิเจนทั้งสี่อะตอมก็ย่อมได้ แต่ขนาดของโลหะชนิดนั้น (แสดงประจุเป็นบวก) จะต้องไม่มีขนาดใหญ่เกินไปจนอะตอมของออกซิเจนไม่สามารถจะอยู่ได้เพื่อรักษาสภาพของหน่วยรูปทรงสี่หน้า (คือจะมีความเครียด แล้วสลายพันธะ) ในการแทนที่ธาตุซิลิกอนด้วยอะลูมิเนียม ปัญหาที่ตามมา คือไม่มีความสมดุลทางประจุไฟฟ้าได้ โดยการหาไอออน

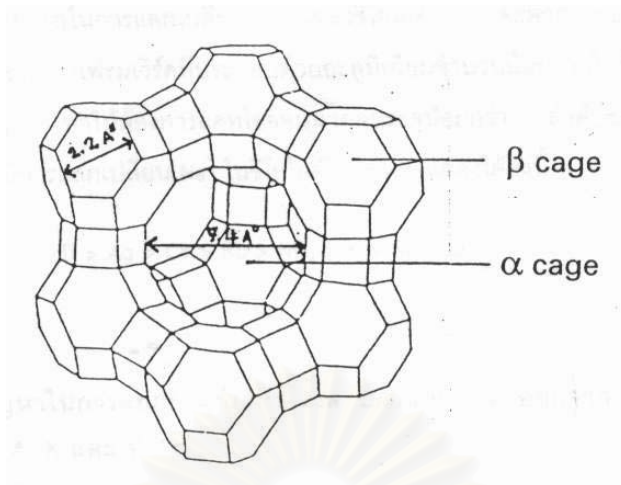
บวกซึ่งมีความอิสระ คือไม่ได้สร้างพันธะถาวรกับธาตุอื่นใดเลย ตัวอย่างเช่น ไอออนของธาตุโซเดียมมาบรรจุในตำแหน่งใกล้เคียงกับบอลลูมิเนียมในช่องว่างของผลึกซีโอไลต์ เพราะว่าไอออนบวกที่นำมา เพื่อให้เกิดความสมดุลทางประจุไฟฟ้า ไม่ได้รวมตัวกับธาตุอื่น เช่น ถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจนสี่อะตอมเป็นต้น ดังนั้นจึงมีความอิสระที่จะเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งใดๆได้ เมื่อโดนกระตุ้น เนื่องด้วยสมบัติข้อนี้ทำให้เราสามารถที่จะเปลี่ยนไอออนบวกจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่งได้ ซึ่งสมบัติข้อนี้มีประโยชน์มากในการปรับปรุงลักษณะเฉพาะของผลึกซีโอไลต์ เพื่อความเหมาะสมในปฏิกิริยาเคมีต่างๆ และเมื่อไรก็ตามอะตอมของซิลิกอนถูกแทนที่ด้วยโลหะที่มีค่าตัวเลขไอออนลบต่ำกว่า เช่น อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) หรือแกลเลียมไอออน (Ga^{3+}) มากขึ้นเท่าไร ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะมากขึ้นเท่านั้น กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนที่สามารถจะเลือกไอออนลบตัวไหนก็ได้ที่มีประจุมกันแล้วเท่าเดิมนี้เรียกว่า กระบวนการแทนที่ไอโซมอร์ฟัส (Isomorphous substitution) ตัวอย่างเช่น



2.6 ซีโอไลต์ Y (zeolite Y) [4, 13, 14]

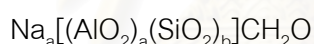
ซีโอไลต์เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ และสามารถสังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างเบสิกออกไซด์ชนิดต่างๆ เช่น Al_2O_3 , SiO_2 , $M_{2n}O$ (M คือโลหะแอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ท และ n คือเวเลนซ์ของแคตไอออน M) และน้ำ ปัจจุบันพบว่าซีโอไลต์จากธรรมชาติกว่า 30 ชนิดที่ทราบส่วนประกอบ โครงสร้าง และสมบัติทางกายภาพ มีซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ประมาณ 100 ชนิด ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้งานมากกว่า เนื่องจากมีความบริสุทธิ์สูงกว่าซีโอไลต์ที่ได้จากธรรมชาติ

ซีโอไลต์ Y เป็นซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ มีโครงสร้างเหมือนซีโอไลต์ที่พบในธรรมชาติซึ่งเรียกว่า "Faujasite" โครงสร้างของซีโอไลต์ Y 1 หน่วยเซลล์ (unit cell) ประกอบด้วยหน่วยปฐมภูมิเตตระฮีดรอน 192 หน่วย โดยมีอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al เท่ากับ 1.5 – 3.0 ภายในหนึ่งหน่วยเซลล์จะมีการต่อกันของ β - cage หรือ sodalite cage โดยต่อกันด้วย double 6 ring (D6R) ซึ่งมีรูปร่างเป็น hexagonal prism เกิดเป็นโพรงขนาดใหญ่ เรียกว่า " α - cage" หรือ "supercage" มีขนาดกว้างประมาณ 12 \AA มีปากโพรงกว้าง 7.4 \AA ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างและขนาดของซีโอไลต์ Y [4]

โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยอะตอมของอะลูมิเนียม 62 – 76 อะตอมและอะตอมของซิลิกอน 116 – 130 อะตอมในหนึ่งหน่วยเซลล์ซึ่งจะมีอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมประมาณ 1.5 – 2.1 ที่เหมาะสมควรใช้ 1.8 - 1.0 โดยสูตรโมเลกุลจะเป็นดังนี้



โดยที่

$a = 62 - 76$ อะตอมของอะลูมิเนียม

$b = 116 - 130$ อะตอมของซิลิกอน

$a + b = 192$ อะตอม

$c = 264$ ในรูปของสถานะไฮเดรต (hydrated state)

โดย Na^+ จะอยู่ในโครงสร้างของซีโอไลต์ 3 ตำแหน่ง ดังนี้

ตำแหน่ง I เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่มีลักษณะเป็น double – 6 – ring มี Na^+ อยู่ในตำแหน่งนี้ทั้งหมด 6 ไอออน

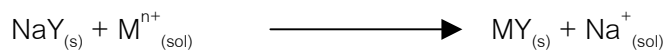
ตำแหน่ง I' เป็นที่อยู่ของ Na^+ 20 ไอออน ซึ่งอยู่ในโพรง β - cage ที่อยู่ใกล้กับ D6R

ตำแหน่ง II เป็นที่อยู่ของ Na^+ 30 ไอออน ซึ่งอยู่บริเวณโครงสร้างที่มีลักษณะเป็น single – 6 – ring (S6R) ภายนอกโพรง β - cage หรืออยู่ใน supercage (α - cage) นั่นเอง

supercage เป็นโพรงขนาดใหญ่กว้าง 12 \AA มีปากโพรงกว้าง 7.4 \AA และ sodalite cage กว้าง 6.0 \AA มีปากโพรงกว้าง 2.2 \AA

ซีโอไลต์ Y สามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้ ทั้งแคตไอออนของโลหะทั่วไป แคตไอออนเชิงซ้อน หรือแคตไอออนที่เป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีข้อจำกัดที่ว่าขนาดของแคตไอออนที่เข้าไปแลกเปลี่ยนต้องเล็กกว่าปากโพรงในซีโอไลต์ โดยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

1. การแลกเปลี่ยนแคตไอออน



NaY แทน ซีโอไลต์ Y ที่มีโซเดียมเป็นแคตไอออน

MY แทน ซีโอไลต์ Y ที่มีธาตุ M เป็นแคตไอออน

$\text{M}^{n+}_{(sol)}$ แทน สารละลายของไอออน M^{n+}

$\text{Na}^{+}_{(sol)}$ แทน สารละลายของไอออน Na^{+}

2. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในโพรงซีโอไลต์



(ML)Y แทน สารประกอบเชิงซ้อนในโพรงซีโอไลต์ Y

2.7 ประโยชน์ของซีโอไลต์

จะเห็นได้ว่า นอกจากลักษณะที่สำคัญดังกล่าวข้างต้นแล้ว ซีโอไลต์ก็ยังมีสมบัติที่น่าสนใจ และเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอีกหลายประการ ได้แก่

1. มีรูปแบบโครงสร้างของผลึกที่แน่นอนและสม่ำเสมอ
2. มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) สูงมาก (400 – 800 ตารางเมตร/กรัม)
3. มีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิสูง (1000°C)
4. พื้นผิวมีสมบัติที่เป็นกรด
5. สามารถทำการแลกเปลี่ยนไอออนได้
6. ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

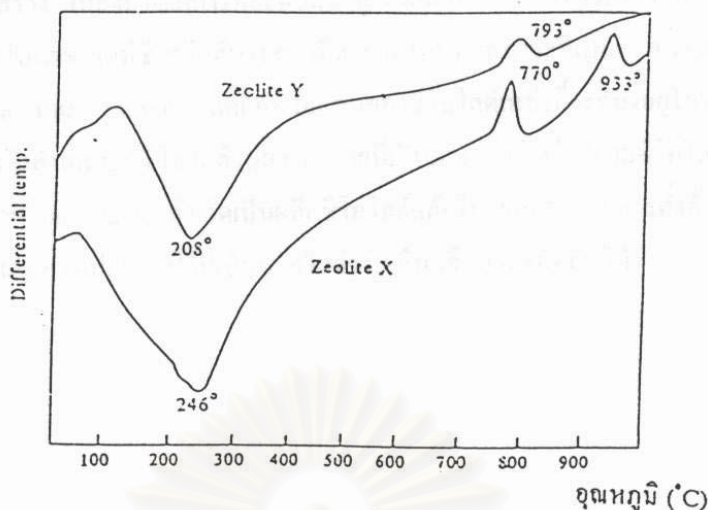
ด้วยสมบัติดังกล่าว จึงได้มีการนำซีโอไลต์ไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งในรูปของตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) สารดูดซับ (adsorbent) สารเติมผสม (binder) และอื่นๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- Fluid Catalytic Cracking
- Hydrocracking
- Catalytic Reforming
- Isomerization
- Shape Selective Catalysis
- Dewaxing
- Methanol to Gasoline
- LPG to Aromatics
- Toluene Disproportionation
- Ethylbenzene Synthesis
- Liquid Fuel Synthesis
- Detergent
- Nutrition
- etc.

2.8 การกำจัดโมเลกุลน้ำในโครงสร้างซีโอไลต์ [4]

2.8.1 เสถียรภาพต่อความร้อน

โดยปกติแล้วซีโอไลต์ Y ทนความร้อนได้สูงกว่าซีโอไลต์ X และ A เนื่องจากมีสัดส่วนโมลของ Si/Al สูงกว่าจึงมีอะตอม Al ซึ่งเป็น active site ต่อปฏิกิริยาต่างๆจำนวนน้อยกว่า เช่น ไฮโดรไลซิสทำให้ Al ถูกแยกออกมาจากโครงสร้างซีโอไลต์ เมื่อพิจารณา differential thermal analysis (DTA) curve (7) ของซีโอไลต์ X และ Y ในรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่า ซีโอไลต์ X มีการสูญเสียอย่างต่อเนื่องเป็นช่วงกว้าง ระหว่างอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อยจนถึงที่อุณหภูมิ 350°C จะมีพีค DTA สูงสุดที่อุณหภูมิ 246°C เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 770°C และ 993°C มีการเปลี่ยนแปลงของซีโอไลต์ X กล่าวคือถ้ามีการให้ความร้อนแก่ซีโอไลต์ X สูงถึงอุณหภูมิ 760°C เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ซีโอไลต์ X จะเปลี่ยนแปลงเป็น Amorphose phase เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 800°C จะเกิดผลึกใหม่อีกครั้งเป็น Carnegeite – like phase และที่อุณหภูมิ 1,000°C จะกลายเป็น Nepheline – like phase ส่วนซีโอไลต์ Y มีการสูญเสียอย่างต่อเนื่องเป็นช่วงกว้างตั้งแต่อุณหภูมิ 150°C จนถึงที่อุณหภูมิ 400°C จะมีพีค DTA สูงสุดที่อุณหภูมิ 208°C และที่อุณหภูมิ 793°C มีการเปลี่ยนแปลงของซีโอไลต์ Y



รูปที่ 2.8 แสดง DTA curve ของซีโอไลต์ X และ Y [4]

2.8.2 เสถียรภาพต่อความดัน

ที่ความดันสูง ซีโอไลต์สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตที่มีความหนาแน่นสูงได้ขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ เช่น ซีโอไลต์ Y อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นซีโอไลต์ P หรือเป็นโครงสร้างชนิด Analcime หรือเป็น Jadeite หรือเป็น Feldspar ที่มีโครงสร้างชนิด Albite ขึ้นอยู่กับความดัน

2.8.3 เสถียรภาพต่อสารละลายกรดแก่และเบสแก่

ในสารละลายกรดแก่ ซีโอไลต์ที่มีสัดส่วนโมล Si/Al ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1.5 จะเกิดการสลายตัวกลายเป็นเจล สารประกอบ hydrous silica แต่ถ้ามีสัดส่วนของ Si/Al สูงกว่า 1.5 ซีโอไลต์จะสลายตัวเกิดเป็นตะกอนของกรดซิลิซิกจะเห็นได้ว่าการสลายตัวของซีโอไลต์ในสารละลายกรดจะสัมพันธ์กับจำนวนอะตอมอะลูมิเนียมในโครงสร้าง เนื่องมาจากการที่อะตอมอะลูมิเนียมเป็นตำแหน่งที่ว่างไวต่อการเกิดไฮโดรไลซิสในกรด แต่มีซีโอไลต์บางชนิดที่สามารถทนต่อภาวะที่เป็นกรด เช่น Mordenite, Zeolon และ Erionite แต่แคตไอออนของซีโอไลต์เหล่านี้จะต้องอยู่ในรูปไฮโดรเจน ดังนั้นจึงสังเคราะห์ซีโอไลต์ในสารละลายที่เป็นเบส อย่างไรก็ตามซีโอไลต์จัดเป็นสารประเภท metastable ถ้าเกิดเป็นผลึกซีโอไลต์แล้วไม่แยกออกจากสารตั้งต้น แต่แข็งทิ้งไว้นานๆอาจเปลี่ยนรูปไปเป็นซีโอไลต์ชนิดอื่นหรือสารชนิดอื่นได้

