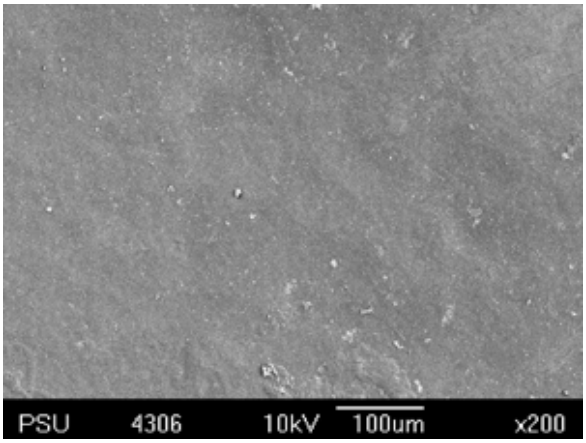
บทที่ 3

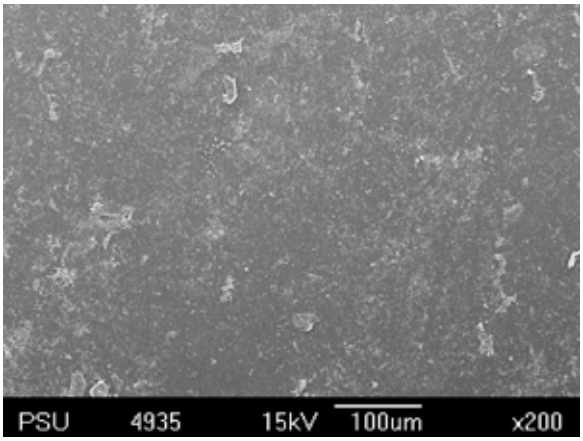
ผลการทดลอง

3.1 อิเล็กตรอนไมโครกราฟของเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

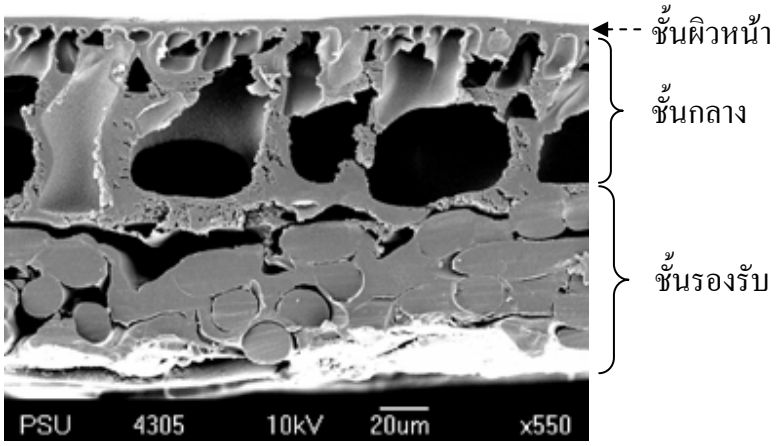
สัณฐานวิทยา (morphology) เมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 3.1-3.4



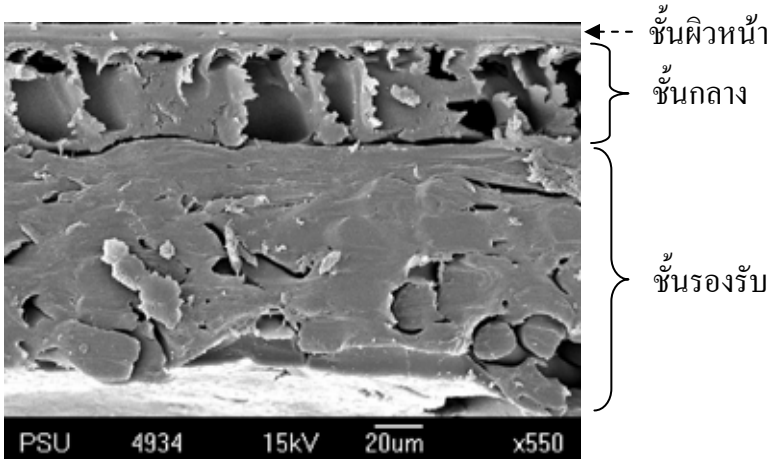
ภาพประกอบ 3.1 อิเล็กตรอนไมโครกราฟที่ผิวหน้าโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) เมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ที่กำลังขยาย 200 เท่า



ภาพประกอบ 3.2 อิเล็กตรอนไมโครกราฟที่ผิวหน้าโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) เมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 ที่กำลังขยาย 200 เท่า



ภาพประกอบ 3.3 อิเล็กตรอนไมโครกราฟภาคตัดขวางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) เมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ที่กำลังขยาย 550 เท่า



ภาพประกอบ 3.4 อิเล็กตรอนไมโครกราฟภาคตัดขวางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) เมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 ที่กำลังขยาย 550 เท่า

จากภาพประกอบ 3.1 และ 3.2 พบว่าบริเวณชั้นผิวหน้าของเมมเบรนทั้ง 2 ชนิด เป็นเมมเบรนแบบทึบด้วยชั้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และจากภาพประกอบ 3.3 และ 3.4 พบว่า เมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 จะมีความหนาของชั้นผิวหน้าซึ่งทึบหนามากกว่าชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และพบว่าเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 มีความพรุนในชั้นกลางน้อยกว่าชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 แสดงในภาพประกอบ 3.3 และ 3.4 โดยความหนาของชั้นเมมเบรนทั้งสองชนิดแสดงดังตาราง 3.1

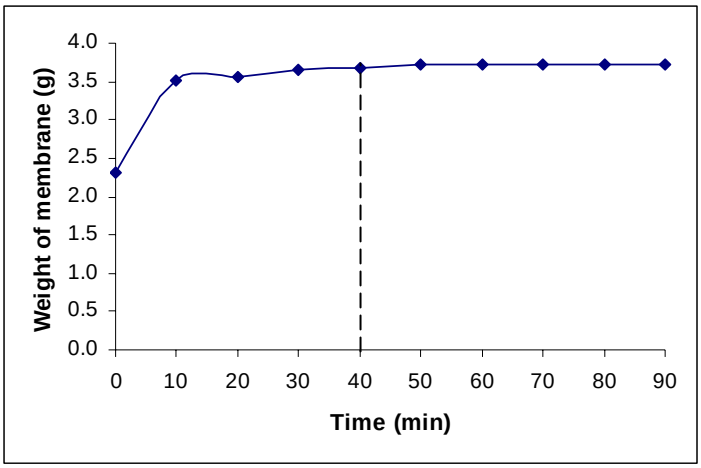
ตาราง 3.1 ความหนาโดยประมาณของเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211และ 2216

