

# การเตรียมซีโอไลต์ชนิดเอบนตัวรองรับอะลูมินาเมมเบรน เพื่อแยกเอทานอล-น้ำ

## Preparation of A-type zeolite coated alumina membrane for separation of ethanol-water mixture

ปรมิินทร์ ขวัญนอน พรวรรค์ อัสวแสงรัตน์\* ดวงกมล ณ ระนอง

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

\*email address: kkporns@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ทำการเตรียมซีโอไลต์ชนิดเอบนตัวรองรับอะลูมินาเพื่อแยกเอทานอล-น้ำ ซีโอไลต์ชนิดเอสังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ซึ่งได้แก่ เวลาในการตกผลึกและอัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินา จากการทดลองพบว่าเวลาในการตกผลึกที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 ชั่วโมง และอัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 อนุภาคของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 685 nm จากนั้นนำซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้เคลือบลงบนตัวรองรับอะลูมินาเมมเบรนพบว่าเมมเบรนมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 90.98  $\mu\text{m}$  ทดสอบประสิทธิภาพของเมมเบรนด้วยการแยกเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการเพอร์เวปอเรชันที่ความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อนเท่ากับ 80, 90 และ 95 wt.% และอุณหภูมิของสารละลายป้อนเท่ากับ 78, 80 และ 85 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมมเบรนที่เตรียมได้มีค่าการแยกเท่ากับ 863 และค่าฟลักซ์ของน้ำเท่ากับ 2.56  $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$  เมื่อนำไปใช้แยกสารละลายที่มีความเข้มข้นของน้ำ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

### Abstract

The aim of this research is to prepare A-type zeolite membrane on tubular alumina support for the separation of ethanol-water mixture. A-type zeolite was synthesized at 100°C. The parameters affecting the synthesis process namely, crystallization time and silica to alumina ratio were studied. The result showed that optimal crystallization time and silica to alumina ratio were 4 hours and 1, respectively. Average size of the crystals was 685 nm. The appropriate amount of the synthesized zeolite coated on alumina support an average thickness was about 90.98  $\mu\text{m}$ . The membranes were tested for the separation ethanol-water mixtures by pervaporation at concentrations in the feed solution of 80, 90 and 95 wt.% and feed temperatures at 78, 80 and 85 °C. The experimental results showed that the obtained A-type zeolite coated alumina membrane had the separation factor of 863 and the water flux was 2.56  $\text{kg/m}^2 \text{h}$  when the feed solution of 5 wt% water was separated at 85 °C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การสังเคราะห์ซีโอไลต์เมมเบรนเป็นที่สนใจอย่างแพร่หลาย และมีการนำซีโอไลต์เมมเบรนไปใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติทางโครงสร้างที่ดี คือ มีรูพรุนขนาดเล็ก มีความเสถียรทางความร้อนที่ดี และมีความแข็งแรงเชิงกลสูง ซีโอไลต์เมมเบรนมีหลายชนิด เช่น MFI, LTA-type, และ FAU-type การเตรียมซีโอไลต์เมมเบรนจะแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวรองรับที่ใช้ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  หรือ  $\text{ZrO}_2$ ) วิธีการสังเคราะห์มีอยู่หลายวิธี เช่น insitu hydrothermal synthesis [1] และ secondary growth [2] เป็นต้น ซีโอไลต์เมมเบรนมีความสามารถในการแยกของผสมที่แยกออกจากกันยากด้วยวิธีแบบเดิม เช่น การกลั่น และการแยก

