

การแยกเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการเพอแวปพอเรชันด้วย เยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดซิลิโคนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ไพบูลย์ อินนาจิตร¹ และ สุภาพร จินฉิว²

Abstract

Innachitra, P. and Chinchiw, S.

Ethanol-water separation by pervaporation using silicone and polyvinyl alcohol membranes

Songklanakar J. Sci. Technol., 2006, 28(5) : 1109-1119

In this research, experiments were carried out to investigate the effects of operating parameters on the pervaporation performance for the separation of ethanol-water solutions. Composite silicone membranes supported on polysulfone prepared with varied silicone contents and commercial polyvinyl alcohol (Pervap® 2211, Sulzer) membranes were used. The results showed that the composite silicone/polysulfone membranes coated with 3 wt% of silicone exhibited highest permeation flux with slightly lower separation factor for ethanol. Furthermore, it was found that the composite silicone/polysulfone membranes were suitable for the separation of ethanol from a dilute ethanol solutions. Both the separation factor and permeation flux of the composite membranes increased with increasing temperature and feed concentration. A membrane coated with a 7 wt% silicone gave highest separation factor of 7.32 and permeation flux of 0.44 kg/m²h at 5 wt% ethanol feed concentration and feed temperature of 70°C. For polyvinyl alcohol membranes, the results

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand.

¹M.App.Sc.(Chemical Engineering) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นักศึกษาหลักสูตร วศ.ม. สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail: paiboon.i@psu.ac.th, chinchiw_2523@yahoo.co.th

รับต้นฉบับ 30 กันยายน 2548 รับลงพิมพ์ 27 มีนาคม 2549

showed that the membranes were suitable for the dehydration of concentrated ethanol solutions. The permeation flux increased and the separation factor for water decreased with increasing water feed concentration and temperature. The membrane gave highest separation factor of 248 and permeation flux of 0.02 kg/m²h at 5 wt% water feed concentration and feed temperature of 30°C.

Key words : pervaporation, separation, ethanol, silicone, polyvinyl alcohol

บทคัดย่อ

ไพบูลย์ อินนาจิตร และ สุภาพร จินฉิว

การแยกเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการเพอแวพอเรชันด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดซิลิโคนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2549 28(5) : 1109-1119

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการเพอแวพอเรชัน (pervaporation) โดยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ใช้ศึกษาเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิดซิลิโคนที่มีชั้นรองรับเป็นพอลิซัลโฟน ซึ่งได้ถูกเตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้โดยมีการแปรผันปริมาณของซิลิโคน และอีกชนิดหนึ่งเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์ทางการค้าชนิด polyvinyl alcohol (Pervap[®]2211, Sulzer) พบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิด silicone/polysulfone ที่เคลือบด้วยซิลิโคน 3 % โดยน้ำหนัก จะให้เพอเมอชันฟลักซ์สูงที่สุดแต่ค่าการแยกมีค่าลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้พบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิดนี้เหมาะสำหรับการแยกเอทานอลออกจากสารละลายเอทานอลเจือจาง โดยทั้งค่าการแยกสำหรับเอทานอลและเพอเมอชันฟลักซ์จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายป้อนที่เพิ่มขึ้น เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เคลือบด้วยซิลิโคน 7 % โดยน้ำหนัก จะให้ค่าการแยกสูงที่สุดคือ 7.32 และเพอเมอชันฟลักซ์คือ 0.44 กก./เมตร² ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อน 5 % โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 70°C สำหรับเยื่อแผ่นสังเคราะห์ทางการค้าชนิด polyvinyl alcohol พบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดนี้เหมาะสำหรับการแยกน้ำออกจากสารละลายเอทานอลเข้มข้น โดยเพอเมอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นและค่าการแยกสำหรับน้ำลดลง เมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนและอุณหภูมิสูงขึ้น เยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดนี้ให้ค่าการแยกสูงที่สุดคือ 248 และเพอเมอชันฟลักซ์คือ 0.02 กก./เมตร² ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อน 5 % โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 30°C

กระบวนการเพอแวพอเรชันเป็นกระบวนการแยกสารละลายผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบเนื้อแน่น โดยกระบวนการนี้เหมาะสำหรับการแยกสารละลายผสมซึ่งมีองค์ประกอบหนึ่งอยู่ในอัตราส่วนที่ต่ำ โดยเฉพาะสารละลายอะซิโตน เช่น สารละลายแอลกอฮอล์-น้ำ หรือสารอินทรีย์ที่เจือปนในน้ำทิ้ง (Chang *et al.*, 2004) เนื่องจากมีข้อได้เปรียบทั้งในแง่เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม กล่าวคือประหยัดพลังงาน ไม่ต้องใช้สารเคมีจึงไม่มีปัญหาการปนเปื้อนและไม่มีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำทิ้งจากกระบวนการมีน้อยมาก (Molina *et al.*, 2002) กระบวนการนี้ไม่เพียงแต่มีการศึกษาในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีหลายประเทศที่นำกระบวนการ

การนี้ไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมแล้วด้วยเช่นกัน การแยกสารละลายเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการเพอแวพอเรชันจึงมีความสำคัญ และน่าจะเป็นแนวทางเลือกหนึ่งสำหรับการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์จากชีวมวล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือผลิตภัณฑ์ยาแทนวิธีการกลั่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับกระบวนการเพอแวพอเรชันสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งเลือกให้น้ำผ่านและเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ซึ่งจะเลือกให้เอทานอลผ่านมากกว่าน้ำ ในการวิจัยและประยุกต์ใช้สำหรับกระบวนการนี้มีนักวิจัยหลายท่านเน้นการพัฒนาเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพื่อให้มีทั้งค่าการแยกและ

