

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านโคโตนานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอสำหรับ  
การแยกน้ำออกจากเอทานอล

89



นาย วรภัทร วิริยาวิฑู  
นาย วสวัตต์ บุญปรีชา  
นางสาว สุตารัตน์ พัฒนาไพบุลย์กุล

รพ.  
02337  
2548

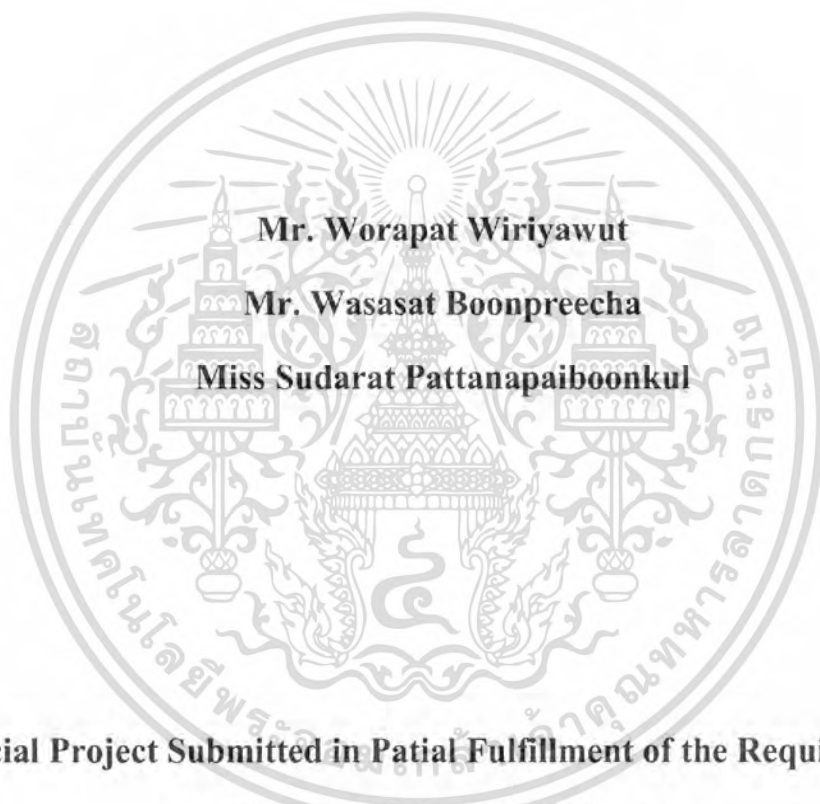
เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 107720  
วัน,เดือน,ปี 1.0.11.ค. 2553

b. 122 10948  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Modification of Chitosan Membrane with Zeolite NaA  
for Water/Ethanol Separation**



**Mr. Worapat Wiriyawut**  
**Mr. Wasasat Boonpreecha**  
**Miss Sudarat Pattanapaiboonkul**

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement the  
Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การปรับปรุงเชื้อเลือกผ่านโคโคซานผสมซีโอดีโซเดียมเอเพื่อใช้สำหรับการ  
แยกน้ำออกจากเอทานอล

นักศึกษา นาย วรภัทร วิริยาอุท  
นาย วสวัตต์ บุญปรีชา  
น.ส. สุภารัตน์ พัฒนาไพบุลย์กุล

ภาควิชา เคมี  
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2548  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชลดดา ฤทธิวิรุฬห์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| คณะกรรมการตรวจสอบ                    | ลายมือชื่อ   |
|--------------------------------------|--|
| ประธานกรรมการ รศ.ดร. อธิธิพล แจ่มชัด |  |
| กรรมการ ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน   |  |
| กรรมการ ผศ.ดร. ชลดดา ฤทธิวิรุฬห์     |  |



(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                      |   |
|----------------------|---|
| โครงการพิเศษเรื่อง   | การปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอเพื่อใช้สำหรับการแยกน้ำออกจากเอทานอล |
| นักศึกษา             | นาย วรภัทร วิริยาวิฑู<br>นาย วสวัตต์ บุญปรีชา<br>น.ส. สุภารัตน์ พัฒนาไพบุลย์กุล           |
| ภาควิชา              | เคมี  |
| สาขาวิชา             | เคมีอุตสาหกรรม  |
| ปีการศึกษา           | 2548  |
| อาจารย์ที่ปรึกษา     | ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์   |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย   |

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติของเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานด้วยการผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอล ทำการทดลองโดยสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ ที่มีขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคต่างๆกัน จากนั้นนำซีโอไลต์ที่ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โดยใช้เทคนิค Image analysis เตรียมเยื่อเลือกผ่านผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ โดยใช้เทคนิคการหล่อแบบสารละลาย (Solution casting) นำเยื่อเลือกผ่านที่ได้มาศึกษาสัณฐานวิทยาเพื่อดูการกระจายตัวของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน จากนั้นนำเยื่อเลือกผ่านมาทดสอบการแยกด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation) ด้วยสารละลายเอทานอล โดยให้อัตราการไหลของแก๊สพา (Carrier gas) และอุณหภูมิคงที่ เพื่อศึกษาผลของการอบให้ความร้อนเยื่อเลือกผ่านที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากทำให้เป็นกลาง ผลของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอ และผลของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก จากผลการทดลอง พบว่าในการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอเมื่อใช้เวลาในการ aging 6 และ 1 ชั่วโมง ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 และ 800 นาโนเมตร ตามลำดับ และเมื่อนำซีโอไลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาค พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้ซีโอไลต์ที่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิสูง ทำให้ได้ซีโอไลต์ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง เมื่อนำเยื่อเลือกผ่านมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานมีการกระจายตัวที่ดี จากการทดสอบประสิทธิภาพการแยก พบว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการอบให้ความร้อน มีค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกสูงกว่าเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน เมื่อผสมซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน ในเยื่อเลือกผ่านที่ไม่อบให้ความร้อน พบว่าเยื่อเลือกผ่านที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอให้ค่าฟลักซ์สูงกว่าเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ แต่ค่าความสามารถในการแยกลดลง ส่วนเยื่อเลือกผ่านที่อบให้ความร้อน พบว่าการผสมซีโอไลต์โซเดียมเอทำให้ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกสูงกว่าเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ นอกจากนี้เมื่อใช้ซีโอไลต์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง ทั้งกรณีที่ยอบและไม่อบเยื่อเลือกผ่าน ส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลงแต่ค่าความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น และเมื่อศึกษาผลของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก ในเยื่อเลือกผ่านที่อบให้ความร้อน พบว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์ แต่มีผลต่อค่าความสามารถในการแยก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Project Title</b>      | Modification of Chitosan Membrane with Zeolite NaA for Water/Ethanol Separation    |
| <b>Student</b>            | Mr. Worapat Wiriyawut<br>Mr. Wasawat Boonpreecha<br>Miss Sudarat Pattanapaiboonkul |
| <b>Department</b>         | Chemistry  |
| <b>Major</b>              | Industrial Chemistry   |
| <b>Year</b>               | 2005   |
| <b>Project advisor</b>    | Asst.Prof.Dr. Chonlada Ritvirulh   |
| <b>Project co-advisor</b> | Asst.Prof.Dr. Tawan Sooknoi  |

### ABSTRACT

This research aims to study an improvement in properties of chitosan membrane modified with Zeolite NaA for increasing efficiency of ethanol/water separation. First, Zeolites NaA were synthesized with different particles sizes and size distribution, then characterized by X-ray diffraction and Scanning electron microscopy technique. Later, Zeolite NaA was observed size distribution by Image analysis technique. The membrane modified with Zeolite NaA was prepared by solution casting technique. The morphology of membrane was observed for the dispersion of Zeolite NaA in membrane. Membrane was tested by Vapor permeation process at constant carrier gas and temperature. The effect of heat treatment of the membrane at temperature of 40°C for 30 minutes, particles size and size distribution of Zeolites NaA were also studied. It was found that using aging time of 6 and 1 hours leads to the particles size of 300 and 800 nanometres, respectively. In addition, size distribution of Zeolites NaA was narrow when using low range aging temperature but it was wide when using high range aging temperature. From the study of the morphology, it was indicated that membrane had a good dispersion of Zeolite NaA. From vapor permeation study, it was found that heat-treated membrane gave higher flux and separation factor, as compared to that of the non-treated membrane. For non-treated chitosan membrane, that modified with Zeolite NaA exhibited better flux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

than that without Zeolite NaA. However, a lower separation factor was obtained over membrane with Zeolite NaA. In addition, heat-treated chitosan membrane modified with Zeolite NaA exhibited more flux and separation factor than heat-treated chitosan membrane without Zeolite NaA. Separation factor was increased while flux was decreased with decreasing particle size of the Zeolite NaA both heat-treated and non-treated membrane. From the study of size distribution of Zeolites NaA, it was indicated that separation factor was influenced by size distribution of Zeolites NaA but this case did not effect to permeation flux.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชลตดา ฤตวิรุพห์ และ ผศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย เป็นอย่างสูงสำหรับการเอาใจใส่ดูแล ให้คำปรึกษา พร้อมทั้งความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ จนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อิทธิพล แจ่มชัด และ ผศ.ดร. ปุณณมา สิริพันธ์โนน ที่ได้สละเวลาในการอ่าน ให้คำแนะนำ และแก้ไขโครงการพิเศษ จนสำเร็จเป็นรูปเล่มอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มาลินี ชัยสุขกกิจสินธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์หลักสูตรดีไฮด์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ไมโครมิเตอร์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษาและสนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด และขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้จนโครงการพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

วรภัทร วิริยาวิุท

วสวัตติ บุญปรีชา

สุदारัตน์ พัฒนาไพบูลย์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|  | หน้า     |
|--|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                               | ก        |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                            | ค        |
| กิตติกรรมประกาศ.....                               | จ        |
| สารบัญ.....  | ฉ        |
| สารบัญตาราง.....                                   | ฉ        |
| สารบัญรูปภาพ.....                                  | ญ        |
| <b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>                           | <b>1</b> |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....              | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์.....                              | 2        |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....                            | 2        |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....                       | 2        |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....</b>                | <b>4</b> |
| 2.1 เทคโนโลยีการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....         | 4        |
| 2.1.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน..... | 5        |
| 2.1.2 โครงสร้างของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์.....    | 7        |
| 2.1.3 ประเภทของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์.....       | 7        |
| 2.2 กระบวนการซึมผ่านไอ.....                        | 9        |
| 2.2.1 กลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน.....      | 10       |
| 2.2.2 ประสิทธิภาพในการแยก.....                     | 12       |
| 2.3 ไคตินและไคโตซาน.....                           | 12       |
| 2.3.1 โครงสร้างเคมีของไคตินและไคโตซาน.....         | 13       |
| 2.3.2 สมบัติของไคตินและไคโตซาน.....                | 14       |
| 2.3.3 ประโยชน์ของไคตินและไคโตซาน.....              | 15       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า      |
|--|-----------|
| 2.4 ซีโอไลต์.....  | 16        |
| 2.5 ซีโอไลต์โซเดียมเอ.....   | 18        |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....   | 20        |
| <b>บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....</b>                                      | <b>22</b> |
| 3.1 สารเคมี.....   | 22        |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....  | 23        |
| 3.3 วิธีการทดลอง.....  | 24        |
| 3.3.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ.....                                  | 24        |
| 3.3.2 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน.....   | 25        |
| 3.3.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่านไลโคซาน..... | 26        |
| 3.3.3.1 ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์ด้วยเครื่อง XRD.....                  | 26        |
| 3.3.3.2 ศึกษาสัณฐานวิทยาของซีโอไลต์และเยื่อเลือกผ่าน.....                  | 26        |
| 3.3.3.3 วิเคราะห์หาปริมาณซีโอไลต์ในเยื่อเลือกผ่านด้วยเครื่อง TGA.....      | 27        |
| 3.3.4 การศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอ.....              | 27        |
| 3.3.5 ทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่าน.....                               | 27        |
| 3.3.6 การคำนวณ.....  | 29        |
| <b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล</b>                                   |           |
| 4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่าน.....          | 31        |
| 4.1.1 โครงสร้างผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอ.....                                  | 31        |
| 4.1.2 สัณฐานวิทยาของซีโอไลต์โซเดียมเอ.....                                 | 32        |
| 4.1.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอ.....                      | 34        |
| 4.1.4 โครงสร้างผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน.....                  | 36        |
| 4.1.5 สัณฐานวิทยาของเยื่อเลือกผ่าน.....                                    | 37        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|   |           |
|---|-----------|
| 4.1.6 ปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน.....                      | 42        |
| 4.2 ผลของขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอและผลของการอบเยื่อเลือกผ่าน..... | 42        |
| 4.3 ผลของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอ.....                | 45        |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>                         | <b>47</b> |
| เอกสารอ้างอิง.....  | 50        |
| ภาคผนวก ก. โครมาโทแกรม.....   | 52        |
| ภาคผนวก ข. การคำนวณ.....  | 57        |
| ภาคผนวก ค. เทอร์โมแกรมของ TGA.....                                      | 71        |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....   | 5    |
| 2.2 การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....  | 6    |
| 3.1 สมบัติของไคโตซาน.....  | 22   |
| 3.2 สัญลักษณ์แทนชนิดเยื่อเลือกผ่านและแสดงองค์ประกอบของเยื่อเลือกผ่าน.....  | 30   |
| 4.1 ปริมาณซีโอโลต์โซเดียมเอทีเติมลงในเยื่อเลือกผ่านและที่มีอยู่จริงจากเทคนิค TGA.....  | 42   |
| 4.2 ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอโลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายของขนาดอนุภาคกว้างและแคบที่ผ่านการอบ (Treated)..... | 45   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 หลักการแยกของเทคโนโลยีการแยกตัวด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....  | 4    |
| 2.2 โครงสร้างภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่าน.....   | 7    |
| 2.3 แผนภาพแสดงการซึมผ่านไอ.....   | 9    |
| 2.4 แผนภาพแสดงกลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน.....   | 10   |
| 2.5 มุมสัมพันธ์กับการเปียกของวัสดุ.....   | 11   |
| 2.6 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.....  | 13   |
| 2.7 โครงสร้างทางเคมีของไคติน.....   | 13   |
| 2.8 โครงสร้างทางเคมีของไคโคซาน.....   | 13   |
| 2.9 โครงสร้างไคโคซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาไรลดีไฮด์.....   | 14   |
| 2.10 โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์.....   | 17   |
| 2.11 โครงสร้างตติยภูมิของซีโอไลต์.....  | 17   |
| 2.12 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ.....   | 18   |
| 2.13 โครงสร้างของซีโอไลต์โซเดียมเอ.....   | 19   |
| 2.14 ลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....  | 19   |
| 3.1 แผนภาพแสดงชุดทดสอบกระบวนการซึมผ่านไอ.....   | 27   |
| 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร และ 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบและกว้าง.....       | 31   |
| 4.2 ภาพ SEM แสดงลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร และ 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบและกว้าง.....                 | 33   |
| 4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่ใช้ อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำที่ได้จากเทคนิค Image analysis..... | 35   |
| 4.4 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่ใช้ อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิสูงที่ได้จากเทคนิค Image analysis..... | 35   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.5 | รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร และ 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบและกว้าง.....                            | 36 |
| 4.6 | ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานและเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร และ 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบและกว้าง..... | 37 |
| 4.7 | ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานและเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร และ 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบและกว้าง.....         | 40 |
| 4.8 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผ่านการอบและไม่อบ.....   | 43 |
| 4.9 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผ่านการอบและไม่อบ.....   | 43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันปริมาณความต้องการใช้น้ำมันได้เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ประเทศไทยยังจำเป็นต้องสั่งซื้อน้ำมันจากต่างประเทศ ดังนั้นเมื่อราคาน้ำมันในปัจจุบันได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ประเทศไทยต้องเสียเงินทุนในส่วนนี้เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งทางเลือกในการแก้ปัญหาอย่างแรก คือหาแหล่งพลังงานภายในประเทศเพื่อนำมาทดแทนการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ ซึ่งแก๊สโซฮอล์เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมัน แก๊สโซฮอล์ คือน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 91 ที่มีการผสมเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% ในสัดส่วน 10% โดยปริมาตร (โดยแก๊สโซฮอล์มีสมบัติคล้ายน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 95) ดังนั้นเอทานอลที่นำมาใช้ในการเตรียมแก๊สโซฮอล์ต้องมีความบริสุทธิ์สูง โดยส่วนใหญ่ใช้การกลั่นลำดับส่วนในการแยกน้ำออกจากเอทานอล เพราะทำได้ง่ายและมีราคาถูก แต่วิธีนี้ทำให้ได้เอทานอลบริสุทธิ์เพียง 96% เท่านั้น เนื่องจากเอทานอลเป็นของผสมคงจุดเดือด (Azeotrope mixtures) ทำให้เอทานอลที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนไม่สามารถนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินได้ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาการแยกเอทานอลโดยใช้เยื่อเลือกผ่านซึ่งสามารถแยกน้ำออกจากเอทานอลได้ดีมาก เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านที่ใช้สามารถปรับปรุงส่วนประกอบเพื่อทำให้สมบัติของเยื่อเลือกผ่านเหมาะสมกับการใช้งานได้ตามความต้องการ

จากโครงการพิเศษของนายพงษ์ศักดิ์ ศิริศรัย สุธิ เตตวิงศ์ และสุรภาส สิทธิสา [1] ซึ่งทำการศึกษาการแยกน้ำออกจากเอทานอล ด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process) โดยใช้โพลีเอทานิล ซึ่งเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาตินำมาทำเป็นเยื่อเลือกผ่าน ผสมกับซีโอไลต์โซเดียมเอลงไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยก พบว่าเมื่ออัตราการไหลของแก๊สพาเพิ่มขึ้นค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้น ค่าฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่าความสามารถในการแยกลดลง นอกจากนี้พบว่าถ้าใช้ซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาคเล็กลงทำให้ประสิทธิภาพในการแยกเพิ่มขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการแยกน้ำออกจากเอทานอล โดยใช้โพลีเอทานิลผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ ซึ่งมีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรในการเตรียมเยื่อเลือกผ่าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่านได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อเตรียมเยื่อเลือกผ่านไคโตซานสำหรับใช้แยกน้ำออกจากเอทานอล
- 2) เพื่อให้ทราบความสามารถในการแยกน้ำจากเอทานอลของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ โดยพิจารณาจากค่าฟลักซ์ (Flux) และค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)
- 3) เพื่อให้ทราบผลของขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน
- 4) เพื่อให้ทราบผลของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน
- 5) เพื่อให้ทราบผลของการอบให้ความร้อนเยื่อเลือกผ่านที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) สังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างและแคบ และซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร เพื่อใช้ผสมกับไคโตซานในการทำเยื่อเลือกผ่าน
- 2) เตรียมเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตารัลดีไฮด์และผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ
- 3) ทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอล 95% ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างและแคบ และเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร
- 4) ทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอล 95% ของเยื่อเลือกผ่านที่ไม่อบให้ความร้อนและเยื่อเลือกผ่านที่อบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากทำให้เป็นกลาง

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านจากไคโตซานให้มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอล
- 2) ได้แนวทางการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูง เพื่อใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 91 เป็นแก๊สโซฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เพิ่มคุณค่าและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ของโคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง  
กระดองปูที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง



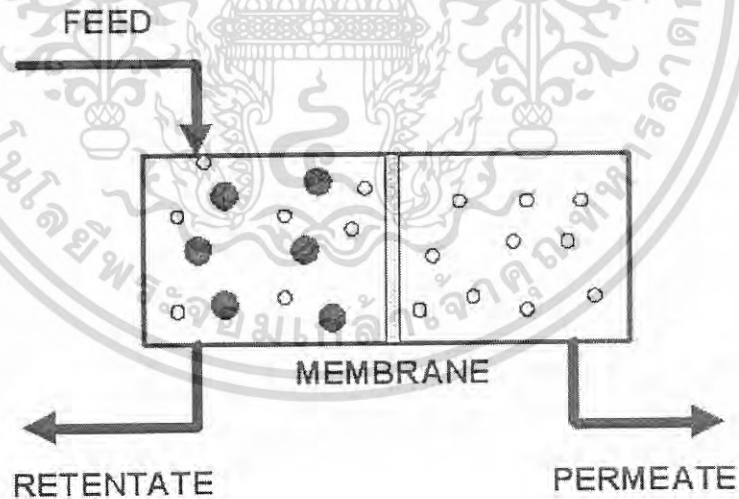
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การแยกสารด้วยเยื่อเลือกผ่าน [2]

เยื่อเลือกผ่านเป็นตัวกลางขวางกั้นระหว่างเฟสของไหล 2 เฟส ที่มีสมบัติยอมให้สารบางชนิดผ่านได้ โดยการถ่ายโอนมวลทั้งหมดเกิดขึ้นที่ด้านความหนาของเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งมีขนาดมิติ (Dimension) น้อยกว่าด้านกว้าง-ยาวมากๆ เทคโนโลยีการแยกตัวด้วยเยื่อเลือกผ่านมีหลักการดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีสารป้อน (Feed) เข้าทางด้านหนึ่งของเยื่อเลือกผ่าน ส่วนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ เรียกว่า เพอร์มิเอต (Permeate) และส่วนของสารป้อนที่ไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ เรียกว่า รีเทนเตต (Retentate) แรงขับ (Driving force) ที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวล ได้แก่ ความดัน ความเข้มข้น แรงเคลื่อนที่ไฟฟ้า เป็นต้น โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาทำเป็นเยื่อเลือกผ่านอาจเป็นพอลิเมอร์ เซรามิกส์ คาร์บอน ซีโอไลต์ ออกไซด์ต่างๆ (เช่น อลูมินา ไททานีเยียม หรือ เซอร์โคเนีย เป็นต้น) โลหะ (เช่น แพลลาเดียม หรือเงิน เป็นต้น) หรือของเหลว



รูปที่ 2.1 หลักการของเทคโนโลยีการแยกตัวด้วยเยื่อเลือกผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยื่อเลือกผ่านที่มีสมรรถนะสูง คือเยื่อเลือกผ่านที่มีสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) มีค่าฟลักซ์และค่าการเลือกผ่านสูง
- 2) มีความแข็งแรงเชิงกล
- 3) ทนต่อสารเคมีและความร้อนภายใต้สภาวะการดำเนินการ
- 4) มีแนวโน้มการสะสมสารที่ผิวเยื่อเลือกผ่านต่ำ
- 5) ราคาไม่แพง

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน ได้แก่ การผลิตน้ำดื่มทั้งจากน้ำจืดผิวดินและน้ำเค็ม การแยกแก๊สเพื่อผลิตใช้ในอุตสาหกรรมหรือแยกแก๊สออกซิเจนออกจากอากาศเพื่อใช้ในกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การกรองอนุภาคของแข็งจากสารแขวนลอย การบำบัดแก๊สทิ้งในอุตสาหกรรม การแยกน้ำออกจากเอทานอล เพื่อผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนเป็นน้ำมันแก๊สโซลีน การทำไดอะลิซิสในผู้ป่วยโรคไต เป็นต้น