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Alain Methivier (1998) [15] ศึกษาอิทธิพลของการเกิด oxygenated compounds ที่มีผลต่อสมบัติการดูดซับของซีโอไลต์ประเภทวาย (Y zeolite) โดยการเผา (age) ซีโอไลต์ในขณะที่มีการไหลของโทลูอีน หรือพาราไซลีนที่มีออกซิเจนละลายอยู่ สมบัติในการแยกของพาราไซลีนและเมตาไซลีนถูกตรวจสอบ โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าถ้าทำการเผา (age) ภายใต้ออกซิเจนก็จะมีผลทำให้ความจุและ selectivity ของตัวดูดซับลดลงได้ โดยในขณะที่เผาในสารป้อนที่ปราศจากออกซิเจนก็จะทำให้สมบัติในการแยกคงตัวอยู่ได้ โดยศึกษาผลของเบนซอลดีไฮด์ (benzaldehyde) และน้ำในสารป้อนเป็นหลัก ผลที่ได้คือการออกซิเดชันโทลูอีนเป็นเบนซอลดีไฮด์และการเกิดการสะสมของน้ำขึ้นเป็นลำดับของสารป้อนจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่ใช้ในการแยกพาราไซลีนจากสารประกอบอะโรมาติกส์ลดลง

Santi Kulprathipanja (1995)[6] ศึกษาการแยกเมตาไซลีนจากสารประกอบอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบไปด้วยไซลีนไอโซเมอร์ชนิดอื่น โดยการแยกโดยวิธีการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวาย หรือเป็นประเภทที่โซเดียมถูกแลกเปลี่ยนด้วยลิเทียมไอออนไปบางส่วนซึ่งจากผลการทดลองมีประมาณ 10 – 30 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ประสิทธิภาพจะดีขึ้น ถ้าภาวะในการดูดซับอยู่ในช่วงอุณหภูมิแคบๆระหว่าง 120 – 130 องศาเซลเซียส และการไฮเดรชัน (hydration) ในระดับคงที่ไม่ควรเกิน 1.5 – 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้โทลูอีนเป็น desorbent

Barthomeuf (1983) [16] ศึกษาการแยกพาราไซลีนจากสารประกอบอะโรมาติกส์ที่ประกอบด้วยเอทิลเบนซีน และไซลีนไอโซเมอร์ชนิดอื่นๆ อย่างน้อยหนึ่งชนิด โดยการแยกโดยวิธีการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ประเภทโซเดียมที่ถูกแลกเปลี่ยนด้วยโปแตสเซียมไอออนไปบางส่วน โดยใช้โทลูอีนเป็น desorbent

William Smolin (1983) [1] ศึกษาการแยกพาราไซลีนจากสารประกอบอะโรมาติกส์ที่ประกอบด้วยเอทิลเบนซีน และไซลีนไอโซเมอร์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ เมตาไซลีน และออร์โทไซลีน ในการแยกจะทำการกลั่นลำดับส่วนแยกออร์โทไซลีน และเอทิลเบนซีนออกก่อน แล้วจึงทำการแยกสารประกอบตัวอื่นๆ โดยวิธีการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวายที่มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมเท่ากับ 1.5 – 2.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการแยกจะอยู่ระหว่าง 100 – 450 องศาฟาเรนไฮต์ โดยใช้โทลูอีนเป็น desorbent

William Smolin (1982) [2] ศึกษาการแยกพาราไซลินจากสารประกอบอะโรมาติกส์ที่ประกอบด้วยซีโอดีประเภทโซเดียมเอกซ์ หรือลิเทียมเอกซ์ โดยมีโพรดินช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกได้พาราไซลินเป็นกราฟีนต ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ได้พาราไซลินที่มีความบริสุทธิ์สูงและสิ่งปลอมปนต่ำ

Elic Saniacesaria and et.al. (1982) [5] ศึกษาการดูดซับของไซลีนไอโซเมอร์บนซีโอดีประเภทโซเดียมถูกแลกเปลี่ยนโดยโพแทสเซียมไอออน โดยศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium Parameters)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

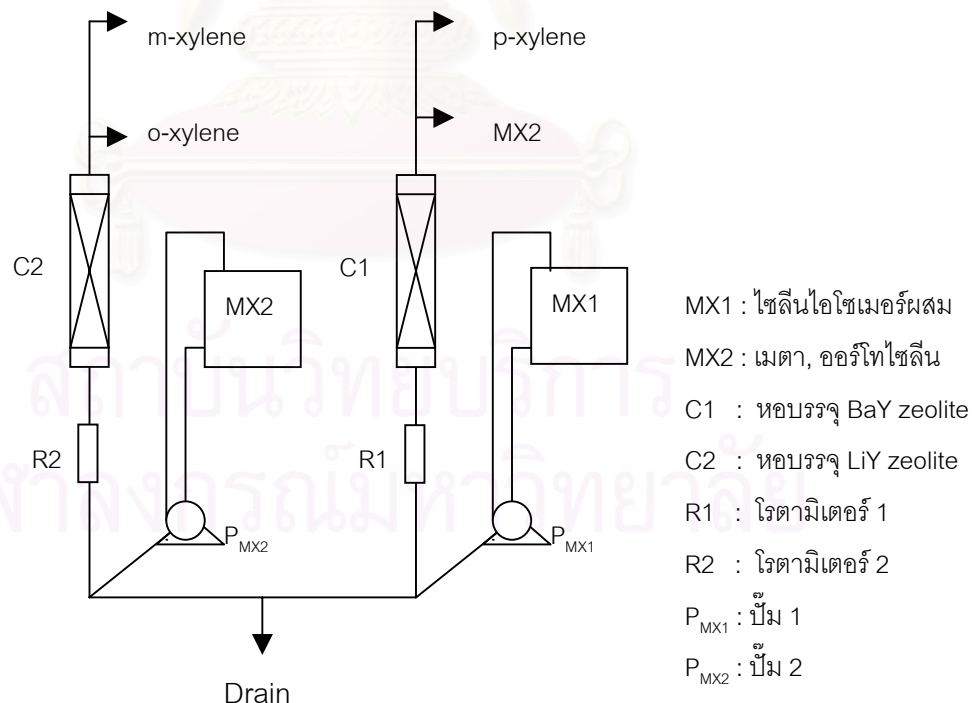
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการดูดซับในระดับห้องปฏิบัติการ

ประกอบด้วย หลอดทดลองพร้อมฝาปิด อ่างน้ำมัน ขวดรูปชมพู่ กรวยกรอง กระดาษกรอง เบอร์ 42 เทอร์โมมิเตอร์ แท่งคนแม่เหล็ก และเครื่องควบคุมการกวนและให้ความร้อน

เครื่องมือที่ใช้ในการดูดซับในระดับขนาดขยายส่วน

รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพของหอดูดซับ มีรายละเอียดดังนี้ หอดูดซับเป็นแบบ double pipe ความสูง 50 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทองแดงภายใน 1.60 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสแตนเลสภายนอก 8.0 เซนติเมตร ถังใส่สารป้อนไซลีนไอโซเมอร์ผสม ได้แก่ พาราไซลีน, เมตาไซลีน และออร์โทไซลีน (MX) ทำด้วยเหล็กสแตนเลส เครื่องสูบลำสารป้อน (P_{MX}) โรตารีมิเตอร์ (R) หอดูดซับ 1 (C1) บรรจุแบเรียมวายซีโอไลต์ หอดูดซับ 2 (C2) บรรจุลิเทียมวายซีโอไลต์



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพของหอดูดซับ



รูปที่ 3.2 หอดูดขับ



รูปที่ 3.3 ซีโอดีที่ผ่านการขึ้นรูปให้เป็นเม็ดทรงกระบอก

เครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประกอบด้วย

- เครื่องมือ : GC – 14B บริษัท Shimadzu
- คอลัมน์ : แคปิลลารีคอลัมน์ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.53 มิลลิเมตร เฟสคงที่ (stationary phase) เป็น DB – PSWAX (100% polyethylene glycol)
- แก๊สพา : แก๊สฮีเลียม
- เครื่องตรวจวัด : Flame ionization detector (FID)
- เครื่องวิเคราะห์ผล : C – R6A CHROMATOPAC บริษัท Shimadzu
- เครื่องฉีดสารอัตโนมัติ : AOC – 17 Automatic Injector

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไฮลีนไฮโซเมอร์ผสม บริษัท อะโรเมติกส์ ประเทศไทย จำกัด (มหาชน)
2. เมทานอล บริษัท APS Ajax Anechem
3. ไฮเดียมวายเป็นไฮไลต์ บริษัท Aldrich
4. โฟแทสเซียมคลอไรด์ บริษัท Baker
5. แบลียมไนเตรต บริษัท Baker
6. ลิเทียมแอซิเตต บริษัท BDH
7. น้ำมันให้ความร้อนคุณภาพสูง (TRANSCAL N) บริษัท บีพีออยล์ (ประเทศไทย) จำกัด

ตารางที่ 3.1 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิ 20°C [Merck Index, 1994]

สมบัติของสารเคมี	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.8541	0.8811	0.8968
จุดหลอมเหลว (°C)	13	-47.4	-25
จุดวาบไฟ (°C)	25	25	170
จุดเดือด (°C)	138.37	139.12	144.41
ขนาดโมเลกุล (°A)	6.3	6.9	6.9

ตารางที่ 3.2 สมบัติของน้ำมันถ้ายโอนความร้อนคุณภาพสูง (TRANSCAL N)

บริษัท ปิพีออยล์ (ประเทศไทย) จำกัด

สมบัติของสารเคมี	หน่วย
ความหนาแน่น @15°C (kg/litre)	0.867
จุดวาบไฟ (°C)	221
จุดติดไฟ (°C)	243
ความหนืด @ 40°C (cSt)	30
ความหนืด @ 100°C (cSt)	5.1
อุณหภูมิติดไฟอัตโนมัติ (°C)	350
ความจุความร้อน @ 25°C (kgCal/kg°C)	0.38

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การแลกเปลี่ยนไอออนของโซเดียมววายซีโอไลต์ [5]

1.1 แลกเปลี่ยนไอออนด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์

ซึ่งโพแทสเซียมคลอไรด์ 7.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นซึ่งโซเดียมววายซีโอไลต์ 40 กรัม ใส่ลงในสารละลายข้างต้นที่ถูกทำให้เดือดบนเครื่องให้ความร้อนนาน 2 ชั่วโมง

1.2 แลกเปลี่ยนไอออนด้วยลิเทียมแอสซิเตต

ซึ่งลิเทียมแอสซิเตต 7.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นซึ่งโซเดียมววายซีโอไลต์ 40 กรัม ใส่ลงในสารละลายข้างต้นที่ถูกทำให้เดือดบนเครื่องให้ความร้อนนาน 2 ชั่วโมง

1.3 แลกเปลี่ยนไอออนด้วยแบเรียมไนเตรด

ซึ่ง $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 2.6135 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร จากนั้นซึ่งโซเดียมววายซีโอไลต์ 40 กรัม ใส่ลงในสารละลายข้างต้น 700 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส บนเครื่องให้ความร้อนนาน 2 ชั่วโมง

2. การเตรียมซีโอไลต์ก่อนการดูดซับ [4]

ทำการอบซีโอไลต์ที่จะนำมาดูดซับที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3. การขึ้นรูปซีโอไลต์ให้เป็นเม็ดทรงกระบอก [4]

ผสมซีโอไลต์กับดินขาว (Kaolin) ในอัตราส่วน 1:0.2 จากนั้นผสมน้ำพอให้เหนียวขึ้น แล้วนำไปเทเข้าแม่พิมพ์ที่ทำจากยางซิลิโคนแผ่นหนา 2 มิลลิเมตรที่ได้ทำการเจาะรูขนาดเส้นศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นำเม็ดซีโอไลต์ออกจากแม่พิมพ์ นำไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 650 องศาเซลเซียสนาน 3 ชั่วโมง นำไปเก็บใน desiccator เพื่อนำไปใช้ต่อไป

4. การทดลองดูดซับไซลีนด้วยซีโอไลต์ในระดับปฏิบัติการ

การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการนี้ เป็นการหาภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไซลีนชนิดต่างๆออกจากไซลีนไอโซเมอร์ผสม ภาวะที่ได้นำไปใช้ศึกษาต่อในหอดูดซับ

4.1 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ

นำซีโอไลต์ที่ผ่านการเตรียมแล้วใส่ในหลอดทดลอง จำนวน 4 หลอดๆละ 0.5 กรัม เติมไซลีนไอโซเมอร์ผสมลงในหลอดทดลองแต่ละหลอดๆละ 4.0 กรัม จากนั้นนำแต่ละหลอดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆกัน ได้แก่ 80, 100, 120, 130 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกรองแยกสารละลายออกจากซีโอไลต์ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบ และปริมาณโดยใช้เครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี

4.2 การหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ

นำซีโอไลต์ที่ผ่านการเตรียมแล้วใส่ในหลอดทดลอง จำนวน 5 หลอดๆละ 0.5 กรัม เติมไซลีนไอโซเมอร์ผสมลงในหลอดทดลองแต่ละหลอดๆละ 4.0 กรัม จากนั้นนำแต่ละหลอดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆกัน ได้แก่ 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที จากนั้นนำไปกรองแยกสารละลายออกจากซีโอไลต์ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบและปริมาณ โดยใช้เครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี

5. การทดลองดูดซับไซลีนไอโซเมอร์ในขนาดขยายส่วน

5.1 การทดลองดูดซับพาราไซลีนในขนาดขยายส่วน

บรรจุไซลีนไอโซเมอร์ผสมลงในถัง MX1 ทำการเปิดชุดควบคุมอุณหภูมิให้ความร้อนแก่น้ำมันให้ความร้อน ตั้งค่าอุณหภูมิ รอจนกว่าจะถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ เปิดเครื่องสูบลม P_{MX1} เพื่อป้อนไซลีนไอโซเมอร์จากถัง MX1 ผ่านโรตารีเตอร์ R1 เพื่อปรับอัตราการไหล เข้าสู่คอลัมน์ C1 เป็นเวลา 100 นาที เก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทุก 20 นาที วิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี

ตัวแปรที่ศึกษาในหอดูดซับขนาดขยายส่วน สำหรับแยกพาราไซลีน ได้แก่

5.1.1 อุณหภูมิของสารป้อน 80 องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง โดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 80 องศาเซลเซียส ทดลองปรับอัตราการไหล 60, 120, 180 มิลลิตรต่อชั่วโมง

5.1.2 อุณหภูมิของสารป้อน 100 องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง โดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 100 องศาเซลเซียส ทดลองปรับอัตราการไหล 60, 120, 180 มิลลิตรต่อชั่วโมง

5.1.3 อุณหภูมิของสารป้อน 120 องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง โดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 120 องศาเซลเซียส ทดลองปรับอัตราการไหล 60, 120, 180 มิลลิตรต่อชั่วโมง

5.1.4 อุณหภูมิของสารป้อน 130 องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง โดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 130 องศาเซลเซียส ทดลองปรับอัตราการไหล 60, 120, 180 มิลลิตรต่อชั่วโมง

5.2 การทดลองดูดซับเมตาไซลีนในขนาดขยายส่วน

บรรจุไซลีนไอโซเมอร์ผสมลงในถัง MX2 ทำการเปิดชุดควบคุมอุณหภูมิให้ความร้อนแก่น้ำมันให้ความร้อน ตั้งค่าอุณหภูมิ รอจนกว่าจะถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ เปิดเครื่องสูบลม P_{MX2} เพื่อป้อนไซลีนไอโซเมอร์จากถัง MX2 ผ่านโรตารีมิเตอร์ R2 เพื่อปรับอัตราการไหล เข้าสู่คอลัมน์ C2 เป็นเวลา 100 นาที เก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทุก 20 นาที วิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี

ตัวแปรที่ศึกษาในหอดูดซับขนาดขยายส่วน สำหรับแยกเมตาไซลีน ได้แก่

5.2.1 อุณหภูมิของสารป้อน 80 องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง โดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 80 องศาเซลเซียส ทดลองปรับอัตราการไหล 60, 120, 180 มิลลิตรต่อชั่วโมง

5.2.2 อุณหภูมิของสารป้อน 100 องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง โดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 100 องศาเซลเซียส ทดลองปรับอัตราการไหล 60, 120, 180 มิลลิตรต่อชั่วโมง

5.2.3 อุณหภูมิของสารป้อน 120 องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง โดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 120 องศาเซลเซียส ทดลองปรับอัตราการไหล 60, 120, 180 มิลลิตรต่อชั่วโมง

5.2.4 อุณหภูมิของสารป้อน 130 องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง โดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 130 องศาเซลเซียส ทดลองปรับ อัตราการไหล 60, 120, 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

6. การวิเคราะห์องค์ประกอบ โดยใช้เครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี

ทำการฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าเครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟีปริมาตร 0.1 ไมโครลิตร โดยมีภาวะดังนี้

อุณหภูมิระบบฉีดสาร : 200 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเครื่องตรวจจับ : 200 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิคอลัมน์ : อุณหภูมิเริ่มต้น 70 องศาเซลเซียส ให้อุณหภูมิตั้งที่ 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ให้อุณหภูมิตั้งที่ 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียส ต่อนาที ให้อุณหภูมิตั้งที่ 2 นาที

อัตราการไหลแก๊สพา : 4.0 มิลลิลิตรต่อนาที

อัตราส่วนการแยก (split ratio) : 50:1

จากภาวะดังกล่าว เวลาที่อยู่ในคอลัมน์ (retention time) ของพาราไซลีน ประมาณ 7.0 นาที เมตาไซลีนประมาณ 7.3 นาที และออร์โทไซลีนประมาณ 8.6 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

1. การทดลองดูดซับไซลีนไอโซเมอร์ผสมในระดับห้องปฏิบัติการ

1.1 การศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไซลีนไอโซเมอร์ผสม

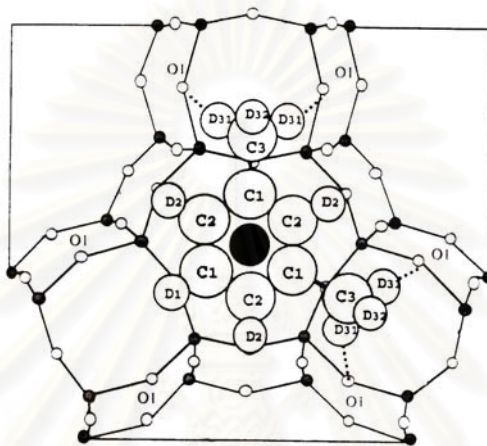
การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับที่เวลา 60 นาทีเป็นการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่องขั้นตอนเดียว ไซลีนไอโซเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเกรดทางการค้าจึงมีสัดส่วนของไซลีนไอโซเมอร์อยู่น้อยและมีสารปนเปื้อนได้แก่ เอทิลเบนซีนอยู่มากพอสมควร สัดส่วนดังตารางที่ 4.1 โดยใช้อัตราส่วนซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวายต่อไซลีนไอโซเมอร์ผสมในการทดลองเท่ากับ 1:8 โดยน้ำหนัก ทดลองที่อุณหภูมิ 80, 100, 120 และ 130 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์แต่ละตัวจะลดลง ปกติการดูดซับและการ desorb ของไซลีนไอโซเมอร์ผสมจะเกิดขึ้นตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 80 100 และ 120 องศาเซลเซียส การดูดซับยังคงสูงกว่าการ desorb ของไซลีนไอโซเมอร์ผสม จนกระทั่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 130 องศาเซลเซียส โมเลกุลจะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น โมเลกุลก็จะเกิดการชนกันมากขึ้น การ desorb ก็จะถูกสูงกว่าการดูดซับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมตาไซลีนค่าร้อยละโดยน้ำหนักลดลงมากกว่าไซลีนไอโซเมอร์อื่นๆโดยร้อยละการดูดซับเท่ากับ 5.91 โดยน้ำหนักมากที่สุดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของเมตาไซลีนเหมาะสำหรับการดูดซับภายในโพรงของซีโอไลต์ประเภทวายโดยจะมีระยะห่างระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนในกลุ่มเมทิลในโมเลกุลของเมตาไซลีนกับออกซิเจนภายในโครงสร้างของซีโอไลต์เท่ากับ 2.38 \AA แต่ถ้าเป็นพาราไซลีนและออร์โทไซลีนที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่เหมาะสมน้อยกว่าจะมีระยะห่างระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนในกลุ่มเมทิลในโมเลกุลทั้งสองกับออกซิเจนภายในโครงสร้างของซีโอไลต์เท่ากับ 2.67 \AA [9]

ตารางที่ 4.1 ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของสารป้อนใช้ทดลองให้ผลดังตารางที่ 4.2, 4.3

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
พาราไซลีน	6.21
เมตาไซลีน	18.62
ออร์โทไซลีน	9.99
อื่นๆ	65.18

ตารางที่ 4.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยซีโอไลต์ประเภทซีเดียมวาย ที่อุณหภูมิ 80, 100, 120 และ 130 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 60 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	80	100	120	130
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	6.11	6.05	5.94	5.97
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	18.32	18.02	17.52	17.72
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	9.85	9.8	9.82	9.81



รูปที่ 4.1 การดูดซับเมตาไซลีนภายในโพรงของซีโอไลต์ประเภทซีเดียมวาย

1.2 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไซลีนไอโซเมอร์ผสมและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับระหว่างซีโอไลต์ประเภทซีเดียมวายกับซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวาย

การศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่องขั้นตอนเดียว ไซลีนไอโซเมอร์ผสมในการทดลองนี้ เพื่อผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้น จึงได้ทำการใช้สารป้อนที่มีสัดส่วนของไซลีนไอโซเมอร์ผสมมากขึ้น ดังตารางที่ 4.4 โดยใช้อัตราส่วนซีโอไลต์ประเภทซีเดียมวาย หรือซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวายต่อไซลีนไอโซเมอร์ผสมในการทดลองเท่ากับ 1:8 โดยน้ำหนัก ทดลองที่เวลา 15, 30, 60, 90, 120 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3, 4.5 พบว่าเวลามีผลต่อการดูดซับ การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับระหว่างซีเดียมวายซีโอไลต์ กับซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวาย และหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับด้วย พบว่าเวลามีผลต่อการดูดซับ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์จะลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมตาไซลีนซึ่งซีโอไลต์ทั้งสองเหมาะสำหรับการดูดซับเมตาไซลีนลดลงจนอิมิตัวมากที่สุดที่เวลา 60 นาที หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ เมื่อเปรียบเทียบร้อยละ

โดยน้ำหนักที่ลดลง พบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนที่ถูกดูดซับโดยซีโอไลต์ประเภทลิเทียม วายจะเปลี่ยนแปลงมากกว่าเท่ากับร้อยละการดูดซับ 4.56 ที่เวลา 60 นาที ส่วนร้อยละที่เปลี่ยนแปลงของเมตาไซลีนที่ถูกดูดซับ โดยซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวายเท่ากับร้อยละการดูดซับ 4.13 ที่เวลา 60 นาที ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของอะตอมของไอออนที่นำมาแลกเปลี่ยนภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ ได้แก่ ลิเทียมไอออนมีขนาดเล็กกว่าโซเดียม ($\text{ลิเทียม} = 1.23 \text{ \AA}$, $\text{โซเดียม} = 1.54 \text{ \AA}$) [4] ทำให้ขนาดโพรงภายในซีโอไลต์มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นการเข้าไปภายในโพรงของซีโอไลต์ของโมเลกุลของเมตาไซลีนก็เป็นไปได้ง่าย มีผลทำให้การดูดซับมากขึ้น ร้อยละการดูดซับจึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยซีโอไลต์ประเภทโซเดียม วาย ที่เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	0	15	30	60	90	120
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	6.21	6.2	6.2	5.97	5.96	5.92
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	18.62	18.59	18.23	17.85	17.99	17.95
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	9.99	9.97	9.95	9.97	9.96	9.95

ตารางที่ 4.4 ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของสารป้อนใช้ทดลองให้ผลดังตารางที่ 4.5 - 4.7

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
พาราไซลีน	25.06
เมตาไซลีน	51.02
ออร์โทไซลีน	12.52
อื่นๆ	11.40

ตารางที่ 4.5 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยซีโอไลต์ประเภทลิเทียม วาย ที่เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	0	15	30	60	90	120
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	25.06	25.19	25.01	25.11	24.81	24.78
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	51.02	50.80	50.72	50.17	50.20	50.23
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	12.52	12.49	12.49	12.49	12.58	12.63

1.3 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไซลีนไอโซเมอร์ผสม และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับระหว่างซีโอไลต์ประเภทโพแทสเซียมวาย กับซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวาย

การศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่องขั้นตอนเดียว โดยใช้อัตราส่วนซีโอไลต์ประเภทโพแทสเซียมวาย หรือแบเรียมวายซีโอไลต์ต่อไซลีนไอโซเมอร์ผสมในการทดลองเท่ากับ 1:8 โดยน้ำหนัก ทดลองที่เวลา 15, 30, 60, 90, 120 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6, 4.7 การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับระหว่างโพแทสเซียมวายซีโอไลต์ กับซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวาย และหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับด้วย พบว่า เวลาที่มีผลต่อการดูดซับ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์จะลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งพาราไซลีนซึ่งซีโอไลต์ทั้งสองเหมาะสำหรับการดูดซับ เนื่องจากขนาดโมเลกุลของพาราไซลีนมีขนาดเล็กกว่าเมตาไซลีนและออร์โทไซลีน (พาราไซลีน = 6.3 \AA , เมตาไซลีน = 6.9 \AA , ออร์โทไซลีน = 6.9 \AA) เมื่อนำไอออนที่มีขนาดอะตอมใหญ่ขึ้นมาแลกเปลี่ยนภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ ได้แก่ โพแทสเซียมและแบเรียม (โพแทสเซียม = 2.03 \AA , แบเรียม = 1.43 \AA) [4] ทำให้ขนาดโพรงภายในซีโอไลต์มีขนาดเล็กลง ดังนั้นการเข้าไปภายในโพรงของพาราไซลีนจะง่ายกว่าเมตาไซลีนและออร์โทไซลีน โดยที่พาราไซลีนลดลงมากที่สุดที่เวลา 60 นาที หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับร้อยละโดยน้ำหนักที่ลดลง พบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนที่ถูกดูดซับโดยแบเรียมวายซีโอไลต์จะเปลี่ยนแปลงมากกว่าเท่ากับร้อยละการดูดซับ 2.92 ที่เวลา 60 นาที ส่วนร้อยละที่เปลี่ยนแปลงของพาราไซลีนที่ถูกดูดซับ โดยซีโอไลต์ประเภทโพแทสเซียมวายเท่ากับร้อยละการดูดซับ 1.93 ที่เวลา 60 นาที พาราไซลีนถูกดูดซับภายในซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวายมากกว่าซีโอไลต์ประเภทโพแทสเซียมวาย เนื่องจากซีโอไลต์ประเภทโพแทสเซียมวายมีขนาดอะตอมของโพแทสเซียมใหญ่กว่าแบเรียมทำให้ขนาดโพรงเล็กลง การเข้าไปดูดซับภายในโครงสร้างของพาราไซลีนจึงน้อยกว่าของซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวาย

ตารางที่ 4.6 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยซีโอไลต์ประเภทโพแทสเซียมวาย ที่เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	0	15	30	60	90	120
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	24.37	24.09	23.92	23.90	23.90	23.82
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	52.53	52.73	52.97	52.95	52.97	53.06
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	12.13	12.22	12.13	12.13	12.23	12.18

ตารางที่ 4.7 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากดูดซับด้วยแบเรียมวายเป็นซีไอไลต์ ที่ เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	0	15	30	60	90	120
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	24.65	24.39	24.21	23.93	24.01	23.98
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	51.86	52.08	51.74	51.92	52.03	51.83
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	12.34	12.38	12.33	12.36	12.37	12.41

2. การทดลองดูดซับพาราไซลีนด้วยซีไอไลต์ประเภทแบเรียมวายเป็นขนาดขยายส่วน

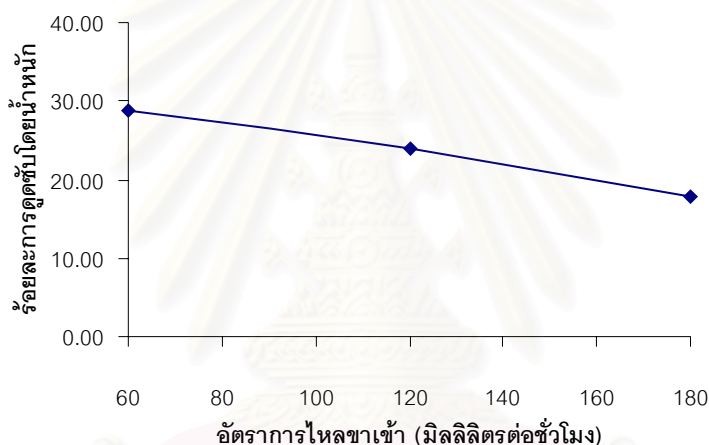
2.1 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับพาราไซลีนด้วยซีไอไลต์ประเภทแบเรียมวายเป็นให้อุณหภูมิคงที่ 80 องศาเซลเซียสตลอดการประมวลผลข้อมูล ไซลีนไอโซเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลองขนาดขยายส่วน เนื่องจากต้องใช้เวลาป้อนในปริมาณที่มากจึงต้องขอความอนุเคราะห์สารดังกล่าวจากบริษัท อะโรเมติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) สกัดส่วนไซลีนไอโซเมอร์ผสมดังตารางที่ 4.8 สกัดส่วนดังกล่าวใช้สำหรับการทดลองทั้งหมดในขนาดขยายส่วนโดยเปลี่ยนอัตราการไหลเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ผลแสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.2 จากการพิจารณาพบว่าอัตราการไหลเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือพาราไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดร้อยละการดูดซับ 28.84 โดยน้ำหนัก แต่ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ คืออัตราการไหลเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากที่ภาวะดังกล่าวได้ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากทำการผ่านหอดูดซับร้อยละการดูดซับ 23.93 ซึ่งใกล้เคียงกับที่อัตราการไหลเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเวลาที่น้อยกว่ากันถึงเท่าตัว

ตารางที่ 4.8 ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของสารป้อนใช้ทดลองให้ผลดังตารางที่ 4.9-4.18

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
พาราไซลีน	57.95
เมตาไซลีน	30.02
ออร์โทไซลีน	12.03

ตารางที่ 4.9 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีน หลังจากดูดซับด้วยแบเรียมวายซีโอไลต์ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการดูดซับ 80 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลขาเข้า (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	สารป้อน			อัตราการไหลขาออก (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีน
	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน		พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	
60	57.95	30.02	12.03	54	45.82	39.74	14.44	28.84
120	57.95	30.02	12.03	114	46.40	39.28	14.32	23.93
180	57.95	30.02	12.03	174	49.30	36.96	13.74	17.76



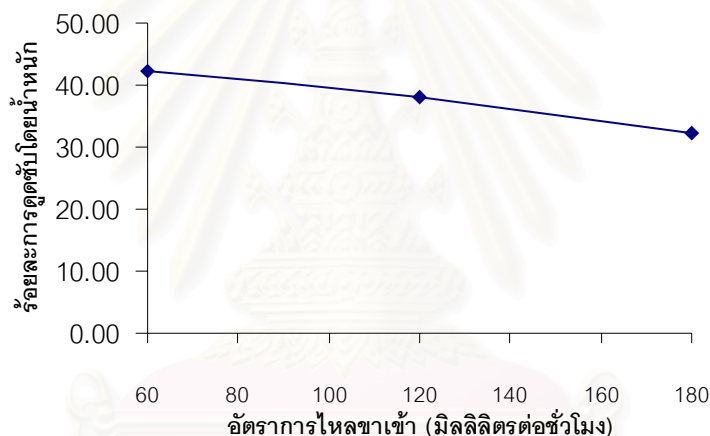
รูป 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังผ่านหอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

2.2 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับพาราไซลีนด้วยซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวาย ให้อุณหภูมิคงที่ 100 องศาเซลเซียสตลอดการประมวลผลข้อมูลโดยเปลี่ยนอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.3 จากการพิจารณาพบว่าอัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือพาราไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดร้อยละการดูดซับ 42.35 โดยน้ำหนัก แต่ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ คืออัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากที่ภาวะดังกล่าวได้ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากทำการผ่านหอดูดซับร้อยละ

การดูดซับ 38.20 ซึ่งใกล้เคียงกับที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเวลานี้น้อยกว่ากันถึงเท่าตัว

ตารางที่ 4.10 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีน หลังจากดูดซับด้วยแบเรียมวายซีโอไลต์ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการดูดซับ 100 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลขาเข้า (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	สารป้อน			อัตราการไหลขาออก (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีน
	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน		พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	
60	57.95	30.02	12.03	54	37.12	46.70	16.18	42.35
120	57.95	30.02	12.03	114	37.70	46.24	16.06	38.20
180	57.95	30.02	12.03	174	40.60	43.92	15.48	32.27



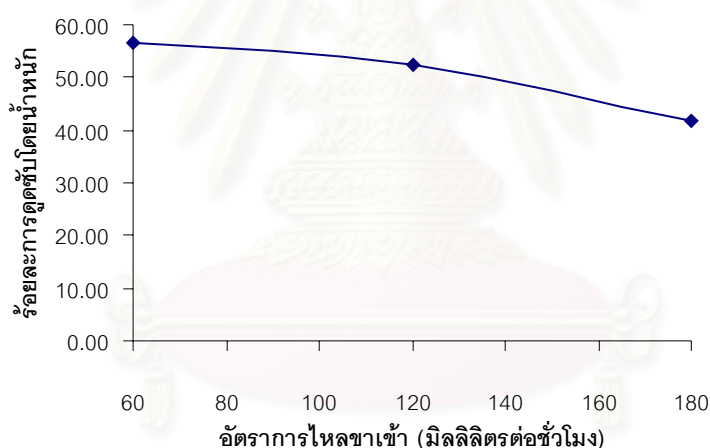
รูป 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังผ่านหอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

2.3 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับพาราไซลีนด้วยซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวาย ให้อุณหภูมิคงที่ 120 องศาเซลเซียสตลอดการประมวลผลข้อมูลโดยเปลี่ยนอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.4 จากการพิจารณาพบว่าอัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือพาราไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดร้อยละการดูดซับ 56.76 โดยน้ำหนัก แต่ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ คืออัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เนื่องจากที่ภาวะดังกล่าวได้ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากทำการผ่านหอดูดซับร้อยละการดูดซับ 52.46 ซึ่งต่ำใกล้เคียงกับที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเวลานี้น้อยกว่ากันถึงเท่าตัว

ตารางที่ 4.11 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีน หลังจากดูดซับด้วยแบเรียมวายเป็นซีโอไลต์ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลขาเข้า (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	สารป้อน			อัตราการไหลขาออก (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนัก ของพาราไซลีน
	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน		พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	
60	57.95	30.02	12.03	54	27.84	54.13	18.03	56.76
120	57.95	30.02	12.03	114	29.00	53.20	17.80	52.46
180	57.95	30.02	12.03	174	34.80	48.56	16.64	41.95



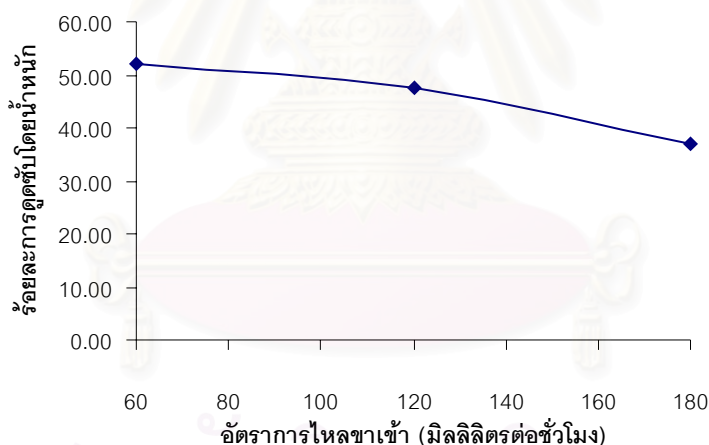
รูป 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังผ่านหอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

2.4 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับพาราไซลีนด้วยซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวาย ให้อุณหภูมิคงที่ 130 องศาเซลเซียสตลอดการประมวลผลข้อมูลโดยเปลี่ยนอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.5 จากการพิจารณาพบว่าอัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือพาราไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดร้อยละการดูดซับ 52.26

โดยน้ำหนัก แต่ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ คืออัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากที่ภาวะดังกล่าวได้ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากทำการผ่านหอดูดซับร้อยละ การดูดซับ 47.70 ซึ่งใกล้เคียงกับที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเวลาที่น้อยกว่า กันถึงเท่าตัว

ตารางที่ 4.12 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีน หลังจากดูดซับด้วยแบเรียมวาย ซีโอไลต์ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการดูดซับ 130 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลขาเข้า (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	สารป้อน			อัตราการไหลขาออก (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูด ซับโดยน้ำหนัก ของพาราไซลีน
	พารา ไซลีน	เมตา ไซลีน	ออร์โท ไซลีน		พารา ไซลีน	เมตา ไซลีน	ออร์โท ไซลีน	
60	57.95	30.02	12.03	54	30.74	51.81	51.81	52.26
120	57.95	30.02	12.03	114	31.90	50.88	50.88	47.70
180	57.95	30.02	12.03	174	37.70	46.24	46.24	37.11

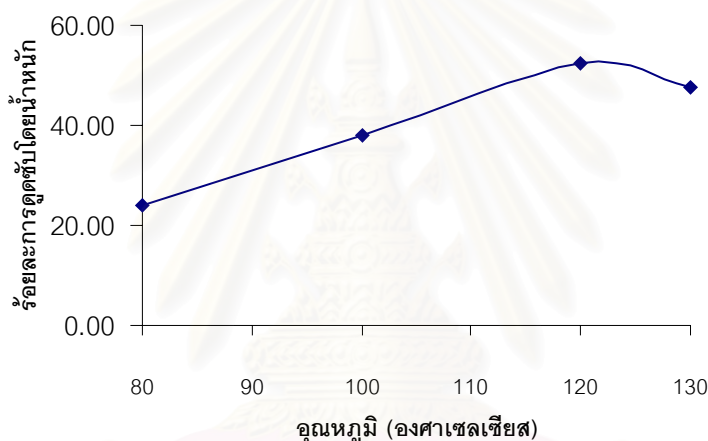


รูป 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังผ่านหอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส

2.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับพาราไซลีนด้วยซีโอไลต์ประเภทแบเรียมวาย โดยนำผลการทดลองในหัวข้อ 2.1 – 2.4 ที่อัตราการไหลขาเข้าคงที่ 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 80 100 120 และ 130 องศาเซลเซียส เพื่อดูแนวโน้มของการดูดซับ ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.6 จากการพิจารณาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับพาราไซลีนเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือพาราไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดร้อยละการดูดซับ 52.46 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.13 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีน หลังจากดูดซับด้วยแบเรียมวาลีซีโอไลต์ อุณหภูมิในการดูดซับ 80 100 120 และ 130 องศาเซลเซียส อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สารป้อน			ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูด ซับโดยน้ำหนัก ของพาราไซลีน
	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	
80	57.95	30.02	12.03	46.40	39.28	14.32	23.93
100	57.95	30.02	12.03	37.70	46.24	16.06	38.20
120	57.95	30.02	12.03	29.00	53.20	17.80	52.46
130	57.95	30.02	12.03	31.90	50.88	17.22	47.70



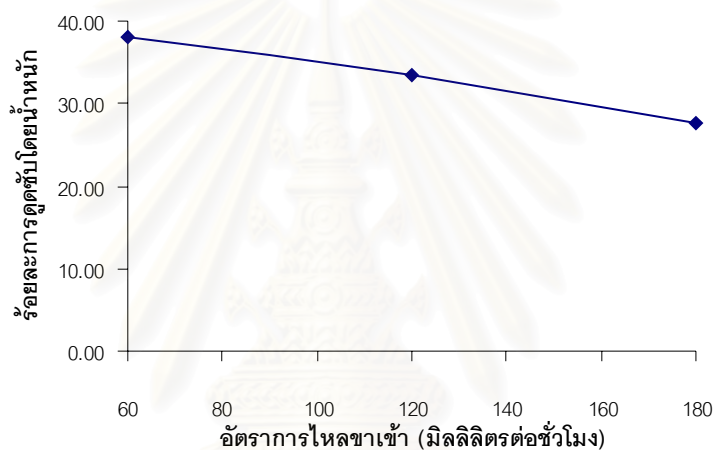
รูป 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับกับอุณหภูมิ 80 100 120 และ 130 องศาเซลเซียส อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