ค่าฟลักซ์สูงชัน รวมถึงศึกษาการถ่ายเทมวลเพื่อให้เข้าใจกลไกที่ชัดเจนขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำกระบวนการนี้ไปประยุกต์ใช้ โดยในงานวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาการแยกสารอินทรีย์เจือจางออกจากน้ำ เช่น แอลกอฮอล์-น้ำ โดยใช้เยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด silicone rubber (Seok *et al.*, 1987) silicalite (Matsuda *et al.*, 2002) เยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบ silicone/PVDF/silicone (Chang *et al.*, 2004) polydimethylsiloxane (Li *et al.*, 2004; Mohammadi *et al.*, 2005) 1-trimethyl-1 propyne (Gonzalez-Velasco *et al.*, 2002) และศึกษาการแยกน้ำออกจากสารละลายแอลกอฮอล์โดยใช้เยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด polyvinyl alcohol (Shaban, 1997) เยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบ PVA/PAA (Vauclair *et al.*, 1997) cellulose acetate (Seok *et al.*, 1987) polyimide (Kim *et al.*, 2000)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการเพอแวกพอร์ชันผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ 2 ชนิด คือ เยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิด silicone/polysulfone ได้มีการเตรียมในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และอีกชนิดหนึ่งเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์ทางการค้าชนิด polyvinyl alcohol ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) รวมถึงศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการเยื่อแผ่นแบบเพอแวกพอร์ชัน ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายป้อน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. วัสดุ

เยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบแผ่นชนิด polyvinyl alcohol (Pervap®2211) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 ซม. ผลิตโดยบริษัท Sulzer Chemtech สามารถใช้งานได้ อุณหภูมิสูงสุด 100°C เอทานอลเกรดเชิงวิเคราะห์ความเข้มข้น 99.8 % โดยน้ำหนัก ผลิตโดยบริษัท Merck KGaA ใช้เตรียมเป็นสารละลายมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างเอทานอลเกรดทางการค้า ผลิตโดยองค์การเภสัชกรรม สำหรับการทดลองเพอแวกพอร์ชัน 2-โพรพานอล

เกรดเชิงวิเคราะห์ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก ผลิตโดยบริษัท J. T. Baker เยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบแผ่นชนิด polysulfone ซึ่งมีความหนา 170 ไมโครเมตร Molecular weight cut off (MWCO) 50,000 และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.9 ซม. ผลิตโดยบริษัท DSS ใช้เป็นชั้นรองรับซิลิโคนเกรดซีแลนท์ (L6301) ผลิตโดยบริษัท Sony Chemicals เฮกเซนเกรดเชิงวิเคราะห์ความเข้มข้น 99.0 % โดยน้ำหนัก ผลิตโดยบริษัท Lab Scan ปัมพ์รุ่น SXD1-32 ผลิตโดยบริษัท TACMINA ปัมพ์สุญญากาศรุ่น 2012A ผลิตโดยบริษัท ALCATEL

2. การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบ silicone/polysulfone

เตรียมสารละลายซิลิโคน 3% 5% และ 7% โดยน้ำหนักในเฮกเซน และกวนสารละลายโดยใช้ hot plate stirrer ที่อัตราการกวน 300 รอบ/นาที จนกระทั่งสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นเคลือบสารละลายลงบนแผ่น polysulfone ซึ่งใช้เป็นชั้นรองรับด้วยวิธีการทา หลังจากนั้นอบที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำการศึกษาสัณฐานวิทยา (morphology) ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) รุ่น JSM-5800 LV

3. กระบวนการเพอแวกพอร์ชัน

การทดลองเพอแวกพอร์ชันนี้ใช้เยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบแผ่น โดยสารละลายจะถูกป้อนเข้าสู่ด้านป้อนและไหลผ่านผิวหน้าเยื่อแผ่น แผ่นผังการจัดอุปกรณ์แสดงใน Figure 1 มีลักษณะการทำงานดังนี้คือ ปัมพ์ (2) จะดูดสารละลายจากถังป้อน (1) ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของสารละลายป้อน (3) ผ่านถังน้ำร้อน (4) เพื่อควบคุมอุณหภูมิของสารละลายป้อน แล้วเข้าสู่หน่วยของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (5) รีเทนเททจะไหลกลับเข้าสู่ถังป้อน เพอเมอเททในสถานะไอซึ่งผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ถูกดูดด้วยปั๊มสุญญากาศ (7) จะถูกควบแน่นในภาชนะปิด (cold trap) (6) กลายเป็นของเหลวโดยน้ำแข็งแห้ง (dry ice) ที่อุณหภูมิ -78.5°C และนำเพอเมอเททมาชั่งโดยเครื่องชั่งซึ่งมีความละเอียด 2 ตำแหน่ง ซึ่งในการทดลองเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ใช้ศึกษามี 2 ชนิด คือ เยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิด

silicone/polysulfone และ polyvinyl alcohol โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ใช้ศึกษาเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด silicone/polysulfone โดยความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อนที่ศึกษาคือ 5 10 20 30 และ 55 % โดยน้ำหนัก ซึ่งเตรียมจากเอทานอลทางการค้าและน้ำกลั่น และในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายป้อนมีการแปรผันอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่ใช้ศึกษาคือ 30 60 และ 70°C