เมมเบรน	ความหนาชั้นรองรับ (ไมโครเมตร)	ความหนาชั้นกลาง (ไมโครเมตร)	ความหนาชั้นผิวหน้า (ไมโครเมตร)
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211	65.8	78.9	2.6
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216	92.1	44.7	5.3

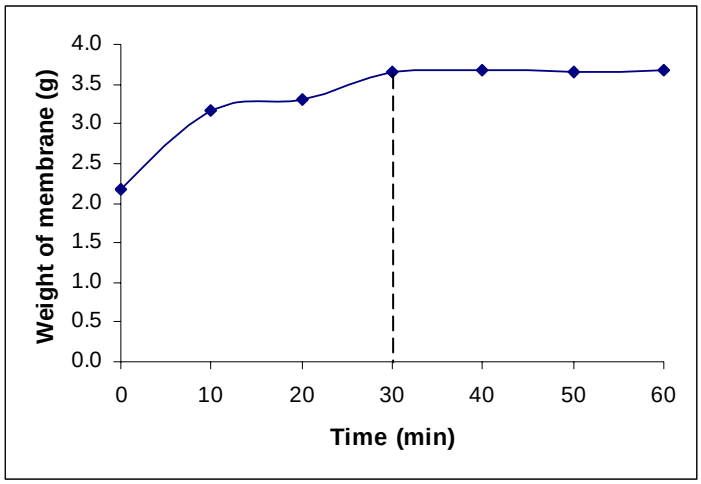
3.2 กระบวนการเวเปอร์เพอมิเอชันของสารละลายเอทานอล-น้ำ ผ่านเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216

3.2.1 ผลการศึกษาอัตราการอิ่มตัวของเมมเบรน

การศึกษาอัตราการอิ่มตัวของเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 แสดงดังภาพประกอบที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ โดยในการทดลองนำเมมเบรนมาแช่น้ำกลั่นทำการบันทึกผลทุกๆ 10 นาทีจากนั้นเมมเบรนทั้ง 2 ชนิดชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 4 ตำแหน่งจนกระทั่งน้ำหนักมีค่าคงที่ จากการศึกษาอัตราการอิ่มตัวของเมมเบรนพบว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 มีอัตราการอิ่มตัวที่แตกต่างกัน



ภาพประกอบ 3.5 น้ำหนักของเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ที่เวลาต่างๆ

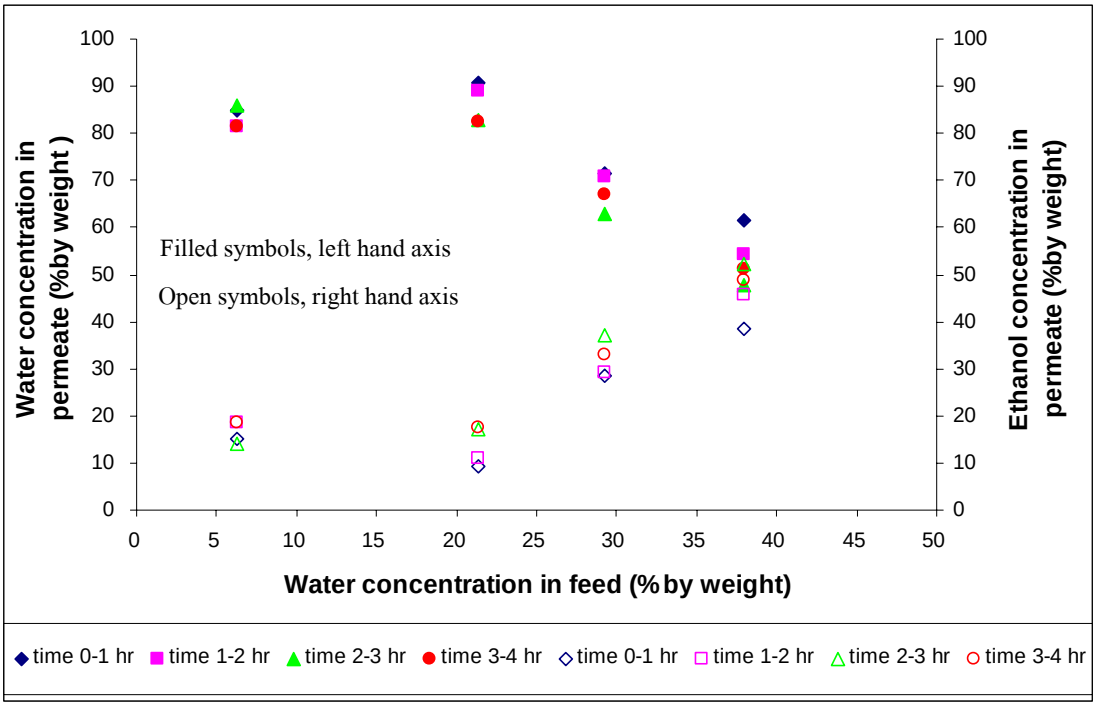


ภาพประกอบ 3.6 น้ำหนักของเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 ที่เวลาต่างๆ