กระบวนการเพอร์แวกพอเรชันเป็นกระบวนการแยกสารละลายผ่านเมมเบรน โดยสารที่แพร่ผ่านเมมเบรนจะอยู่ในสภาพของไอ ซึ่งเกิดขึ้นได้เพราะความดันขาออกมีค่าต่ำกว่าความดันไออิ่มตัวของสารที่แพร่ผ่านเมมเบรน การแยกเกิดขึ้นได้เนื่องจากองค์ประกอบต่างชนิดกันในสารละลายมีความสามารถในการละลายและการแพร่ผ่านเมมเบรนไม่เท่ากันหรือกล่าวได้ว่ามีผลต่างของศักย์ภาพเคมีเป็นแรงขับเคลื่อนเนื่องจากกระบวนการนี้มีความได้เปรียบทั้งในแง่เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมกว่าคือประหยัดพลังงานสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้องหรือที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักและ ไม่ต้องใช้สารเคมี จึงไม่มีปัญหาการปนเปื้อนและไม่มีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม[3]

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมซีโอไลต์ชนิดเอบนตัวรองรับอะลูมินาเมมเบรนเพื่อแยกเอทานอล-น้ำ พร้อมทั้งศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อกระบวนการเตรียมซึ่งได้แก่ เวลาที่ใช้ในการตกผลึกและอัตราส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา และศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำ โดยกระบวนการเพอร์แวกพอเรชัน ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายป้อน

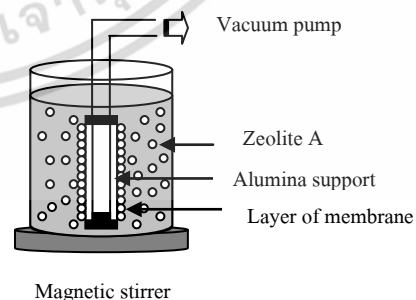
## 2. การทดลอง

### 2.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดเอ

ซีโอไลต์เอเตรียมจากวิธีของ Thompson และ Franklin [4] สารละลายมีประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.723 กรัม (Merck, Germany) โซเดียมอะลูมิเนต 8.258 กรัม (Wako, Japan) โซเดียมเมตาซิลิเกต 15.48 กรัม (Aldrich, US) น้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร สังเคราะห์ในขวดโพลีโพรพิลีน ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

จากนั้นนำซีโอไลต์ชนิดเอเคลือบลงบนตัวรองรับอะลูมินาแบบท่อ (ผลิตโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ) ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 11 มิลลิเมตร ยาว 4 เซนติเมตร มีพื้นที่ผิว  $2.073 \times 10^{-4}$  ตารางเมตร ความเป็นรูพรุนของตัวรองรับมีค่าประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนมีค่าประมาณ 0.4 ไมโครเมตร

ผสมซีโอไลต์เอ 0.05 กรัม กับน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ปั่นกวนให้เข้ากันแล้วจุ่มตัวรองรับอะลูมินาที่ต่ออยู่กับชุดปั๊มสุญญากาศลงในบีกเกอร์สารละลาย โดยใช้ความดันแตกต่างเท่ากับ  $0.5 \times 10^2$  kPa เวลาที่ใช้ในการเคลือบ 2 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 1 นำเมมเบรนที่ได้บรรจุลงใน Autoclave อัดความดัน 3 บาร์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเมมเบรนที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 546 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง



รูปที่ 1 ชุดเคลือบซีโอไลต์ชนิดเอลงบนตัวรองรับ อะลูมินา

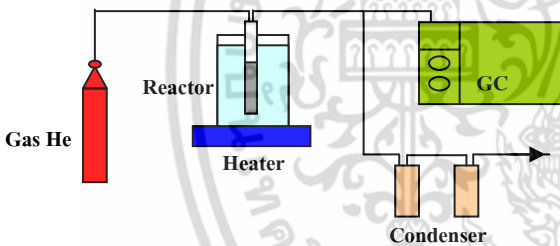
ลักษณะของอนุภาคและพื้นผิวของเมมเบรนซีโอไลต์ชนิดเอที่สังเคราะห์ได้จะถูกวิเคราะห์ด้วยกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) และชนิดและโครงสร้างผลึกของเมมเบรนซีโอไลต์ชนิดเอจะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงด้วยรังสีเอ็กซ์(X-ray diffraction ,XRD)