ขั้นตอนที่ 2 เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ใช้ศึกษาเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด polyvinyl alcohol โดยความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อนที่ศึกษาคือ 60 70 80 90 และ 95 % โดยน้ำหนัก และทุกความเข้มข้นของสารละลายป้อนมีการแปรผันอุณหภูมิดังนี้คือ 30 40 50 และ 60°C โดยในแต่ละการทดลองจะควบคุมอัตราการไหลของสารละลายป้อนคงที่คือ 0.1 ลิตร/นาที ความดันทางด้านเพอมีเอทคือ 5.08-12.7 มม.ปรอท ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละการทดลองคือ 90 นาที เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนและรีเทนเททในนาฬิกาที่ 75 เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดจึงนำเพอมีเอทในสถานะของเหลวมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด และเมื่อทราบน้ำหนักของเพอมีเอทก็จะสามารถคำนวณหาเพอมีเอชันฟลักซ์ได้จากสมการ

$$J = \frac{W}{At} \tag{1}$$

โดยที่ J คือ ค่าฟลักซ์, $\text{kg m}^{-2}\text{h}^{-1}$

W คือ น้ำหนักของเพอมีเอท, kg

A คือ พื้นที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นสังเคราะห์, m^2

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง, h

4. การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารละลาย

วิเคราะห์องค์ประกอบของสารละลายป้อนรีเทนเททและเพอมีเอทด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟฟีของ บริษัท Hewlett Packard รุ่น 5790A เครื่องตรวจหา (detector) ที่ใช้เป็นชนิด FID ทำงานที่อุณหภูมิ 300°C อุณหภูมิห้อง 30°C และอุณหภูมิหัวฉีด 250°C คอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นแพ็คคอลัมน์ยาว 6 ฟุต บรรจุด้วย OV-1 อัตราการไหลของแก๊สพา 13.46 ml./นาที และใช้ 2-โพรพานอลเป็นสารละลายมาตรฐานภายใน (internal standard) เมื่อทราบองค์ประกอบของสารละลายป้อนและเพอมีเอทของแต่ละการทดลองแล้วก็จะสามารถคำนวณหาค่าการแยกได้จากสมการ (2) และ (3) ดังนี้คือ

- สูตรการคำนวณค่าการแยกของเอทานอลเทียบกับน้ำผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด silicone/polysulfone

$$\alpha_{C_2H_5OH/H_2O} = \frac{(y_{C_2H_5OH} / y_{H_2O})_{permeate}}{(x_{C_2H_5OH} / x_{H_2O})_{feed}} \tag{2}$$

- สูตรการคำนวณค่าการแยกของน้ำเทียบกับเอทานอลผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด polyvinyl alcohol

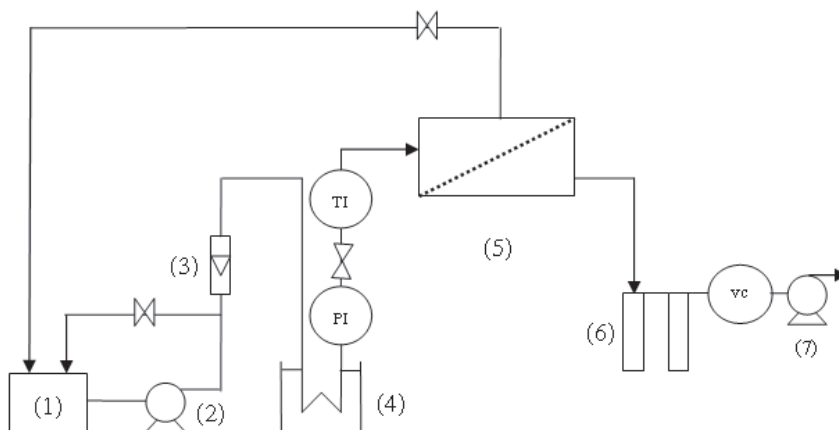


Figure 1. Schematic diagram of the pervaporation apparatus: (1) Feed tank, (2) Feed pump, (3) Rota meter, (4) Heater, (5) Membrane cell, (6) Cold traps, (7) Vacuum pump

$$\alpha_{H_2O/C_2H_5OH} = \frac{(y_{H_2O} / y_{C_2H_5OH})_{permeate}}{(x_{H_2O} / x_{C_2H_5OH})_{feed}} \quad (3)$$

- โดยที่ $\alpha_{C_2H_5OH/H_2O}$ คือ ค่าการแยก (separation factor) ของเอทานอลเทียบกับน้ำ
- α_{H_2O/C_2H_5OH} คือ ค่าการแยก (separation factor) ของน้ำเทียบกับเอทานอล
- $y_{C_2H_5OH}, y_{H_2O}$ คือ เศษส่วนเชิงมวลของเอทานอลและน้ำในเพอมีเอท ตามลำดับ
- $x_{C_2H_5OH}, x_{H_2O}$ คือ เศษส่วนเชิงมวลของเอทานอลและน้ำในสารละลายป้อน ตามลำดับ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. อิเล็กตรอนไมโครกราฟของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิด silicone/polysulfone

สัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิด silicone/polysulfone ที่ใช้ในการทดลองแสดงดัง

Figure 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผิวชั้นบนเป็นเยื่อแผ่น ซิลิโคนชนิดทึบและมีพอลิซัลโฟนเป็นเยื่อแผ่นชั้นรองรับชนิดพรุน และจาก Figure 2 (b)-(d) พบว่าเยื่อแผ่นเชิงประกอบที่เคลือบด้วยซิลิโคนจะมีความหนาของชั้นผิวหน้าซึ่งทึบหนามากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณร้อยละของซิลิโคนในสารเคลือบสูงขึ้น ดังแสดงใน Table 1