2.6 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเมตาไซลีนด้วยซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวาลี ให้อุณหภูมิคงที่ 80 องศาเซลเซียสตลอดการประมวลผลข้อมูลโดยเปลี่ยนอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.7 จากการพิจารณาพบว่าอัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือเมตาไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดร้อยละการดูดซับ 37.94 โดยน้ำหนัก แต่ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ คืออัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากที่ภาวะดังกล่าวได้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากทำการผ่านหอดูดซับโดยร้อยละการดูดซับเท่ากับ 33.54 ซึ่งต่ำใกล้เคียงกับที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเวลานี้น้อยกว่ากันถึงเท่าตัว

ตารางที่ 4.14 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน หลังจากดูดซับด้วยลิเทียมวาย

ซีโอไลต์ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการดูดซับ 80 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลขาเข้า (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	สารป้อน			อัตราการไหลขาออก (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน
	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน		พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	
60	57.95	30.02	12.03	54	65.44	20.70	13.86	37.94
120	57.95	30.02	12.03	114	65.20	21.00	13.80	33.54
180	57.95	30.02	12.03	174	64.00	22.50	13.50	27.55



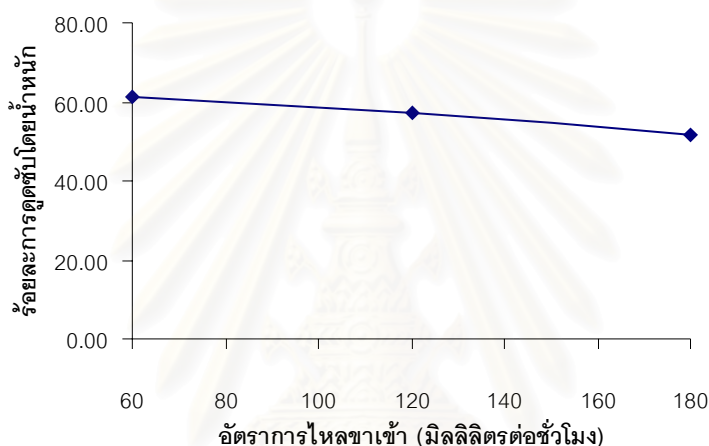
รูป 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังผ่านหอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

2.7 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเมตาไซลีนด้วยซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวาย ให้อุณหภูมิคงที่ 100 องศาเซลเซียส ตลอดจนการประมวลผลข้อมูลโดยเปลี่ยนอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.8 จากการพิจารณาพบว่าอัตราการไหลของสารป้อน 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือเมตาไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดร้อยละการดูดซับ 61.33 โดยน้ำหนัก แต่ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ คืออัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากที่ภาวะดังกล่าวได้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากทำการผ่านหอดูดซับร้อยละการดูดซับ 57.28 ซึ่งต่ำใกล้เคียงกับที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเวลานี้น้อยกว่ากันถึงเท่าตัว

ตารางที่ 4.15 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน หลังจากดูดซับด้วยลิเทียมวาย

ซีโอไลต์ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการดูดซับ 100 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลขาเข้า (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	สารป้อน			อัตราการไหลขาออก (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน
	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน		พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	
60	57.95	30.02	12.03	54	71.68	12.90	15.42	61.33
120	57.95	30.02	12.03	114	71.20	13.50	15.30	57.28
180	57.95	30.02	12.03	174	70.00	15.00	15.00	51.70



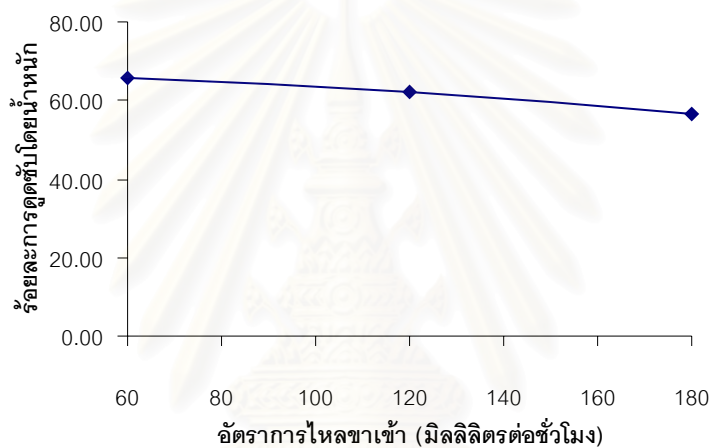
รูป 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

2.8 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเมตาไซลีนด้วยซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวาย ให้อุณหภูมิคงที่ 120 องศาเซลเซียส ตลอดจนการประมวลผลข้อมูลโดยเปลี่ยนอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.9 จากการพิจารณาพบว่าอัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือเมตาไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดร้อยละการดูดซับ 65.82 โดยน้ำหนัก แต่ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ คืออัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากที่ภาวะดังกล่าวได้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากทำการผ่านหอดูดซับร้อยละการดูดซับ 62.03 ซึ่งต่ำใกล้เคียงกับที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเวลาน้อยกว่ากันถึงเท่าตัว

ตารางที่ 4.16 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน หลังจากดูดซับด้วยลิเทียมวาย

ซีโอไลต์ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลขาเข้า (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	สารป้อน			อัตราการไหลขาออก (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนัก ของเมตาไซลีน
	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน		พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	
60	57.95	30.02	12.03	54	72.88	11.40	15.72	65.82
120	57.95	30.02	12.03	114	72.40	12.00	15.60	62.03
180	57.95	30.02	12.03	174	71.20	13.50	15.30	56.53

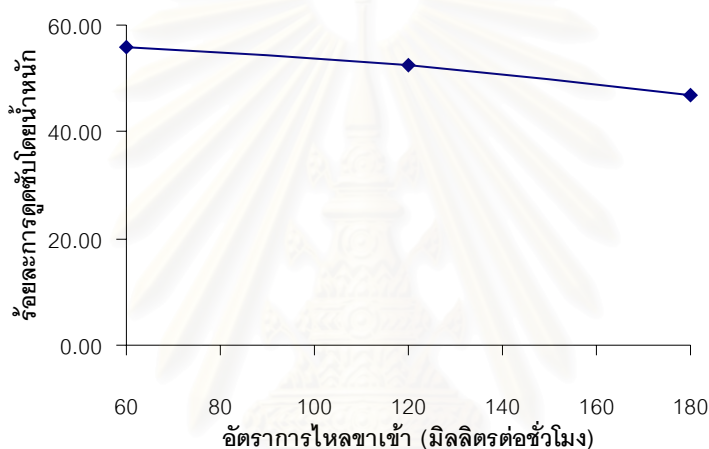


รูป 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังผ่านหอดูดซับ กับอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

2.9 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเมตาไซลีนด้วยซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวาย ให้อุณหภูมิคงที่ 130 องศาเซลเซียส ตลอดจนการประมวลผลข้อมูลโดยเปลี่ยนอัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.10 จากการพิจารณาพบว่าอัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือเมตาไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดร้อยละการดูดซับ 55.93 โดยน้ำหนัก แต่ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ คืออัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากที่ภาวะดังกล่าวได้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากทำการผ่านหอดูดซับร้อยละการดูดซับ 52.53 ซึ่งต่ำใกล้เคียงกับที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในเวลาน้อยกว่ากันถึงเท่าตัว

ตารางที่ 4.17 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน หลังจากดูดซับด้วยลิเทียมวอยซีโอไลต์ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการดูดซับ 130 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลขาเข้า (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	สารป้อน			อัตราการไหลขาออก (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน
	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน		พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	
60	57.95	30.02	12.03	54	70.24	14.70	15.06	55.93
120	57.95	30.02	12.03	114	70.00	15.00	15.00	52.53
180	57.95	30.02	12.03	174	68.80	16.50	14.70	46.87

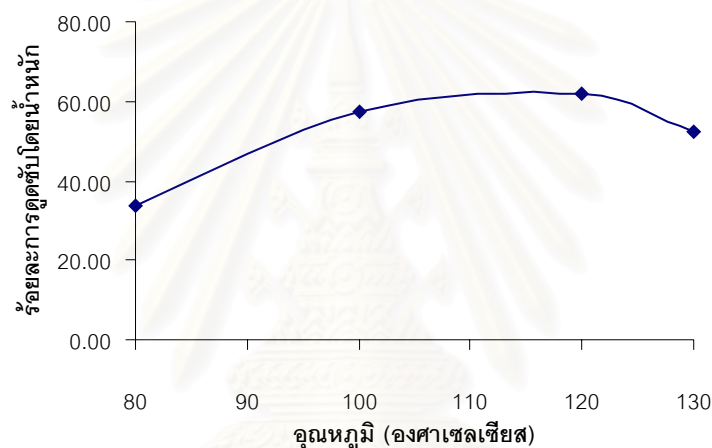


รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังผ่านหอดูดซับ อัตราการไหลขาเข้า 60 120 และ 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส

2.10 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับเมตาไซลีนด้วยซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวอย โดยนำผลการทดลองในหัวข้อ 2.6 – 2.9 ที่อัตราการไหลขาเข้าคงที่ 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 80 100 120 และ 130 องศาเซลเซียส เพื่อดูแนวโน้มของการดูดซับ ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.11 จากการพิจารณาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเมตาไซลีนคือที่ 120 องศาเซลเซียส ให้อัตราการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากผ่านหอดูดซับต่ำที่สุด กล่าวคือ เมตาไซลีนถูกดูดซับได้มากที่สุดที่ร้อยละการดูดซับ 62.03 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.18 ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน หลังจากดูดซับด้วยลิเทียมวายเป็นซีโอไลต์ คุณสมบัติในการดูดซับ 80 100 120 และ 130 องศาเซลเซียส อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สารป้อน			ผลิตภัณฑ์หลังผ่านหอดูดซับ			ร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน
	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	พาราไซลีน	เมตาไซลีน	ออร์โทไซลีน	
80	57.95	30.02	12.03	46.40	39.28	14.32	33.54
100	57.95	30.02	12.03	37.70	46.24	16.06	57.28
120	57.95	30.02	12.03	29.00	53.20	17.80	62.03
130	57.95	30.02	12.03	31.90	50.88	17.22	52.53



รูป 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังจากดูดซับกับอุณหภูมิ 80 100 120 และ 130 องศาเซลเซียส อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

2.11 ลักษณะผลึก พื้นผิว และผลวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาตร ขนาดของโพรงของซีโอไลต์ประเภทวาย

พิจารณาภาคผนวก ข ลักษณะผลึก และพื้นผิวของซีโอไลต์ประเภทวาย พบว่าในแต่ละประเภทมีลักษณะผลึกแบบเดียวกัน นั่นคือเป็นผลึกของซีโอไลต์ประเภทวาย แต่ไม่สามารถแยกแยะประเภทได้ว่าเป็นซีโอไลต์ประเภทใด เนื่องจากกำลังขยายสูงสุดของเครื่อง SEM อยู่ที่ 1 ไมโครเมตร ทำให้ไม่สามารถเห็นขนาดโพรงของซีโอไลต์ที่มีขนาดเป็นอังสตรอมได้

พิจารณาภาคผนวก ค เปรียบเทียบขนาดโพรงเฉลี่ยระหว่างซีโอไลต์ประเภทไซเดียมวายเป็น (14.5531 °Å) กับซีโอไลต์ประเภทลิเทียมวายเป็น (14.6766 °Å) พบว่าเมื่อนำไอออนที่มีขนาดอะตอม

เล็กกว่า (โซเดียม = 1.54°A , ลิเทียม = 1.23°A) มาแลกเปลี่ยนไอออนภายในโพรงของซีโอไลต์ประเภทวาย ทำให้ขนาดโมเลกุลของซีโอไลต์มีขนาดกว้างขึ้น การแพร่เข้าไปดูดซับของเมตาโซลีนภายในโพรงซีโอไลต์ก็จะเกิดง่ายขึ้น ร้อยละการดูดซับจึงเพิ่มขึ้น สนับสนุนผลการทดลองจากตารางที่ 4.3, 4.5 ในทำนองเดียวกับขนาดโพรงเฉลี่ยระหว่างซีโอไลต์ประเภทโพแทสเซียม (14.6059°A) กับซีโอไลต์ประเภทแบริยมวาย (14.6749°A) โดยที่ขนาดอะตอมแบริมเล็กกว่าโพแทสเซียม (แบริม = 1.43°A , โพแทสเซียม = 2.03°A) ทำให้ได้ขนาดโพรงที่กว้างกว่า การแพร่เข้าไปดูดซับของพาราโซลีนภายในโพรงซีโอไลต์ก็เกิดง่ายขึ้น ร้อยละการดูดซับจึงเพิ่มขึ้น ดังผลการทดลองจากตารางที่ 4.6, 4.7

และเมื่อพิจารณาผลของการผสมดินขาว (Kaolin) กับซีโอไลต์เพื่อขึ้นรูปเป็นเม็ด จากตารางที่ ค.1 พื้นที่ผิวของซีโอไลต์ประเภทโซเดียมวายและลิเทียมวายเท่ากับ 768.4482 และ 731.3967 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ เมื่อนำไปทำการขึ้นรูปเป็นเม็ดพื้นที่ผิวที่ได้ลดลงเท่ากับ 557.9746 และ 615.2260 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ พบว่าพื้นที่ผิวลดลงเนื่องจากพื้นที่ผิวบางส่วนถูกหลอมรวมกันในขั้นตอนการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง 680 องศาเซลเซียส เพื่อโครงสร้างที่แข็งแกร่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกไซลีนไอโซเมอร์ผสมด้วย วายซีโอไลต์ในระดับห้องปฏิบัติการ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ เวลาที่ใช้ในการดูดซับและอุณหภูมิ แล้ว นำผลที่ได้ไปใช้ในขนาดขยายส่วน เพื่อแยกพาราไซลีน เมตาไซลีนและออร์โทไซลีน ให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อัตราการไหลขาเข้าและอุณหภูมิ