### 2.1.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

ลักษณะของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่านแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

| กระบวนการ                     | สารป้อน                 | เพอร์เมเอต                 | แรงขับ          |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------|
| ไมโครฟิวเตรชัน                | ของเหลว                 | ของเหลว                    | ความดัน         |
| อุลตราฟิวเตรชัน               | ของเหลว                 | ของเหลว                    | ความดัน         |
| นาโนฟิวเตรชัน                 | ของเหลว                 | ของเหลว                    | ความดัน         |
| ออสโมซิสผันกลับ               | ของเหลว                 | ของเหลว                    | ความดัน         |
| เพอร์แวนเปอเรชัน              | ของเหลว                 | ไอ                         | ความดันย่อย     |
| เยื่อเลือกผ่านแลกเปลี่ยนไอออน | ของเหลว $[H^+(H_2O)_n]$ | ของเหลว หรือ $H^+(H_2O)_n$ | แรงเคลื่อนไฟฟ้า |
| แยกแก๊สด้วยเยื่อเลือกผ่าน     | ไอ                      | ไอ                         | ความดันย่อย     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าเยื่อเลือกผ่านในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน กระบวนการอุลตราฟิลเตรชัน และกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน มีขนาดรูพรุนระดับ Macropores (>50 nm) Mesopores (2-50 nm) และMicropores (<2 nm) ตามลำดับ ตามการแบ่งประเภทของ IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry) อนุภาคหรือโมเลกุลสารที่มีขนาดใหญ่กว่ารูที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะถูกกันออกไปทั้งหมด อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูที่มีขนาดใหญ่ที่สุดแต่ใหญ่กว่ารูที่มีขนาดเล็กที่สุด อนุภาคนี้สามารถผ่านออกไปเพียงบางส่วนตามการกระจายของขนาดรูเยื่อเลือกผ่าน (Pore size distribution) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูที่เล็กที่สุดจะสามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ ดังนั้นหลักการแยกสารโดยใช้เยื่อเลือกผ่านมีรูพรุนจึงเป็นการคัดขนาดโมเลกุลสารหรืออนุภาคที่ขนาดที่แตกต่างกัน

เยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในกระบวนการเพอร์แวกเพอร์เรชัน และกระบวนการแยกแก็สด้วยเยื่อเลือกผ่าน มีขนาดรูพรุนน้อยกว่า 5 อังสตรอม ซึ่งไม่สามารถเห็นรูพรุนบนเยื่อเลือกผ่านได้ด้วยเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) กล่าวคือ จะเห็นเยื่อเลือกผ่านเป็นเนื้อแน่น (Dense membrane) การแยกที่เกิดขึ้นเป็นกลไกหนึ่งๆที่เรียกว่า “กลไกการละลาย-การแพร่ (Solution-diffusion)” โมเลกุลสารที่มีขนาดเท่ากันสามารถแยกออกจากกันได้เนื่องจากมีสภาพละลายได้ (Solubility) ในเนื้อเยื่อเลือกผ่านและสภาพการแพร่ (Diffusivity) ภายใต้อิทธิพลของแรงขับเคลื่อน ความเข้มข้น หรือความแตกต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้า เยื่อเลือกผ่านที่ใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับมี 2 ลักษณะคือ เยื่อเลือกผ่านมีรูพรุนขนาด 5-20 อังสตรอมกับเยื่อเลือกผ่านเนื้อแน่นขึ้นกับการประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่ 2.2 การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

| กระบวนการ                 | ขนาดรู (อังสตรอม) | กลไกการแยก       |
|---------------------------|-------------------|------------------|
| ไมโครฟิลเตรชัน            | 500-20,000        | การคัดขนาด       |
| อุลตราฟิลเตรชัน           | 30-1,0000         | การคัดขนาด       |
| นาโนฟิลเตรชัน             | 10-50             | การคัดขนาด       |
| เพอร์แวกเพอร์เรชัน        | < 5               | การละลาย-การแพร่ |
| แยกแก็สด้วยเยื่อเลือกผ่าน | < 5               | การละลาย-การแพร่ |
| ออสโมซิสผันกลับ           | 5-20              | การคัดขนาด       |
|                           | < 5               | การละลาย-การแพร่ |

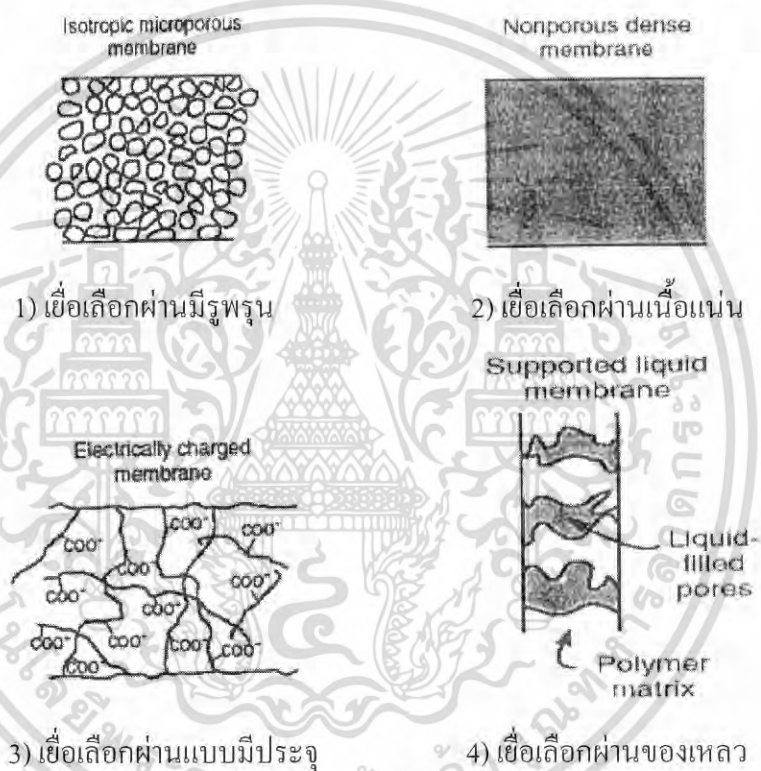
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 โครงสร้างของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์

เยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์สามารถแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนี้

- 1) เยื่อเลือกผ่านมีรูพรุน (Porous membrane)
- 2) เยื่อเลือกผ่านเนื้อแน่น (Dense membrane)
- 3) เยื่อเลือกผ่านแบบมีประจุ (Electrically charged membrane)
- 4) เยื่อเลือกผ่านของเหลว (Liquid membrane) เป็นเยื่อเลือกผ่านที่ใช้ Liquid carrier

ทำหน้าที่คัดเลือกรวมหรือองค์ประกอบ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่าน [3]

### 2.1.3 ประเภทของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์

1. เยื่อเลือกผ่านอินทรีย์ ส่วนใหญ่สังเคราะห์มาจากพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่นำมาทำเป็นเยื่อเลือกผ่านแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ

- 1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ทั้งแบบมีโครงสร้างเป็นสายโซ่เชิงเส้น สายโซ่กิ่ง หรือโครงสร้างเชื่อมโยง
- 2) พอลิเมอร์คล้ายยาง (Rubber polymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เทอร์โมเซต (Thermoset) ทั้งแบบมีโครงสร้างเป็นสายโซ่เชิงเส้น สายโซ่กิ่ง หรือ โครงสร้างเชื่อมโยง

ลักษณะทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ความโค้งงอของสายโซ่ (Chain flexibility) มีผลต่อสมบัติของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ในด้านเสถียรภาพทางเคมีและเสถียรภาพทางความร้อน (Chemical and thermal stability) ความแข็งแรงของเยื่อเลือกผ่าน (Membrane strength) ค่าการซึมผ่านได้/เปอร์เซ็นต์การคัดสรรของเยื่อเลือกผ่าน (Membrane permeability/selectivity) และค่าการนำไฟฟ้าของเยื่อเลือกผ่าน (Membrane conduction) ดังนั้นจึงมีความสำคัญต้องเลือกชนิดของ พอลิเมอร์ให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานหนึ่งๆ

สมบัติของพอลิเมอร์ที่ต้องคำนึงถึงสำหรับเยื่อเลือกผ่าน ได้แก่

- 1) ความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ ได้แก่ ความแข็งแรงของฟิล์ม ความสามารถในการโค้งงอของฟิล์ม ความต้านทานต่อการอัดแน่น
- 2) การมีเสถียรภาพต่อปฏิกิริยาเคมี และปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- 3) การมีเสถียรภาพต่อความร้อน
- 4) ความชอบน้ำ/ความสามารถเปียกน้ำได้ (Hydrophilicity/wettability)
- 5) ลักษณะการดูดซับ (Absorption characteristics) ซึ่งมีผลต่อการเสถียรภาพของเยื่อเลือกผ่าน (Fouling)
- 6) ลักษณะสัณฐานวิทยา (Morphology) และช่วงขนาดรูพรุน
- 7) การมีเสถียรภาพต่อตัวทำละลายต่างๆ ซึ่งขึ้นกับความเป็นผลึก และพันธะไฮโดรเจน

ประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่านขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

- 1) ระยะระหว่างสายโซ่ (Interaction distance) หรือปริมาตรอิสระของพอลิเมอร์ (Polymer free volume) ซึ่งมีผลต่อค่าการซึมผ่านได้ของแก๊ส
- 2) อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature;  $T_g$ ) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดว่า พอลิเมอร์มีลักษณะทางกายภาพแข็งคล้ายแก้ว (Glassy state) หรือมีลักษณะอ่อนนุ่มยืดหยุ่นคล้ายยาง (Rubbery state)
- 3) องศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารเกิดขึ้นผ่านส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อสัณฐานนั้น
- 4) อันตรกิริยาของสายโซ่ (Chain interaction) หรือความชอบน้ำ (Hydrophilicity)
- 5) การเชื่อมโยง (Crosslinking)
- 6) การบวม (Swellability)

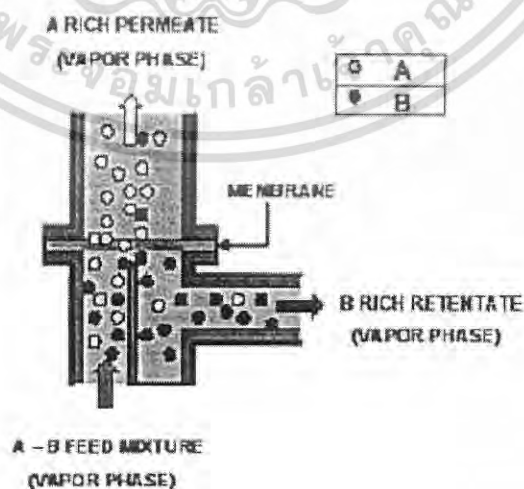
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์** โดยทั่วไปเยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์มีราคาแพงกว่าเยื่อเลือกผ่านอินทรีย์ แต่เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์มีข้อดีกว่าในเรื่องการมีเสถียรภาพต่อความร้อน ตัวทำละลาย การมีโครงสร้างรูพรุนที่คงที่แน่นอน และสามารถผ่านเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อโรค การประยุกต์ใช้เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์แบบเนื้อแน่นที่สำคัญ คือการแยกแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์ และการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน อย่างไรก็ตามเยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์แบบเนื้อแน่นไม่แพร่หลายในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากให้ค่าการแพร่ซึมต่ำ ตลาดของเยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์จึงเป็นเยื่อเลือกผ่านประเภทมีรูพรุน

เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์แบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก คือ เยื่อเลือกผ่านโลหะ (Metal membrane) เยื่อเลือกผ่านเซรามิกส์ (Ceramics membrane) เยื่อเลือกผ่านคาร์บอน (Carbon membrane) และเยื่อเลือกผ่านซีโอไลต์ (Zeolite membrane)

## 2.2 กระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process)

กระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process) เป็นกระบวนการแยกไอผสมที่มีหลายองค์ประกอบผ่านเยื่อเลือกผ่าน (รูปที่ 2.3) ซึ่งจะผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ ไอของของผสมจะป้อนเข้าทางด้านป้อนของเยื่อเลือกผ่าน และส่วนที่ผ่านออกทางด้านขาออกของเยื่อเลือกผ่านในรูปของไอเรียกว่า เพอร์มิเอต (Permeate) โดยมีการควบคุมความดันไอ (Vapor pressure) ด้านเพอร์มิเอตให้ต่ำโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) หรือใช้แก๊สเฉื่อยเป็นตัวพาเพอร์มิเอตออกไป



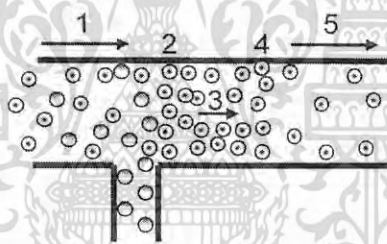
รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในกระบวนการซึมผ่านไอน้ำแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เยื่อเลือกผ่านชอบน้ำ (Hydrophilic) และเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โดยส่วนมากเป็นเยื่อเลือกผ่านจากพอลิเมอร์ การประยุกต์ใช้กระบวนการซึมผ่านไอน้ำมากที่สุด คือการกำจัดน้ำออกจากตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยเยื่อเลือกผ่านชอบน้ำ ตัวอย่างเช่น การกำจัดน้ำออกจากเอทานอล โดยถ้าปริมาณเอทานอลในสารป้อนสูงจะใช้ เยื่อเลือกผ่านชอบน้ำ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohol; PVA) แต่ถ้าปริมาณเอทานอลในสารป้อนต่ำ นิยมใช้เยื่อเลือกผ่านไม่ชอบน้ำ เช่น พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethyl siloxane; PDMS) เพื่อดึงเอทานอลออกจากน้ำ

### 2.2.1 กลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน

กลไกการถ่ายโอนมวลของสารในกระบวนการซึมผ่านไอน้ำ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การแพร่ของโมเลกุลเข้าสู่ผิวเยื่อเลือกผ่าน การดูดซับที่ผิวเยื่อเลือกผ่าน การแพร่ของโมเลกุลภายในเยื่อเลือกผ่าน การคายซับ การแพร่ของโมเลกุลจากผิวเยื่อเลือกผ่าน (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงกลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน

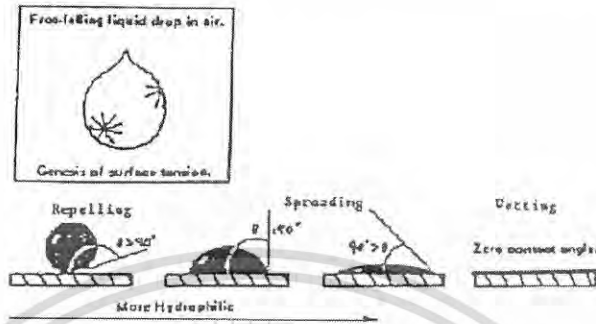
#### 1) การแพร่ของโมเลกุลเข้าสู่ผิวเยื่อเลือกผ่าน

ในกระบวนการซึมผ่านไอน้ำ โมเลกุลแต่ละองค์ประกอบจะแพร่เข้าสู่บริเวณผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน โดยอัตราการแพร่จะขึ้นอยู่กับพลังงานจลน์ของโมเลกุล ชั้นนี้โมเลกุลยังไม่เกิดการแยก

#### 2) การดูดซับที่ผิวหน้าเยื่อเลือกผ่าน

การดูดซับที่ผิวหน้าเยื่อเลือกผ่านเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่ต้องการแยกกับเยื่อเลือกผ่าน อันตรกิริยาดังกล่าวขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น โมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ระหว่างโมเลกุลของสารป้อนกับผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-bonds) ความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำ (Hydrophilicity and Hydrophobicity) โดยเมื่อเยื่อเลือกผ่านสัมผัสกับสาร เยื่อเลือกผ่านที่มีอันตรกิริยาที่ดีกับสารนั้นจะก่อให้เกิดการควบแน่นไอน้ำที่ผิวเยื่อเลือกผ่านและมุมสัมผัส (Contact angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านกับเส้นสัมผัสของเหลว มีค่าอยู่ระหว่าง 0-90 องศา โดยค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่าแสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าสามารถทำให้เชื้อเลื้อยผ่านคูดจับได้มากขึ้น เชื้อเลื้อยผ่านที่ไม่ชอบสารนั้นจะทำให้ค่ามุมสัมผัสมากกว่า 90 องศา ดังตัวอย่างการเปียกของผิววัสดุกับค่ามุมสัมผัส แสดง ได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 มุมสัมผัสกับการเปียกของผิววัสดุ [4]

### 3) การแพร่ของโมเลกุลภายในเชื้อเลื้อยผ่าน

เมื่อ โมเลกุลของสารถูกคูดจับที่ผิวหน้าของเชื้อเลื้อยผ่าน แล้วเกิดการแพร่ของโมเลกุลผ่านเชื้อเลื้อยผ่าน ซึ่งการแพร่ของโมเลกุลขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างโมเลกุลของสารที่แพร่โดยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือมีรูปร่างที่เล็กกว่าจะเกิดการแพร่ผ่านเชื้อเลื้อยผ่านได้ดีกว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง โมเลกุลของสารกับเชื้อเลื้อยผ่าน จะทำให้เชื้อเลื้อยผ่านเกิดการบวมตัว มีผลทำให้อัตราการแพร่ของสารในเชื้อเลื้อยผ่านสูงขึ้น

### 4) การคายซับจากผิวเชื้อเลื้อยผ่าน

เมื่อ โมเลกุลของสารเคลื่อนที่มาถึงอีกด้านหนึ่งของเชื้อเลื้อยผ่านซึ่งสารอาจอยู่ในสถานะของแก๊สหรือของเหลวจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากเชื้อเลื้อยผ่านด้วยการพาของแก๊สหรือการใช้ปั๊มสุญญากาศ ทำให้เกิดการคายซับของสารที่ผิวเชื้อเลื้อยผ่าน

### 5) การแพร่ของ โมเลกุลจากผิวเชื้อเลื้อยผ่าน

โมเลกุลของสารจะแพร่ออกจากบริเวณผิวของเชื้อเลื้อยผ่าน โดยการพาของแก๊สพาหรือการใช้ ปั๊มสุญญากาศทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลออกจากเชื้อเลื้อยผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 ประสิทธิภาพในการแยก

ค่าที่สำคัญในการบอกประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่าน มีอยู่ด้วยกัน 2 ค่า คือ ฟลักซ์ (Flux) และค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)

1) ฟลักซ์ (Flux) เป็นค่าที่บอกถึงอัตราการไหลผ่านเยื่อเลือกผ่าน ถ้าค่าฟลักซ์มีค่าสูงแสดงว่ามีสารผ่านเยื่อเลือกผ่านจำนวนมาก ฟลักซ์หาได้จากจำนวน โมลของสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านต่อเวลาหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเยื่อเลือกผ่าน

$$\text{Flux} = \frac{(g/hr)}{(m^2)}$$

2) ค่าความสามารถในการแยก (Separation Factor) เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านว่าเยื่อเลือกผ่านมีความเฉพาะเจาะจงในการให้สารนั้นผ่าน ได้มากน้อยเพียงใด

$$(\text{Separation Factor}) = \frac{Y_A/Y_B}{X_A/X_B}$$

$Y_A$  = สัดส่วนโมลของสาร A ที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

$Y_B$  = สัดส่วนโมลของสาร B ที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

$X_A$  = สัดส่วนโมลของสาร A ที่อยู่ในสารป้อน

$X_B$  = สัดส่วนโมลของสาร B ที่อยู่ในสารป้อน

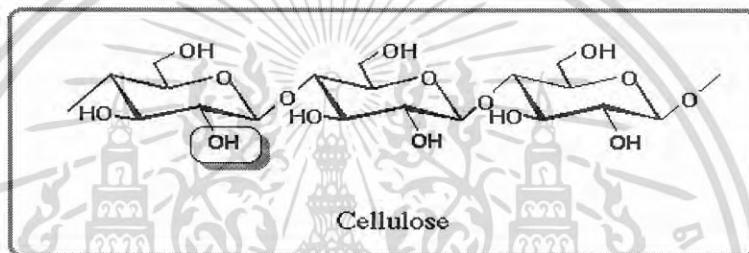
### 2.3 ไคตินและไคโตซาน [5]

ไคติน (Chitin) เป็นพอลิเมอร์ที่ธรรมชาติสร้างจากองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตมากมายในหลายรูปแบบ ไคตินได้รับการค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1811 โดย Odier คำว่า ไคติน (Chitin) มาจากคำว่า Chiton ในภาษากรีก ซึ่งมีความหมายว่าเกราะหุ้ม ไคติน (รูปที่ 2.7) เป็นพอลิเมอร์ที่มีมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (Cellulose) (รูปที่ 2.6) พอลิเมอร์ทั้งสองนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังอาจพบในผนังเซลล์ของเห็ดและสาหร่ายบางพันธุ์ เนื่องจากไคตินเป็นสารธรรมชาติจึงพบอยู่ในรูปของสารประกอบที่ปนอยู่กับสารอื่น เช่น เปลือกหุ้มแข็งของแมลงจะประกอบด้วยไคตินในรูปของไคตินโปรตีน (Chitin-protein complex) ขณะที่เปลือกนอกของพวกกุ้งปู จะพบหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนต ไคโตซาน (รูปที่ 2.8) เป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีติล (Deacetylation) ของไคติน ไคโตซานถูกพบครั้งแรกโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1859 โดย Rouget ได้ต้มไคตินในสารละลายไฮดรอกไซด์เข้มข้น

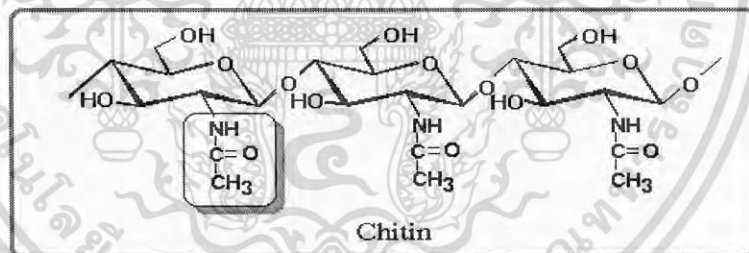
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

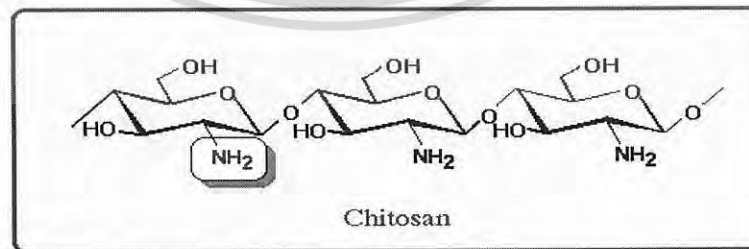
ไคตินเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นตรงที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส ต่างกันตรงที่หน่วยย่อย (Monomer) ของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคติน คือ N-acetyl-D-glucosamine (2-acetamido-2-deoxy-D-glucose) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลูโคส ชื่อทางเคมีของไคตินคือ Poly  $\beta(1-4)$ -(2-acetamido-2-deoxy-D-glucose) ไคโตซาน คือไคตินในรูปที่มีปริมาณหมู่อะซีติลต่ำ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีติล (Deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนไป โดยหมู่อะซีตามิโด (-NHCOCH<sub>3</sub>) เปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นไคโตซาน คือพอลิเมอร์ D-glucosamine (2-amino-D-glucose)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [6]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของไคติน [6]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [6]

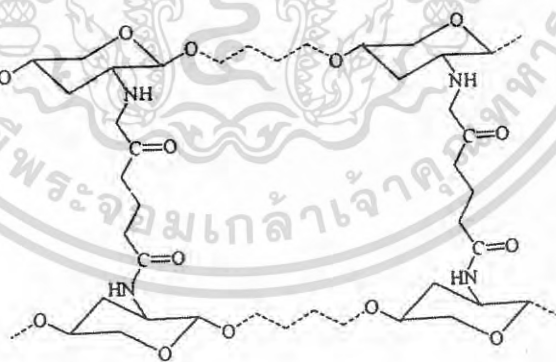
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 สมบัติทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