2. กระบวนการเพอแวนพอเรชันของสารละลายเอทานอล - น้ำผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด silicone/polysulfone

2.1 ผลของปริมาณซิลิโคนที่เคลือบบนพอลิซัลโฟน

ผลของปริมาณซิลิโคนที่เคลือบบนพอลิซัลโฟนต่อเพอมีเอชันฟลักซ์และค่าการแยกของเอทานอลเทียบกับน้ำ ที่อุณหภูมิ 70°C ที่ความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อน 10 20 30 และ 55 % โดยน้ำหนัก ดังแสดงใน Figure 3 และ Figure 4 พบว่าพอลิซัลโฟนที่เคลือบด้วยซิลิโคน 3 % โดยน้ำหนักให้ค่าเพอมีเอชันฟลักซ์สูงที่สุด รองลงมาคือ 5% และ 7% โดยน้ำหนักของซิลิโคนตามลำดับ เนื่องจากความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชั้น

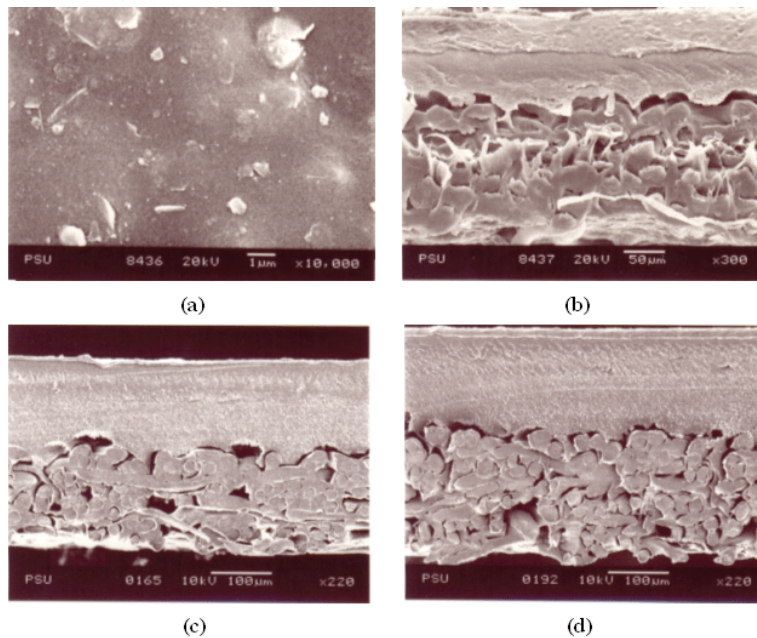


Figure 2. SEM micrographs of the composite silicone/polysulfone membrane: (a) top surface; (b) cross-section, coated with 3 wt% silicone; (c) cross-section, coated with 5 wt% silicone; (d) cross-section, coated with 7 wt% silicone

Table 1. Thickness of silicone layers on silicone/polysulfone composite membranes coated with 3, 5, and 7 wt% silicone solutions.

Thickness of polysulfone support (µm)	Silicone content (wt %)	Thickness by SEM (µm)
170	3	85±4
170	5	133±2
173	7	156±5

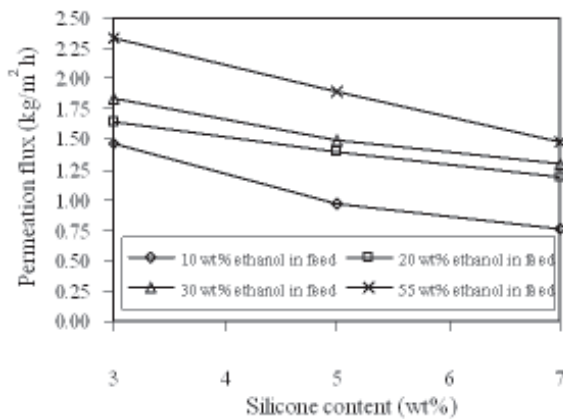


Figure 3. Total permeation flux and silicone content at 10, 20, 30 and 55 wt% ethanol feed concentrations and feed temperature of 70°C.

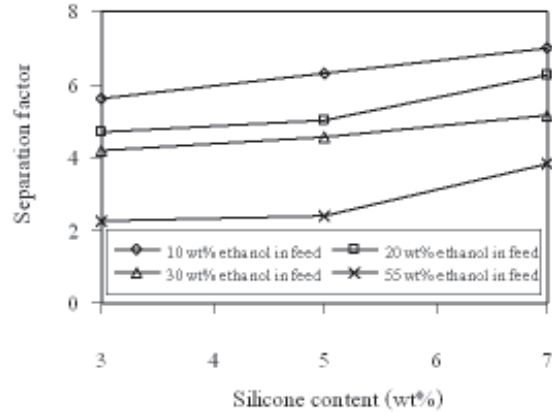


Figure 4. Separation factor and silicone content at 10, 20, 30 and 55 wt% ethanol feed concentrations and feed temperature of 70°C.