การทดลองดูดซับเมตาไซลีนด้วยไซเดียมวายซีโอไลต์ในห้องปฏิบัติการ ภาวะที่เหมาะสม ในการดูดซับเมตาไซลีน คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

การทดลองเปรียบเทียบการดูดซับเมตาไซลีนด้วยไซเดียมวายซีโอไลต์กับลิเทียมวาย ซีโอไลต์ในห้องปฏิบัติการ ภาวะที่ใช้คือเวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิ 120 องศา เซลเซียส พบว่าลิเทียมวายซีโอไลต์เหมาะสมสำหรับการดูดซับเมตาไซลีนเนื่องจากร้อยละการดูด ซับของเมตาไซลีนที่ถูกดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์เท่ากับ 4.56 ซึ่งมากกว่าการดูดซับด้วย ไซเดียมวายซีโอไลต์ซึ่งให้ร้อยละการดูดซับ 4.13

การทดลองเปรียบเทียบการดูดซับพาราไซลีนด้วยแบเรียมวายซีโอไลต์กับโพแทสเซียม วายซีโอไลต์ในห้องปฏิบัติการ ภาวะที่ใช้คือเวลาที่ใช้ในการดูดซับ 60 นาที อุณหภูมิ 120 องศา เซลเซียส พบว่าแบเรียมวายซีโอไลต์เหมาะสมสำหรับการดูดซับพาราไซลีนเนื่องจากร้อยละการดูด ซับของพาราไซลีนที่ถูกดูดซับด้วยแบเรียมวายซีโอไลต์เท่ากับ 2.92 ซึ่งมากกว่าการดูดซับด้วย โพแทสเซียมวายซีโอไลต์ซึ่งให้ร้อยละการดูดซับ 1.93

การทดลองดูดซับพาราไซลีนด้วยแบเรียมวายซีโอไลต์ขนาดขยายส่วน ภาวะที่เหมาะสม ในการดูดซับพาราไซลีนคืออัตราการไหลของสารป้อน 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 120 องศา เซลเซียส ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 52.46 โดยน้ำหนัก

การทดลองดูดซับเมตาไซลีนด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ขนาดขยายส่วน ภาวะที่เหมาะสมใน การดูดซับเมตาไซลีนคืออัตราการไหลของสารป้อน 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 120 องศา เซลเซียส ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 62.03 โดยน้ำหนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้วายซีโอไลต์โดยไม่ผสมดินขาวขึ้นรูปให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดความดันสูง เพื่อ เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับไซลีนไอโซเมอร์ผสม

- ควรเลือกซื้อเครื่องวัดอัตราการไหลขนาดสเกลที่ละเอียดค่าความผิดพลาดจะน้อยลง เพราะว่าการทดลองใช้อัตราการไหลที่น้อยมาก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Smolin, W., Fishkill N.Y. Separation of Para-Xylene U.S.Patent No.4393266(1983).
2. Smolin, W., Fishkill N.Y. Separation of Para-Xylene U.S.Patent No.4351981(1982).
3. M.Hitoshi, A. Kenichi. Journal of Nuclear Science and Technology 30(1993) : 436 – 443.
4. Breck, D.W. Zeolite Molecular Sieves. New York : Wiley, 1974.
5. Sanicesaria, E., et al. Separation of Xylenes on Y zeolites. Ind. Eng. Chem. Process 21(1982) : 440 – 445.
6. Kulprathipanja, S. Process for the Adsorptive Separation of Metaxylene from Aromatic Hydrocarbons U.S.Patent No.5382747(1995).
7. Luis T. Furlan. Separation of Liquid Mixtures of p-Xylene and o-Xylene in X Zeolites. Ind. Eng. Chem. Process 31(1992) : 1780 – 1784.
8. Jean – Pierre Bellat. Adsorption of gaseous p-xylene and m-xylene on NaY, KY, and BaY zeolites. Zeolites 15(1995) : 219 – 227.
9. C. Mellot, D. Location of meta – Xylene in X zeolite and model for the filling of the supercages. Catalysis Letters 27(1994) : 159 – 169.
10. Mirjam Czjzek. Molecular Dynamics of Xylene in Na, Yb – Y and ZSM – 5 studied by Quasi – elastic Neutron Scattering. Chem. Soc. Faraday Trans 87(1991) : 3455 – 3459.
11. Subramanian Yashonath. Diffusion of Sorbates in Zeolites Y and A. J. Phys. Chem 98(1994) : 6368 – 6376.
12. Masuda, T., et al. Measurement and Prediction of the Diffusivity of Y – Type Zeolite. Chem. Eng. Sci 51(1996) : 1879 – 1888.
13. Tsoung Y. Yan. Separation of p – Xylene and Ethlbenzene from C₈ Aromatics Using Medium – Pore Zeolites. Ind. Eng. Chem. Res 28(1989) : 572 – 576.
14. Methivier, A. Influence of Oxygenated Contaminants on the Separation of C₈ Aromatics by Adsorption on Faujasite Zeolites. Ind. Eng. Chem. Res 37(1998) : 604 – 608.

15. Denise, M., Barthomeuf, Lyons. Process for Enhancing the Separation of Paraxylene from a Feedstream containing other Xylenes and Ethylbenzene using Zeolite Adsorbent U.S. Patent No.4593150(1986).



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



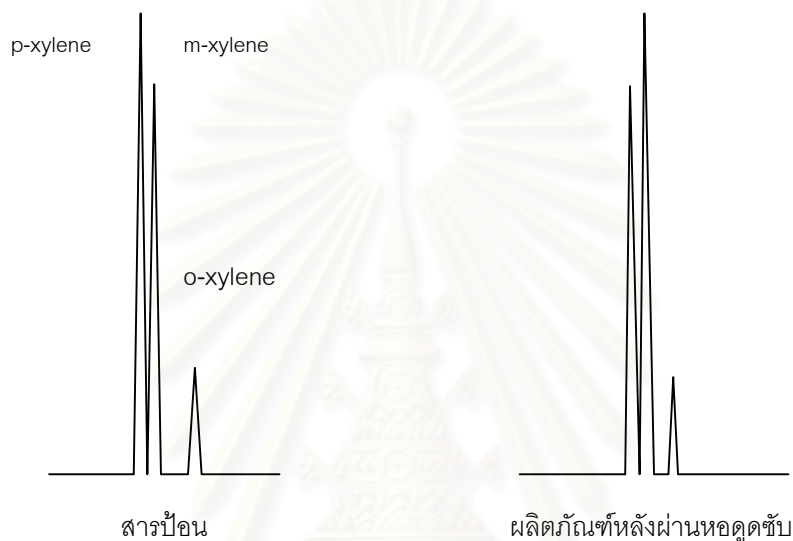
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

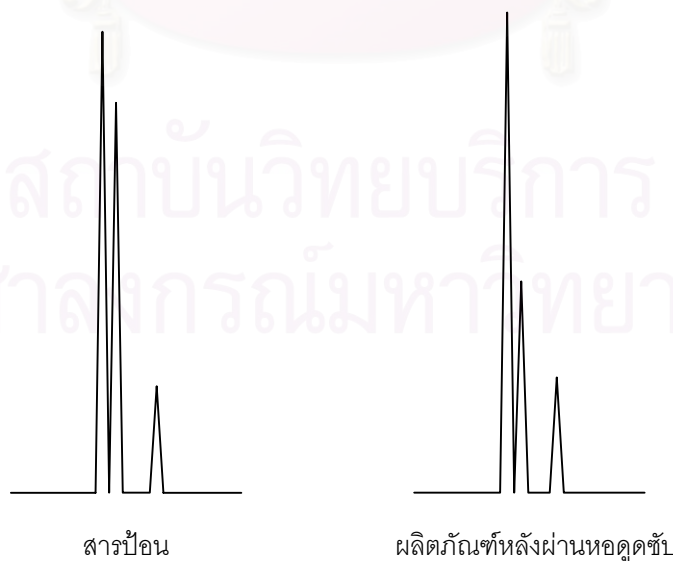
ภาคผนวก ก

ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี

1. ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการทดลองหอดูดซับขนาดขยายส่วน



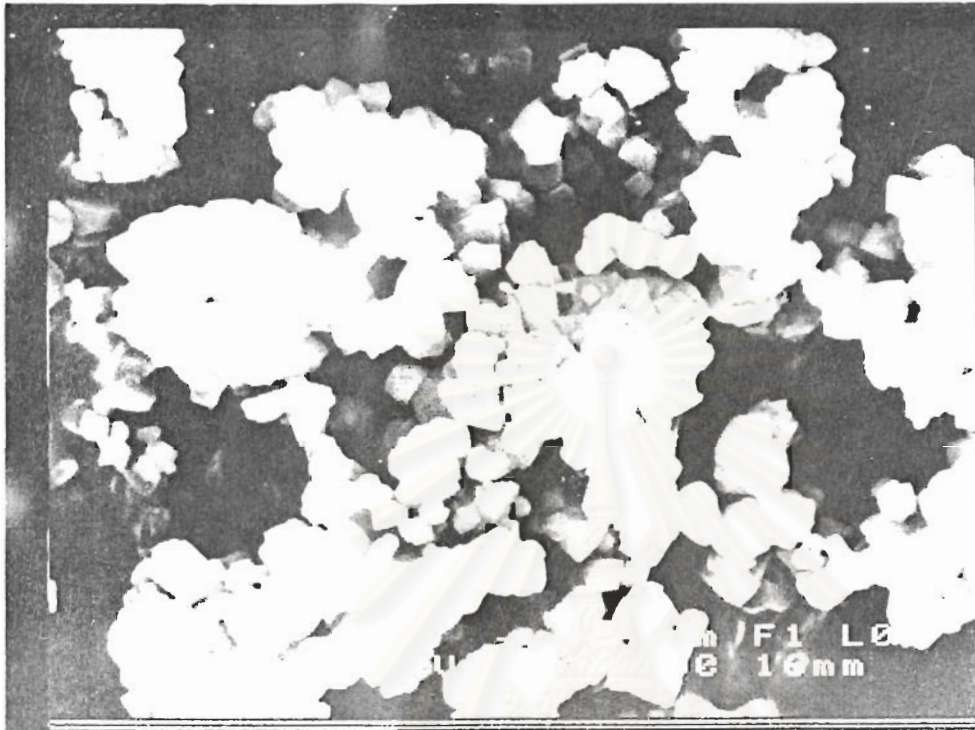
รูปที่ ก.1 โครมาโทแกรมของสารป้อน ผลิตภัณฑ์ที่ถูกดูดซับจากการทดลองหอดูดซับขนาดขยายส่วนบรรจุด้วยแบเรียมวาายซีโอไลต์สำหรับดูดซับพาราไซลีน



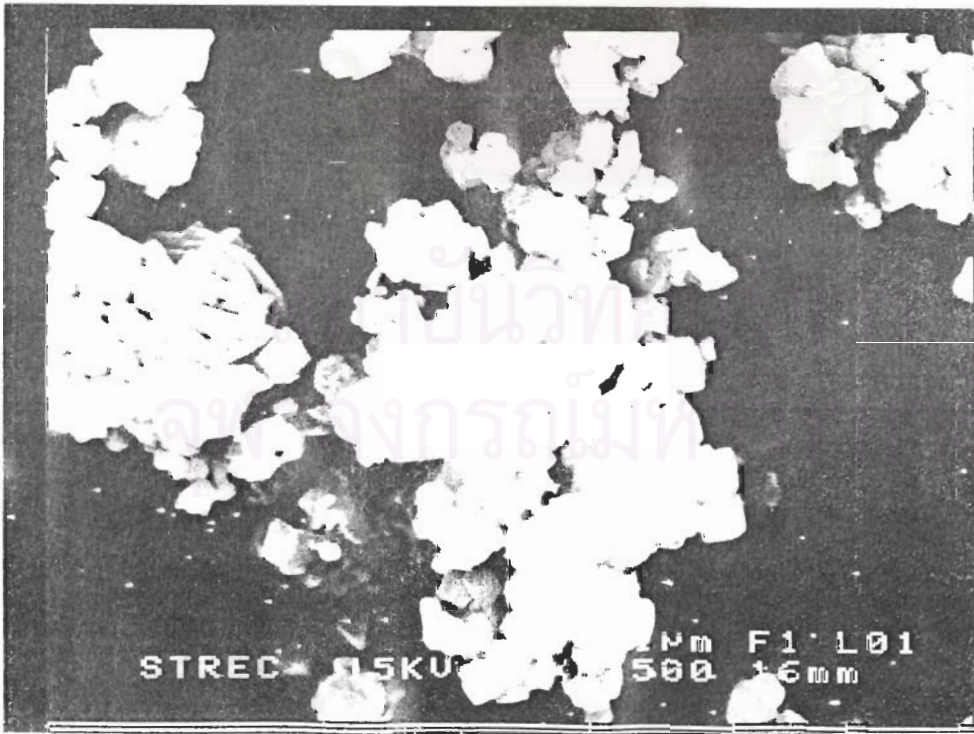
รูปที่ ก.2 โครมาโทแกรมของสารป้อน ผลิตภัณฑ์ที่ถูกดูดซับจากการทดลองหอดูดซับขนาดขยายส่วนบรรจุด้วยลิเทียมวาายซีโอไลต์สำหรับดูดซับเมตาไซลีน