#### 1) สมบัติทางเคมี

ไคตินไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนของ N-acetyl-D-glucosamine มากกว่า คือมีองศาการดีอะซีติเลชัน (Degree of deacetylation; DD) ต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน แต่ถ้าสัดส่วนของ D-glucosamine มากกว่า คือมีค่า DD สูง จะแสดงว่าสมบัติเด่นของไคโตซาน

ไคตินในธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า  $1 \times 10^6$  กรัมต่อโมล ส่วนไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง  $1 \times 10^5$  ถึง  $1 \times 10^6$  กรัมต่อโมล เมื่อไคตินและไคโตซานเกิดการสลายของสายโซ่โมเลกุลโดยกรดหรือด่าง ทำให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ โดยไคตินสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน การใช้งานไคโตซานสามารถปรับปรุงได้โดยใช้สารเชื่อมโยง (Crosslink agents) ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนโครงสร้างของไคโตซานสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (รูปที่ 2.9) ที่มีความทนทานต่อกรด ด่างและสารเคมีอื่นได้ดี สารเชื่อมโยงที่สามารถใช้ได้กับไคโตซาน ได้แก่ กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde; GA) กลูตาริกไดอัลดีไฮด์ (Glutaric dialdehyde; GDI) อีพิกลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) ไดเอทิลสควอเรต (Diethyl squarate; DES) เอทิลีนไกลคอลไกลิไซด์อีเทอร์ (Ethylene glycol glycidyl ether; EGDE)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตารัลดีไฮด์ [7]

#### 2) สมบัติทางกายภาพ

ไคติน-ไคโตซานมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน ไคตินไม่ละลายในน้ำ กรดเจือจาง ด่างเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอื่นๆ แต่สามารถละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก กรดฟอร์มิก ความยากในการละลายเป็นผลมาจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสายโซ่โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่น พันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน โคลิโชนไม่ละลายน้ำ ค้างและตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่สามารถละลายกรดอินทรีย์ทุกชนิด กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายโคลิโชน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริกเข้มข้น กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายโคลิโชนได้เช่นเดียวกันภายใต้การคนโดยการละลายที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลายโคลิโชนมีความเหนียวใสมีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน ความหนืดของสารละลายโคลิโชนขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ionic strength (DD) ionic strength ความแรงของพันธะไอออนิก (Ionic strength) ความเป็นกรด ค้าง และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ชนิดของกรดที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์มีผลต่อความหนืด เช่น ความหนืดของโคลิโชนในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมี pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของโคลิโชนในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

### 2.3.3 ประโยชน์ของโคตินและโคลิโชน

ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าและวิจัยนำโคตินและโคลิโชนไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย สามารถสรุปได้ดังนี้

#### 1) วัสดุทางการแพทย์

เนื่องจากโคตินและโคลิโชนเป็นสารธรรมชาติ ดังนั้นร่างกายมนุษย์มักจะไม่ทำการต่อต้าน นอกจากนี้โคตินและโคลิโชนยังสามารถป้องกันการติดเชื้อ ซึ่งข้อดีต่างๆนี้เองจึงสามารถนำโคตินและโคลิโชนมาใช้ในงานในส่วนของวัสดุทางการแพทย์ได้อย่างมากมาย เช่น วัสดุตกแต่งแผล ตัวควบคุมการปลดปล่อยยา ผิวหนังเทียม เป็นต้น

#### 2) อาหารและเครื่องดื่ม

โคตินและโคลิโชนเป็นอาหารเสริม (Nutritional additives) ที่ไม่ให้พลังงานและไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้ในอาหารสำหรับควบคุมน้ำหนัก (Diet food) อีกทั้งโคติน และโคลิโชนยังมีสมบัติเป็น barrier จึงมีการนำมาใช้ในเรื่องบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ตัวอย่างการนำโคตินและโคลิโชนไปใช้ในด้านนี้ คือ food stabilizer สารเติมแต่งในอาหาร อาหารเสริมควบคุมน้ำหนัก การถนอมรักษาอาหาร บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) การเกษตร

ไคตินและไคโตซานมีสมบัติพิเศษบางอย่างที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ทางเกษตรกรรมได้มีการนำไปใช้ทางเกษตรกรรมอย่างมากมาย เช่น การเคลือบเมล็ดพันธุ์ ส่วนผสมในอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าไส้เดือน ยาฆ่ายั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา

### 4) เครื่องสำอาง

ไคตินและไคโตซานถูกใช้เป็นสารทำให้ข้น (Thickening agent) และสารเติมแต่ง (Additive) ในผลิตภัณฑ์ประเภท hair care, skin care และ oral care

### 5) การบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียอาศัยสมบัติความเป็น Polyelectrolyte และความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักของไคโตซานเพื่อใช้ในกระบวนการ Recoveries ของโลหะซึ่งสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในสระว่ายน้ำ ในโรงงานอุตสาหกรรม

### 6) การแยกสาร

ไคตินและไคโตซานในรูปต่างๆ เช่น เยื่อเลือกผ่าน (Membrane) ผง สารละลาย ถูกนำไปใช้พัฒนาใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านในการแยกและใช้เป็น วัฏภาคคงที่ (Stationary phase) ในงานวิเคราะห์ทางโครมาโตกราฟี

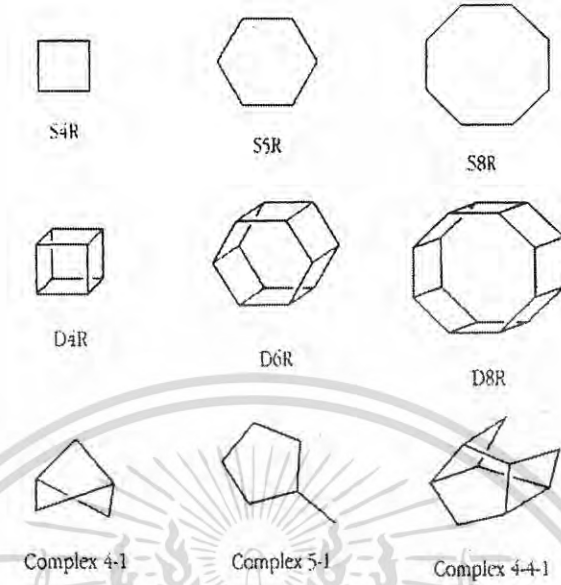
## 2.4 ซีโอไลต์

ซีโอไลต์ คือผลึกที่ประกอบด้วยสารประกอบจำพวกอลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate) โครงสร้างประกอบด้วยทรงเหลี่ยมสี่หน้าของซิลิกา  $[SiO_4]$  และอลูมินา  $[AlO_4]$  เชื่อมกันด้วยอะตอมออกซิเจนเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนสามมิติขนาดใหญ่ (Three dimensional) โดยมีไอออนประจุบวก (Cation) และโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ตามช่องว่างภายในโครงสร้าง

การจัดเรียงโครงสร้างของซีโอไลต์เริ่มจากโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary unit) ที่มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมสี่หน้าที่มีออกซิเจนสี่ตัวล้อมรอบ โครงสร้างปฐมภูมิประกอบด้วยอะตอม ซิลิกอน อลูมิเนียม และออกซิเจนที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายสามมิติเกิดการจัดเรียงตัวเป็น โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary building unit; SBUs) ดังรูปที่ 2.10

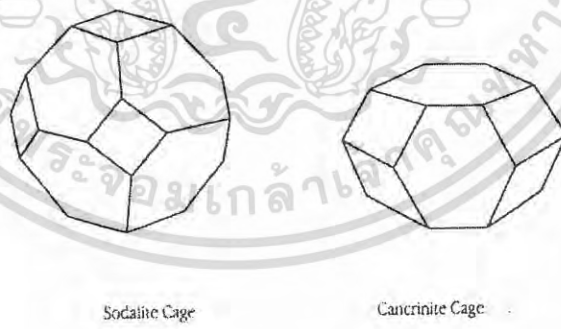
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำหนักหอสมคกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



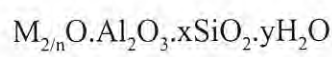
รูปที่ 2.10 โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์

โครงสร้างของทุติยภูมิเหล่านี้เชื่อมต่อกันโดยสร้างพันธะต่อกันระหว่างโครงสร้างทุติยภูมิด้วยกันเอง เรียกโครงสร้างที่เกิดขึ้นใหม่ว่าโครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary Building Unit หรือ Polyhedral) โครงสร้างตติยภูมิสามารถเชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างผลึกซีโอไลต์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.11 โครงสร้างตติยภูมิของซีโอไลต์

ซีโอไลต์มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



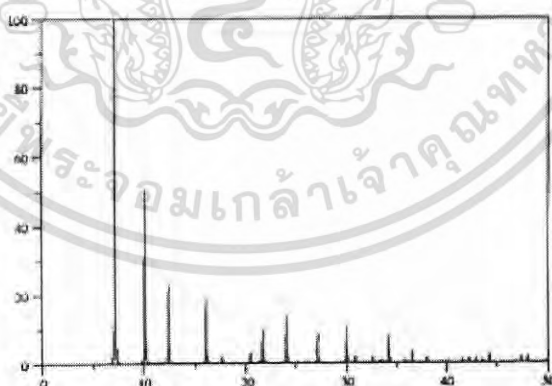
เมื่อ M คือจำนวนไอออนบวกที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ n ค่า x มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2 ค่า y มีค่าอยู่ในช่วง 10-200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยย่อยของซิลิกาไม่มีประจุ แต่หน่วยของอลูมินามีประจุลบหนึ่ง ทำให้ประจุสุทธิของโครงสร้างซีโอไลต์มีค่าเป็นลบ โดยมีไอออนบวกของโลหะอัลคาไลน์ที่อยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ดุลประจุสุทธิให้ซีโอไลต์สำหรับทุกตำแหน่งหน่วยอลูมินาในโครงสร้างของซีโอไลต์ชนิดนั้นๆ อัตราส่วนซิลิกาต่ออลูมินา (Si/Al) และลักษณะโครงสร้างทำให้ซีโอไลต์มีความแตกต่างกัน การนำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้งานเช่น เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange) ตัวดูดซับ (Adsorption) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนซิลิกาต่ออลูมินา โครงสร้างของซีโอไลต์ และชนิดของไอออนประจุบวก

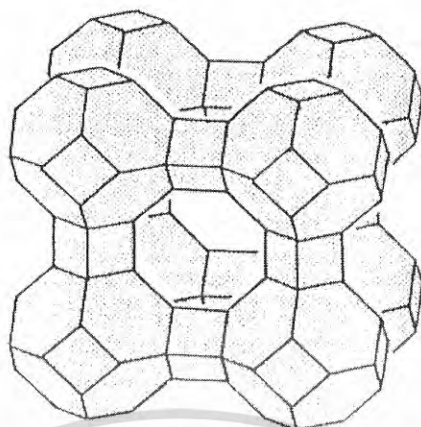
## 2.5 ซีโอไลต์โซเดียมเอ

ซีโอไลต์โซเดียมเอ (Zeolite NaA) มีสูตรทางเคมี คือ  $\text{Na}_{12}[\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}]\cdot 27\text{H}_2\text{O}$  โดยมี X-ray Diffraction pattern ดังแสดงในรูปที่ 2.12 มีโครงสร้างเป็นกรงแบบแอลฟา ( $\alpha$ -cage) ลักษณะเป็นแบบลูกบาศก์ (Cubic) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และซีโอไลต์โซเดียมเอ มีสัดส่วนช่องว่างต่อปริมาตรเท่ากับ 0.47 มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกว้างที่สุดเท่ากับ 4.2 อังสตรอม สลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ  $700^\circ\text{C}$  มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนและอลูมิเนียมเท่ากับ 1 ทำให้ซีโอไลต์โซเดียมเอมีความเป็นขั้วสูง สามารถดูดซับโมเลกุลต่างๆ ที่มีขั้วสูง เช่น โมเลกุลของน้ำ



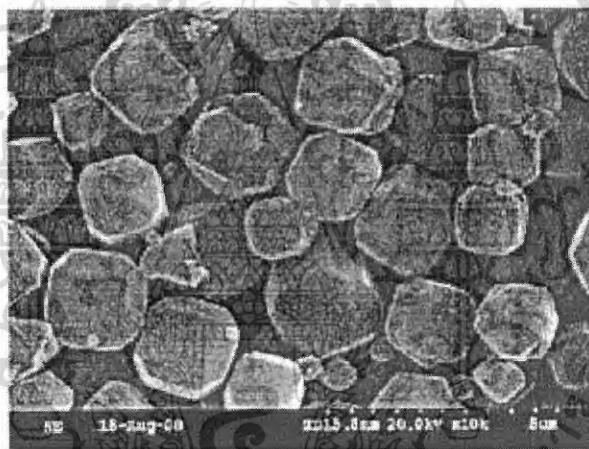
รูปที่ 2.12 X-Ray Diffraction pattern ของซีโอไลต์โซเดียมเอ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



zeolite A

รูปที่ 2.13 โครงสร้างของซีโอไลต์โซเดียมเอ [9]



รูปที่ 2.14 ลักษณะผลึกของซีโอไลต์เอจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับการแยกน้ำออกจากเอทานอล โดยใช้พอลิเมอร์เยื่อเลือกผ่าน ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยมีดังนี้

X.P. Wang และคณะ [11] ทำการศึกษาการใช้เยื่อเลือกผ่านแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ โดยโครงสร้างเยื่อเลือกผ่านประกอบด้วยฟิล์มบางๆ ของไคโตซานอยู่ชั้นบน และรองรับด้วยเยื่อที่ทำจากพอลิเอทรีโคโนไทรด์ โดยมีการเชื่อมโยงระหว่างชั้นทั้งสอง ในการประยุกต์ใช้เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตทำการแยกด้วยเทคนิคเพอร์แวกเพอเรนซ์ มีค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) สูงกว่า 8,000 และค่าฟลักซ์ (Flux) ของการซึมผ่านเท่ากับ  $264 \text{ g/m}^2\text{h}$  สำหรับสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 90% โดยมวล ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในกระบวนการแยกใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน จากการทดลองได้ค่าความสามารถในการแยก และค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ขณะเดียวกันการทำการเชื่อมโยงทำให้คอมโพสิตเยื่อเลือกผ่านมีความแข็งแรงพอที่จะใช้ในกระบวนการแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ได้

J.H. Kim และคณะ [12] ทำการศึกษาเยื่อเลือกผ่านผสมที่ประกอบด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซาน โดยเตรียมจากเทคนิคการหล่อแบบ เยื่อเลือกผ่านผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไคโตซานมีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 230 องศาเซลเซียส สมบัติเชิงกลของเยื่อเลือกผ่านผสมมีค่ามากกว่าเยื่อเลือกผ่านแต่ละชนิด สำหรับการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) ของเยื่อเลือกผ่านผสมเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น และความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่อะมิโนในของผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไคโตซานลดลง ทำให้การบวมตัวของเยื่อเลือกผ่านลดลง

Y. Negishi และคณะ [14] ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ และความหนาของเยื่อเลือกผ่านที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกน้ำออกจากเอทานอล โดยใช้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เตรียมได้จากเทคนิคการหล่อแบบ พร้อมกับเชื่อมโยงด้วยกรดซัลฟูริก ซึ่งผลของการศึกษามีดังนี้ อิทธิพลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการแพร่ผ่าน (Permeation rate) สูงขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการแยก (Selectivity) ลดลง และพบว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าฟลักซ์ (Flux) ลดลง นอกจากนี้ถ้าความหนาเพิ่มขึ้นเกิน 50 ไมโครเมตร ส่งผลให้ค่าความสามารถในการแยกคงที่

A.A. Kittur และคณะ [15] ทำการศึกษาการใช้เยื่อเลือกผ่านแยกน้ำออกจากไอโซโพรพานอลด้วยเทคนิคเพอร์เวปเพอร์เรชัน โดยใช้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอที่เตรียมจากเทคนิคการหล่อแบบ พบว่าเมื่อปริมาณน้ำในสารละลายเพิ่มมากขึ้นทำให้ห้องสภาวะรวมตัวและปริมาณฟลักซ์เพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านลดลง เมื่อปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านเพิ่มมากขึ้น ทำให้ห้องสภาวะรวมตัว ปริมาณฟลักซ์ และค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านเพิ่มขึ้น

B. Schoeman [16] ทำการศึกษาผลของอนุภาค และปริมาณของซิลิกาไลต์ ที่มีผลต่อค่าความสามารถการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Permeability) และค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน (Selectivity) โดยใช้เยื่อเลือกผ่าน PDMS (Polydimethylsiloxan) ที่เตรียมได้จากเทคนิคการหล่อแบบ ทดสอบค่าการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านโดยใช้แก๊สออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าถ้าขนาดอนุภาคและปริมาณของซิลิกาไลต์ในเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านของแก๊สมากขึ้นด้วย และเมื่อนำเยื่อเลือกผ่านมาทำการแยกคาร์บอนไดออกไซด์/ออกซิเจน ออกซิเจน/ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์/ไนโตรเจน พบว่าขนาดอนุภาคและปริมาณซิลิกาไลต์ที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

นายพงษ์ศักดิ์ ศิริสรชัย สุธี เตตวิงศ์ และสุรภาส สิทธิสา [1] ทำการศึกษาการแยกน้ำออกจากเอทานอลด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process) โดยใช้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอที่เตรียมจากเทคนิคการหล่อแบบ พบว่าเมื่ออัตราการไหลของแก๊สพาสูงขึ้นทำให้ ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกมีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอที่ใส่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลสูงขึ้น แต่ค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่ซีโอไลต์โซเดียมเอกับซิลิกาไลต์ พบว่าค่าฟลักซ์ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอมีค่าสูงกว่า

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

- |                                      |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1) กรดอะซิติก (เกรดวิเคราะห์)        | จากบริษัท Fuka chemical    |
| 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (เกรดวิเคราะห์) | จากบริษัท Fuka chemical    |
| 3) กลูตาไรต์ไฮด์ (เกรดวิเคราะห์)     | จากบริษัท Merck Co.,Ltd.   |
| 4) เอทานอล (เกรดวิเคราะห์)           | จากบริษัท Fuka chemical    |
| 5) แก๊สฮีเลียม (เกรด HP)             | จากบริษัท TIG              |
| 6) น้ำกลั่น                          |                            |
| 7) ไคโตซาน (เกรดการค้า)              | จากบริษัท TC Uion Co.,Ltd. |

ตารางที่ 3.1 สมบัติของไคโตซาน\*

| สมบัติ                  | ค่าที่ได้ |
|-------------------------|-----------|
| องค์การกำจัดหมู่อะซิติก | 91.15%    |
| เถ้า                    | 0.33%     |
| โปรตีน                  | 0.21%     |
| ความชื้น                | 4.05%     |
| สี                      | ขาว       |

\*ข้อมูลจากบริษัท TC Union Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ปริมาณที่เครื่องแก้ว
- 2) ชุดทดสอบกระบวนการซึมผ่านไอ
- 3) หลุมให้ความร้อน (Heating mantle)
- 4) เทอร์โมมิเตอร์
- 5) ปั๊มคูดของเหลวชนิดเพอร์ริสแตติก (Peristaltic pump) : WATSON – MARLOW รุ่น 101 V/R
- 6) เครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (Mass flow meter) : บริษัท SIERRA INSTRUMENTS รุ่น MASSTRAK
- 7) เครื่องสั่นโดยใช้คลื่นเสียง (Ultrasonic bath) : บริษัท NEY PENTAL รุ่น 14 H
- 8) ตู้อบ
- 9) เครื่องชั่ง
- 10) ถังมือกันความร้อน
- 11) ไมโครมิเตอร์
- 12) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) : บริษัท LEO รุ่น 1455 VP
- 13) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (GC) : บริษัท VARION รุ่น VARION 3800
- 14) เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analyzer) : บริษัท PERKIN ELMER รุ่น PYRIS 1 TGA
- 15) เครื่อง XRD (X-ray diffractometer) : บริษัท BRUKER AG รุ่น D8 ADVANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ

##### 1) การสังเคราะห์ซีโอไลต์เอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ

- 1.1) ชั่งโซเดียมอะลูมิเนต 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.2) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15 %wt จำนวน 48 กรัม ปั่นกวนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 1.3) เติมน้ำปราศจากไอออน 18 กรัม ปั่นกวนสารละลายต่อ
- 1.4) เติมละอองซิลิกา 3.3 กรัม โดยใช้ช้อนตักสารค่อยๆ เติมลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายปั่นกวนอยู่นิ่งหมดภายในเวลา 10 นาที
- 1.5) ปั่นกวนสารละลายต่อจนละอองซิลิกาละลายหมด
- 1.6) ทำการปั่นกวน โดยใช้เวลาในการปั่นกวน (Aging time) เท่ากับ 1 และ 6 ชั่วโมง โดยทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิค่าในช่วง 10-15 องศาเซลเซียส
- 1.7) ถ้วยของผสมในบีกเกอร์ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการรีฟลักซ์ (Reflux) โดยปั่นกวนอยู่เสมอเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที
- 1.8) เมื่อครบกำหนดเวลานำขวดก้นกลมมาแช่ในน้ำเย็น
- 1.9) แบ่งของผสมใส่หลอดแล้วนำไปใส่เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่ 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที
- 1.10) เทของเหลวใสด้านบนออก แล้วเติมน้ำปราศจากไอออนลงไป กวนของผสมด้วยแท่งแก้วคนแล้วนำไปใส่เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีอีกครั้ง
- 1.11) ทำซ้ำข้อ 1.10) 5-6 ครั้ง จนค่า pH ของของเหลวที่ผ่านการล้างมีค่าไม่เกิน 9
- 1.12) นำซีโอไลต์โซเดียมเอที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน
- 1.13) นำซีโอไลต์ที่เตรียมได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD และศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

##### 2) การสังเคราะห์ซีโอไลต์เอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) แต่ใช้เวลาในการปั่นกวน 3 ชั่วโมง โดยทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิในช่วง 15-25 องศาเซลเซียส

### 3.3.2 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

#### 1) การเตรียมสารละลายโคโตซาน

- 1.1) ชั่งน้ำกลั่น 84.8 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดอะซิติกเข้มข้น 2 % (v/v) ปริมาตร 2 มิลลิลิตรลงไป คนสารละลายให้เข้ากัน
- 1.2) ชั่งโคโตซาน 2 กรัม เติมลงในสารละลายกรดอะซิติกที่เตรียมไว้
- 1.3) นำสารละลายมาปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 1.4) นำสารละลายมาเติมกลูตารัลดีไฮด์เข้มข้น 0.05 % (v/v) 1 กรัม
- 1.5) นำสารละลายโคโตซานที่ได้มาปรับ pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % (w/w) 8 กรัม ปั่นกวนจนกระทั่งสารละลายมี pH ประมาณ 6.5
- 1.6) ชั่งซีโอไลต์ปริมาณ 10 phr นำมากระจายตัวในน้ำกลั่น 5 กรัม จากนั้นนำไปปั่นโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิค เป็นเวลา 15 นาที
- 1.7) นำซีโอไลต์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำกลั่นแล้วมาเทลงในสารละลายโคโตซาน นำไปปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก
- 1.8) นำสารละลายมากำจัดฟองอากาศโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิค

#### 2) การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

##### 2.1) การเตรียมเยื่อเลือกผ่านแบบอบให้ความร้อน

- 2.1.1) ใช้หลอดฉีดยา (Syringe) ดูดสารละลายโคโตซานที่ได้จากการเตรียมในข้อ 1) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ค่อยๆ ฉีดลงในแม่แบบขนาด 15 cm x 24 cm x 0.3 cm ที่ทำจากกระจกที่รองด้วยแผ่นพอลิไวนิลอะซิเตด
- 2.1.2) นำแม่แบบไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้เยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่ยังไม่ได้ทำให้เป็นกลาง
- 2.1.3) นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้มาทำให้เป็นกลาง โดยแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% (w/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง
- 2.1.4) นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
- 2.1.5) นำเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เตรียมได้มาวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ โดยเลือกเยื่อเลือกผ่านที่มีความหนาอยู่ในช่วง  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร
- 2.1.6) นำเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เตรียมได้ทั้งหมดมาแช่ไว้ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50 % mol เพื่อรอจะนำไปทดสอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2) การเตรียมเยื่อเลือกผ่านแบบไม่อบให้ความร้อน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1.1) - 2.1.3) แต่เมื่อผ่านการทำให้เป็นกลางแล้ว นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้มาแช่ไว้ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50 %mol เพื่อรอนำไปทดสอบ โดยไม่ต้องทำการทดลองข้อ 2.1.4)

### 3.3.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่าน

#### 1) ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอด้วยเครื่อง XRD

1.1) ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยนำตัวอย่างแบบเป็นผงใส่ในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) ทำการเกลี่ยให้พื้นผิวเรียบ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD สภาวะในการทดสอบใช้แหล่งกำเนิดรังสี  $\text{CuK}\alpha$  (40 kV, 40 mA) ความยาวคลื่น 1.5406 อังสตรอม มุม 5-60 องศา Step size 0.04 °/s

1.2) ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน โดยตัดเยื่อเลือกผ่านขนาด  $4 \times 4 \text{ cm}^2$  ตัดลงบนแผ่นซิลิกอน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD สภาวะทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 1.1)

#### 2) ศึกษาสัณฐานวิทยาของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่าน

2.1) ศึกษาลักษณะและขนาดของผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยนำตัวอย่างแบบเป็นผงใส่ในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำ จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

2.2) ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ทั้งหมด โดยตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมให้มีขนาด  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  นำไปวางบนที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำ จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

2.3) ศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ทั้งหมด โดยตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม กว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 4 เซนติเมตร นำมาหล่อเรซินและอบตัวอย่างที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปแช่ในตู้เย็นเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำมาแช่ในไนโตรเจนเหลว 20 นาที หักตัวอย่างที่เตรียมได้ นำไปวางบนที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

### 3) วิเคราะห์หาปริมาณซีโอไลต์ในเยื่อเลือกผ่านด้วยเครื่อง TGA

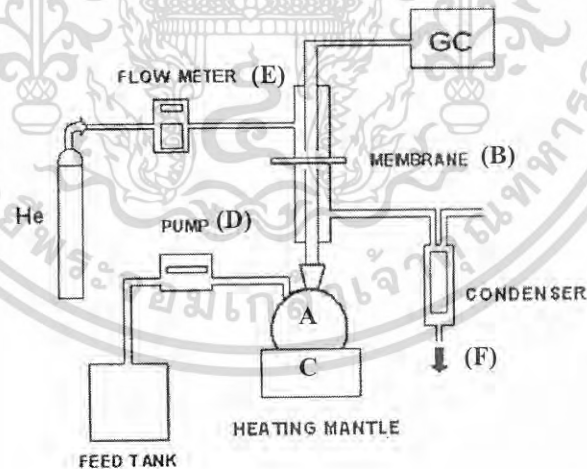
นำเยื่อเลือกผ่านโคโคซานที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเมมเบรนขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบและกว้าง และ 800 นาโนเมตร มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) ปริมาณ 10-20 มิลลิกรัม โดยวิเคราะห์ภายใต้บรรยากาศของอากาศแห้งอัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ 80-700 องศาเซลเซียส

#### 3.3.4 การศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเม

- 1) ใช้เทคนิค Image analysis วัดขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเมจากภาพที่ได้จากเทคนิค SEM ประมาณ 300 ค่า
- 2) นำค่าขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเมที่วัดได้มาพลอตกราฟแท่ง เพื่อดูการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดยให้แกนนอนแสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ย และแกนตั้งแสดงจำนวนอนุภาค

#### 3.3.5 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกของเยื่อเลือกผ่าน

ทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการซึมผ่านไอดังชุดทดสอบในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงชุดทดสอบกระบวนการซึมผ่านไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) บรรจุเอทานอล 95 % (v/v) ลงในขวดก้นกลมจำนวน 100 มิลลิลิตร (A)
- 2) นำเยื่อเลือกผ่านขนาด 4x4 ตารางเซนติเมตร บรรจุในเซลล์ (B)
- 3) ให้ความร้อนโดยใช้หลอดให้ความร้อนที่สเกลเบอร์ 4 (C)
- 4) เติมเอทานอล 95% (v/v) ลงในขวดก้นกลม โดยใช้ปั๊มเพอร์ริสแตติก (D) ดูดเอทานอลจากขวดรูปชมพู่
- 5) เปิดวาล์วแก๊สฮีเลียมแล้วเปิดเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สฮีเลียมที่ให้อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียมเป็น 80 มิลลิลิตรต่อนาที (E)
- 6) เมื่อเอทานอลเริ่มเดือด ไอของสารผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำเคลื่อนที่ขึ้นมายังเยื่อเลือกผ่าน โดยสารบางส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้จะถูกพาเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเพื่อหาปริมาณของน้ำและเอทานอลที่อยู่ในไอ ส่วนสารที่ไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านได้จะถูกควบแน่นลงสู่ขวดวัดปริมาตรที่รองรับโดยแก๊สพา (F)

สภาวะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการทดสอบ

- Column Parapak Q
  - Column oven 140°C
  - Detector TCD
    - Temperature 200°C
    - Filament Temperature 230°C
  - Carrier gas 30 ml/min
  - Run time 10 min
- 7) ทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
  - 8) นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมาทำการคำนวณต่อไป

### 3.3.6 การคำนวณ

คำนวณปริมาณสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านและค่าความสามารถในการแยกโดยใช้สูตร

$$\text{Flux}_{\text{water}} = \frac{\%V_{\text{water}} \times F \times MW_{\text{water}}}{V_{TP} \times A}$$

$$\text{Flux}_{\text{ethanol}} = \frac{\%V_{\text{ethanol}} \times F \times MW_{\text{ethanol}}}{V_{TP} \times A}$$

$$\text{Flux}_{\text{All}} = \text{Flux}_{\text{water}} + \text{Flux}_{\text{ethanol}}$$

$\% V_{\text{water}}$  = เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของไอน้ำในเพอร์มิเอต

$\% V_{\text{ethanol}}$  = เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของไอเอทานอลในเพอร์มิเอต

$F$  = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สทั้งหมด (ml/hr)

$MW_{\text{water}}$  = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ

$MW_{\text{ethanol}}$  = น้ำหนักโมเลกุลของเอทานอล

$V_{TP}$  = Molar volumn at 298 K, 1 atm =  $22.4 \times 10^3 \text{ cm}^3$

$A$  = พื้นที่หน้าตัดเยื่อเลือกผ่าน

$$\text{Separation factor } (\alpha) = \frac{Y_{\text{Water}} / Y_{\text{Ethanol}}}{X_{\text{Water}} / X_{\text{Ethanol}}}$$

$Y_{\text{water}}$  = สัดส่วนโมลของน้ำในเพอร์มิเอต

$$= \% \text{ mol}_{\text{water}} / (\% \text{ mol}_{\text{water}} + \% \text{ mol}_{\text{ethanol}})$$

$Y_{\text{ethanol}}$  = สัดส่วนโมลของเอทานอลในเพอร์มิเอต

$$= \% \text{ mol}_{\text{ethanol}} / (\% \text{ mol}_{\text{water}} + \% \text{ mol}_{\text{ethanol}})$$

$X_{\text{water}}$  = สัดส่วนโมลของน้ำในสารป้อน

$X_{\text{ethanol}}$  = สัดส่วนโมลของเอทานอลในสารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจและการรายงานผลจึงขอใช้สัญลักษณ์แทนชนิดและองค์ประกอบของเชื้อเลือกผ่าน แสดงดังตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์แทนชนิดเชื้อเลือกผ่านและแสดงองค์ประกอบของเชื้อเลือกผ่าน

| สัญลักษณ์ | ปริมาณ<br>โกลโตซาน<br>(phr) | ปริมาณ<br>ซีโอโลสต์ (phr) | ขนาดอนุภาคของ<br>ซีโอโลสต์โซเดียมเอ<br>(นาโนเมตร) | ความหนาของ<br>เชื้อเลือกผ่าน<br>(ไมโครเมตร) |
|-----------|-----------------------------|---------------------------|---|---|
| CG        | 100                         | -                         | -   | 30±3  |
| CGZ 300A  | 100                         | 10                        | 300   | 30±3  |
| CGZ 300B  | 100                         | 10                        | 300   | 30±3  |
| CGZ 800   | 100                         | 10                        | 800   | 30±3  |

หมายเหตุ

A คือ ซีโอโลสต์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ

B คือ ซีโอโลสต์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

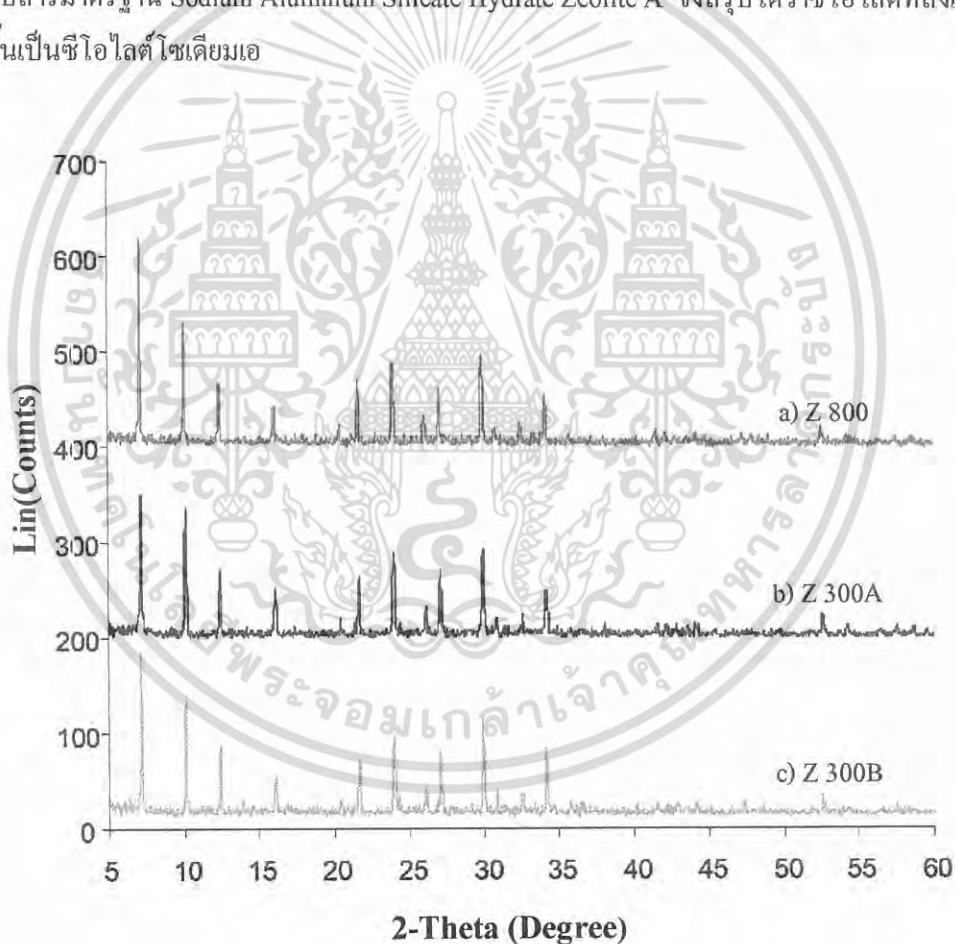
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

#### 4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่าน

##### 4.1.1 โครงสร้างผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอ

จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 800 300A และ 300B นาโนเมตรที่สังเคราะห์ขึ้น (รูปที่ 4.1) พบว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์มีตำแหน่งของพีกที่เห็นได้ชัดที่ค่า  $2\theta$  ประมาณ  $7^\circ$   $10^\circ$   $13^\circ$   $16^\circ$   $22^\circ$   $24^\circ$   $27^\circ$   $30^\circ$  และ  $34^\circ$  ซึ่งมีตำแหน่งของพีกตรงกับสารมาตรฐาน Sodium Aluminum Silicate Hydrate Zeolite A จึงสรุปได้ว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นซีโอไลต์โซเดียมเอ



รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค a) 800 นาโนเมตร b) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ c) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง เทียบกับสารมาตรฐาน

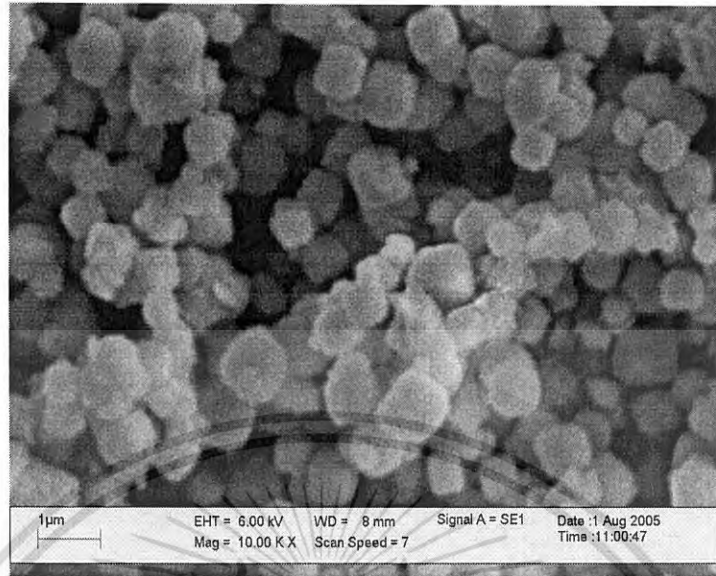
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 สัณฐานวิทยาของซีโอไลต์โซเดียมเอ

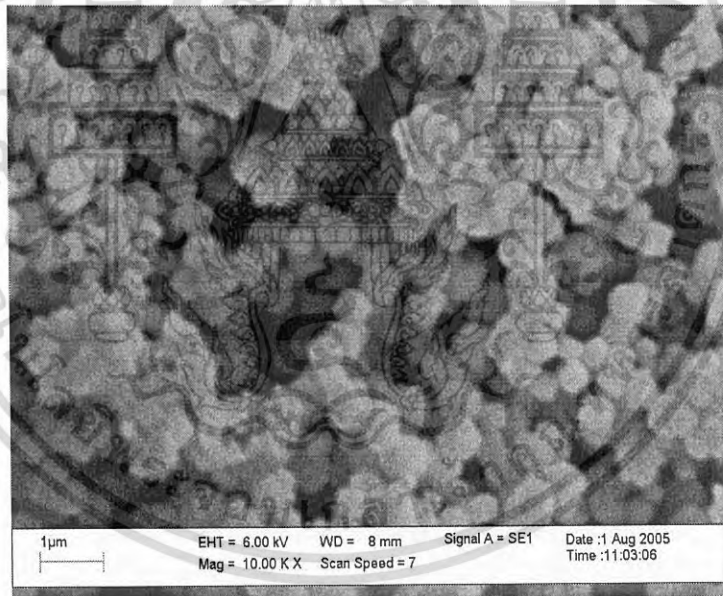
จากการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอโดยใช้เวลา aging ที่ต่างกัน ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน โดยเมื่อใช้เวลา aging 1 ชั่วโมง ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ และเมื่อใช้เวลา aging 6 ชั่วโมง ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อใช้เวลาในการ aging มาก เกิดนิวเคลียสจำนวนมาก ซึ่งนิวเคลียสเหล่านี้จะเจริญเติบโต โดยการขยายตัวของอนุภาคผลึกซีโอไลต์ ซึ่งเกิดจากการที่สารละลายของซิลิกาและอะลูมินาเคลื่อนที่เข้าไปในผลึกที่กำลังเจริญเติบโต ดังนั้นยังมีปริมาณนิวเคลียสเกิดขึ้นจำนวนมากสารละลายจึงถูกแบ่งส่วนในการเกิดผลึกมากทำให้เกิดอนุภาคผลึกซีโอไลต์ขนาดเล็กจำนวนมาก แต่เมื่อใช้เวลาในการ aging สั้น มีนิวเคลียสเกิดขึ้นน้อย ทำให้สารละลายถูกแบ่งส่วนในการเกิดผลึกน้อย จึงเกิดการเจริญเติบโตและขยายตัวของอนุภาคผลึกซีโอไลต์มากขึ้น ดังนั้นอนุภาคผลึกซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดใหญ่

จากการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอโดยใช้อุณหภูมิในการ aging ต่างกัน ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคต่างกัน โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีการกระจายของขนาดอนุภาคซีโอไลต์ดี แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิสูง ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคไม่ดี ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิในการ aging ที่อุณหภูมิต่ำ นิวเคลียสที่เกิดขึ้นจะเกิดพร้อมๆกัน อัตราการเกิดผลึกใกล้เคียงกัน ขนาดผลึกที่ได้จึงใกล้เคียงกันด้วย แต่ถ้าควบคุมอุณหภูมิระหว่างการ aging ให้สูงขึ้น ทำให้นิวเคลียสเกิดได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้มีนิวเคลียสเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน อัตราการเกิดผลึกต่างกัน ขนาดผลึกที่ได้จึงแตกต่างกัน

เมื่อนำซีโอไลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อใช้เวลา aging 1 และ 6 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้ขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีขนาด 800 และ 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ และเมื่อใช้เวลา aging 3 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิสูง ทำให้ได้ขนาดซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร แต่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง



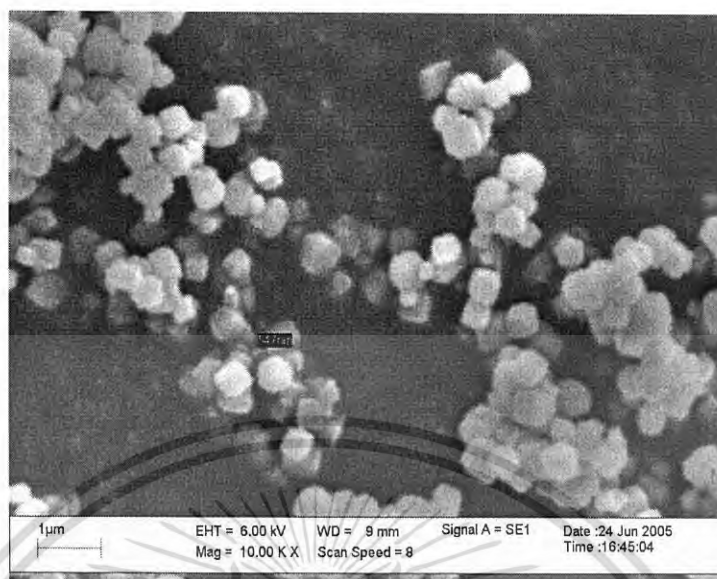
a) Z800



b) Z 300A

รูปที่ 4.2 ภาพ SEM แสดงลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอชขนาดอนุภาค a) 800 นาโนเมตร b) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ c) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

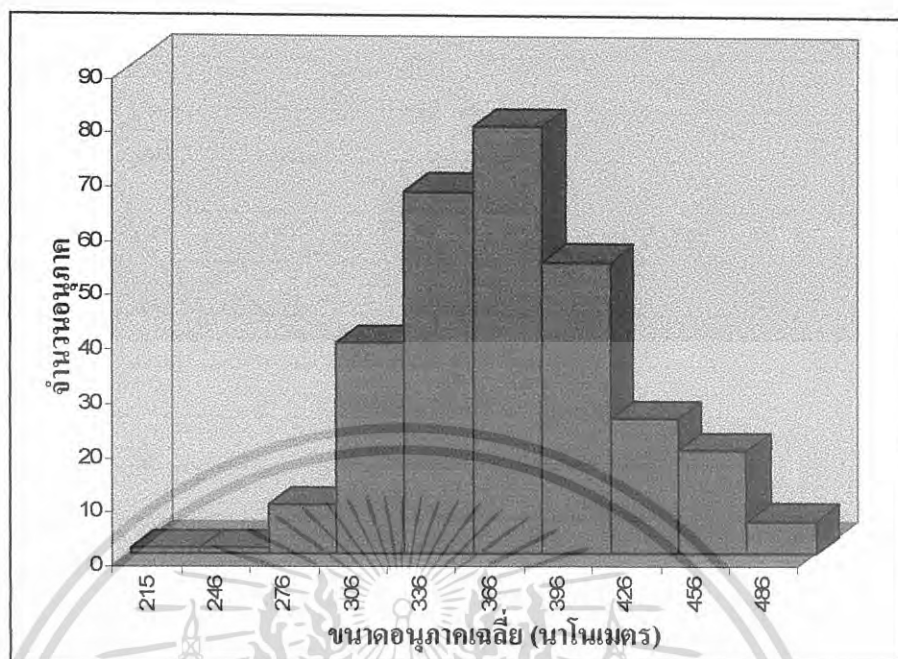


c) Z 300B

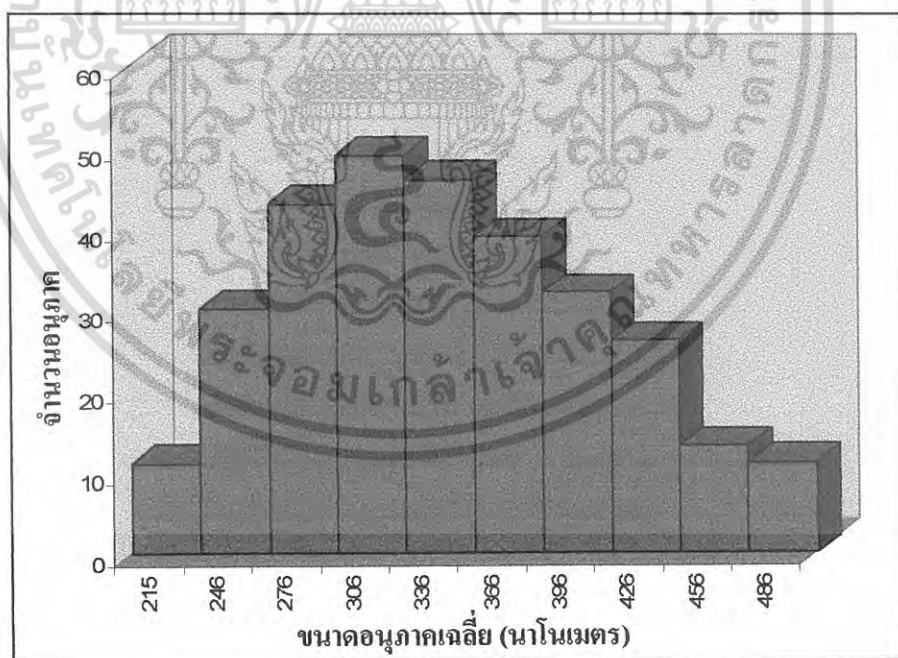
รูปที่ 4.2 (ต่อ) ภาพ SEM แสดงลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค a) 800 นาโนเมตร b) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ c) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