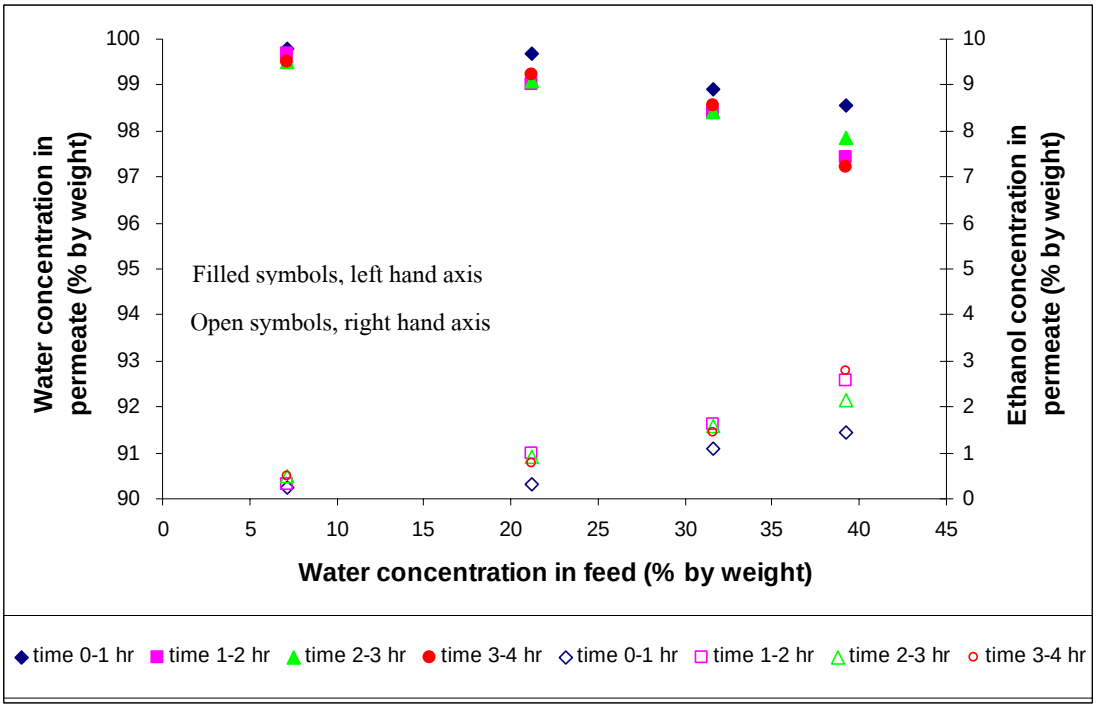
เนื่องจากเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 เป็นเมมเบรนแบบแห้ง ดังนั้นการนำเมมเบรนไปใช้งานต้องทำให้เมมเบรนมีความอิ่มตัวด้วยน้ำก่อนเสมอ พบว่าเมมเบรนทั้ง 2 สองชนิดมีการอิ่มตัวด้วยน้ำมากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และเมมเบรนมีการอิ่มตัวด้วยน้ำคงที่หลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 40 และ 30 นาทีสำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 ตามลำดับ ดังนั้นก่อนทำการทดลองทุกครั้งต้องนำเมมเบรนแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลาอย่างน้อย 40 และ 30 นาที เพื่อให้เมมเบรนมีความอิ่มตัวก่อนนำไปใช้งานและเกิดการแพร่ผ่านอย่างสมบูรณ์ สำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 ตามลำดับ พบว่าเวลาที่ทำให้เมมเบรนมีความอิ่มตัวด้วยน้ำสำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 น้อยกว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 เป็นผลเนื่องมาจากความพรุนในชั้นกลางของเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 น้อยกว่า (ช่องว่างภายในชั้นกลางน้อยกว่า) เมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ทำให้ใช้เวลาในการอิ่มตัวของเมมเบรนน้อยกว่า แสดงดังภาพประกอบ 3.3 กับ 3.4

3.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลและน้ำในด้านสารป้อน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลและน้ำในสารป้อนเมมเบรนเชิงประกอบชนิดชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 แสดงดังภาพประกอบ 3.7 และ 3.8 ประสิทธิภาพโดยรวมสำหรับการแยกอันเนื่องมาจากโครงสร้างของเมมเบรนเชิงประกอบทั้งสองชนิดแปรเปลี่ยนกับความเข้มข้นของสารป้อนดังนี้ เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนร้อยละ 60 70 80 และ 94 โดยน้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนร้อยละ 40 30 20 และ 6 โดยน้ำหนักพบว่าเมมเบรนทั้ง 2 ชนิดให้ความเข้มข้นของเอทานอลลดลงและความเข้มข้นของน้ำเพิ่มขึ้นในด้านเพอมิเอท



ภาพประกอบ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำในสารป้อนกับความเข้มข้นน้ำในเพอมิเอทและความเข้มข้นเอทานอลในเพอมิเอทสำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 สัญลักษณ์สีทึบแสดงผลบนแกนทางซ้ายมือ สัญลักษณ์สีสว่างแสดงผลบนแกนทางขวามือ



ภาพประกอบ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำในสารป้อนกับความเข้มข้นน้ำในเพอมิเอท และความเข้มข้นเอทานอลในเพอมิเอทสำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 สัญลักษณ์สีทึบแสดงผลบนแกนทางซ้ายมือ สัญลักษณ์สีสว่างแสดงผลบนแกนทางขวามือ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนร้อยละ 60 70 80 และ 94 โดยน้ำหนัก พบว่าความเข้มข้นของเอทานอลในเพอมิเอทอยู่ในช่วงร้อยละ 9 – 52 และร้อยละ 0.23 – 2.79 โดยน้ำหนัก สำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 แสดงดังภาพประกอบ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนร้อยละ 40 30 20 และ 6 โดยน้ำหนัก พบว่าความเข้มข้นของน้ำในด้านเพอมิเอทอยู่ในช่วงร้อยละ 47 – 90 และร้อยละ 97.21 – 99.78 โดยน้ำหนักสำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 แสดงภาพประกอบ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ พบว่าเมมเบรนทั้ง 2 ชนิดมีการแพร่ผ่านของน้ำได้มากกว่าเอทานอล ซึ่งสอดคล้องกับการมีคุณสมบัติความชอบน้ำ และเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 มีความสามารถในการแพร่ผ่านของน้ำได้ดีกว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ทุกๆ ความเข้มข้นของน้ำในสารป้อน