อยู่กับปริมาณของซิลิโคนที่ใช้เคลือบดังแสดงใน Table 1 กล่าวคือ เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เคลือบด้วยปริมาณซิลิโคนสูงขึ้นจะมีความหนาเพิ่มขึ้น ซึ่งเพอมีเอชันฟลักซ์จะแปรผกผันกับความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ดังแสดงในสมการ (4)

$$J_i = \frac{\bar{P}_i \Delta P}{l} \tag{4}$$

โดยที่ J_i คือ ค่าฟลักซ์, $\text{kg m}^{-2}\text{h}^{-1}$
 l คือ ความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์, m
 \bar{P}_i คือ สภาพการซึมผ่านสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (permeability), $\text{kg.m.m}^{-2}\text{Pa}^{-1}\text{h}^{-1}$
 ΔP คือ ผลต่างของความดัน, Pa
 จะสามารถอธิบายได้ว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เคลือบด้วยปริมาณซิลิโคนน้อยกว่า (บางกว่า) จะมีความต้านทานของเยื่อแผ่นสังเคราะห์น้อยกว่า จึงส่งผลทำให้ค่าเพอมีเอ-

ชันฟลักซ์สูงกว่าเยื่อแผ่นที่เคลือบด้วยปริมาณซิลิโคนมากกว่า (มีความหนามากกว่า) แต่ค่าการแยกของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ลดลงเล็กน้อย ซึ่งสามารถอธิบายด้วยกลไกการละลายและการแพร่ กล่าวคือ เยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดนี้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ ซึ่งจะเลือกให้เอทานอลผ่านมากกว่าน้ำ เมื่อความหนาของชั้นซิลิโคนสูงขึ้นทำให้เส้นทางการแพร่ของสารที่สามารถผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้ยาวนานขึ้น ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของเอทานอลในสารละลายที่แพร่ผ่านสูงขึ้น เนื่องจากซิลิโคนมีสมบัติเลือกให้สารอินทรีย์ผ่านได้มากกว่าน้ำ ดังแสดงใน Figure 4

2.2 ผลของอุณหภูมิของสารละลายป้อน

ผลของอุณหภูมิของสารละลายป้อนต่อค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และความสามารถในการเลือกผ่านของสารละลายเอทานอล-น้ำ ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิด 3 % โดยน้ำหนักของ silicone/polysulfone ดังแสดงใน Figure 5 และ Figure 6 ที่ความเข้มข้นของ

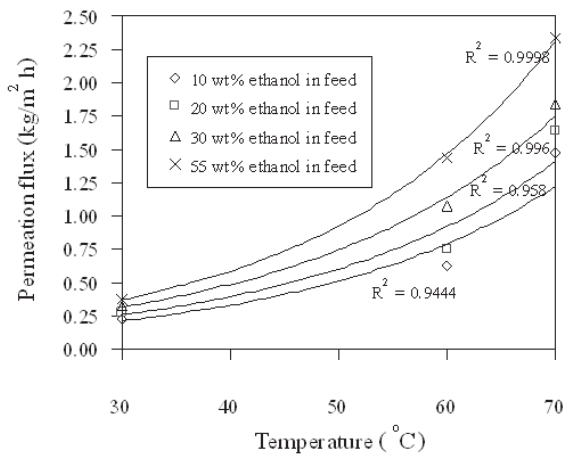


Figure 5. Total permeation flux and temperature for pervaporation of 10, 20, 30 and 55 wt % ethanol feed concentrations through a 3 wt % silicone/polysulfone membrane.

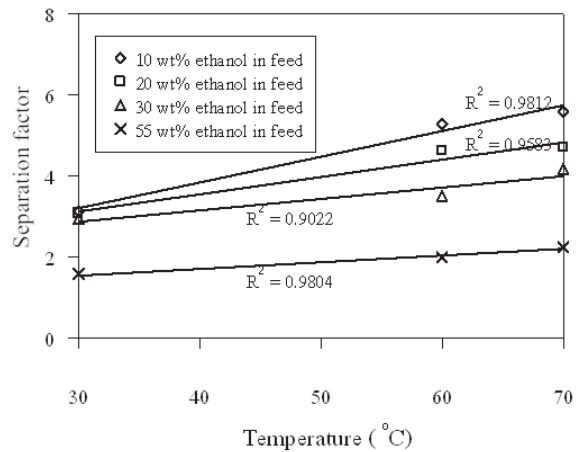


Figure 6. Separation factor and temperature for pervaporation of 10, 20, 30 and 55 wt % ethanol feed concentrations through a 3 wt % silicone/polysulfone membrane.

เอทานอลในสารละลายป้อน 10 20 30 และ 55 % โดยน้ำหนัก พบว่าเพอเมชันฟลักซ์จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายป้อนเพิ่มขึ้นในทุกความเข้มข้นของสารละลายป้อน เนื่องจากอุณหภูมิจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การแพร่ระหว่างผิวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์กับสารละลายที่ต้องการแยกและอุณหภูมิสามารถเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ภายในเยื่อแผ่น ทำให้เยื่อแผ่นมีช่องว่างเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้เยื่อแผ่นสังเคราะห์สามารถดูดซับสารที่ต้องการแยกได้มากขึ้นและทำให้สารสามารถแพร่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้เร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสำหรับการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด PDMS (Li *et al.*, 2004) และ 1060 Sulzer (Molina *et al.*, 2002) การเพิ่มขึ้นของค่าการแยกของเอทานอลเทียบกับน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสำหรับเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดซิลิโคนเกิดจากการที่เอทานอลระเหยได้มากกว่าน้ำ ดังนั้นฟลักซ์ของเอทานอลจึงสูงขึ้นด้วยอัตราที่สูงกว่าฟลักซ์ของน้ำและทำให้ค่าการแยกของเอทานอลสูงขึ้น

2.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายป้อน

ผลของความเข้มข้นของสารละลายป้อนต่อเพอเมชันฟลักซ์และค่าการแยกของเอทานอลเทียบกับน้ำที่อุณหภูมิ 70°C ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด 3 5 และ