**2.2 การแยกเอทานอล-น้ำ**

รูปที่ 2 แสดงแผนภูมิของเครื่องมือที่ใช้ทำการทดลอง สารละลายเอทานอล-น้ำจะถูกป้อนเข้าสู่รีแอกเตอร์ และถูกทำให้กลายเป็นไอโดยการให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อน ไอของสารละลายที่แพร่ผ่านเมมเบรน (เพอร์มิเอท) จะถูกพาให้เคลื่อนที่ออกจากรีแอกเตอร์ด้วยแก๊สฮีเลียมไปยังชุดควบแน่นที่อุณหภูมิควบแน่น 0 °C สารละลายเพอร์มิเอทและสารละลายป้อน(รีเทนเทท)จะถูกนำไปซึ่งน้ำหนักและวิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำและเอทานอลด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟ (Gas Chromatograph series 600: Gow Mac) ที่มีตัวตรวจวัดชนิดการนำความร้อน (TCD)



รูปที่ 2 ชุดแยกเอทานอล-น้ำ

คำนวณหาค่าฟลักซ์ ตามสมการที่ 1

$$J = \frac{W}{A \cdot t} \tag{1}$$

และคำนวณหาค่าการแยกตามสมการที่ 2

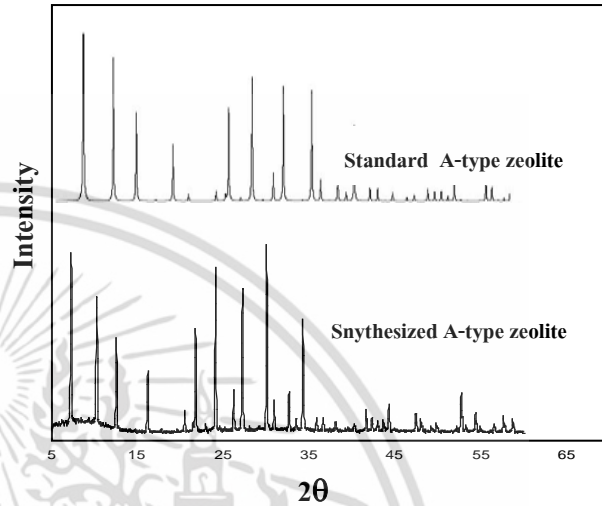
$$\alpha_{water / ethanol} = \frac{[y_{water} / y_{ethanol}]_P}{[x_{water} / x_{ethanol}]_f} \tag{2}$$

**3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล**

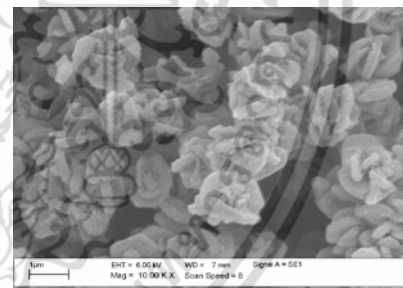
**3.1 ผลการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดเอ**

วิเคราะห์ความเป็นผลึกของซีโอไลต์เอที่เตรียมได้ด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่า ซีโอไลต์ที่เตรียมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เกิดพีคที่ตำแหน่ง 2θ เมื่อเทียบกับค่าตำแหน่งมาตรฐานของความเป็นผลึกซีโอไลต์ชนิดเอ พบว่าพีคที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับค่าตำแหน่งมาตรฐานของความเป็นผลึกซีโอไลต์ชนิดเอ แสดงว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้เป็นซีโอไลต์ชนิดเอ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 XRD ของซีโอไลต์เอที่สังเคราะห์ ภายใต้สภาวะ อุณหภูมิคงที่ 100 °C เวลา 4 ชั่วโมง ที่อัตราส่วน Si/Al เท่ากับ 1