3.2.3 ผลของความหนาของเมมเบรน

ผลความหนาของชั้นผิวหน้าเมมเบรน ต่อเพอมิเอทฟลักซ์รวมและค่าการแยกของน้ำเทียบกับเอทานอลแสดงดังตาราง 3.2 ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนร้อยละ 6 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก พบว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 มีค่าเพอมิเอทฟลักซ์สูงกว่าแต่ค่าการแยกต่ำกว่าเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 ในทุกๆ ความเข้มข้นของน้ำในสารป้อน เป็นผลเนื่องมาจากความหนาของเมมเบรนสังเคราะห์ทั้งสองชนิดดังแสดงในตาราง 3.1 กล่าวคือ เมมเบรนที่มีความหนาของชั้นผิวหน้าแบบทึบของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากกว่าส่งผลทำให้ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ลดลง ซึ่งค่าเพอมิเอทฟลักซ์แปรผกผันกับความหนาของเมมเบรนตามสมการของฟิกส์ (Fick's law) ดังสมการ (3.1)

$$J_i = \frac{\overline{P}_i \Delta P}{l} \qquad (3.1)$$

โดยที่ J_i คือ เพอมิเอทฟลักซ์ของสาร i, (kg/m^2h)

l คือ ความหนาของเมมเบรน, (m)

$\overline{P}_i$ คือ สภาพการซึมผ่านสารของเมมเบรน (permeability), ($kg\ m/m^2\ Pa.h$)

ΔP คือ ผลต่างระหว่างความดันย่อยของสาร i ทางด้านป้อนและเพอมิเอท, (Pa)

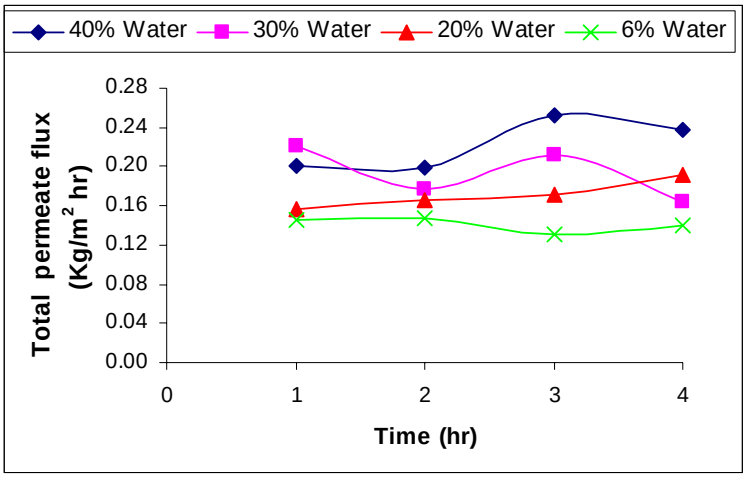
ตาราง 3.2 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมมเบรน

ชนิดเมมเบรน	ความเข้มข้นน้ำในสารป้อน ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ค่าฟลักซ์ กิโลกรัม*เมตร$^{-2}$ *ชั่วโมง$^{-1}$	ค่าการแยก
พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ 2211	6	0.1391	93
	20	0.1755	23
	30	0.1842	5
	40	0.2292	2
พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ 2216	6	0.0205	3164
	20	0.0240	374
	30	0.0356	140
	40	0.0514	69

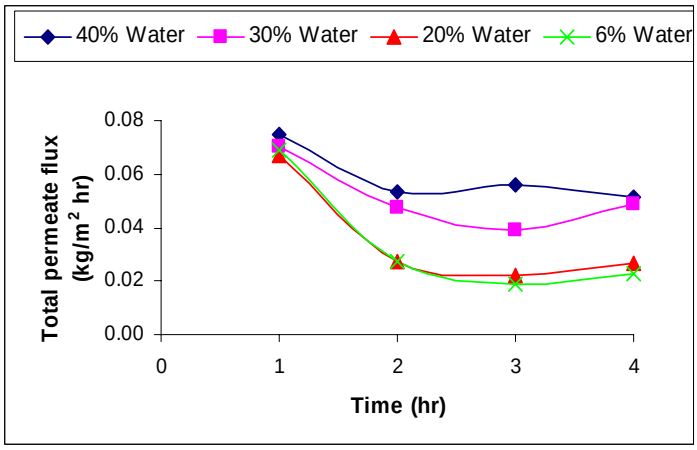
ผลจากความหนาของเมมเบรนดังแสดงในตาราง 3.1 เมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ซึ่งชั้นผิวหน้าเมมเบรนมีชั้นเคลือบผิวบางกว่า ทำให้มีความต้านทานของเมมเบรนน้อยกว่า จึงส่งผลทำให้ค่าเพอมิเอทฟลักซ์สูงกว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 ซึ่งมีชั้นเคลือบผิวหนากว่าแต่ค่าการแยกของเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 น้อยกว่าชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 ซึ่งสามารถอธิบายด้วยกลไกการละลายและการแพร่ กล่าวคือ เมมเบรนชนิดนี้มีคุณสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งจะเลือกให้น้ำผ่านมากกว่าเอทานอล เมื่อความหนาของชั้นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากขึ้น ทำให้เส้นทางการแพร่ของสารที่สามารถผ่านเมมเบรนได้ยาวนานกว่า ทำให้เมมเบรนมีความสามารถในการเลือกให้น้ำผ่านมากกว่าเอทานอลได้ดีกว่า เมมเบรนที่เคลือบด้วยความหนาของชั้นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์น้อยกว่าส่งผลให้ค่าการแยกลดลง

3.2.4 เพอมิเอทฟลักซ์รวมและค่าการแยก

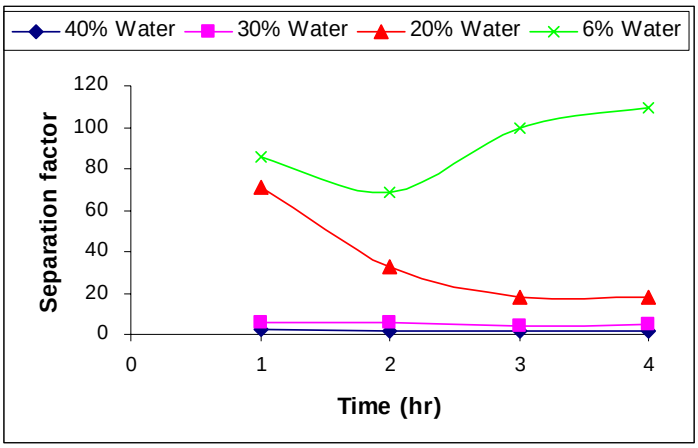
เพอมิเอทฟลักซ์รวมและค่าการแยกแสดงดังภาพประกอบ 3.9 และ3.11 สำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และแสดงดังภาพประกอบ 3.10 และ 3.12 สำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนร้อยละ 6 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าค่าเพอมิเอทฟลักซ์รวมและค่าการแยกที่ได้รับมีค่าไม่คงที่ในแต่ละชั่วโมงที่ทำการเก็บตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองสำหรับการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำและสารละลายไอโซโพรพานอล-น้ำด้วยเมมเบรนชนิดซีโอไลต์ NaA แบบท่อม้วน (Jalar et al., 2002)