#### 4.1.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอ

จากผลการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตรที่ใช้อุณหภูมิต่ำในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำที่ได้จากเทคนิค Image analysis พบว่ามีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ เนื่องจากมีขนาดอนุภาคของซีโอไลต์อยู่ในช่วง 300-350 นาโนเมตร เป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 4.3) และจากผลการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตรที่ใช้อุณหภูมิต่ำในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำ พบว่ามีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง เนื่องจากมีทั้งขนาดอนุภาคของซีโอไลต์ที่เล็กและใหญ่กว่าซีโอไลต์ขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโพลีโอสตีโรลขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่ใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำที่ได้จากเทคนิค Image analysis

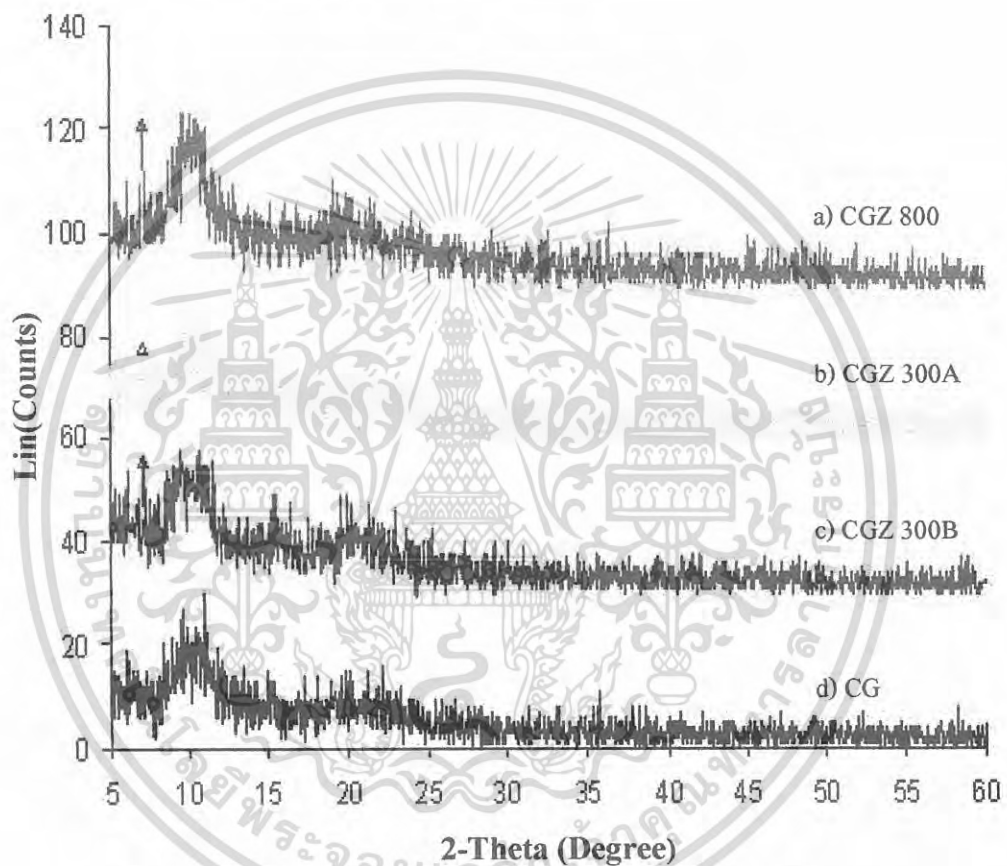


รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโพลีโอสตีโรลขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่ใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิสูงที่ได้จากเทคนิค Image analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 โครงสร้างผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน

จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน เปรียบเทียบกับซีโอไลต์โซเดียมเอ (รูปที่ 4.5) พบว่ามีตำแหน่งของพีกที่ค่า  $2\theta$  ประมาณ  $7^\circ$  ซึ่งตรงกับตำแหน่งพีกของซีโอไลต์โซเดียมเอ แสดงให้เห็นว่ามีซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านโคโคซาน แต่เนื่องจากซีโอไลต์โซเดียมมีปริมาณน้อย ทำให้เห็นพีกไม่ชัดเจน



รูปที่ 4.5 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของเยื่อเลือกผ่านโคโคซานที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอ ปริมาณ 10 phr ขนาดอนุภาค a) 800 นาโนเมตร b) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ c) 300 นาโนเมตรที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง และ d) เยื่อเลือกผ่านโคโคซานที่ไม่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5 ลักษณะวิทยาของเยื่อเลือกผ่าน

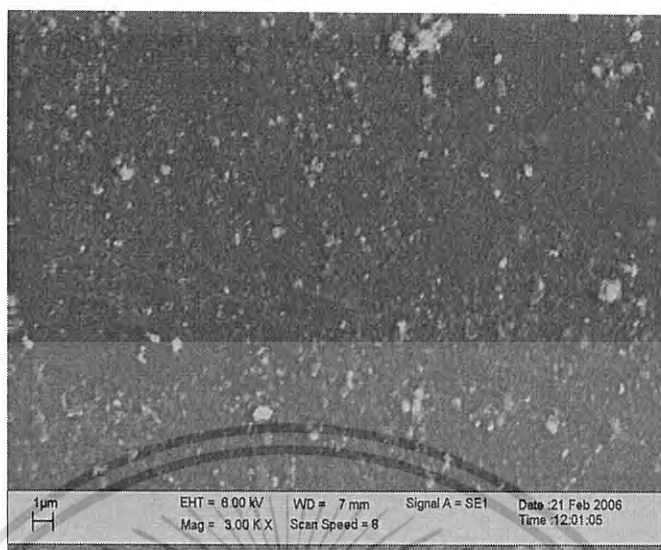
เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เตรียมได้เมื่อนำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซีโอโลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน จากรูปที่ 4.6 พบว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอมีลักษณะพื้นผิวเรียบ ส่วนเยื่อเลือกผ่านที่มีการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอพื้นผิวมีความขรุขระ เนื่องจากมีอนุภาคบางส่วนของซีโอโลต์โซเดียมเอกระจายตัวอยู่ที่พื้นผิว โดยเยื่อเลือกผ่านที่มีการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร สามารถเห็นอนุภาคซีโอโลต์โซเดียมเอที่กระจายตัวอยู่ที่พื้นผิวได้ชัดเจนกว่าเยื่อเลือกผ่านที่มีการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตรที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคทั้งกว้างและแคบ และพบว่าการกระจายตัวของซีโอโลต์โซเดียมเอมีการกระจายตัวที่ดีในไคโตซานเนื่องจากซีโอโลต์โซเดียมเอมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เหมือนกับไคโตซาน



a) CG

รูปที่ 4.6 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของ a) เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอ และเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค b) 800 นาโนเมตร c) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ d) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง ที่กำลังขยาย 3000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



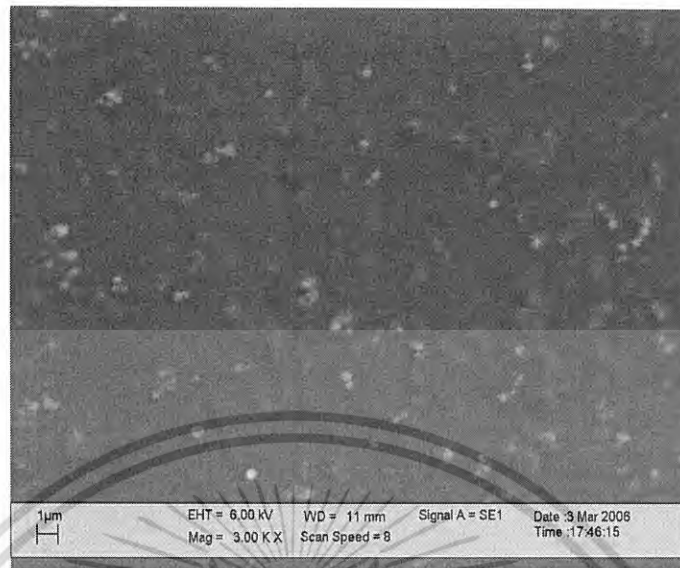
b) CGZ 800



c) CGZ 300A

รูปที่ 4.6 (ต่อ) ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของ a) เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่เติม ซีโอไลต์โซเดียมเอ และเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค b) 800 นาโนเมตร c) 300 นาโนเมตรที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ d) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง ที่กำลังขยาย 3000 เท่า

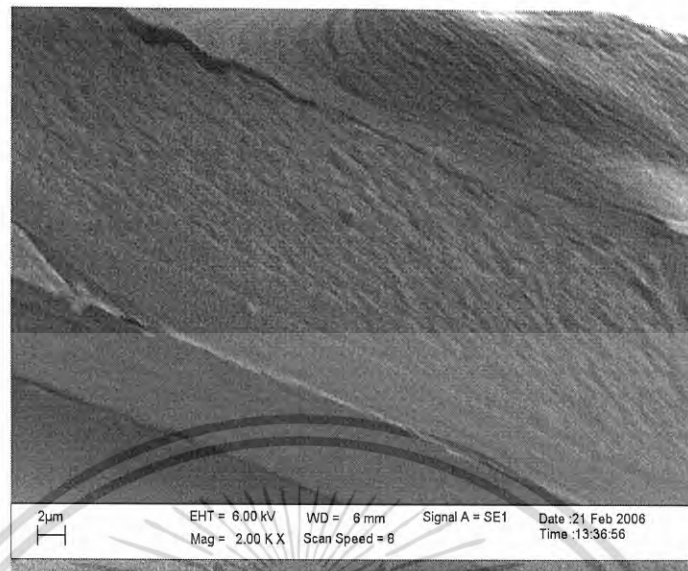
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



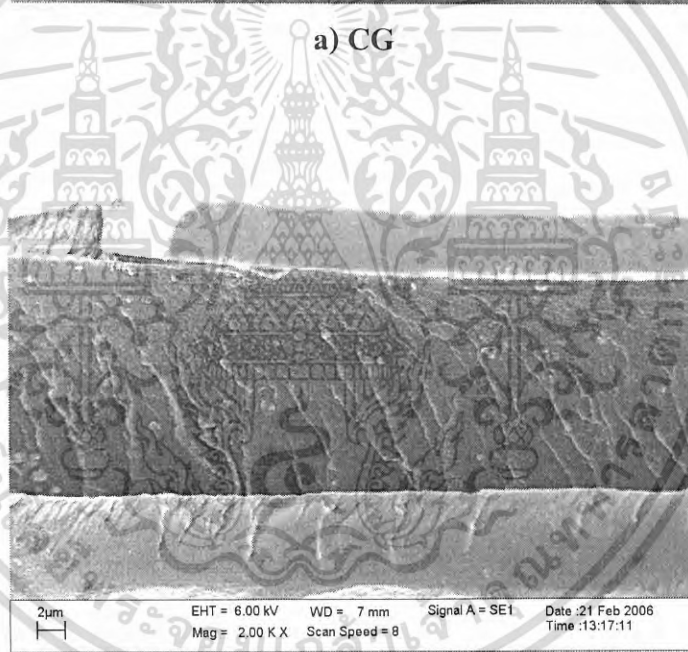
**d) CGZ 300B**

รูปที่ 4.6 (ต่อ) ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของ a) เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอ และเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค b) 800 นาโนเมตร c) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ d) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง ที่กำลังขยาย 3000 เท่า

จากรูปที่ 4.7 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่าน พบว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่มีการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอมีลักษณะภาคตัดขวางที่เรียบ ส่วนเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอมีลักษณะภาคตัดขวางที่ไม่เรียบ เพราะมีซีโอโลต์โซเดียมเอกระจายตัวอยู่ทั่วความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน เนื่องจากซีโอโลต์โซเดียมเอมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เหมือนกับไคโตซาน



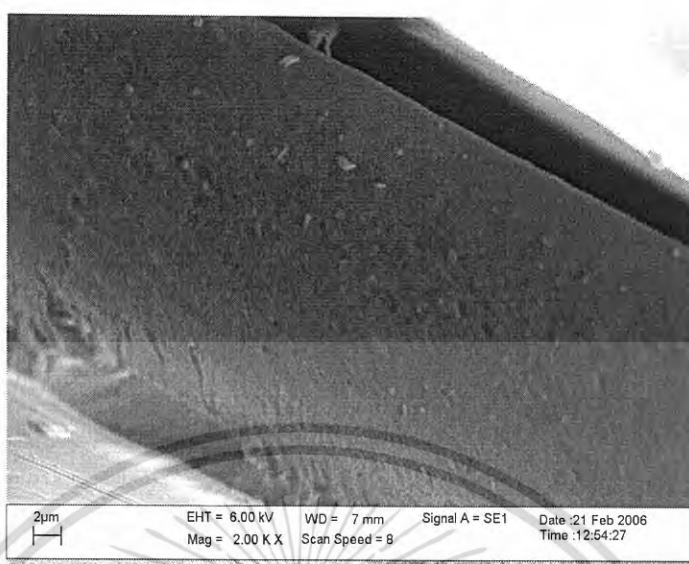
a) CG



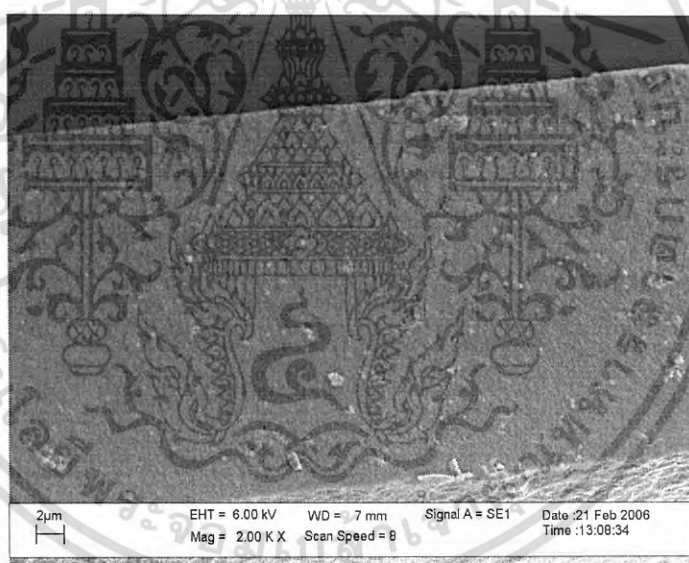
b) CGZ 800

รูปที่ 4.7 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของ a) เยื่อเลือกผ่านไลโตซานที่ไม่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอ และเยื่อเลือกผ่านไลโตซานที่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค b) 800 นาโนเมตร c) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ d) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



c) CGZ 300A



d) CGZ 300B

รูปที่ 4.7 (ต่อ) ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของ a) เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอ และเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค b) 800 นาโนเมตร c) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ d) 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.6 ปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน

ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อเลือกผ่านมีการผสมซีโอไลต์โซเดียมเอลงในสารละลายโคโตะซาน ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีอยู่จริงในเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานได้โดยใช้ เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน TGA ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

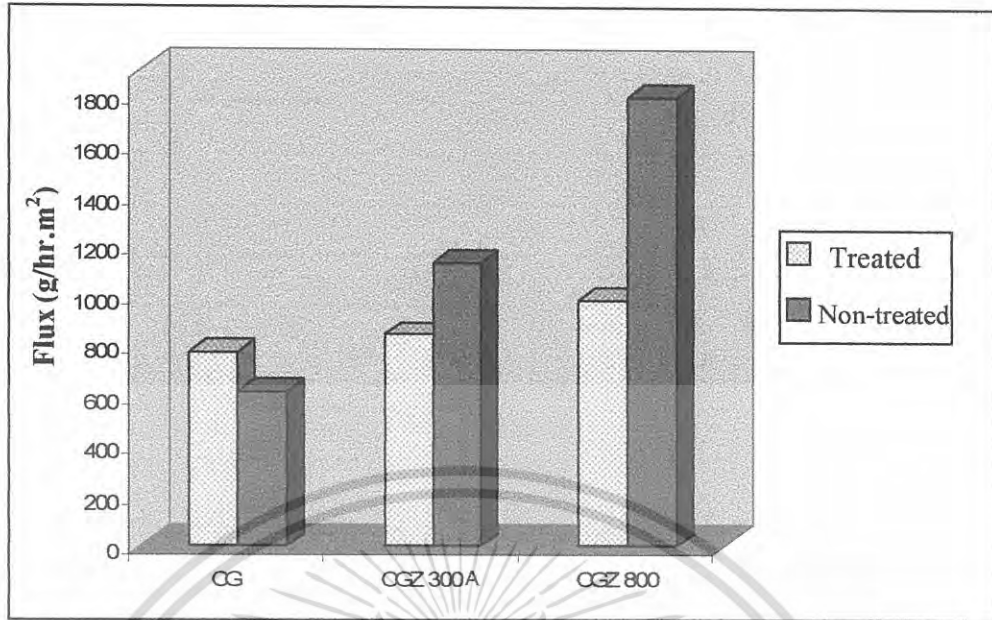
ตารางที่ 4.1 ปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอที่เติมลงในเยื่อเลือกผ่านและที่มีอยู่จริงจากเทคนิค TGA

| เยื่อเลือกผ่าน | ซีโอไลต์ที่เติม |      | ซีโอไลต์จาก<br>เทคนิค TGA<br>(%wt) | อุณหภูมิสลายตัว (°C) |            |
|----------------|-----------------|------|------------------------------------|----------------------|------------|
|                | phr             | %wt  |                                    | หมู่ไฮดรอกซี         | สายโซ่หลัก |
| CG             | -               | -    | -                                  | 264                  | 585        |
| CGZ 800        | 10              | 9.09 | 5.33                               | 264                  | 583        |
| CGZ 300A       | 10              | 9.09 | 4.87                               | 265                  | 584        |
| CGZ 300B       | 10              | 9.09 | 4.67                               | 265                  | 583        |

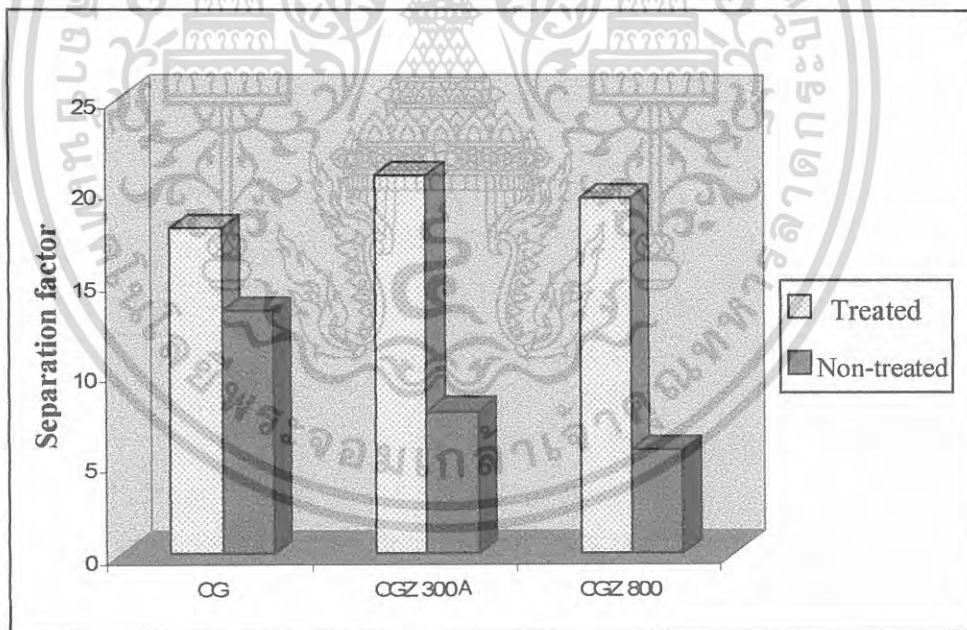
จากการทดลองพบว่าปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีอยู่จริงในเยื่อเลือกผ่านมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจากซีโอไลต์เอมีน้ำอยู่ในรูพรุนประมาณ 20-30 % ของน้ำหนักซีโอไลต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA ทำให้น้ำในรูพรุนระเหยออกไป ดังนั้นน้ำหนักที่วิเคราะห์ได้จึงน้อยกว่าที่คำนวณได้

#### 4.2 ผลของขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอและผลของการอบให้ความร้อนเยื่อเลือกผ่าน

จากการศึกษาผลของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอที่เติมลงในเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน โดยวัดจากค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยก ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอ ในเยื่อเลือกผ่านไลโคซานที่ผ่านการอบ (Treated) และไม่อบให้ความร้อน (Non-treated)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอ ในเยื่อเลือกผ่านไลโคซานที่ผ่านการอบ (Treated) และไม่อบให้ความร้อน (Non-treated)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของการอบให้ความร้อนเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน (GC) พบว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผ่านการอบให้ความร้อนมีค่าฟลักซ์สูงกว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน (รูปที่ 4.8) เนื่องจากเมื่อทำการอบเยื่อเลือกผ่านไคโตซานมีผลทำให้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานสูญเสีย น้ำออกไปมาก สายโซ่ไคโตซานสามารถเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันได้มากขึ้นจึงเกิดพันธะไฮโดรเจนเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ไคโตซานเอง จึงทำให้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้ดีขึ้น ความสามารถในการรับน้ำ (Water affinity) ของเยื่อเลือกผ่านเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นค่าฟลักซ์จึงสูงขึ้น และค่าความสามารถในการแยกดีขึ้น

จากผลการศึกษานาฬิกาของอนุภาคซีโอดีโซเดียมเอทีผสมลงในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน พบว่าค่าฟลักซ์ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอดีโซเดียมเอ (CGZ) มีค่าสูงกว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน (CG) เนื่องจากซีโอดีที่ผสมลงไปจะทำให้ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างภูมิภาคของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานและซีโอดี ดังนั้นไอของเอทานอลและน้ำจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างภูมิภาคไปได้ ทำให้ค่าฟลักซ์จึงสูงขึ้น และเมื่ออนุภาคซีโอดีที่ผสมลงไปมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากช่องว่างระหว่างภูมิภาคที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยทำให้ไอของเอทานอลและน้ำผ่านไปได้มากขึ้นค่าฟลักซ์จึงเพิ่มขึ้นด้วย แต่พบว่าค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอดีโซเดียมเอทีไม่ผ่านการอบให้ความร้อนมีค่าต่ำกว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน เนื่องจากช่องว่างระหว่างภูมิภาคที่เกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถเกิดกลไกการแยกได้ ดังนั้นทั้งไอของเอทานอลและน้ำจึงสามารถผ่านไปได้ ค่าความสามารถในการแยกจึงลดลง และเมื่ออนุภาคซีโอดีที่ผสมลงไปมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าความสามารถในการแยกมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดช่องว่างระหว่างภูมิภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามขนาดอนุภาคซีโอดีที่ผสมลงไป เมื่อช่องว่างมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ไอของเอทานอลผ่านไปได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการแยกลดลง

สำหรับเยื่อเลือกผ่านที่ผ่านการอบให้ความร้อน จากผลของอนุภาคซีโอดีโซเดียมเอทีผสมลงในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผ่านการอบให้ความร้อน พบว่าค่าฟลักซ์ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอดีโซเดียมเอ (CGZ) มีค่าสูงกว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน (CG) และเมื่ออนุภาคซีโอดีที่ผสมลงไปมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน แต่พบว่าค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอดีโซเดียมเอทีผ่านการอบมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน เนื่องจากเมื่อทำการอบให้ความร้อนเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอดีโซเดียมเอ เยื่อเลือกผ่านไคโตซานสามารถเกิดอันตรกิริยากับซีโอดีโซเดียมเอที่ผสมลงไป ทำให้ช่องว่างระหว่างภูมิภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กลงและมีอันตรกิริยากับน้ำได้ดีขึ้น ทำให้ค่าความสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแยกมีค่าสูงขึ้น โดยเมื่อขนาดอนุภาคซีโอไลต์ที่ผสมมีขนาดใหญ่ขึ้นค่าความสามารถในการแยกลดลง เนื่องจากเมื่อขนาดอนุภาคซีโอไลต์ใหญ่ขึ้นจึงทำให้ช่องว่างระหว่างวัฏภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย และพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ในการเกิดอันตรกิริยาน้อยลง ดังนั้นอันตรกิริยาเกิดขึ้นระหว่างเยื่อเลือกผ่านไคโตซานกับซีโอไลต์จึงลดลงด้วย มีผลให้ค่าความสามารถในการแยกลดลงด้วย

#### 4.3 ผลของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอ

จากการศึกษาผลของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอที่เติมลงในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน โดยวัดจากค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอขนาด 300 นาโนเมตรที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างและแคบที่ผ่านการอบ (Treated)

| การกระจายตัวของขนาดอนุภาค | ฟลักซ์<br>(g/hr.m <sup>2</sup> ) | ความสามารถในการแยก |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------|
| กว้าง                     | 819                              | 22                 |
| แคบ                       | 845                              | 20                 |

จากผลของประสิทธิภาพการแยกของเยื่อเลือกผ่านที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างและแคบ พบว่าค่าฟลักซ์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างมีค่าสูงกว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผสมซีโอไลต์ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ (ตารางที่ 4.2) เนื่องจากเมื่อผสมซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างลงในเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน จะมีช่องว่างระหว่างวัฏภาคที่มีขนาดเล็กและใหญ่กระจายตัวอยู่ ซึ่งช่องว่างระหว่างวัฏภาคทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีปริมาตรใกล้เคียงกับช่องว่างระหว่างวัฏภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดของเชื้อเลือกผ่านโคโคซานผสมซีโอดีโซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ ทำให้ค่าพลิกซ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเชื้อเลือกผ่านโคโคซานผสมซีโอดีขนาดอนุภาคเล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวในการเกิดอันตรกิริยากับเชื้อเลือกผ่านโคโคซานได้มากและเกิดอันตรกิริยากับเชื้อเลือกผ่านโคโคซานได้แรงขึ้น จึงทำให้ค่าความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานเพื่อใช้ในการแยกน้ำจากเอทานอลด้วยการเติมซีโอไลต์โซเดียมเอ (Zeolite NaA) ที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน โดยทำการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ศึกษาผลของเวลาในการ aging พิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ จากนั้นทำการเตรียมเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ พิสูจน์เอกลักษณ์ของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ ศึกษาผลของการอบให้ความร้อนเยื่อเลือกผ่านและศึกษาผลของขนาดอนุภาคซีโอไลต์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอลจากการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ พบว่าเมื่อเวลาในการ aging เพิ่มขึ้นทำให้ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคเล็กลง เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการ aging มาก เกิดนิวเคลียสจำนวนมาก สารละลายจึงถูกแบ่งส่วนในการเกิดผลึกมากทำให้เกิดอนุภาคผลึกซีโอไลต์ขนาดเล็กจำนวนมาก แต่เมื่อใช้เวลาในการ aging สั้น มีนิวเคลียสเกิดขึ้นน้อย ทำให้สารละลายถูกแบ่งส่วนในการเกิดผลึกน้อย ดังนั้นอนุภาคผลึกซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดใหญ่

เมื่อใช้อุณหภูมิในการ aging ต่างกัน ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอต่างกัน โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์แคบ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิสูง ทำให้ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีการกระจายของขนาดอนุภาคซีโอไลต์กว้าง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำ นิวเคลียสที่เกิดขึ้นจะเกิดพร้อมๆกัน อัตราการเกิดผลึกใกล้เคียงกัน ขนาดผลึกที่ได้จึงใกล้เคียงกันด้วย แต่ถ้าใช้อุณหภูมิในการ aging ในช่วงอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้มีนิวเคลียสเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน อัตราการเกิดผลึกต่างกัน ขนาดผลึกที่ได้จึงแตกต่างกัน

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่เติมซีโอไลต์ พบว่ามีพื้นที่ผิวและภาคตัดขวางที่เรียบ เมื่อทำการเติมซีโอไลต์ลงไปเยื่อเลือกผ่าน ทำให้เยื่อเลือกผ่านมีพื้นที่ผิวและภาคตัดขวางที่มีความขรุขระมากขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์โซเดียมเอมีการกระจายตัวในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานได้ดี และมีสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่เหมือนกัน และจากการศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน พบว่ามีซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA แล้วพบว่าปริมาณซีโอไลต์ที่มีอยู่ในเยื่อเลือกผ่านมีน้อยกว่าปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีโอไลต์โซเดียมเอที่ได้เติมลงไป เนื่องจากซีโอไลต์ที่เติมลงไปจะมีน้ำอยู่ในรูพรุนจึงทำให้เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA แล้วน้ำจึงระเหยออกไป น้ำหนักของซีโอไลต์ที่เหลืออยู่จึงลดลง

จากผลของการอบและไม่อบให้ความร้อนเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน (GC) พบว่าเมื่อทำการอบให้ความร้อนเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน ทำให้ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกสูงขึ้น เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผ่านการอบจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ทำให้มีความสามารถในการรับน้ำสูงขึ้น

จากผลของอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอที่ผสมลงในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน พบว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอมีค่าฟลักซ์สูงกว่า แต่มีค่าความสามารถในการแยกต่ำกว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน เนื่องจากการผสมซีโอไลต์โซเดียมเอลงในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานทำให้เกิดช่องว่างระหว่างวัฏภาค ซึ่งทำให้ไอของเอทานอลและน้ำผ่านช่องว่างระหว่างวัฏภาคโดยไม่เกิดกลไกการแยก และเมื่อซีโอไลต์ที่ผสมมีขนาดใหญ่ทำให้ช่องว่างระหว่างวัฏภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นแต่ค่าความสามารถในการแยกลดลง

จากผลของอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอที่ผสมลงในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผ่านการอบให้ความร้อน พบว่าเมื่อเติมซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกมีค่าสูงกว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน เนื่องจากเมื่อทำการอบให้ความร้อนเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ ทำให้ซีโอไลต์โซเดียมเอสามารถเกิดอันตรกิริยากับเยื่อเลือกผ่านไคโตซานได้ ดังนั้นช่องว่างระหว่างวัฏภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและมีอันตรกิริยากับน้ำได้ดีขึ้น และเมื่อซีโอไลต์ที่ผสมมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้น แต่ค่าความสามารถในการแยกลดลง เนื่องจากช่องว่างระหว่างวัฏภาคที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคซีโอไลต์ที่ใช้ผสมมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีพื้นที่ผิวน้อยลงทำให้เกิดอันตรกิริยากับเยื่อเลือกผ่านไคโตซานได้ไม่ดี

จากผลของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอ พบว่าในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอที่ผ่านการอบให้ความร้อน การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเอไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์ แต่มีผลต่อค่าความสามารถในการแยก เนื่องจากซีโอไลต์ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างวัฏภาคที่มีขนาดเล็กและใหญ่กระจายตัวอยู่ในเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน ซึ่งช่องว่างระหว่างวัฏภาคทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีปริมาตรใกล้เคียงกับช่องว่างระหว่างวัฏภาคทั้งหมดของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ ทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อผสมซีโอไลต์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น จึงสามารถเกิดอันตรกิริยากับเยื่อเลือกผ่านไคโตซานได้มากขึ้น ค่าความสามารถในการแยกสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาพบว่า ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีขนาดเล็กทำให้ประสิทธิภาพในการแยกของแข็ง-ของเหลวสูงขึ้น ดังนั้นควรสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาคเล็กลงน้อยกว่า 200 นาโนเมตร โดยควบคุมอุณหภูมิระหว่าง aging และเวลาในการ aging
2. ควรลองเปลี่ยนชนิดของสารเชื่อมโยงเพื่อทดสอบว่ามีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอย่างไร

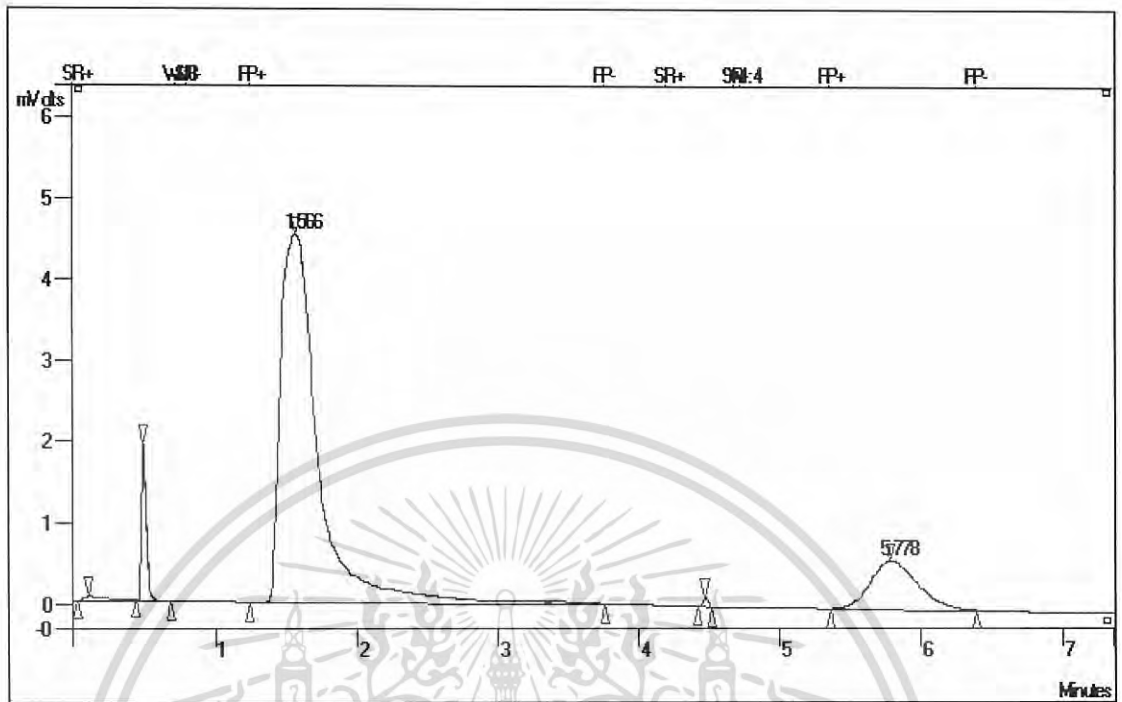


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

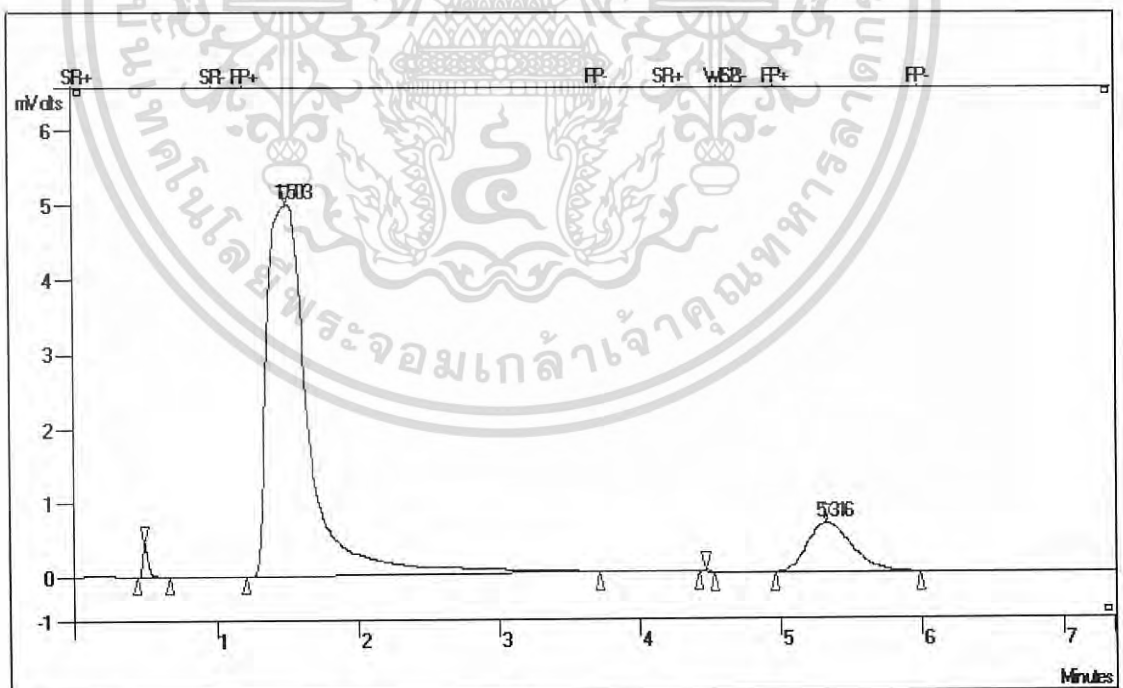


ภาคผนวก ก.  
โครมาโทแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

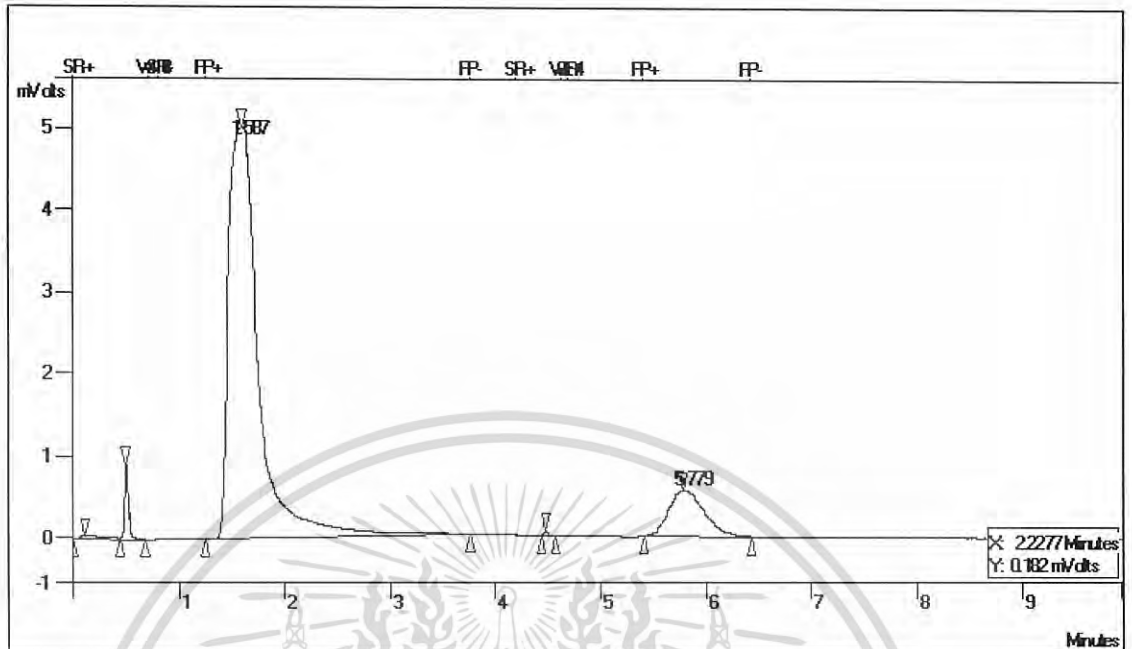


รูปที่ ก.1 โครมาโทแกรมของเชื้อเห็ดผ่านโคโตซานที่ผ่านการอบให้ความร้อน

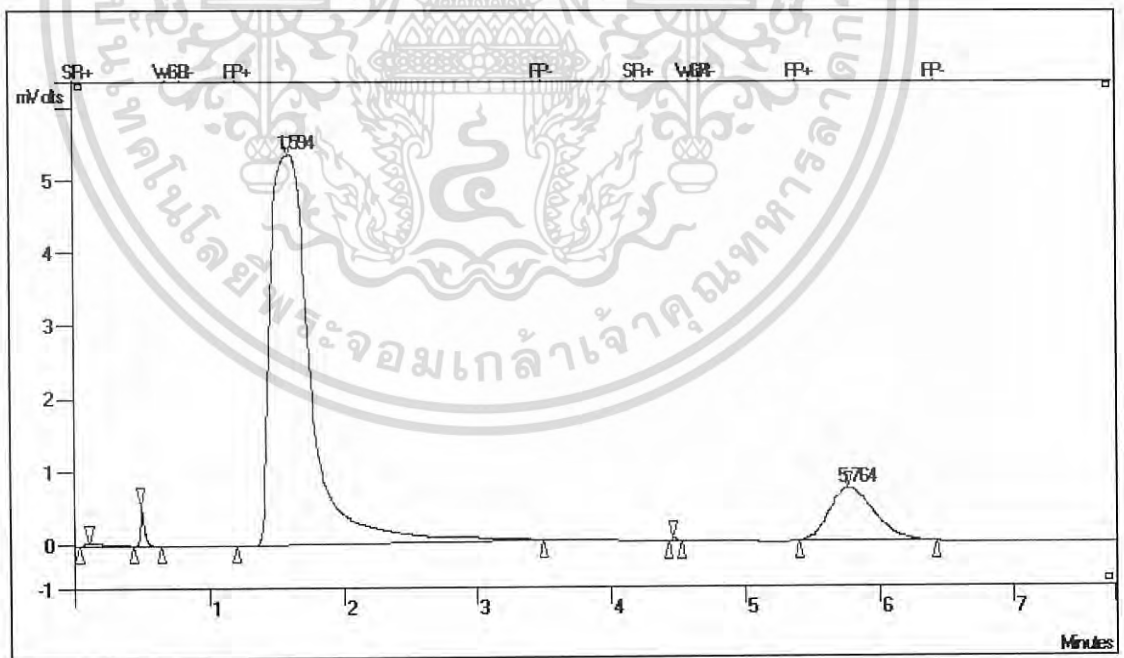


รูปที่ ก.2 โครมาโทแกรมของเชื้อเห็ดผ่านโคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบที่ผ่านการอบให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

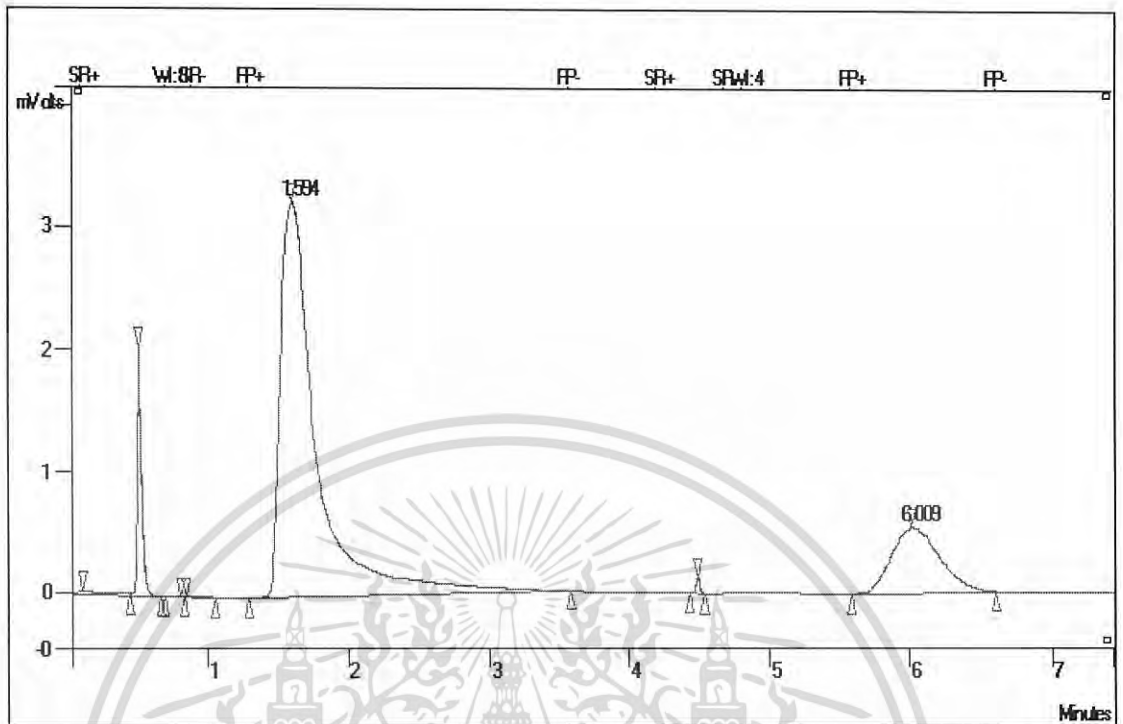


รูปที่ ก.3 โครมาโทแกรมของเชื้อเลือกโคโตซานผ่านผสมซีไอไลต์โซเดียมเมฆขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างที่ผ่านการอบให้ความร้อน

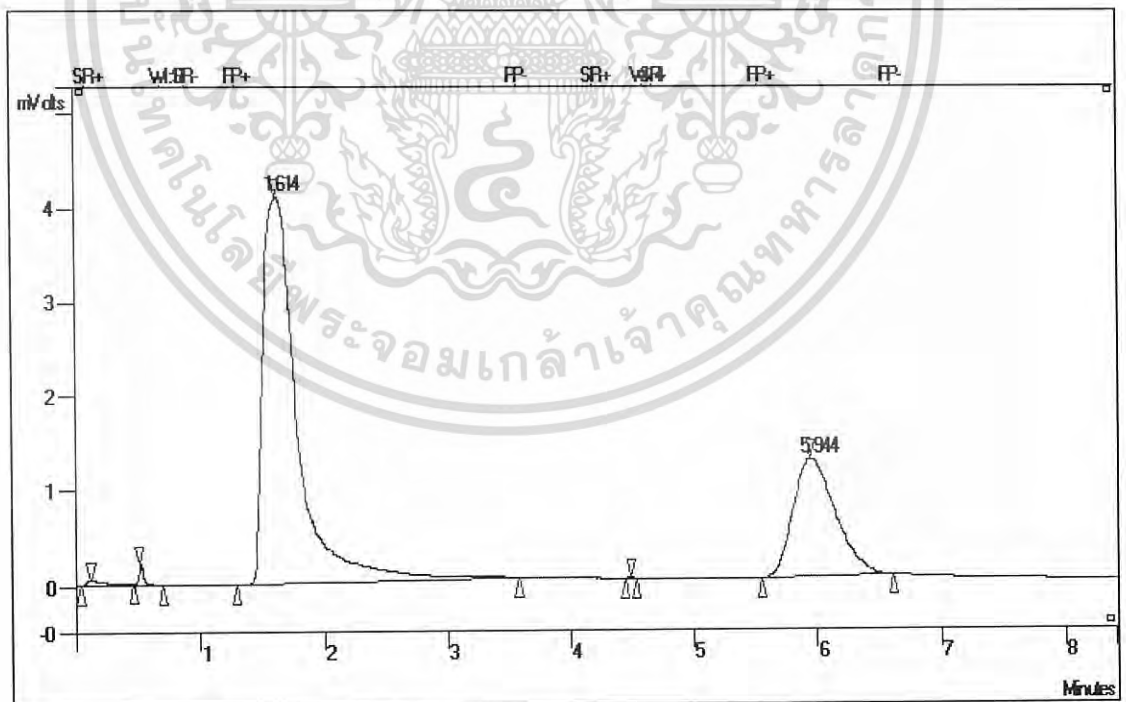


รูปที่ ก.4 โครมาโทแกรมของเชื้อเลือกโคโตซานผ่านผสมซีไอไลต์โซเดียมเมฆขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร ที่ผ่านการอบให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