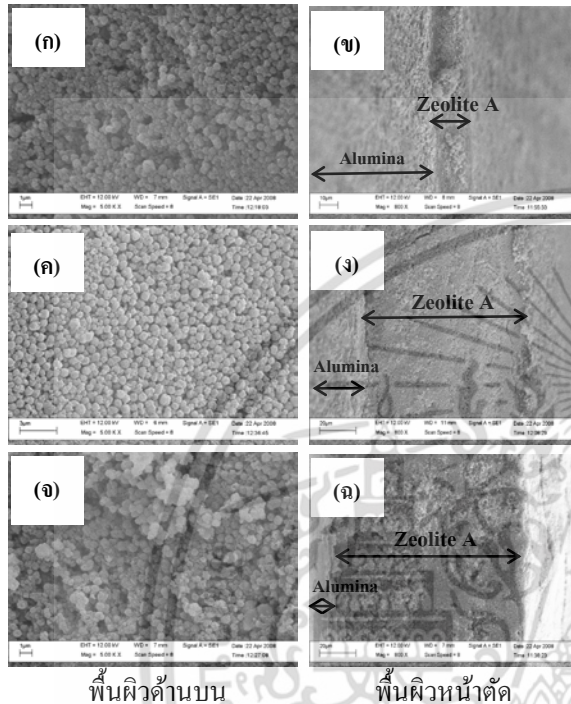


รูปที่ 4 ภาพถ่ายจาก SEM ของซีโอไลต์ชนิดเอ ที่สังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ 100 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อัตราส่วน Si/Al เท่ากับ 1

วิเคราะห์ลักษณะสัญญาณของซีโอไลต์เอด้วยเครื่อง SEM พบว่าอนุภาคมีลักษณะกลมคล้ายลูกตะกร้อ และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 685 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 5 วิเคราะห์ลักษณะสัญญาณของตัวรองรับอะลูมินาที่ถูกเคลือบด้วยซีโอไลต์ชนิดเอด้วย SEM พบว่า ตัวรองรับอะลูมินาที่ถูกเคลือบด้วยซีโอไลต์ชนิดเอ ปริมาณ 96 กรัม/ตารางเซนติเมตร ผิวด้านบนของตัว

รองรับอะลูมินาถูกเคลือบด้วยอนุภาคของซีโอไลต์หรือไม่ สม่ำเสมอ และเกิดเป็นช่องว่างบริเวณผิวที่เคลือบ ดังรูป 5 (ก) รูป 5(ข) แสดงภาพพื้นผิวหน้าตัดบริเวณรอยต่อระหว่างอะลูมินาและซีโอไลต์ชนิดเอพบว่ามีขนาดเฉลี่ยประมาณ 21.32 ไมโครเมตร แสดงในรูปที่ 5(ค), 5(ง)



รูปที่ 5 ภาพถ่ายจาก SEM ของซีโอไลต์ชนิดเอที่เคลือบบนตัวรองรับอะลูมินา ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ก),(ข) เคลือบด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 96 กรัม/ตารางเมตร (ค),(ง) เคลือบด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 241 กรัม/ตารางเมตร (จ),(ฉ) เคลือบด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 482 กรัม/ตารางเมตร