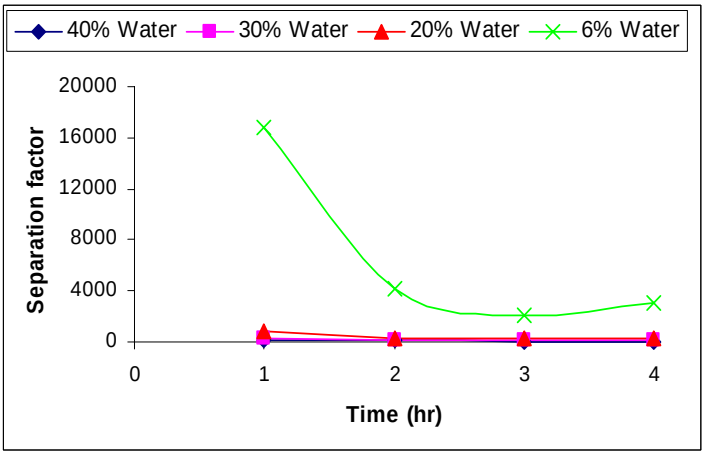
ภาพประกอบ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอทฟลักซ์รวมที่เวลาต่างๆ สำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211



ภาพประกอบ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอทฟลักซ์รวมที่เวลาต่างๆ สำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216



ภาพประกอบ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแยกที่เวลาต่างๆ สำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211

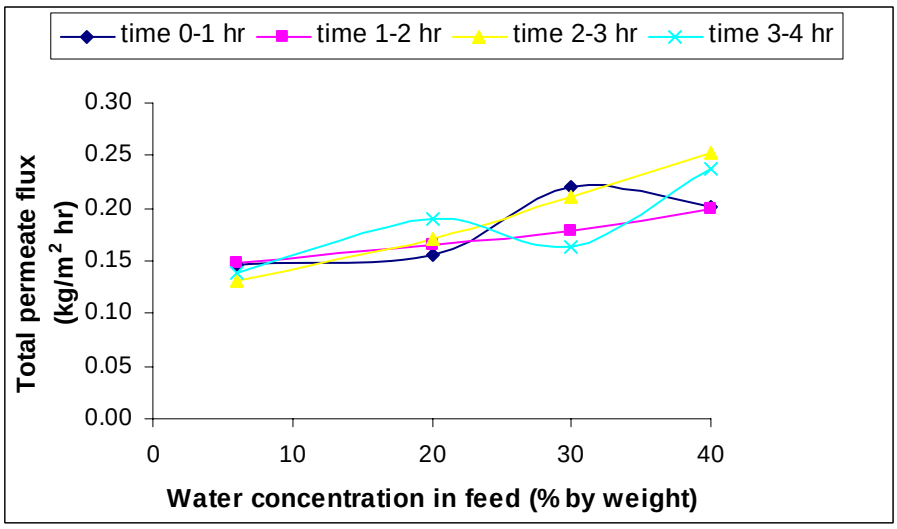


ภาพประกอบ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแยกที่เวลาต่างๆ สำหรับเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216

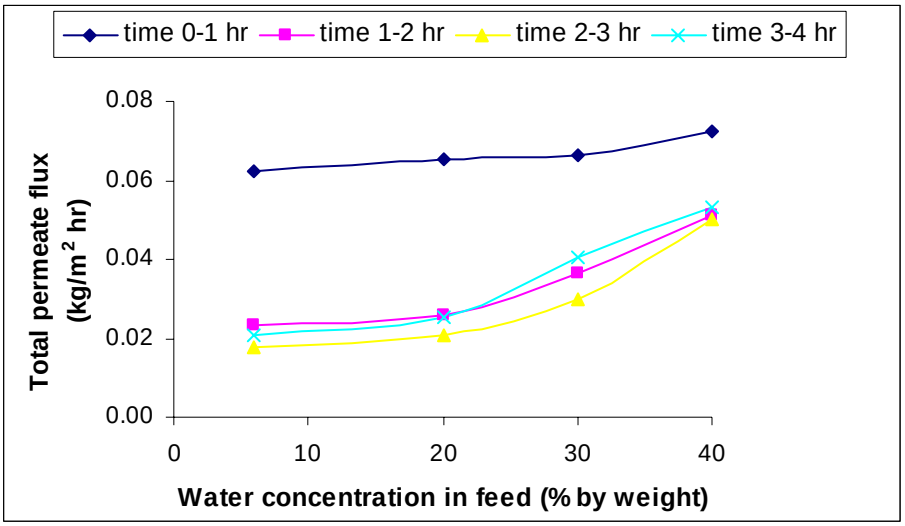
อธิบายได้ว่าความไม่คงที่ของค่าเพอมิเอทฟลักซ์รวมและค่าการแยกในแต่ละชั่วโมงที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นผลเนื่องมาจากความดันภายในระบบ เนื่องจากแรงขับดันในการถ่ายโอนมวลของสารละลายเอทานอล-น้ำขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันด้านสารป้อน (ความดันบรรยากาศ) และความดันด้านเพอมิเอท (ความดันสุญญากาศ) ซึ่งความดันด้านเพอมิเอทในการทดลองควบคุมให้มีค่าไม่เกิน 20 มิลลิเมตรปรอท ทำให้ความแตกต่างของความดันในแต่ละชั่วโมงมีค่าไม่เท่ากันส่งผลให้เกิดความแตกต่างของค่าเพอมิเอทฟลักซ์รวมและค่าการแยกในแต่ละชั่วโมง และปัจจัยอื่นๆ ที่อาจจะส่งผล เช่น อัตราการเดือดของสารละลาย อุณหภูมิน้ำแข็งแห้ง เป็นต้น สำหรับผลการทดลองเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 จากภาพประกอบ 3.10 พบว่าในชั่วแรกที่ทำการเก็บตัวอย่างได้รับค่าเพอมิเอทฟลักซ์สูงกว่าชั่วโมงอื่นๆ เป็นผลเนื่องมาจากน้ำที่อิ่มตัวอยู่ภายในเมมเบรน (ผลการทดลอง 3.2.1) โดยเมื่อเริ่มทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่อิ่มตัวอยู่ภายในเมมเบรนนี้สามารถแพร่ผ่านเมมเบรนไปพร้อมกับไอของสารละลายเอทานอลในชั่วโมงแรกทำให้ค่าฟลักซ์สูงกว่าชั่วโมงอื่นๆและทำให้ได้รับค่าการแยกที่สูงกว่าชั่วโมงอื่นๆด้วย ดังแสดงในภาพประกอบ 3.12 แต่สำหรับผลการทดลองเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 จากภาพประกอบ 3.9 พบว่าค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่ได้รับในแต่ละชั่วโมงที่ทำการเก็บตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำที่อิ่มตัวอยู่ภายในเมมเบรนส่งผลน้อยมากเนื่องจากค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่ได้รับมีค่าสูงกว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 มากและทำให้ได้รับค่าการแยกที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพประกอบ 3.11