7 % โดยน้ำหนักของ silicone/polysulfone ดังแสดงใน Figure 7 และ Figure 8 พบว่าค่าเพอเมชันฟลักซ์สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อนเพิ่มขึ้น แต่ค่าการแยกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสำหรับการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิด PDMS (Chang *et al.*, 2004) เนื่องจากความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อนสูง ทำให้ค่าแอกติวิตีของเอทานอลก็เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้เกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโมเลกุลของเอทานอลกับเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ส่งผลทำให้เยื่อแผ่นสังเคราะห์ดูดซับโมเลกุลของเอทานอลได้มาก จึงเกิดการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ขึ้น และเนื่องจากความเข้มข้นของเอทานอลในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพิ่มขึ้น จึงทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลทำให้เพอเมชันฟลักซ์สูงขึ้น และผลจากการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์จึงทำให้น้ำซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าเอทานอลสามารถแพร่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้ง่ายขึ้นด้วย จึงเป็นเหตุผลให้ค่าการแยกของเยื่อแผ่นต่อเอทานอลในสารละลายลดลง

ความเข้มข้นของเอทานอลในเพอเมโทเป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อนดังแสดงใน Figure 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของ

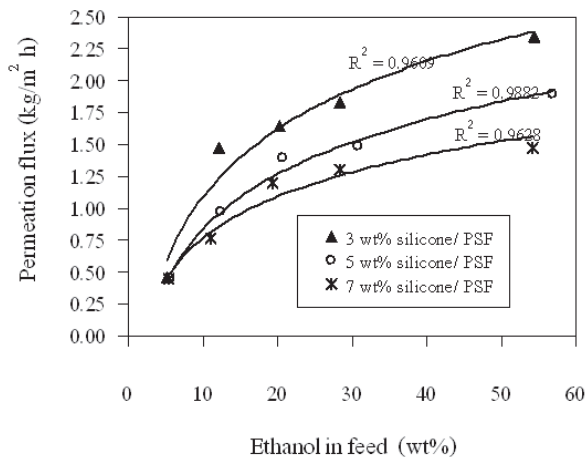


Figure 7. Total permeation flux and ethanol feed concentration at 70°C through 3, 5 and 7 wt% silicone/polysulfone membranes

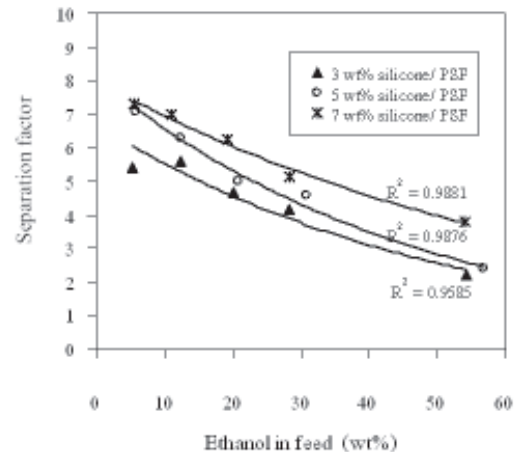


Figure 8. Separation factor and ethanol feed concentration at 70°C through 3, 5 and 7 wt% silicone/polysulfone membranes

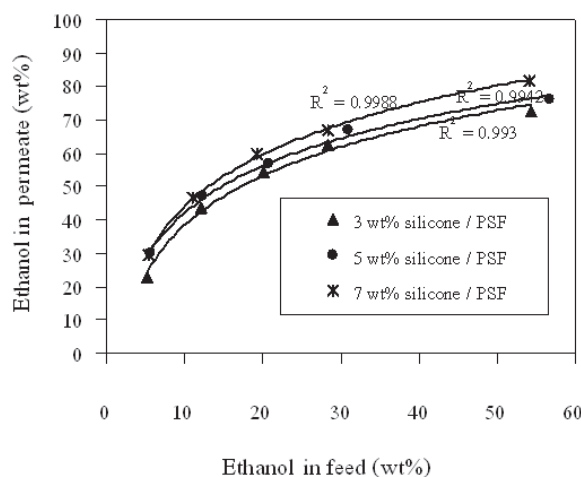


Figure 9. Ethanol in the permeate and ethanol in the feed at 70°C through 3, 5 and 7 wt% silicone/polysulfone membranes

เอทานอลในสารละลายป้อนสูงขึ้น ความเข้มข้นของเอทานอลในเฟอมีเอทจะสูงขึ้นด้วย (บริสุทธิ์มากขึ้น) ในทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา และเมื่อพิจารณาความชันจากกราฟ Figure 9 จะพบว่าความชันของกราฟจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อนต่ำๆ (สารละลายเอทานอลเจือจาง) และความชันของกราฟจะค่อยๆ ลดลงเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อนสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ชนิดนี้เหมาะสำหรับการแยกเอทานอลออกจากสารละลายเอทานอลเจือจาง (Seok *et al.*, 1987)

3. กระบวนการเพอเวปพอร์ชันของสารละลายเอทานอล - น้ำผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด polyvinyl alcohol

3.1 ผลของอุณหภูมิของสารละลายป้อน

ผลของอุณหภูมิของสารละลายป้อนต่อเฟอมีเอชันฟลักซ์และความสามารถในการเลือกผ่านของน้ำ ผ่าน

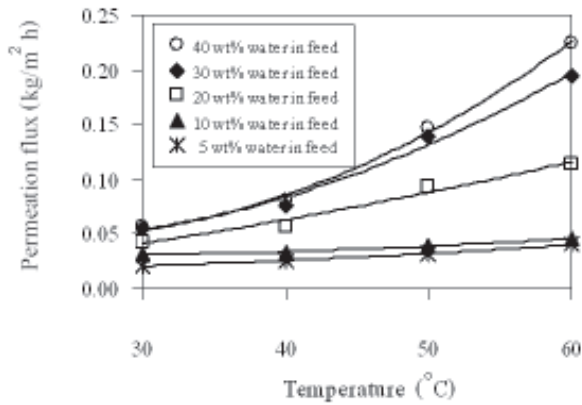


Figure 10. Total permeation flux and temperature for pervaporation of 5, 10, 20, 30 and 40 wt% water feed concentrations through a polyvinyl alcohol membrane.