ภาคผนวก ข

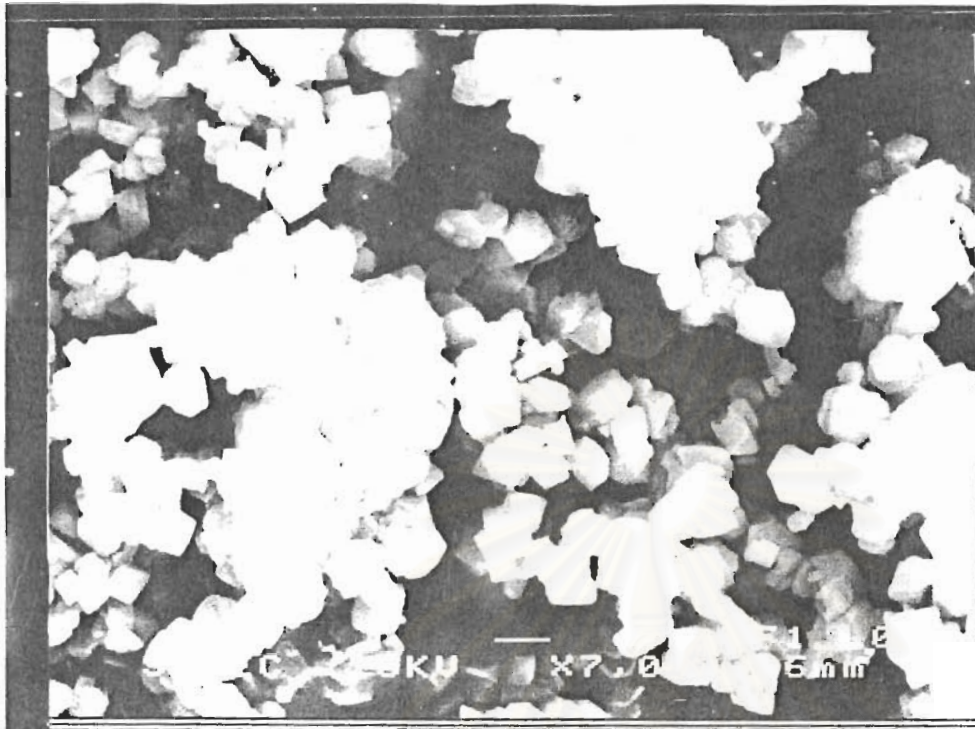
ลักษณะผลึกและพื้นผิวของซีโอไลต์ประเภทวายจากเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) กำลังขยาย 1 ไมโครเมตร



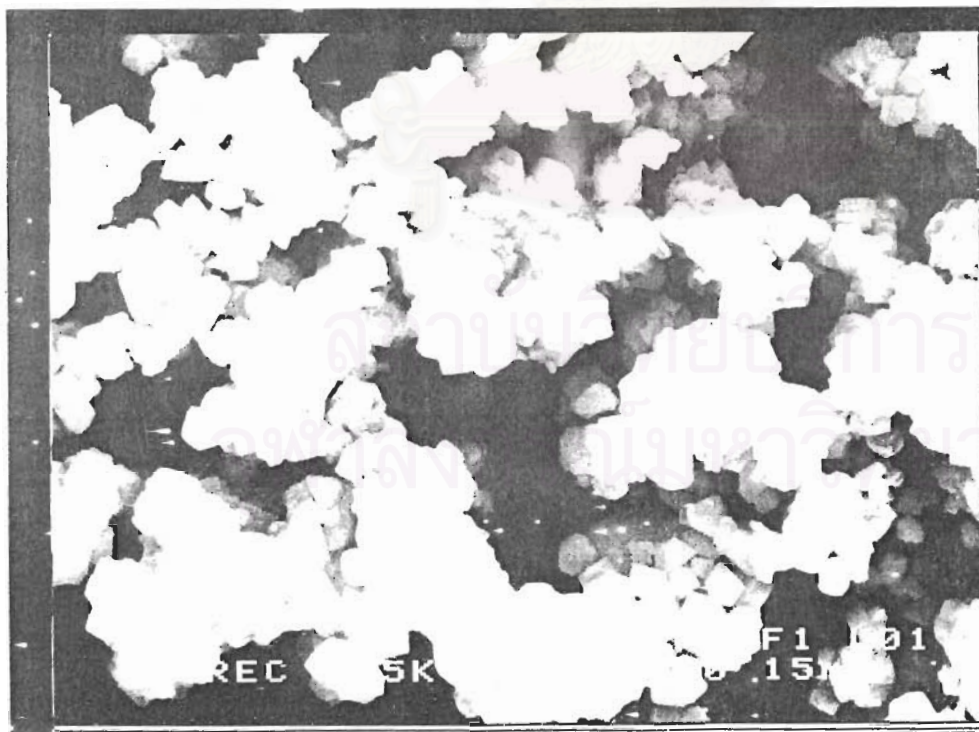
รูปที่ ข.1 ลักษณะผลึกและพื้นผิวของซีโอไลต์ประเภทไอเดียมวาย



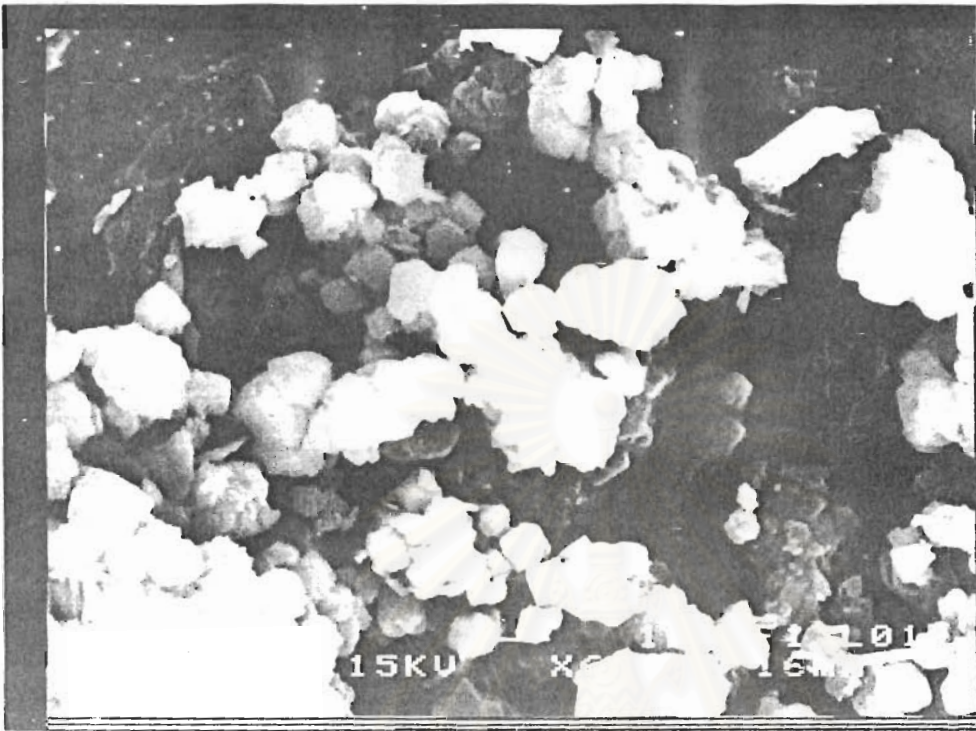
รูปที่ ข.2 ลักษณะผลึกและพื้นผิวของซีโอไลต์ประเภทโพแทสเซียมวาย



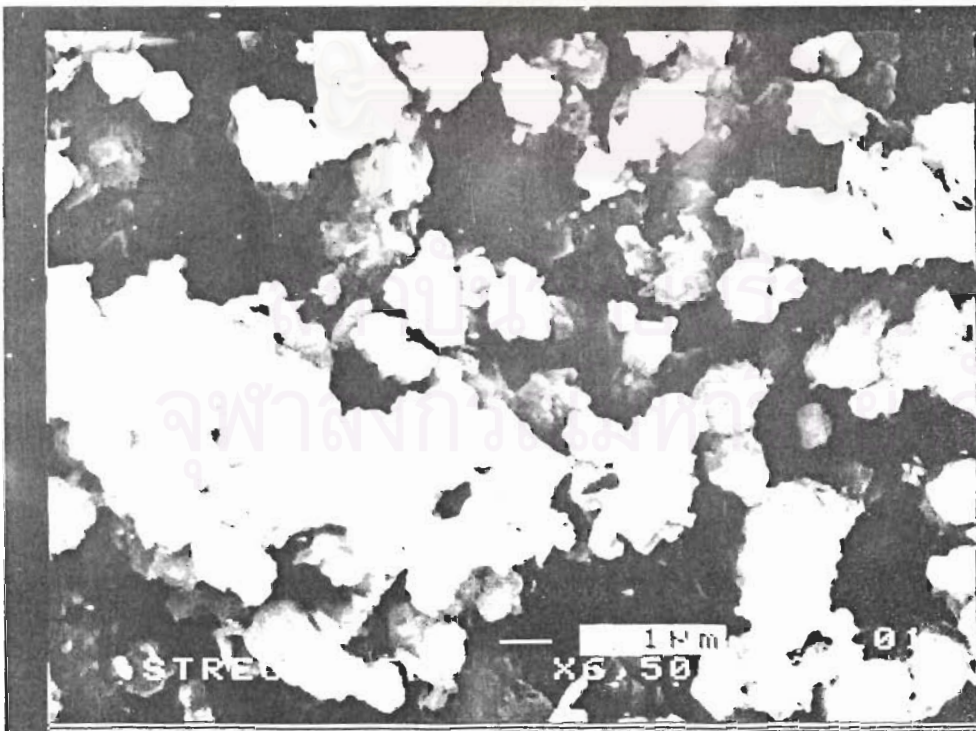
รูปที่ ข.3 ลักษณะผลึกและพื้นผิวของซีโอไลต์ประเภทแบเรียมววาย



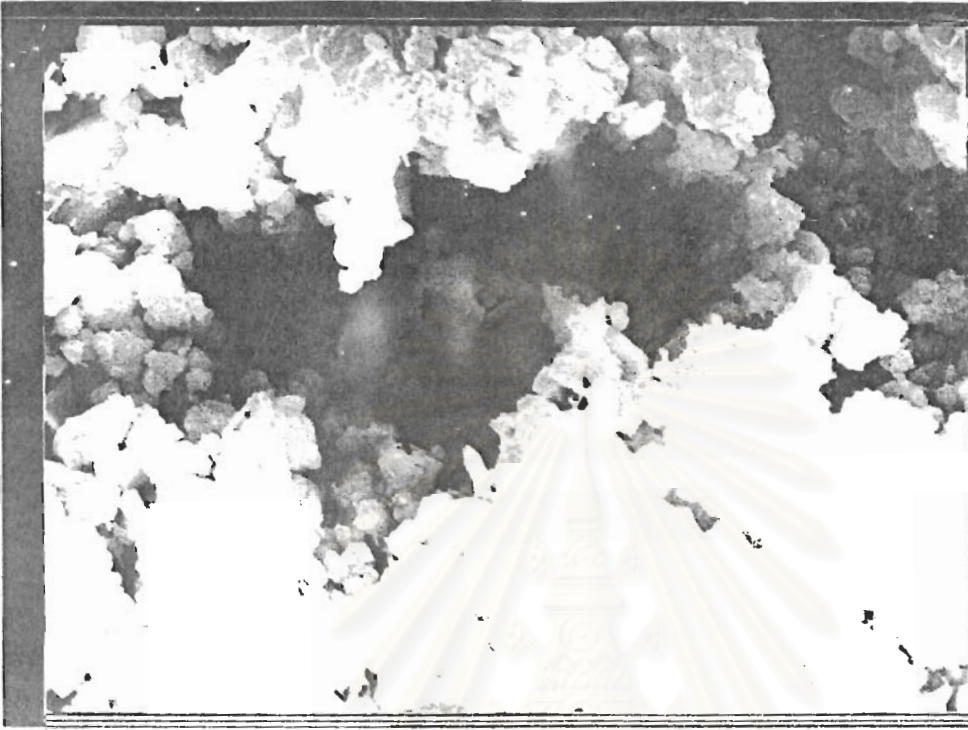
รูปที่ ข.4 ลักษณะผลึกและพื้นผิวของซีโอไลต์ประเภทลิเทียมววาย



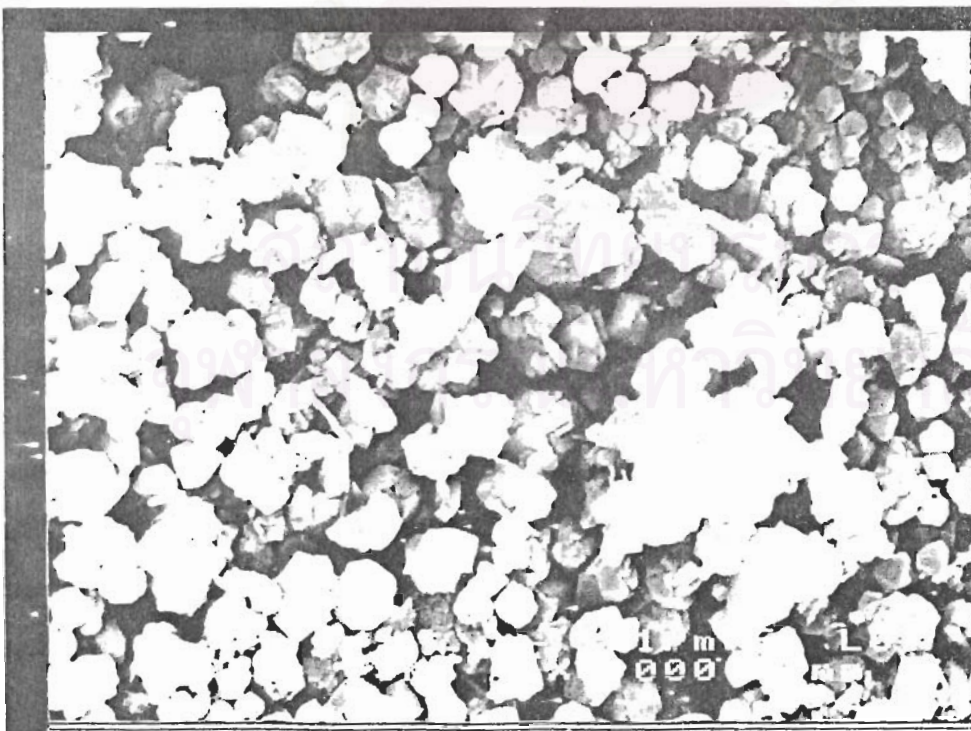
รูปที่ ๓.5 ลักษณะผลึกและพื้นผิวของซีไอลิต์ประเภทแบบเวียมวายผสมดินขาว