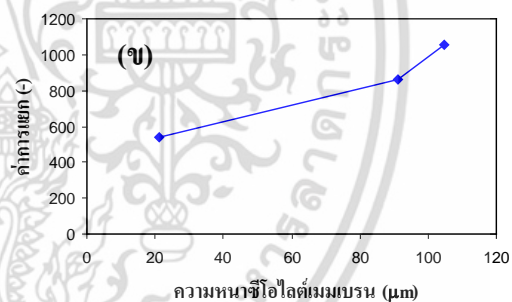
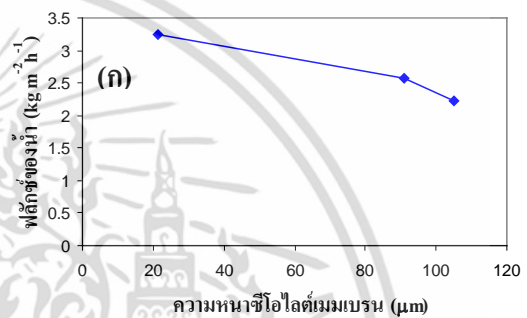
เมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์เป็น 241 กรัม/ตารางเซนติเมตร พบว่าผิวด้านบนของตัวรองรับอะลูมินาถูกเคลือบด้วยอนุภาค ซีโอไลต์อย่างหนาแน่นและอนุภาคมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอโดยมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 90.98 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 5(ค), 5(ง) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ ซีโอไลต์ให้มากขึ้นเป็น 482 กรัม/ตารางเซนติเมตร พบว่าอนุภาคซีโอไลต์ที่เคลือบบนผิวด้านบนของตัวรองรับอะลูมินาจับตัวเป็นกลุ่มก้อน และก่อตัวเป็นผลึกขนาดใหญ่ ทำให้พื้นผิวของตัวรองรับที่ถูกเคลือบไม่สม่ำเสมอ มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 104.85 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 5(จ), 5(ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ผลการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำ

#### 3.2.1 ผลของความหนาของเมมเบรนซีโอไลต์ชนิดเอ

จากรูปที่ 6 พบว่า ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อความหนาของซีโอไลต์เมมเบรน ( $\delta$ ) มีค่ามากขึ้น ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์จะแปรผกผันกับ  $\delta$  เมื่อ  $\delta$  มากขึ้นจะทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมมเบรนมีความหนาเพิ่มขึ้น ระยะทางในการแพร่ผ่านของสารก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลทำให้สารแพร่ผ่านออกมาน้อยลง ทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำลดลง แสดงดังรูป 6(ก)



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ของน้ำ(ก)และค่าการแยกของน้ำ(ข)กับความหนาของเมมเบรน ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อน 5 wt.% ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ส่วนค่าการแยกของน้ำต่อเอทานอลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ  $\delta$  มากขึ้น เมื่อ  $\delta$  มากขึ้น ระยะทางที่ใช้ในการคัดแยกโมเลกุลของน้ำกับเอทานอลก็มากขึ้นตามไปด้วย ทำให้สามารถคัดแยกโมเลกุลของน้ำออกจากโมเลกุลของเอทานอลได้มากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าการแยกของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 6(ข)

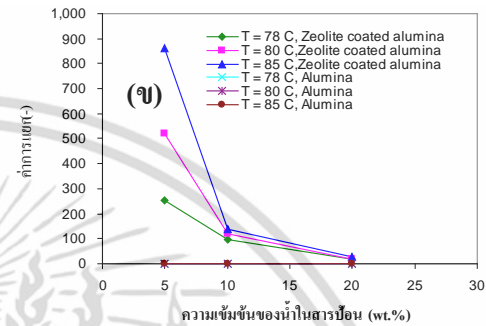
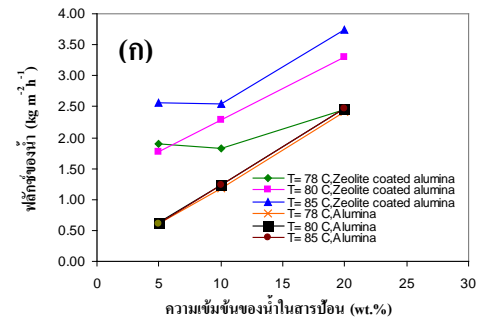
#### 3.2.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายป้อน