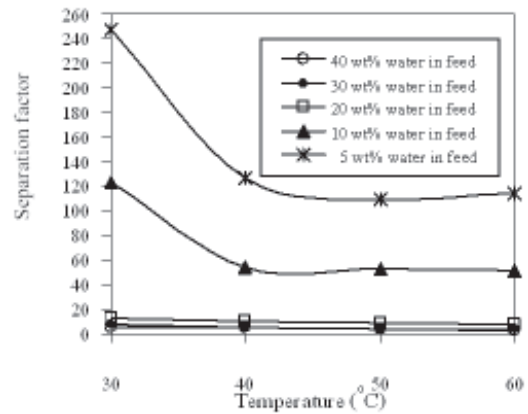


Figure 11. Separation factor and temperature for pervaporation of 5, 10, 20, 30 and 40 wt% water feed concentrations through a polyvinyl alcohol membrane.

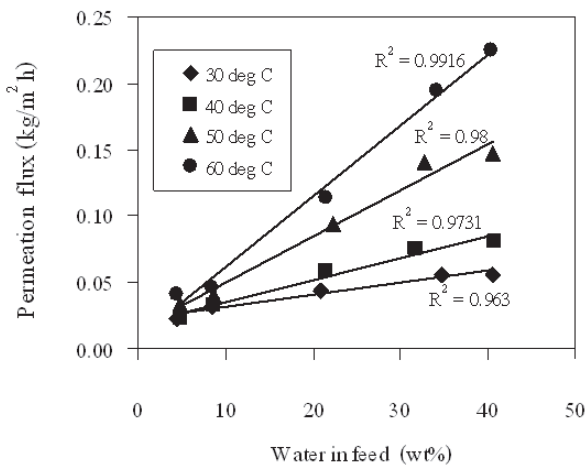


Figure 12. Total permeation flux and water feed concentrations at 30, 40, 50, 60°C through a polyvinyl alcohol membrane.

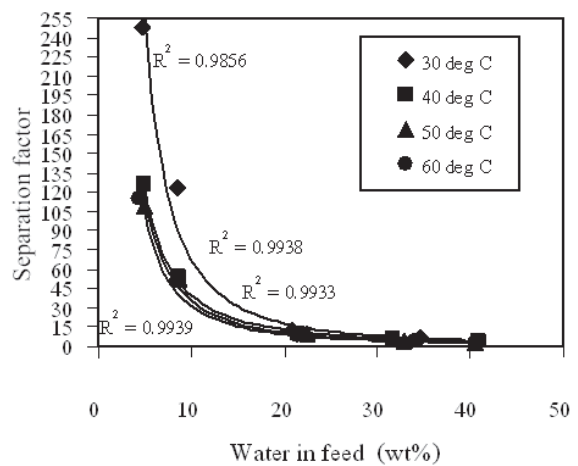


Figure 13. Separation factor and water feed concentrations at 30, 40, 50, 60°C through a polyvinyl alcohol membrane.

เยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด polyvinyl alcohol ดังแสดงใน Figure 10 และ Figure 11 ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อน 5 10 20 30 และ 40 % โดยน้ำหนัก พบว่าเพอเมชันฟลักซ์จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายป้อนเพิ่มขึ้นในทุกความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อน แต่ค่าการแยกสำหรับน้ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสำหรับการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด CS/HEC (Jiratananon *et al.*, 2002)

และ PVA-PAA (Vauclair *et al.*, 1997) การเพิ่มขึ้นของเพอเมชันฟลักซ์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด silicone/polysulfone และได้มีการกล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว และจากการที่อุณหภูมิสามารถเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ภายในเยื่อแผ่น ทำให้เยื่อแผ่นมีช่องว่าง (plasticizing effect) ส่งผลทำให้เอทานอลในสารละลายสามารถแพร่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้ง่ายขึ้นด้วย จึงเป็นเหตุผล

ให้ค่าการแยกต่อน้ำของเยื่อแผ่นลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

3.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายป้อน

ผลของความเข้มข้นของสารละลายป้อนต่อเพอมีเอชันฟลักซ์และค่าการแยกของน้ำเทียบกับเอทานอลที่อุณหภูมิ 30 40 50 และ 60°C ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิด polyvinyl alcohol ดังแสดงใน Figure 12 และ Figure 13 พบว่าเมื่อความเข้มข้นน้ำในสารละลายป้อนสูงขึ้นเพอมีเอชันฟลักซ์จะสูงขึ้นแต่ค่าการแยกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสำหรับการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิด PVA/PAN (Baelen *et al.*, 2005) เนื่องจากเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดนี้มีความชอบน้ำ เยื่อแผ่นสังเคราะห์จะเลือกให้น้ำผ่านมากกว่าเอทานอล เมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนสูงค่าแอกติวิตีของน้ำก็เพิ่มขึ้นด้วยส่งผลทำให้เยื่อแผ่นสังเคราะห์ดูดซับโมเลกุลของน้ำได้มาก จึงทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำสูงขึ้นและเมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนสูงขึ้นจะทำให้เยื่อแผ่นสังเคราะห์เกิดการบวมตัวขึ้น และโมเลกุลของน้ำสามารถเกิดการคู่ควบ (coupling effect) กับเอทานอลด้วยพันธะไฮโดรเจนก็จะพาโมเลกุลของเอทานอลให้ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้เพิ่มขึ้นด้วย จึงส่งผลทำให้ค่าการแยกมีค่าลดลง