3.2.5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายป้อน

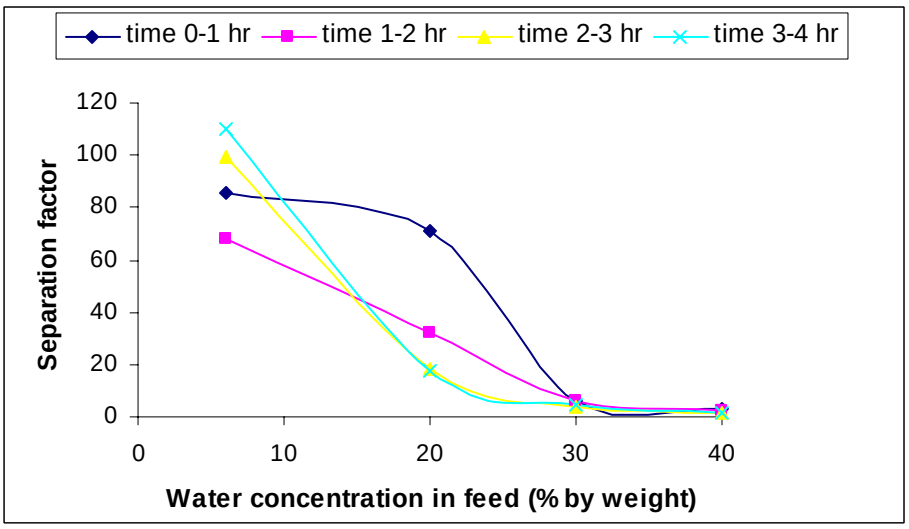
ผลของความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนต่อเพอมิเอทฟลักซ์รวมที่เวลาต่างๆ ผ่านเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 แสดงดังภาพประกอบ 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ และผลของความเข้มข้นของสารละลายป้อนต่อค่าการแยกของน้ำที่เวลาต่างๆ ผ่านเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 แสดงดังภาพประกอบ 3.15 และ 3.16 ตามลำดับ พบว่าเพอมิเอทฟลักซ์รวมจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนเพิ่มขึ้นแต่ให้ค่าการแยกลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองสำหรับการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำด้วยเมมเบรนชนิดพอลิอิไมด์แบบเส้นใยกลวง (Wu et al., 2002) และการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดซีโอไลต์แบบหลายชั้น (Huang et al., 2005 และ 2006) และการแยกสารละลายเอทานอล-น้ำ สารละลายเมทานอล-น้ำ สารละลายไอโซโพรพิล-น้ำ และสารละลายกรดอะซิติก-น้ำ (Baelen et al., 2005)



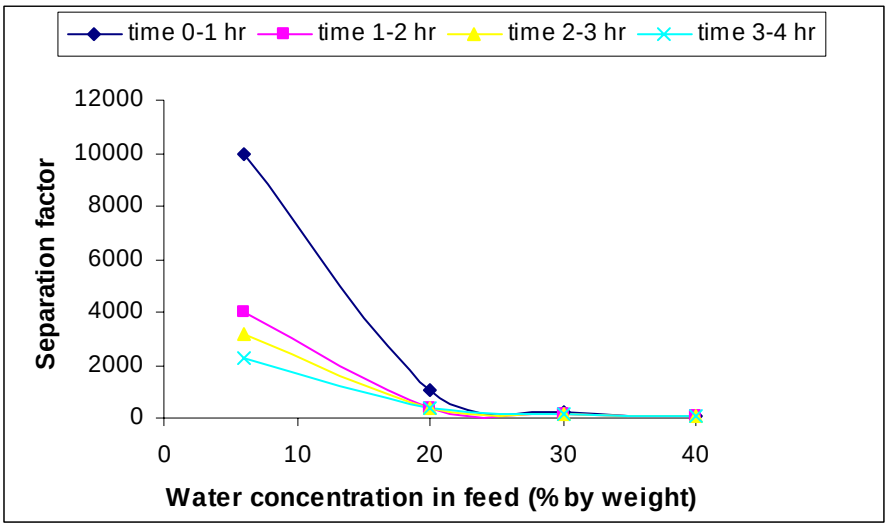
ภาพประกอบ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์กับความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนผ่านเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211