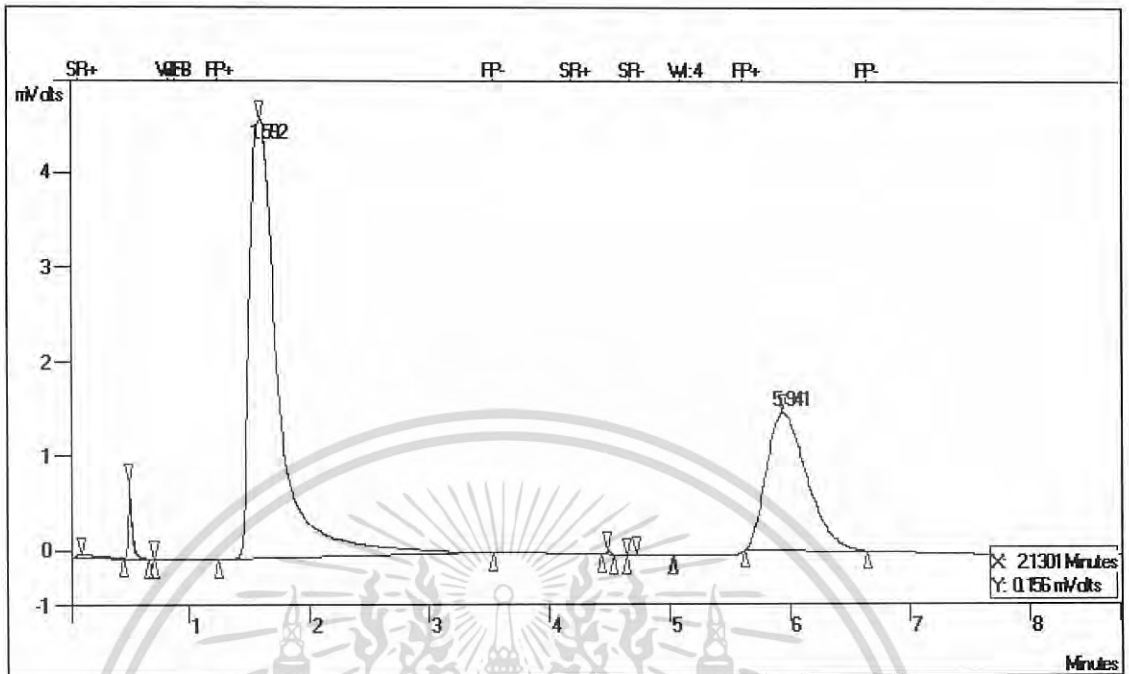


รูปที่ ก.5 โครมาโทแกรมของเชื้อเห็ดผ่านโคโคซานที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน

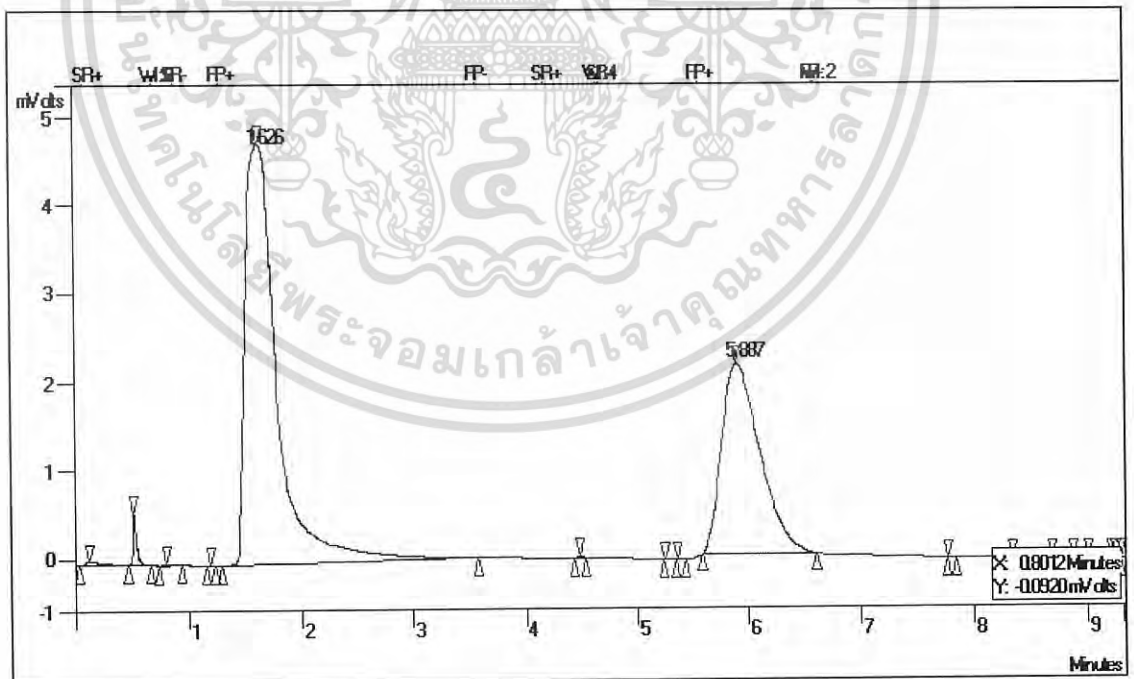


รูปที่ ก.6 โครมาโทแกรมของเชื้อเห็ดผ่านโคโคซานผสมซีโอไลต์โซเดียมขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 โครมาโทแกรมของเชื้อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอดีโซเดียมขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน



รูปที่ ก.8 โครมาโทแกรมของเชื้อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอดีโซเดียมขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร ที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

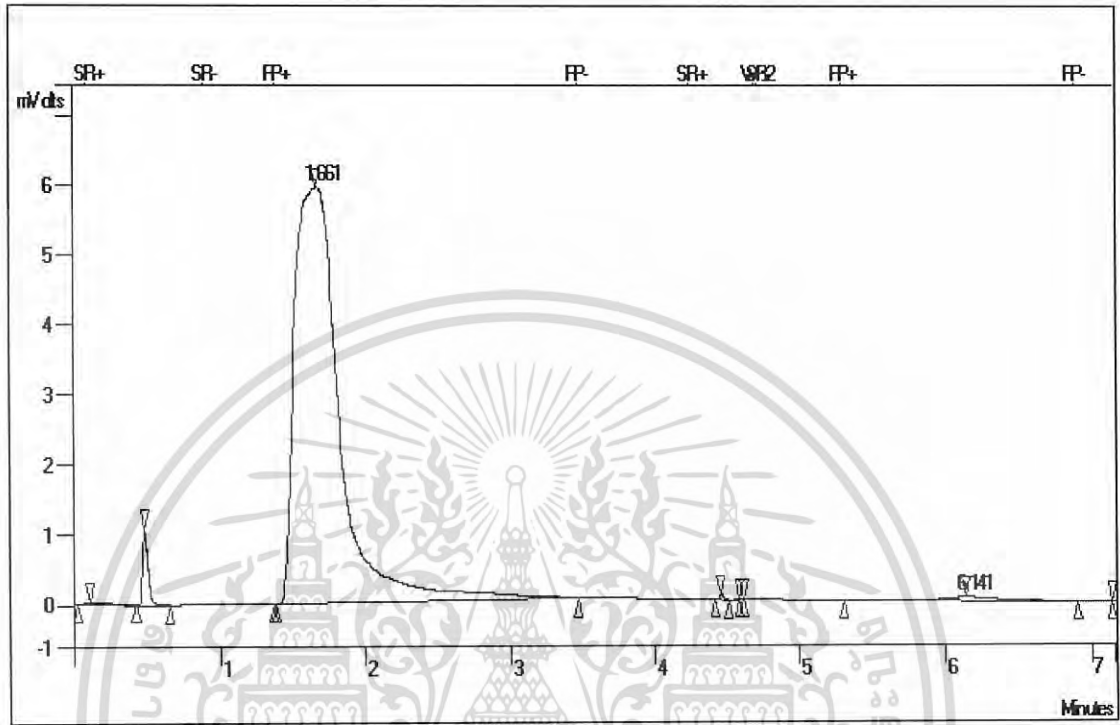


ภาคผนวก ข.

การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณหาค่า Response factor น้ำ



รูปที่ ข.1 โครมาโทแกรมของน้ำ

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลในการคำนวณและสถานะในการทดสอบ

| ข้อมูล          | ค่า           |
|-----------------|---------------|
| พื้นที่ใต้กราฟ  | 129333 Counts |
| ความดันไอ       | 3.2 kPa       |
| ความดันบรรยากาศ | 104.3976 kPa  |
| อุณหภูมิ        | 25°C          |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สูตร} \quad \text{Response factor (Rf)} = \frac{C_s}{A_s}$$

$$C_s = \frac{P_i}{P_{atm}} \times 100$$

Rf = Response factor

Cs = เปอร์เซ็นต์โดยโมลของสาร

As = พื้นที่ใต้กราฟของสาร

Pi = ความดันไอของสาร

Patm = ความดันบรรยากาศ

จากสูตร

$$C_s = \frac{3.2}{104.3976} \times 100$$

$$= 3.06 \% \text{ mol}$$

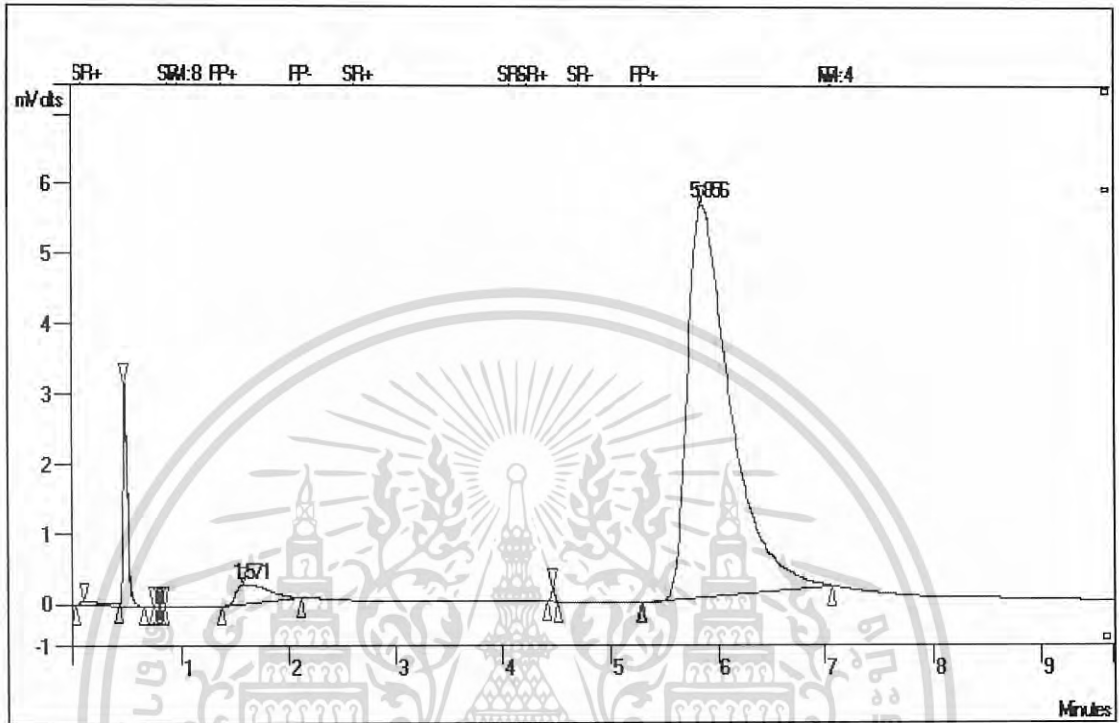
$$A_s = 129333$$

$$R_f = \frac{3.06}{129333}$$

$$R_{f_{\text{water}}} = 2.37 \times 10^{-5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณหาค่า Response factor เอทานอล



รูปที่ ข.2 โครมาโทแกรมของเอทานอล

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลในการคำนวณและสถานะในการทดสอบ

| ข้อมูล          | ค่า           |
|-----------------|---------------|
| พื้นที่ใต้กราฟ  | 159404 Counts |
| ความดันไอ       | 7.9 kPa       |
| ความดันบรรยากาศ | 104.3976 kPa  |
| อุณหภูมิ        | 25°C          |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สูตร} \quad \text{Response factor (Rf)} = \frac{C_s}{A_s}$$

$$C_s = \frac{P_i}{P_{atm}} \times 100$$

Rf = Response factor

Cs = เปอร์เซ็นต์โดยโมลของสาร

As = พื้นที่ใต้กราฟของสาร

Pi = ความดันไอของสาร

Patm = ความดันบรรยากาศ

จากสูตร

$$C_s = \frac{7.9}{104.3976} \times 100$$

$$= 7.567 \% \text{ mol}$$

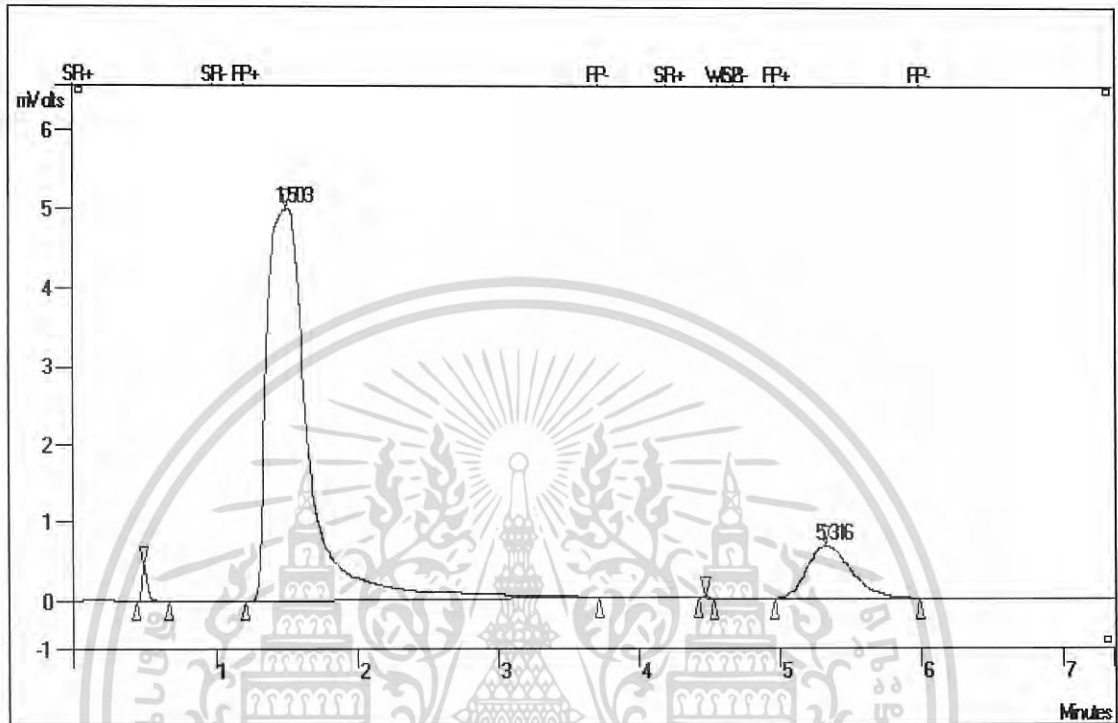
$$A_s = 159404$$

$$R_f = \frac{7.567}{159404}$$

$$R_{f_{\text{ethanol}}} = 4.747 \times 10^{-5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณค่าฟลักซ์ (Flux) และค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)



รูปที่ ข.3 โครมาโทแกรมของน้ำและเอทานอลเมื่อใช้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอชขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตรที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบที่ผ่านการอบให้ความร้อน

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลในการคำนวณและสถานะในการทดสอบ

| ข้อมูล                          | ค่า                 |
|---------------------------------|---------------------|
| พื้นที่ใต้กราฟของน้ำ            | 101944 Counts       |
| พื้นที่ใต้กราฟของเอทานอล        | 14289 Counts        |
| อัตราการไหลของซีเลียม           | 80.16 ml/min        |
| ความดัน                         | 1.303 atm           |
| อุณหภูมิ                        | 300 K               |
| พื้นที่หน้าตัดของเยื่อเลือกผ่าน | 1.8 cm <sup>2</sup> |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ค่าฟลักซ์ (Flux)

$$Rf = \frac{Cs}{As}$$

$$Cs = Rs \times As$$

Rf = Response factor

Cs = เปอร์เซ็นต์โดยโมลของสาร

As = พื้นที่ใต้กราฟของสาร

น้ำ

จากสูตร

$$C_{\text{water}} = A_{\text{water}} \times Rf_{\text{water}}$$

$$= 101944 \times 2.37 \times 10^{-5}$$

$$= 2.416 \% \text{ mol}$$

เอทานอล

จากสูตร

$$C_{\text{ethanol}} = A_{\text{ethanol}} \times Rf_{\text{ethanol}}$$

$$= 14289 \times 4.747 \times 10^{-5}$$

$$= 0.6783 \% \text{ mol}$$

$$C_t = C_{\text{water}} + C_{\text{ethanol}}$$

$$= 2.416 + 0.6783$$

$$= 3.0943 \% \text{ mol}$$

$$C_{\text{hc}} = \frac{80.16}{81.934} \times 100$$

$$= 97.8348 \% \text{ mol}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์โดยโมล 97.8348 % mol คิดเป็นอัตราการไหล 80.16 ml/min

$$\text{เปอร์เซ็นต์โดยโมลของน้ำ } 2.416 \% \text{ mol } \text{ คิดเป็นอัตราการไหล } = \frac{80.16}{97.8348} \times 2.416$$

$$\text{อัตราการไหลของน้ำ} = 1.9795 \text{ ml/min}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โดยโมลของเอทานอล } 0.6783 \% \text{ mol } \text{ คิดเป็นอัตราการไหล } \frac{80.16}{97.8348} \times 0.6783$$

$$\text{อัตราการไหลของเอทานอล} = 0.5558 \text{ ml/min}$$

สูตร

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$P = \text{ความดัน}$$

$$V = \text{ปริมาตร}$$

$$n = \text{โมล}$$

$$R = \text{ค่าคงที่ของก๊าซ}$$

$$T = \text{อุณหภูมิสัมบูรณ์}$$

น้ำ

สูตร

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{1.0303 \times (1.9795 \times 10^{-3})}{0.082 \times 300}$$

$$= 8.2906 \times 10^{-5} \text{ mol/min}$$

$$= 4.974 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$$

$$= 0.0895 \text{ g/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอทานอล

$$\begin{aligned}
 \text{สูตร} \quad n &= \frac{PV}{RT} \\
 &= \frac{1.0303 \times (0.5558 \times 10^{-3})}{0.082 \times 300} \\
 &= 2.3278 \times 10^{-5} \text{ mol/min} \\
 &= 1.3967 \times 10^{-3} \text{ mol/min} \\
 &= 0.0642 \text{ g/hr}
 \end{aligned}$$

ค่าฟลักซ์ (Flux)

$$\text{Flux} = \frac{\text{อัตราการไหล}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของเยื่อเลือกผ่าน}}$$

$$\text{Flux}_{\text{water}} = \frac{0.0895 \times 10000}{1.8}$$

$$= 497.222 \text{ g/hr.m}^2$$

$$\text{Flux}_{\text{ethanol}} = \frac{0.0642 \times 10000}{1.8}$$

$$= 356.667 \text{ g/hr.m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)

$$\text{สูตร Separation factor } (\alpha) = \frac{Y_{Water} / Y_{Ethanol}}{X_{Water} / X_{Ethanol}}$$

$$\begin{aligned} Y_{water} &= \text{สัดส่วน โมลของน้ำในเฟอรัมิเอต} \\ Y_{ethanol} &= \text{สัดส่วน โมลของเอทานอลในเฟอรัมิเอต} \\ X_{water} &= \text{สัดส่วน โมลของน้ำในสารป้อน} \\ X_{ethanol} &= \text{สัดส่วน โมลของเอทานอลในสารป้อน} \end{aligned}$$

สารละลายเอทานอล 95% v/v คิดเป็น 85.4356 %mol

$$\therefore \text{ประกอบด้วยเอทานอล} = 85.4356 \text{ mol}$$

$$\therefore \text{ประกอบด้วยน้ำ} = 100 - 85.4356 = 14.5644 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร Separation factor } (\alpha) &= \frac{Y_{Water} / Y_{Ethanol}}{X_{Water} / X_{Ethanol}} \\ &= \frac{2.416 / 0.6783}{14.5644 / 85.4356} \\ &= 20.8939 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.1** ข้อมูลจากการคำนวณของเชื้อเพลิงผ่านเตาโตซานผสมซีโอโลต์โซเดียมขนาดอนุภาค 300A 300B และ 800 นาโนเมตร ปริมาณ 10 phr ที่ผ่านการอบให้ความร้อน

| เตาโตซาน | Area(Counts) |         | น้ำหนัก | น้ำหนัก  | น้ำหนัก  | ฟลักซ์(g/hr.m <sup>2</sup> ) |     |
|----------|--------------|---------|---------|----------|----------|------------------------------|-----|
|          | น้ำหนัก      | เอทานอล |         |          |          | เอทานอล                      | รวม |
| CG       | 84230        | 13561   | 18.1907 | 412.1234 | 345.3464 | 757.4698                     |     |
|          | 83971        | 13799   | 17.8220 | 417.7691 | 351.4073 | 769.1764                     |     |
|          | 84789        | 14026   | 17.7044 | 421.8388 | 357.1881 | 779.0269                     |     |
|          | 84555        | 13621   | 18.1805 | 421.8340 | 347.8304 | 769.6644                     |     |
|          | 85734        | 13823   | 18.1646 | 427.7159 | 352.9887 | 780.7047                     |     |
|          | 84305        | 13852   | 17.9811 | 420.5868 | 353.7293 | 774.3161                     |     |
|          | 101944       | 14289   | 20.8947 | 497.4552 | 356.9032 | 854.3584                     |     |
|          | 96931        | 13952   | 20.3471 | 472.9934 | 348.4858 | 821.4792                     |     |
|          | 104589       | 14245   | 21.5030 | 510.3620 | 355.8042 | 866.1662                     |     |
|          | 102185       | 14244   | 21.0102 | 498.5582 | 355.7271 | 854.2853                     |     |
| CGZ 300A | 100662       | 14185   | 20.7832 | 491.1275 | 354.2536 | 845.3811                     |     |
|          | 98531        | 13925   | 20.7230 | 480.7304 | 347.7604 | 828.0268                     |     |