จากรูปที่ 7 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของ

สารละลายในด้านเพอร์มิเอทและด้านรีเทนเททมีค่าต่างกันมากขึ้น ค่า concentration gradient มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ driving force เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า ฟลักซ์ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แสดงดังสมการที่ 3 [5] ส่วนค่า ฟลักซ์ของน้ำที่แยกด้วยตัวรองรับอะลูมินา (ยังไม่เคลือบด้วยซีโอไลต์เอ) พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่า ฟลักซ์ที่แยกด้วยซีโอไลต์เมมเบรนชนิดเอ แสดงดังรูป 7(ก)

$$J_i = -D_i \frac{dC_i}{d\delta} \quad (3)$$

ส่วนค่าการแยกของน้ำต่อเอทานอลจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำ-เอทานอล สามารถเกิด coupling effect ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้โมเลกุลของน้ำและเอทานอลเกิดการคู่ควบ (Coupling) ทำให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลทำให้โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนได้ช้าลง [3] ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้โมเลกุลของน้ำและเอทานอลเกิดการคู่ควบเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำที่แพร่ผ่านออกมาน้อยลง ส่งผลทำให้ค่าการแยกของน้ำมีค่าลดลง และเมื่อทดสอบการแยกเอทานอล-น้ำ ผ่านตัวรองรับอะลูมินาที่ยังไม่เคลือบด้วยซีโอไลต์เอพบว่าค่าการแยกของน้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยมีค่าใกล้เคียงเท่ากับ 1 แสดงว่าสารละลายสามารถแพร่ผ่านผิวตัวรองรับอะลูมินาได้เกือบทั้งหมดทำให้สัดส่วนของน้ำต่อเอทานอลทั้งในเพอร์มิเอทและรีเทนเททมีค่าใกล้เคียงกันจึงทำให้ไม่เกิดการแยก แสดงดังรูป 7(ข) จากผลการทดลองที่ได้พบว่าสอดคล้องกับผลการทดลองของ Jalal J. Jafar และคณะ [6] ทำการศึกษาการแยกของผสมแอลกอฮอล์กับน้ำด้วยกระบวนการเพอร์แวกพอร์ชันโดยใช้เมมเบรนซีโอไลต์ชนิด A พบว่าค่าฟลักซ์ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $0.1 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  เป็น  $0.3 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  เมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่าการแยกของน้ำมีค่าลดลงจาก 10,000 เป็น 2,000 ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนเท่ากับ 0.025 wt.% ถึง 10 wt.% และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

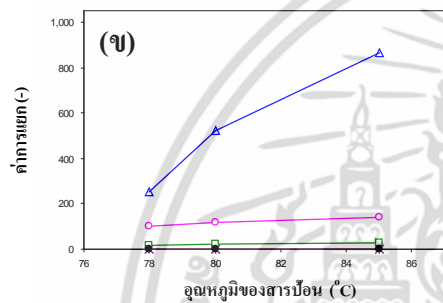
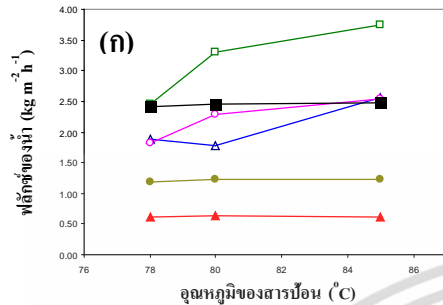


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ของน้ำและค่าการแยกของน้ำกับความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อน ที่อุณหภูมิ 78, 80 และ 85 องศาเซลเซียส ผ่านเมมเบรนที่มีความหนา  $90.98 \mu\text{m}$  และผ่านตัวรองรับอะลูมินา

### 3.2.3 ผลของอุณหภูมิของสารละลายป้อน

จากรูปที่ 8 พบว่า เมื่ออุณหภูมิของสารละลายป้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าฟลักซ์ของน้ำและค่าการแยกของน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันไอมีค่ามากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน (Driving force) ด้านสารป้อนมากขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำและค่าการแยกของน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อทดสอบการแยกเอทานอล-น้ำ ผ่านตัวรองรับอะลูมินา พบว่า ค่าฟลักซ์ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและเริ่มคงที่ที่ค่าหนึ่ง ส่วนค่าการแยกของน้ำมีค่าคงที่ใกล้เคียงเท่ากับ 1 แสดงว่าไม่เกิดการแยก แสดงดังรูป 8(ก) และ 8(ข) ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่ามีค่าสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Kiminori Sato และคณะ [7] ศึกษาการเตรียมซีโอไลต์ชนิด A ที่มีค่าฟลักซ์สูงและทดสอบการแยกเอทานอล-น้ำ พบว่าค่าฟลักซ์และค่าการแยกของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายป้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าฟลักซ์ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $0.8 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  เป็น  $4.5 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  และ