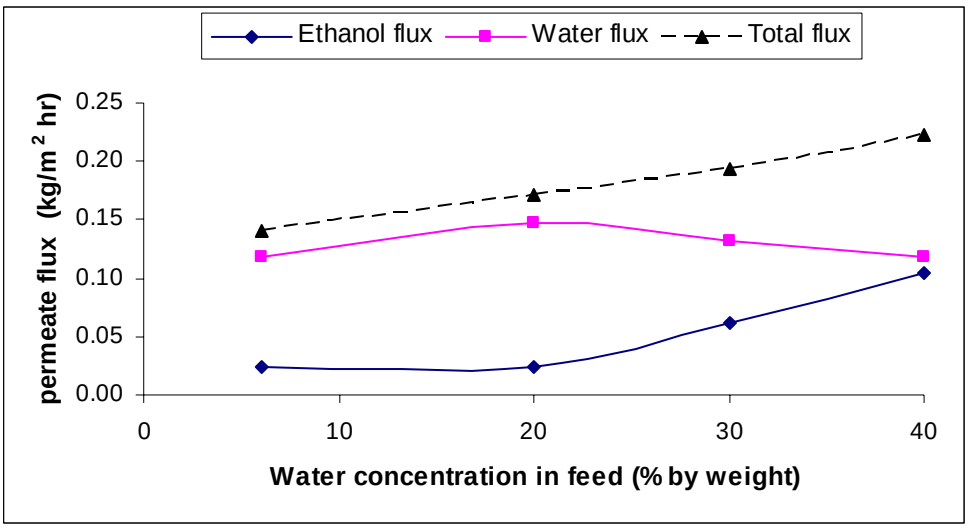
ภาพประกอบ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์กับความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนผ่านเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216



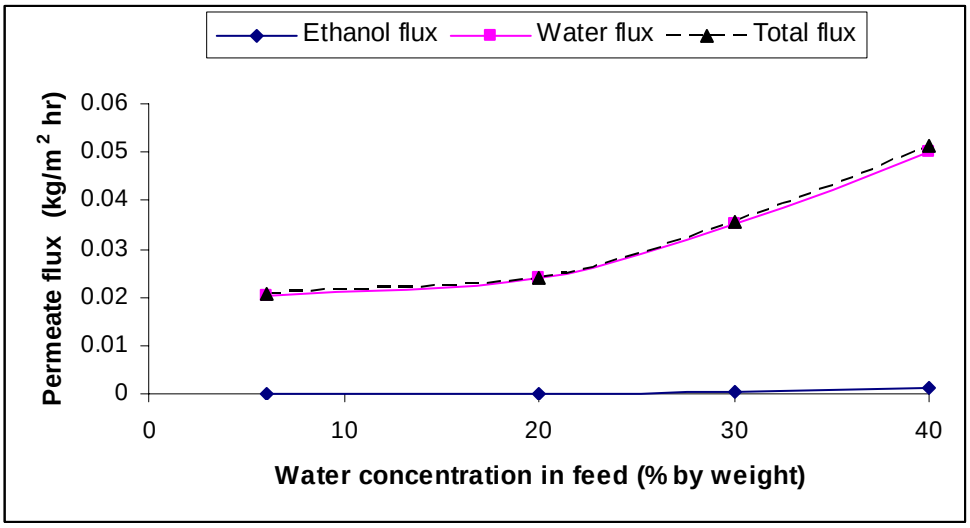
ภาพประกอบ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแยกกับความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนผ่านเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211



ภาพประกอบ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแยกกับความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนผ่านเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216



ภาพประกอบ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์น้ำและฟลักซ์เอทานอลกับความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนผ่านเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211



ภาพประกอบ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์น้ำและฟลักซ์เอทานอลกับความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนผ่านเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216

เนื่องจากเมมเบรนทั้ง 2 ชนิดนี้มีคุณสมบัติความชอบน้ำทำให้เมมเบรนจะมีการเลือกให้น้ำผ่านมากกว่าเอทานอลทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำสูงกว่าฟลักซ์ของเอทานอลดังภาพประกอบ 3.17 และ 3.18 เมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนเพิ่มขึ้นทำให้เมมเบรนเกิดการบวมตัวทำให้โมเลกุลของน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของเอทานอล เกิดการแพร่ผ่านเมมเบรนได้สูงขึ้นและ

พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นด้วย (ตารางข.2) เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เป็นชั้นเคลือบมีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ โครงสร้างนี้สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้น เป็นผลให้เกิดปริมาตรว่าง (free volume) ภายในโมเลกุลมากขึ้นและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะสามารถทำให้ปริมาณการรวมกลุ่มของน้ำลดลง เป็นผลให้ทั้งโมเลกุลของเอทานอลและน้ำสามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้สูงขึ้น ดังนั้นที่ปริมาณน้ำในสารป้อนสูงขึ้นเพอมิเอทฟลักซ์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นอย่างมาก ค่าของเพอมิเอทฟลักซ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสามารถอธิบายได้ตามนิยามของอาเรเนียส ซึ่งแสดงดังสมการ (3.2)

$$J_i = J_0 \exp\left(\frac{-E_{J,i}}{RT}\right) \tag{3.2}$$

$$\ln J_i = -\frac{E_{Ji}}{R}\left(\frac{1}{T}\right) + \ln J_O \tag{3.3}$$

โดยที่ $E_{J,i}$ คือ พลังงานกระตุ้นของฟลักซ์ของสารชนิด i, (kJ/mol)

J_O คือ ฟลักซ์แฟคเตอร์เบื้องต้น(pre-exponential factor), (kg /m^2h)