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิด silicone/polysulfone ซึ่งมี polysulfone เป็นชั้นรองรับ เพื่อนำมาใช้แยกสารละลายเอทานอลออกจากน้ำโดยวิธีเพอแวปอเรชัน ซึ่งมีการแปรผันปริมาณของซิลิโคนที่ใช้เคลือบลงบนพอลิซัลโฟนชั้นรองรับ และศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกเอทานอลออกจากน้ำโดยกระบวนการเพอแวปอเรชัน พบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบที่เคลือบด้วยซิลิโคน 3 % โดยน้ำหนัก ให้เพอมีเอชันฟลักซ์สูงสุด แต่ค่าการแยกสำหรับเอทานอลมีค่าลดลงเล็กน้อย และพบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เชิงประกอบชนิดนี้เหมาะสำหรับการแยกเอทานอลออกจากสารละลายเอทานอลเจือจาง โดยทั้งค่าการแยกของ

เอทานอลและเพอมีเอชันฟลักซ์จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิของสารละลายป้อนที่เพิ่มขึ้น เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เคลือบด้วยซิลิโคน 7 % โดยน้ำหนักให้ค่าการแยกสูงสุดคือ 7.32 และค่าเพอมีเอชันฟลักซ์คือ 0.44 กก./เมตร²ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายป้อน 5 % โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 70°C สำหรับเยื่อแผ่นสังเคราะห์ทางการค้าชนิด polyvinyl alcohol ได้ถูกนำมาศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำด้วยเช่นกัน พบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดนี้เหมาะสำหรับการแยกน้ำออกจากสารละลายเอทานอลเข้มข้น ค่าเพอมีเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นและค่าการแยกสำหรับน้ำลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนและอุณหภูมิสูงขึ้น เยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดนี้จะให้ค่าการแยกสูงสุดคือ 248 และค่าเพอมีเอชันฟลักซ์คือ 0.02 กก./เมตร²ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อน 5 % โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 30°C

เอกสารอ้างอิง

- Baelen, D.V., Bruggen, B.V., Dungen, K.V., Degreve, J. and Vandecasteele, C. 2005. Pervaporation of water-alcohol mixtures and acetic acid-water mixtures. *Chem. Eng. Sci.* 60: 1583-1590.
- Chang, C.L. and Chang, M.S. 2004. Preparation of multi-layer silicone/PVDF composite membranes for pervaporation of ethanol aqueous solutions. *J. Membr. Sci.* 238: 117-122.
- Gonzalez-Velasco, J.R., Gonzalez-Marcos, J.A. and Lopez-Dehesa, C. 2002. Pervaporation of ethanol-water mixture through poly (1-trimethylsilyl-1-propyne) (PTMSP) membranes. *Desalination.* 149: 61 - 65.
- Jiratananon, R., Chanachai, A., Huang, R.Y.M. and Uttapap, D. 2002. Pervaporation dehydration of ethanol-water mixtures with chitosan/hydroxyethylcellulose (CS/HEC) composite membranes. I Effect of operating conditions. *J. Membr. Sci.* 195: 143 -151.
- Kim, J.H., Lee, K.H. and Kim, S.Y. 2000. Pervaporation separation of water from ethanol through polyimide composite membrane. *J. Membr. Sci.* 169: 81-93.

- Li, L., Xiao, Z., Tan, S., Pu, L. and Zang, Z. 2004. Composite PDMS membrane with high flux for the separation of organics from water by pervaporation. *J. Membr. Sci.* 243: 177-187.
- Matsuda, H., Yanagishita, H., Negishi, H., Kitamoto, D., Ikegami, T., Haraya, K., Nakane, T., Idemoto, Y., Koura, N. and Sano, T. 2002. Improvement of ethanol selectivity of silicalite membrane in pervaporation by silicone rubber coating. *J. Membr. Sci.* 210: 433-437.
- Molina, J.M., Vatai, G. and Bekassy-Molnar, E. 2002. Comparison of Pervaporation of different alcohols from water on CMG-OM-010 and 1060 Sulzer membrane. *Desalination.* 149: 89 -94.
- Mohammadi, T., Abdolreza, A. and Bakhshi, A. 2005. Pervaporation of dilute alcoholic mixtures using PDMS membrane. *Chem. Eng. Sci.* 60: 1875-1880.
- Seok, D.R., Kang, S.G. and Hwang, S.T. 1987. Use of pervaporation for separating azeotropic mixtures using two different hollow fiber membranes. *J. Membr. Sci.* 33: 71-81.
- Shaban, H.I. 1997. Pervaporation separation of water from organic mixtures. *Sep. Purif. Technol.* 11: 119 -126.
- Vauclair, C., Tarjus, H., and Schaetzel, P. 1997. Permselective properties of PVA-PAA blended membrane used for dehydration of fuel oil by pervaporation. *J. Membr. Sci.* 125: 293-301.