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลจากการคำนวณของเยื่อเลือกผ่าน โคลิดซานผสมซีไอ โคลิดโซเดียมเอชขนาดอนุภาค 300A 300B และ 800 นาโนเมตร ปริมาณ 10 phr ที่ผ่านการอบให้ความร้อน

| โคลิดซาน | Area(Counts) |         | α <sup>น้ำ</sup> | น้ำ      | ฟลักซ์(g/hr.m <sup>2</sup> ) |          |
|----------|--------------|---------|------------------|----------|------------------------------|----------|
|          | น้ำ          | เอทานอล |                  |          | เอทานอล                      | รวม      |
| CGZ 300B | 100341       | 13185   | 22.2881          | 492.9662 | 337.1488                     | 830.1150 |
|          | 102153       | 13155   | 22.7424          | 510.3127 | 336.3817                     | 846.6944 |
|          | 97325        | 12849   | 22.1835          | 486.1941 | 328.5571                     | 814.7512 |
|          | 100201       | 12650   | 23.1983          | 501.5219 | 324.0892                     | 825.6111 |
|          | 95876        | 12605   | 22.2763          | 479.8746 | 322.9363                     | 802.8109 |
| CGZ 800  | 94511        | 12573   | 22.0150          | 473.0425 | 322.1165                     | 795.1590 |
|          | 111187       | 16635   | 19.5752          | 547.6752 | 426.4760                     | 974.1512 |
|          | 111353       | 16464   | 19.8081          | 557.7217 | 422.0920                     | 979.8137 |
|          | 112680       | 16803   | 19.6397          | 564.3681 | 430.7831                     | 995.1512 |
|          | 111128       | 16603   | 19.6294          | 556.6693 | 425.1311                     | 981.8004 |
|          | 111096       | 16974   | 19.1686          | 555.7488 | 434.6308                     | 990.3796 |
|          | 113498       | 16749   | 19.8461          | 567.7646 | 428.8696                     | 996.6342 |

**ตารางที่ ข.2** ข้อมูลจากการคำนวณของเชื้อเพลิงผ่านไคโตซานผสมซีโอโลไลท์ซึ่งเตรียมเองขนาดอนุภาค 300A 300B และ 800 นาโนเมตร ปริมาณ 10 phr ที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน

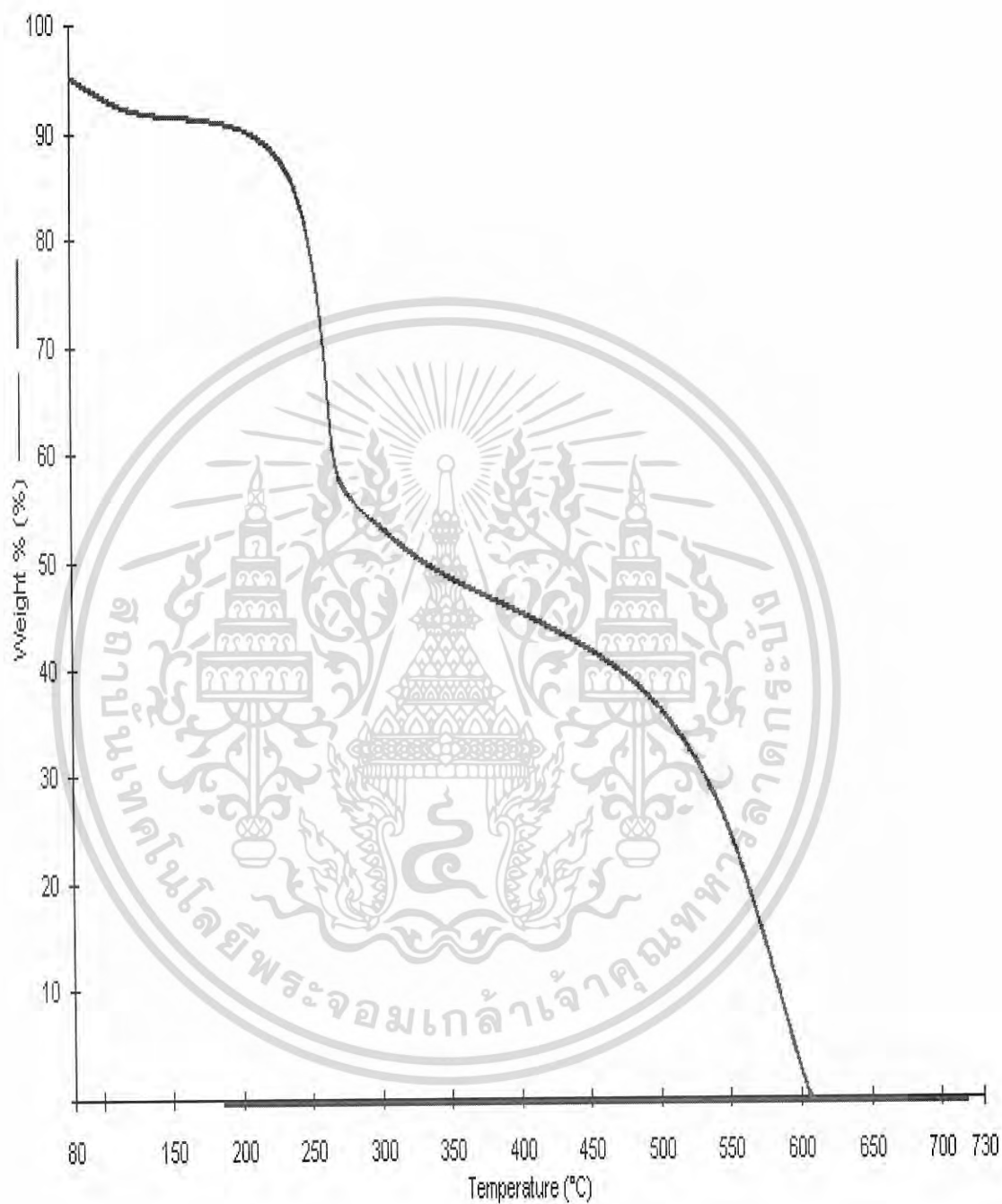
| ไคโตซาน  | Area(Counts) |         | α <sub>น้ำ</sub> | น้ำ      | ฟลักซ์(g/hr.m <sup>2</sup> ) |           |
|----------|--------------|---------|------------------|----------|------------------------------|-----------|
|          | น้ำ          | เอทานอล |                  |          | เอทานอล                      | รวม       |
| CG       | 58023        | 12809   | 13.2666          | 285.4050 | 327.9287                     | 613.3337  |
|          | 58706        | 12798   | 13.4343          | 293.6233 | 327.6471                     | 621.2704  |
|          | 58700        | 12513   | 13.5985          | 290.5923 | 320.3507                     | 610.9430  |
|          | 57019        | 12278   | 13.6009          | 285.3813 | 314.5501                     | 599.9314  |
|          | 57176        | 12421   | 13.4813          | 286.1671 | 318.2136                     | 604.9807  |
| CGZ 300A | 57451        | 13097   | 12.8470          | 287.5435 | 335.5321                     | 623.0756  |
|          | 79073        | 30062   | 7.7035           | 389.6419 | 771.0064                     | 1160.6483 |
|          | 78416        | 29580   | 7.7639           | 392.9059 | 758.6445                     | 1151.5504 |
|          | 77638        | 29187   | 7.7904           | 389.0077 | 748.5651                     | 1137.5728 |
|          | 76432        | 28454   | 7.8670           | 382.7542 | 729.3639                     | 1112.1181 |
|          | 77948        | 29769   | 7.9352           | 390.3460 | 737.4384                     | 1127.7844 |
|          | 78537        | 28795   | 7.9879           | 393.2956 | 738.1048                     | 1131.4004 |

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลจากการคำนวณของเชื้อเพลิงผ่านโคโตซานผสมซีโอโลต์โซเดียมขนาดอนุภาค 300A 300B และ 800 นาโนเมตร ปริมาณ 10 phr ที่ไม่ผ่านการอบให้ความร้อน

| โคโตซาน  | Area(Counts) |         | α <sup>น้ำ</sup> | น้ำ      | ฟลักซ์(g/hr.m <sup>2</sup> ) |           |
|----------|--------------|---------|------------------|----------|------------------------------|-----------|
|          | น้ำ          | เอทานอล |                  |          | เอทานอล                      | รวม       |
| CGZ 300B | 78116        | 34038   | 6.7213           | 386.1463 | 875.7470                     | 1261.8933 |
|          | 78826        | 34536   | 6.6846           | 389.6560 | 888.5598                     | 1278.2158 |
|          | 78559        | 33273   | 6.9148           | 388.3362 | 856.0647                     | 1244.4009 |
|          | 78836        | 34169   | 6.7572           | 389.7054 | 879.1174                     | 1268.8228 |
|          | 78461        | 34422   | 6.6756           | 387.8517 | 885.6267                     | 1273.4784 |
|          | 78297        | 33948   | 6.7547           | 387.0410 | 873.4314                     | 1260.4724 |
| CGZ 800  | 94402        | 51249   | 5.3948           | 465.3049 | 1314.754                     | 1780.0589 |
|          | 96658        | 48987   | 5.7787           | 484.4408 | 1256.724                     | 1741.1648 |
|          | 99073        | 49000   | 5.9215           | 496.5446 | 1257.058                     | 1753.6026 |
|          | 101742       | 52446   | 5.7175           | 510.1093 | 1337.489                     | 1847.5983 |
|          | 102252       | 52035   | 5.7551           | 512.6663 | 1335.410                     | 1848.0763 |
|          | 101677       | 51161   | 5.8205           | 509.7834 | 1312.980                     | 1822.7634 |

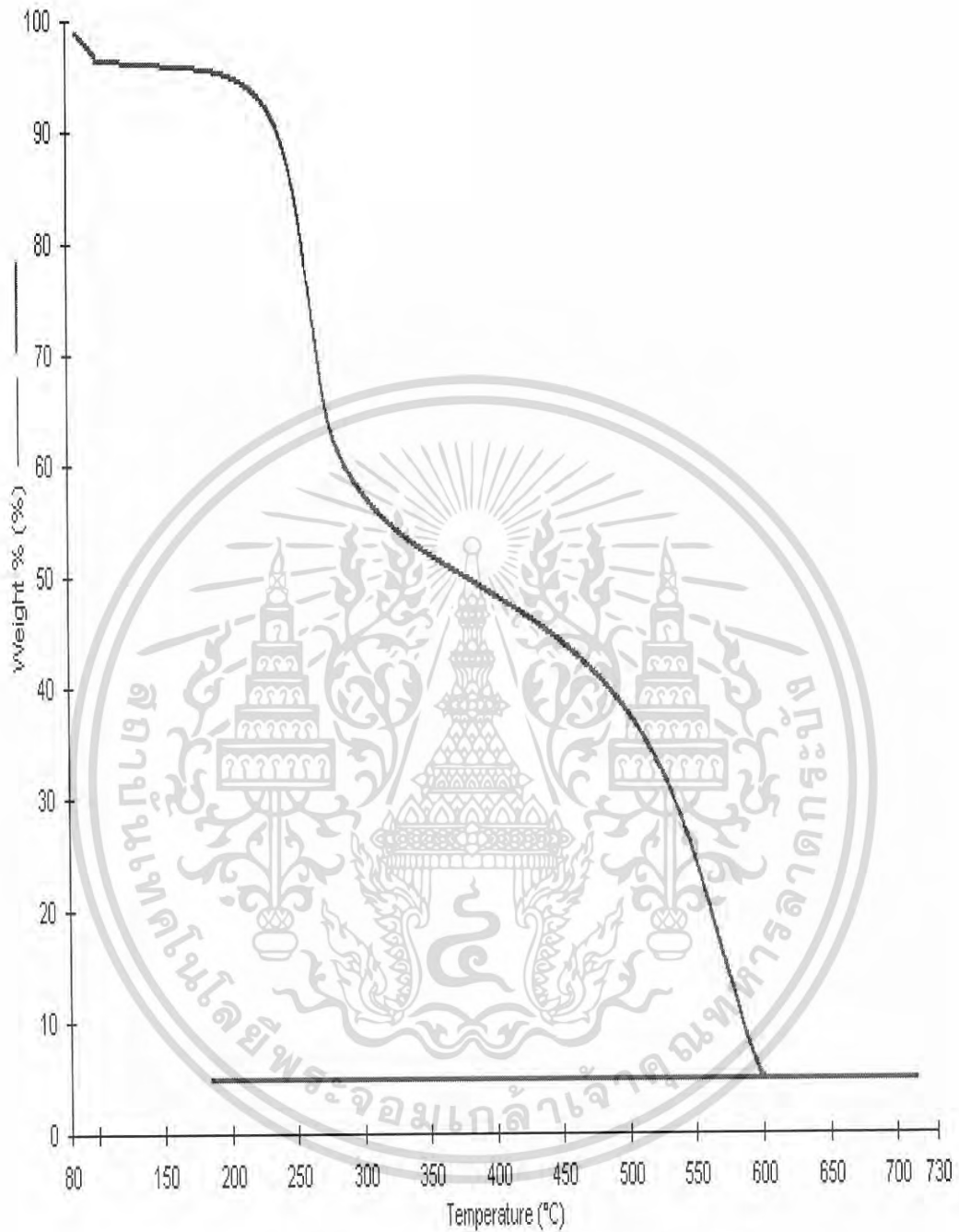


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



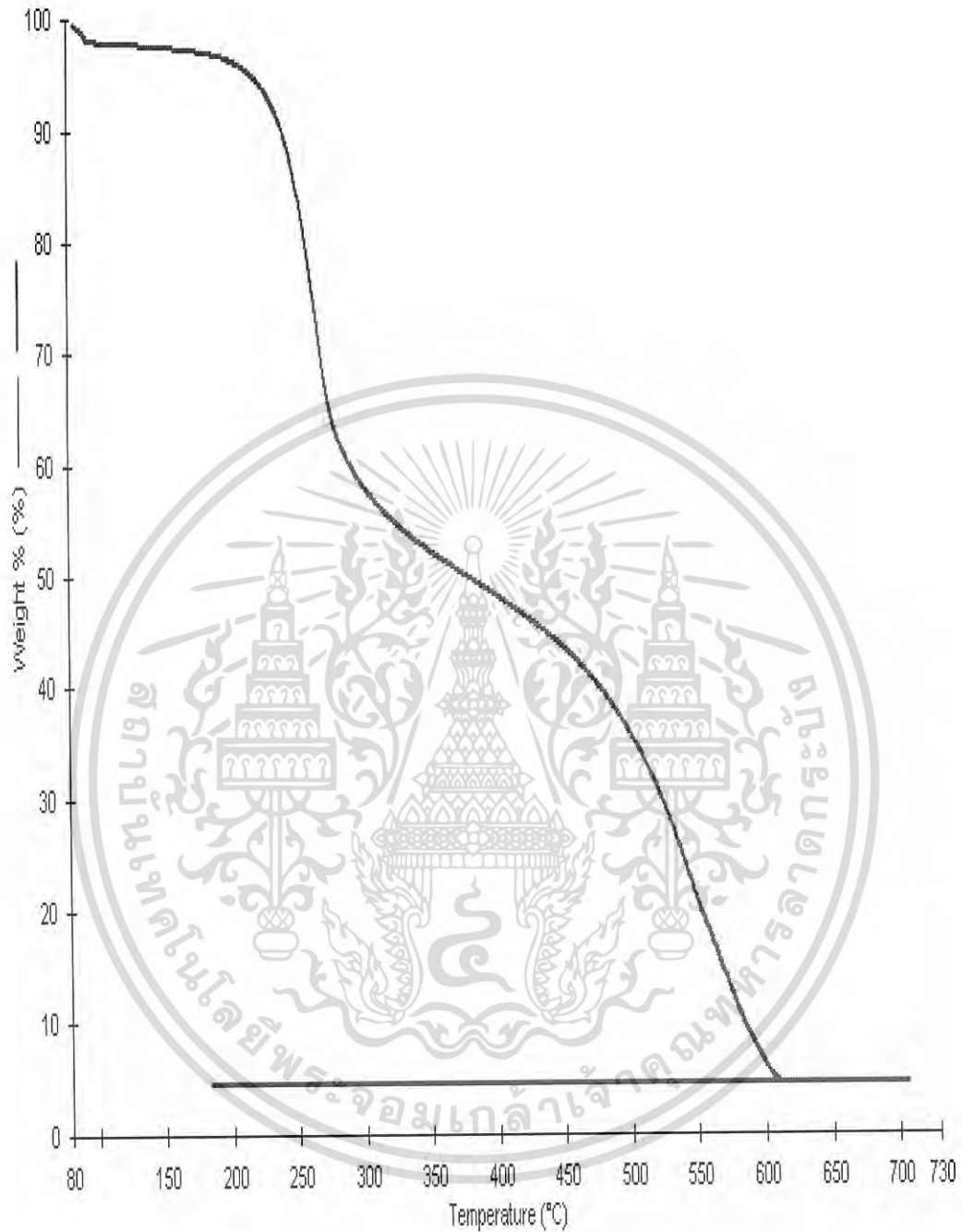
รูปที่ ค.1 TGA เทอร์โมแกรมของเชื้อเห็ดอกผ่าน ไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



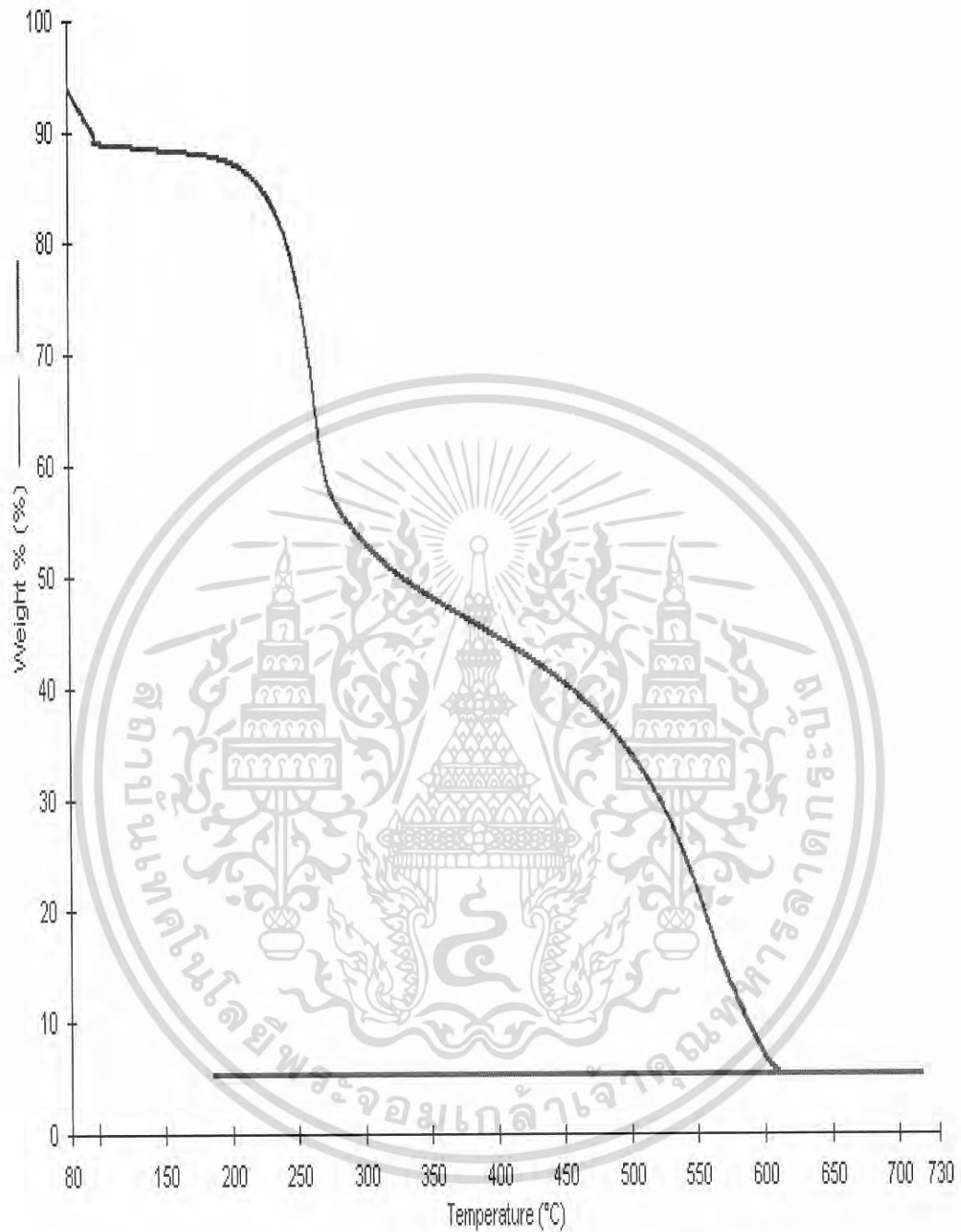
รูปที่ ค.2 TGA เทอร์โมแกรมของเยื่อเลือกผ่าน โคลโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอชขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตรที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 TGA เทอร์โมแกรมของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโพลไคโซเดียมขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 TGA เทอร์โมแกรมของเยื่อเลือกผ่านโพลีเอไมด์ชนิดโซลิดโซเดียมเอชขนาดอนุภาค 800 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] พงษ์ศักดิ์ สิริสรชัย, สุธี เตตติวงศ์ และสุรภาส สิทธิสา. 2547. การปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านไคโตซานสำหรับการแยกน้ำออกจากเอทานอล. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] ชันทอง สุนทรภา. 2547. เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 2-19.
- [3] R.W.Baker. **Membrane Technology and Applications**. John Wiley & sons. 1-14.
- [4] [http://www.gewater.com/library/tp/1159\\_produced\\_Water.jsp](http://www.gewater.com/library/tp/1159_produced_Water.jsp)
- [5] ภาวดี เมธะคานนท์, อศิรา เฟื่องฟูชาติ และก้องเกียรติ คงสุวรรณ. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. หน้า 1-7.
- [6] <http://www.kitosato-u.ac.jp/131/chitin/chitin.html>
- [7] <http://www.chemistry.ohio-state.edu/structures.htm>
- [8] <http://sogang.ac.kr/~zeolite/egall2.htm>
- [9] <http://zeolites.ethz.ch/cgi.-bin/collection1.py>
- [10] Y.M. Lee, S.Y. Num and D.J. Woo. 1997. Pervaporation of Ionically Surface Crosslinked Chitosan Composite Membrane for Water-alcohol Mixtures. **Journal of Membrane Science**. 133: 103-110.
- [11] X.P. Wang, Z.Q. Shen and F.Y. Zhang. 1996. A Novel Composite Chitosan Membrane for the Separation of Alcohol Mixtures. **Journal of Membrane Science**. 119: 191-198.
- [12] J.H. Kim, J.Y. Kim, Y.M. Lee and K.Y. Kim. 1992. Properties and Swelling Characteristics of cross-linked Poly(vinyl alcohol)/Chitosan Blend Membrane. **Journal of Applied Polymer Science**. 45: 1711-17.
- [13] T. Uragami, Y. Tanaka and S. Nishida. 2002. Permeation and Separation Under High Temperature and High Pressure for Ethanol/water Vapors Through Cross-linked Quaternized Chitosan Composite Membrane. **Desalination**. 147: 449-454.
- [14] G. Qunhui, H. Ohya and Y. Negishi. 1995. Investigation of the Permselectivity of Chitosan Membrane used in Pervaporation Separation II. Influences of temperature and member thickness. **Journal of Membrane Science**. 98: 223-232.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] A.A. Kittur, S.S. Kulkarni, M.I. Aralaguppi and M.Y. Kariduraganavar. 2005. Preparation and Characterization of Novel Pervaporation Membranes for the Separation of Water-isopropanol Mixtures Using Chitosan and NaY Zeolite. **Journal of Membrane Science**. 247: 75-86.
- [16] S.B. Tantekin-Ersolmaz. 2000. Effect of Zeolite Particle Size on The Performance of Polymer-zeolite Mixed Matrix Membranes. **Journal of Membrane Science**. 175: 285-288.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้