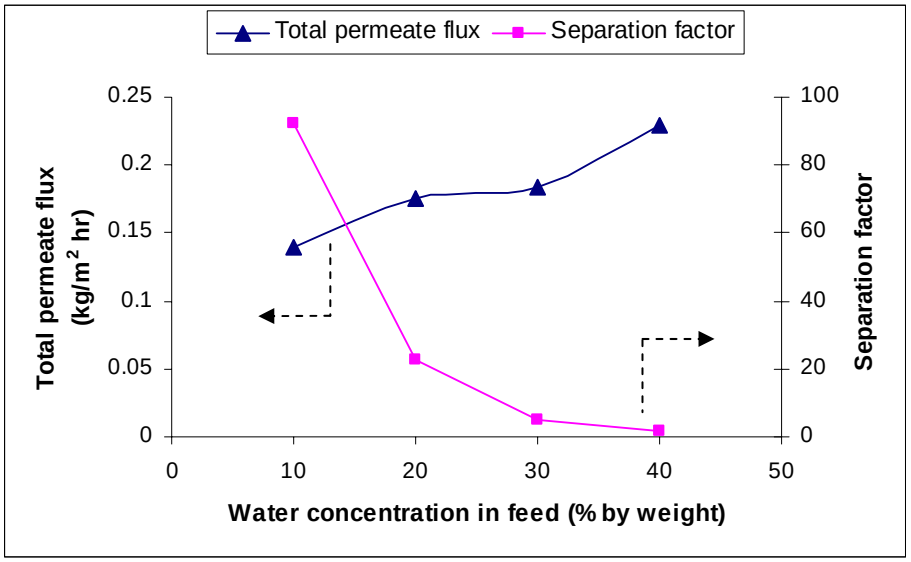
R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ, 8.314×10^{-3} (kJ /mol K)

T คือ อุณหภูมิ, (K)

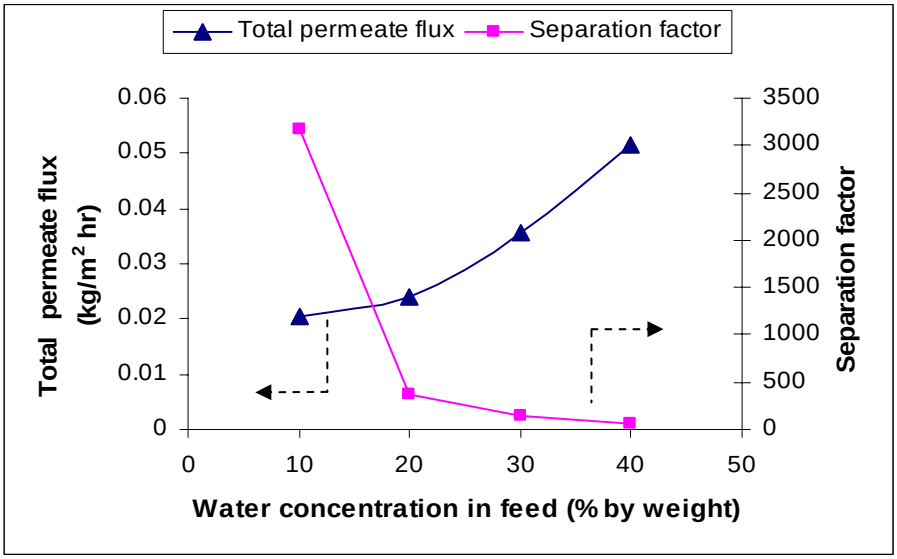
สำหรับค่าการแยกในช่วงความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนสูง เกิดพันธะไฮโดรเจนมากขึ้นโดยเป็นพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำซึ่งอยู่รอบกลุ่มอัลคิล (alkyl group) ของเอทานอล (Kazuko Mizuno,1995) น้ำสามารถเกิดการคู่ควบ (coupling effect) กับเอทานอลด้วยพันธะไฮโดรเจนและพาโมเลกุลของเอทานอลให้ผ่านเมมเบรนไปด้วย และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้เอทานอลระเหยได้มากขึ้นเป็นผลทำให้ค่าการแยกมีค่าลดลง

3.2.6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเมมเบรน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 แสดงดังภาพประกอบ 3.19 และ 3.20 และตารางที่ 3.2 เมื่อความเข้มข้นของน้ำในสารละลายป้อนร้อยละ 6 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



ภาพประกอบที่ 3.19 แสดงค่า Total permeate flux และ Separation factor ที่ความเข้มข้นน้ำต่างๆ ในสารป้อนของเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211



ภาพประกอบที่ 3.20 แสดงค่า Total permeate flux และ Separation factor ที่ความเข้มข้นน้ำต่างๆ ในสารป้อนของเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216

จากภาพประกอบ 3.19 และ 3.20 และตารางที่ 3.2 พบว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ฟลักซ์สูงกว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 ทุกความเข้มข้นของน้ำในสารป้อน ค่าฟลักซ์สูงสุดเท่ากับ 0.2292 กิโลกรัม*เมตร$^{-2}$ *ชั่วโมง$^{-1}$ ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก แต่เมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 มีค่าการแยกสูงกว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ทุกความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนและมีค่าการแยกสูงสุดเท่ากับ 3,164 ที่ความเข้มข้นของน้ำในสารป้อนร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองที่แตกต่างกันระหว่างเมมเบรนทั้งสองชนิดเกิดจากโครงสร้างที่แตกต่างกัน โดยเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 มีชั้น PVA ที่ผิวหน้าหนากว่าเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ความหนาของเมมเบรนแปรผกผันกับค่าฟลักซ์ตามสมการของฟิกส์ (Fick's law) (สมการ (3.1)) และชั้นผิวหน้าส่งผลต่อค่าการแยกของเมมเบรนเนื่องจากเป็นชั้นที่มีความทึบ สำหรับชั้นที่สองเป็น PAN เป็นชั้นที่มีโครงสร้างแบบรูพรุนซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรน เมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216 มีความพรุนน้อยกว่าเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 ทำให้ฟลักซ์มีค่าต่ำกว่า

ตาราง 3.3 พื้นที่และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 แบบแผ่นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 99.5 โดยน้ำหนัก

ชนิดเมมเบรน	พื้นที่เมมเบรน (ตารางเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางเมมเบรน (เซนติเมตร)
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211	0.48	77.9
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2216	2.71	186.0

จากการคำนวณในสมการดุลมวลของเอทานอล พบว่าเมมเบรนเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2211 และ 2216 ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 77.9 และ 186.0 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ในการกรอง 0.48 และ 2.71 ตารางเมตร ตามลำดับ จึงทำให้เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 94 โดยน้ำหนักในสารละลายป้อนซึ่งมีอัตราการไหล 1,000 กรัมต่อชั่วโมง มีความเข้มข้นเอทานอลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 99.5 โดยน้ำหนักในผลิตภัณฑ์รีเทนเทท เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ในเชิงพาณิชย์