ค่าการแยกของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $10^3$  เป็น  $10^4$  ที่ความเข้มข้นของเอทานอล(90 wt.%)และน้ำ(10 wt.%)ในสารละลายป้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็น 75 องศาเซลเซียส



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ของน้ำและค่าการแยกของน้ำกับอุณหภูมิของสารละลายป้อน ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อน 5, 10 และ 20 wt.% ผ่านเมมเบรนที่มีความหนา 90.98  $\mu\text{m}$  และผ่านตัวรองรับอะลูมินา :

Zeolite coated alumina	Alumina
▲ 5 wt.% water in feed	▲ 5 wt.% water in feed
● 10 wt.% water in feed	● 10 wt.% water in feed
■ 20 wt.% water in feed	■ 20 wt.% water in feed

#### 4.สรุปผลการทดลอง

ซีโอไลต์ชนิดเอเตรียมจากสภาวะการตกผลึกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ได้อนุภาคขนาดเล็กประมาณ 685 นาโนเมตร เคลือบซีโอไลต์เอลงบนตัวรองรับอะลูมินาโดยใช้ซีโอไลต์เอปริมาณ 0.05 กรัม ได้เมมเบรนที่มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 90.98  $\mu\text{m}$  เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของเมมเบรนด้วยการแยกเอทานอล-น้ำ พบว่าเมมเบรนมีค่าการแยกสูงที่สุดเท่ากับ 863 และมีค่าฟลักซ์ของน้ำเท่ากับ  $2.56 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อน 5 wt.% ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีงบประมาณ 2551 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### 6. คำอธิบายสัญลักษณ์

$J$  คือ ค่าฟลักซ์ ( $\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )

$W$  คือ น้ำหนักของเพอมีเอท (kg)

$A$  คือ พื้นที่ผิวหน้าของเมมเบรน ( $\text{m}^2$ )

$t$  คือ เวลาที่ใช้ทำการทดลอง (h)

$\alpha_{\text{water/ethanol}}$  คือ ค่าการแยก(Separation factor) ของของผสมเอทานอล-น้ำ

$y_i$  คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของสาร  $i$  ในเพอมีเอท

$x_i$  คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของสาร  $i$  ในสารละลายป้อน

$D_i$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร  $i$

$C_i$  คือ ความเข้มข้นของสาร  $i$

$\delta$  คือ ความหนาของเมมเบรน

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y.Yan, M.E.Davis, G.R.Gavalas, Preparation of zeolite ZSM-5 membranes by in-situ crystallization on porous  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Ind. Eng. Chem. Res. 34 (1995) 165.
- [2] R.Lai, G.R.Gavalas, Electrophoretic technique for hydrothermal synthesis of NaA zeolite membranes on porous  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  supports, Ind.Eng. Chem.Res. 37 (1998) 4275.
- [3] ขันทอง สุนทรภา, เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน, พิมพ์ที่โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [4] R.W.Thompson, M.J.Huber, Surface seeding in ZSM-5 membrane preparation, J.Cryst.Gr. 56 (1982) 71.
- [5] Richard G.Griskey, Transport Phenomena and Unit Operations, John Wiley & Sons, Inc., 2002
- [6] Jalal J. Jafar, Peter M. Budd, Separation of alcohol/water mixtures by pervaporation through zeolite A membranes, Micro. Mater. 12 (1997) 305.
- [7] K. Sato, T. Nakane, A high reproducible fabrication method for industrial production of high flux NaA zeolite membrane, J. Membr.Sci.301(2007)151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้