รูปที่ ๓.6 ลักษณะผลึกและพื้นผิวของซีไอลิต์ประเภทลิเทียมวายผสมดินขาว



รูปที่ ๓.๗ ลักษณะผลึกและพื้นผิวของซิลิกาโด๊ปประเภทแบเรียมวางขึ้นรูปเป็นเม็ด



รูปที่ ๓.๘ ลักษณะผลึกและพื้นผิวของซิลิกาโด๊ปประเภทลิเทียมวางขึ้นรูปเป็นเม็ด

ภาคผนวก ค

พื้นที่ผิว ปริมาตร และขนาดของโพรงของซีโอไลต์ประเภทวาย

ตารางที่ ค.1 พื้นที่ผิว ปริมาตร และขนาดของโพรงของซีโอไลต์ประเภทวาย

ซีโอไลต์	BET surface area (m ² /g)	Micropore area (m ² /g)	Micropore volume (cc/g)	Average pore diameter (°A)
NaY	768.4482	718.3327	0.334715	14.5531
KY	695.9017	651.0391	0.304254	14.6059
BaY	649.3376	603.6957	0.280612	14.6749
LiY	731.3967	681.6723	0.316679	14.6766
BaY+Kaolin	600.4125	558.7844	0.259621	15.1460
LiY+Kaolin	547.8289	505.8816	0.235245	15.4570
BaY pellet	557.2746	514.3645	0.239068	15.4279
LiY pellet	615.2260	571.5060	0.266575	15.1801



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ง.1 ตัวอย่างการคำนวณหาร้อยละการดูดซับในระดับห้องปฏิบัติการ

$$\text{ร้อยละการดูดซับ} = \frac{\text{น้ำหนักที่ถูกดูดซับ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} * 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนก่อนดูดซับ 18.62

ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีนหลังถูกดูดซับที่อุณหภูมิ

120 องศาเซลเซียส 17.52

แทนค่าลงในสมการ :

$$\begin{aligned}\text{ร้อยละการดูดซับ} &= \frac{(18.62 - 17.52) * 100}{18.62} \\ &= 5.91\end{aligned}$$

ได้ผลลัพธ์คือร้อยละการดูดซับ เท่ากับ 5.91 ที่ภาวะข้างต้น

ง.2 ตัวอย่างการคำนวณหาร้อยละการดูดซับของการทดลองขนาดขยายส่วน

$$\text{ร้อยละการดูดซับ} = \frac{\text{น้ำหนักที่ถูกดูดซับ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} * 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตารางที่ 4.7 ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนก่อนดูดซับ อัตราการไหลขาเข้า 120

มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 57.95

ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนหลังผ่านหอดูดซับที่อุณหภูมิ 120 องศา

เซลเซียส อัตราการไหลขาออก 114 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 46.40

อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงเท่ากับ $120 * \text{ความหนาแน่นของพาราไซลีน} = 120 * 0.8541 = 102.49$ กรัมต่อชั่วโมง

อัตราการไหลขาออก 114 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงเท่ากับ $114 * \text{ความหนาแน่นของพาราไซลีน} = 114 * 0.8541 = 97.37$ กรัมต่อชั่วโมง

ถ้าร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนขาเข้าเท่ากับ 57.95 ดังนั้นที่อัตราการไหลขาเข้า 102.49 กรัมต่อชั่วโมง จะมีน้ำหนักพาราไซลีนเท่ากับ $57.95 * 102.49 / 100 = 59.39$ กรัม

ถ้าร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีนขาวออกเท่ากับ 46.40 ดังนั้นที่อัตราการไหลขาวออก 97.37 กรัมต่อชั่วโมง จะมีน้ำหนักพาราไซลีนเท่ากับ $46.40 * 97.37 / 100 = 45.18$ กรัม

แทนค่าที่ได้ในสมการข้างต้น :

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการดูดซับ} &= \frac{(59.39 - 45.18)}{59.39} * 100 \\ &= 23.93 \end{aligned}$$

ได้ผลลัพธ์คือร้อยละการดูดซับ เท่ากับ 23.93 ที่ภาวะข้างต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดลองดูดซับไซลีนไอโซเมอร์ผสมในระดับห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ จ.1 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยไซเดียมวายเป็นไอไลต์ ที่
อุณหภูมิ 80, 100, 120 และ 130 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 60 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	80	100	120	130
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	6.11	6.05	5.94	5.97
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	18.32	18.02	17.52	17.72
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	9.85	9.8	9.82	9.81

ตารางที่ จ.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายเป็นไอไลต์ ที่
เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	0	15	30	60	90	120
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	25.06	25.19	25.01	25.11	24.81	24.78
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	51.02	50.80	50.72	50.17	50.20	50.23
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	12.52	12.49	12.49	12.49	12.58	12.63

ตารางที่ จ.3 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยโพแทสเซียมวายเป็นไอไลต์
ไลต์ที่เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	0	15	30	60	90	120
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	24.37	24.09	23.92	23.90	23.90	23.82
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	52.53	52.73	52.97	52.95	52.97	53.06
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	12.13	12.22	12.13	12.13	12.23	12.18

ตารางที่ จ.4 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยเบเรียมวายเป็นไอไลต์ ที่
เวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	0	15	30	60	90	120
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	24.65	24.39	24.21	23.93	24.01	23.98
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	51.86	52.08	51.74	51.92	52.03	51.83
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	12.34	12.38	12.33	12.36	12.37	12.41

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดลองดูดซับพาราไซลีนด้วยแบเรียมวายเป็นไฮโดรไลต์จากไซลีนไอโซเมอร์ผสมในหลอดดูดซับขนาดขยายส่วน

ตารางที่ จ.1 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวายเป็นไฮโดรไลต์ ที่เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 80 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	45.82	50.46	52.78	55.10	57.42	57.94
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	39.74	36.03	34.18	32.32	30.46	30.05
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	14.44	13.51	13.04	12.58	12.12	12.01

ตารางที่ จ.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวายเป็นไฮโดรไลต์ ที่เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 80 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	46.40	48.14	52.20	53.94	57.42	57.30
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	39.28	37.89	34.64	33.25	30.46	30.56
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	14.32	13.97	13.16	12.81	12.12	12.14

ตารางที่ จ.3 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวายเป็นไฮโดรไลต์ ที่เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 80 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเข้า 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	49.30	51.04	53.36	55.68	57.42	57.94
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	36.96	35.57	33.71	31.86	30.46	30.05
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	13.74	13.39	12.93	12.46	12.12	12.01

ตารางที่ ๑.4 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวาเยซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 100 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	43.50	46.40	51.04	49.88	56.84	57.71
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	41.60	39.28	35.57	36.50	30.93	30.23
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	14.90	14.32	13.39	13.62	12.23	12.06

ตารางที่ ๑.5 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวาเยซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 100 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	37.70	40.60	45.24	51.62	56.26	57.92
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	46.24	43.92	40.21	35.10	31.39	30.06
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	16.06	15.48	14.55	13.28	12.35	12.02

ตารางที่ ๑.6 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวาเยซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 100 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	40.60	45.82	51.04	55.68	57.42	57.83
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	43.92	39.74	35.57	31.86	30.46	30.14
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	15.48	14.44	13.39	12.46	12.12	12.03

ตารางที่ ๑.7 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวาเยซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	37.70	42.92	48.72	53.36	56.84	57.86
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	46.24	42.06	37.42	33.71	30.93	30.11
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	16.06	15.02	13.86	12.93	12.23	12.03

ตารางที่ ๑.8 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวาเยซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	29.00	37.12	42.92	50.46	55.10	57.97
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	53.20	46.70	42.06	36.03	32.32	30.03
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	17.80	16.18	15.02	13.51	12.58	12.01

ตารางที่ ๑.9 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวาเยซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	34.80	40.02	45.24	52.20	57.13	57.54
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	48.56	44.38	40.21	34.64	30.70	30.37
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	16.64	15.60	14.55	13.16	12.17	12.09

ตารางที่ ๑.10 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวาเยซีโอไลต์ ที่เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 130 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	40.60	45.82	51.04	54.52	56.72	57.93
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	43.92	39.74	35.57	32.78	31.02	30.06
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	15.48	14.44	13.39	12.70	12.26	12.01

ตารางที่ ๑.11 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวาเยซีโอไลต์ ที่เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 130 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	40.60	45.82	51.04	54.52	56.72	57.93
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	43.92	39.74	35.57	32.78	31.02	30.06
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	15.48	14.44	13.39	12.70	12.26	12.01

ตารางที่ ๑.12 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยแบเรียมวาเยซีโอไลต์ ที่เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 130 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	37.70	44.66	51.04	55.10	57.30	58.00
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	46.24	40.67	35.57	32.32	30.56	30.00
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	16.06	14.67	13.39	12.58	12.14	12.00



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองดูดซับเมตาโซลีนด้วยลิเทียมวายเป็นซีไอไลต์จากโซลีนไอโซเมอร์ผสมในหลอดดูดซับขนาดขยายส่วน

ตารางที่ ข.1 ร้อยละโดยน้ำหนักของโซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายเป็นซีไอไลต์ ที่เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 80 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราโซลีน	65.44	63.04	61.60	59.92	58.72	58.01
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาโซลีน	20.70	23.70	25.50	27.60	29.10	29.99
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทโซลีน	13.86	13.26	12.90	12.48	12.18	12.00

ตารางที่ ข.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของโซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายเป็นซีไอไลต์ ที่เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 80 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราโซลีน	65.20	62.80	60.40	59.20	58.48	58.12
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาโซลีน	21.00	24.00	27.00	28.50	29.40	29.85
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทโซลีน	13.80	13.20	12.60	12.30	12.12	12.03

ตารางที่ ข.3 ร้อยละโดยน้ำหนักของโซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายเป็นซีไอไลต์ ที่เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 80 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้า 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราโซลีน	64.00	62.80	61.60	60.40	58.36	58.34
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาโซลีน	22.50	24.00	25.50	27.00	29.55	29.58
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทโซลีน	13.50	13.20	12.90	12.60	12.09	12.08

ตารางที่ ข.4 ร้อยละโดยน้ำหนักของโซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 100 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้าขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราโซลีน	71.68	68.80	66.64	64.96	61.60	59.20
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาโซลีน	12.90	16.50	19.20	21.30	25.50	28.50
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทโซลีน	15.42	14.70	14.16	13.74	12.90	12.30

ตารางที่ ข.5 ร้อยละโดยน้ำหนักของโซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 100 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้าขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราโซลีน	71.20	67.60	65.20	61.60	59.20	58.11
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาโซลีน	13.50	18.00	21.00	25.50	28.50	29.87
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทโซลีน	15.30	14.40	13.80	12.90	12.30	12.03

ตารางที่ ข.6 ร้อยละโดยน้ำหนักของโซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 100 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้าขาเข้า 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราโซลีน	70.00	66.40	62.80	60.40	58.11	58.00
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาโซลีน	15.00	19.50	24.00	27.00	29.87	30.00
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทโซลีน	15.00	14.10	13.20	12.60	12.03	12.00

ตารางที่ ข.7 ร้อยละโดยน้ำหนักของโซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้าขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราโซลีน	72.88	70.24	68.32	63.28	60.40	58.29
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาโซลีน	11.40	14.70	17.10	23.40	27.00	29.64
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทโซลีน	15.72	15.06	14.58	13.32	12.60	12.07

ตารางที่ ข.8 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้าขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	72.40	70.00	66.40	62.80	59.92	58.24
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	12.00	15.00	19.50	24.00	27.60	29.70
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	15.60	15.00	14.10	13.20	12.48	12.06

ตารางที่ ข.9 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 120 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้าขาเข้า 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	71.20	68.08	64.96	63.28	59.44	58.24
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	13.50	17.40	21.30	23.40	28.20	29.70
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	15.30	14.52	13.74	13.32	12.36	12.06

ตารางที่ ข.10 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 130 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้าขาเข้า 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	70.24	68.08	65.44	63.28	59.44	58.02
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	14.70	17.40	20.70	23.40	28.20	29.97
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	15.06	14.52	13.86	13.32	12.36	12.01

ตารางที่ ข.11 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายซีโอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 130 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลขาเข้าขาเข้า 120 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	70.00	67.12	63.52	61.36	58.24	58.07
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	15.00	18.60	23.10	25.80	29.70	29.91
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	15.00	14.28	13.38	12.84	12.06	12.02

ตารางที่ ข.12 ร้อยละโดยน้ำหนักของไซลีนไอโซเมอร์ หลังจากการดูดซับด้วยลิเทียมวายเป็นไอไลต์ ที่ เวลา 0, 20, 60, 80 และ 100 นาที อุณหภูมิในการดูดซับ 130 องศาเซลเซียส ที่อัตรา การไหลขาเข้าขาเข้า 180 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	0	20	40	60	80	100
ร้อยละโดยน้ำหนักของพาราไซลีน	68.80	67.60	65.92	63.04	58.24	58.02
ร้อยละโดยน้ำหนักของเมตาไซลีน	16.50	18.00	20.10	23.70	29.70	29.97
ร้อยละโดยน้ำหนักของออร์โทไซลีน	14.70	14.40	13.98	13.26	12.06	12.01



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายคงศักดิ์ วัฒนวงศ์พิทักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ.2517 อ.เมือง จ.พิษณุโลก สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2539



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย