บทที่ 5

ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 การทำให้สารสกัดหยาบเข้มข้นขึ้นโดยใช้การระเหยด้วยเครื่องโรตารีอีเวเพอเรเตอร์

จากการสกัดสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก ด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในถังกวน โดยใช้อัตราส่วนผงใบขี้เหล็กแห้ง 10 กรัมต่อตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร ขนาดผงใบขี้เหล็กเล็กกว่า 500 ไมโครเมตร ความเร็วรอบของใบกวน 250 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของสารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กมีค่าในช่วง 1.6890-1.9535 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณสารบาราคอลร้อยละ 1.69-1.95 ในใบขี้เหล็กแห้ง

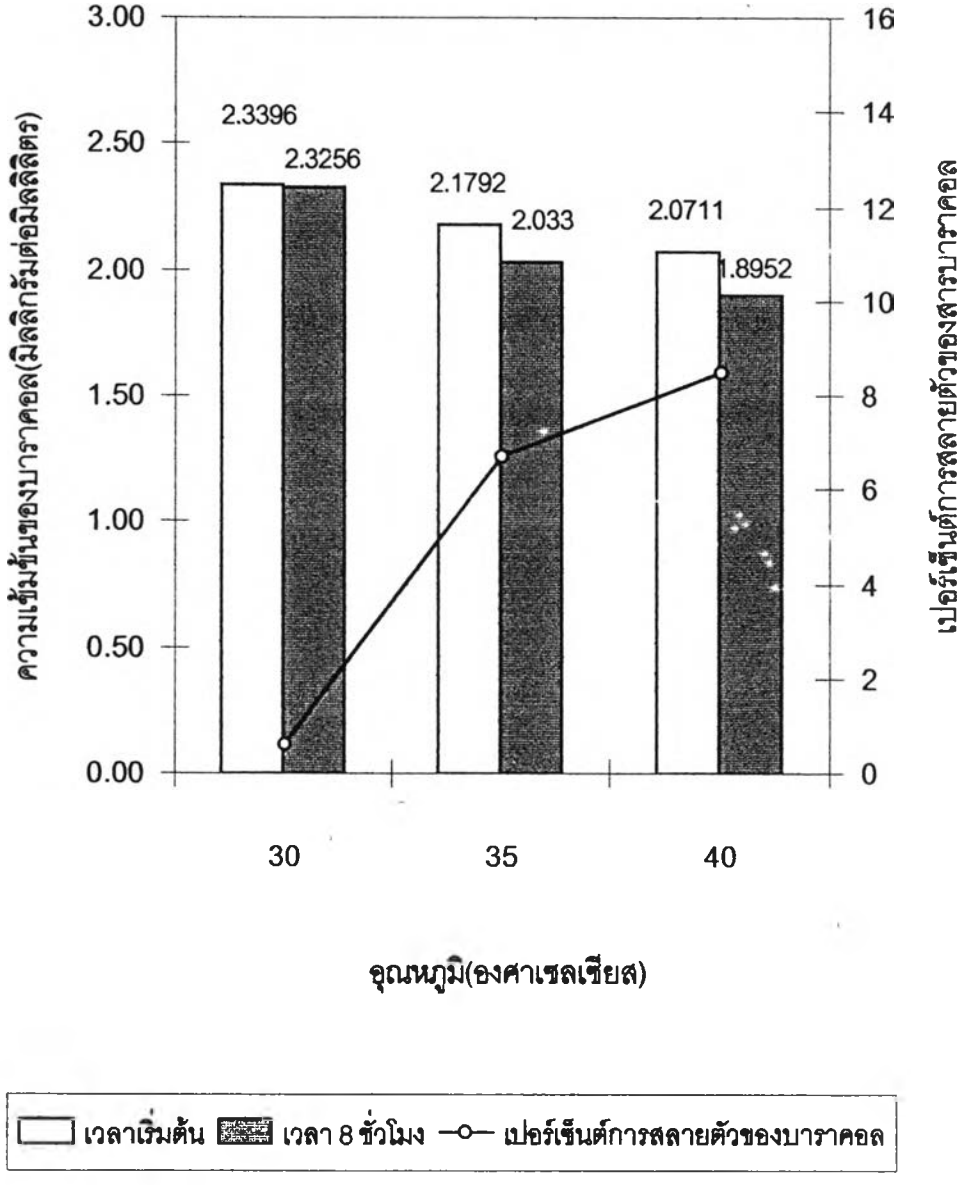
เนื่องจากองค์ประกอบสำคัญในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กคือ สารบาราคอล น้ำ และเอทานอลความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร การทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบเข้มข้นขึ้นคือการแยกเอทานอลและน้ำออกจากสารสกัดหยาบ ในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดลองเพื่อแยกเอทานอลซึ่งเป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าออกจากสารสกัดหยาบโดยใช้การระเหย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการระเหยทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลในสารสกัดหยาบลดลงจาก 16.39 เป็น 1.91 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้น 37.78 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของสารบาราคอลที่เพิ่มขึ้นในการทดลองนี้มีค่าน้อยกว่าจากการทำสมดุลมวลสาร เนื่องจากสารบาราคอลมีการสลายตัวที่ภาวะดังกล่าว ซึ่งจะแสดงผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของสารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กในลำดับต่อไป

ตารางที่ 5.1 ผลของการระเหยในการเพิ่มความเข้มข้นของสารบาราคอลในสารสกัดหยาบ

	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารบาราคอล (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของเอทานอล (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)
สารละลายเริ่มต้นในขวด	1550	1.9535	16.39
สารละลายสุดท้ายที่เหลือในขวด	1058	2.6915	1.91
สารละลายที่ได้จากการควบแน่นไอระเหย	492	0.0000	45.25

5.2 ผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของสารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก

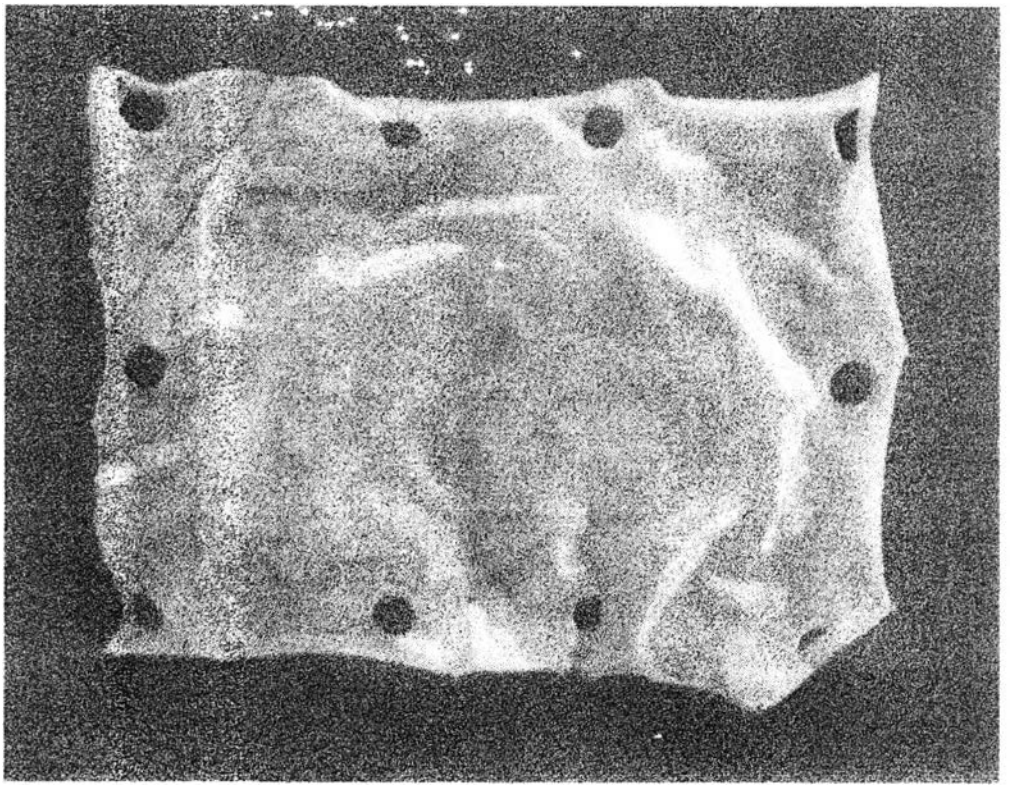
จากการทดลองนำสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กที่บรรจุในหลอดทดลองแช่ลงในอ่างน้ำซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และวิเคราะห์ปริมาณสารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กก่อนและหลังการทดลอง จากนั้นคำนวณค่าการสลายตัวของสารบาราคอลเมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงรูปที่ 5.1 พบว่าสารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กมีการสลายตัว(deactivation) 0.60 6.71 และ 8.49 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 40 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อการสลายตัวของสารบาราคอล โดยสารบาราคอลเกิดการสลายตัวมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของพิชัย(4) ซึ่งแสดงถึงผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของสารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ในเวลา 48 ชั่วโมง โดยสารบาราคอลมีการสลายตัว 1.2 29.3 และ 46.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



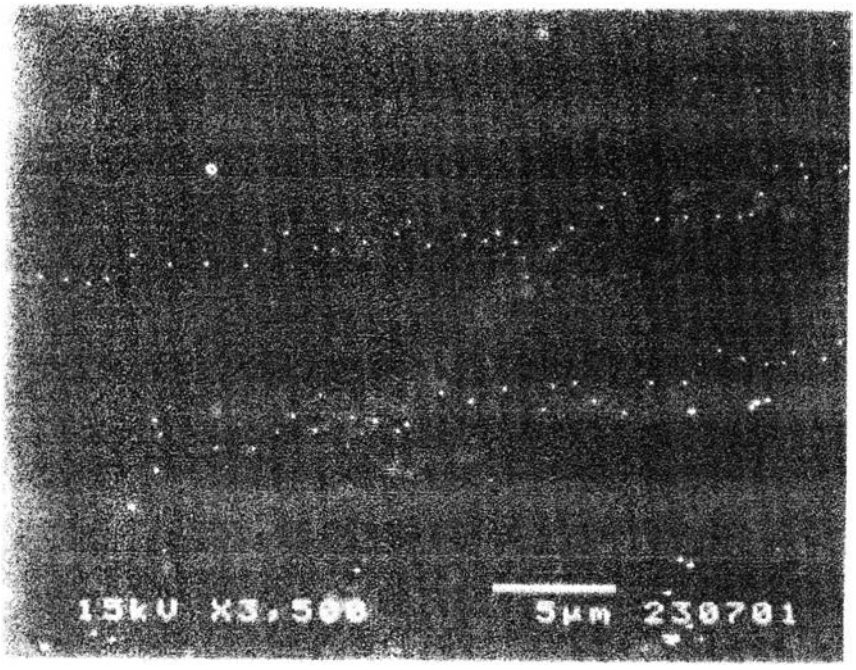
รูปที่ 5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของสารบาราคอลเมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

5.3 เยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริก

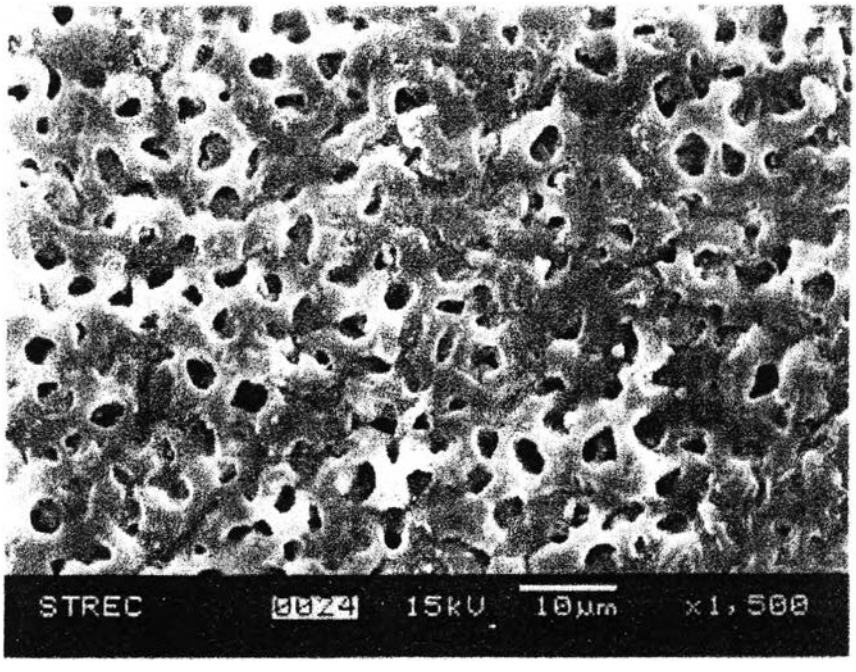
เยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริก มีลักษณะสีขาวขุ่นดังแสดงในรูปที่ 5.2 จากการวิเคราะห์พื้นผิวของเยื่อแผ่นดังกล่าวโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด(SEM) พบว่าเยื่อแผ่นที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นเยื่อแผ่นชนิดไม่สมมาตร ดังรูปที่ 5.3 ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์เยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริกที่มีความหนาของชั้นที่ไม่มีรูพรุนสามขนาดคือ 7.27 14.54 และ 27.27 ไมโครเมตร รูปที่ 5.4 แสดงภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นดังกล่าว



รูปที่ 5.2 ลักษณะของเยื่อแผ่น

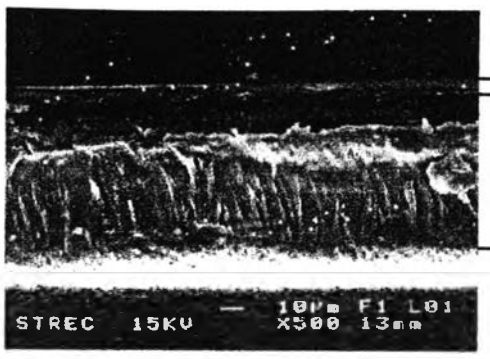


(ก) ด้านหน้า



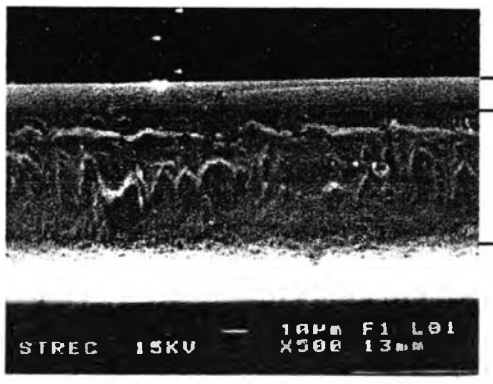
(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 5.3 แสดงภาพถ่ายบริเวณพื้นผิวด้านหน้า(ก) และด้านหลัง(ข) ของเยื่อแผ่นด้วยกล้องจุลทรรศ์อิเลคตรอนแบบส่องกราด(SEM)



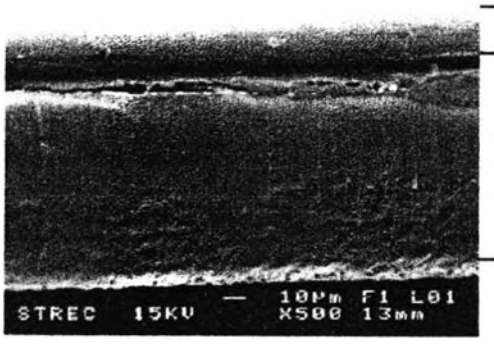
ความหนาของชั้นไม่มีรูพรุน
7.27 ไมโครเมตร

ความหนาของชั้นมีรูพรุน
63.64 ไมโครเมตร



14.54 ไมโครเมตร

52.48 ไมโครเมตร



27.27 ไมโครเมตร

81.82 ไมโครเมตร

รูปที่ 5.4 แสดงภาพถ่ายบริเวณภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นด้วยกล้องจุลทรรศ์อิเลคตรอนแบบส่องกราด(SEM)

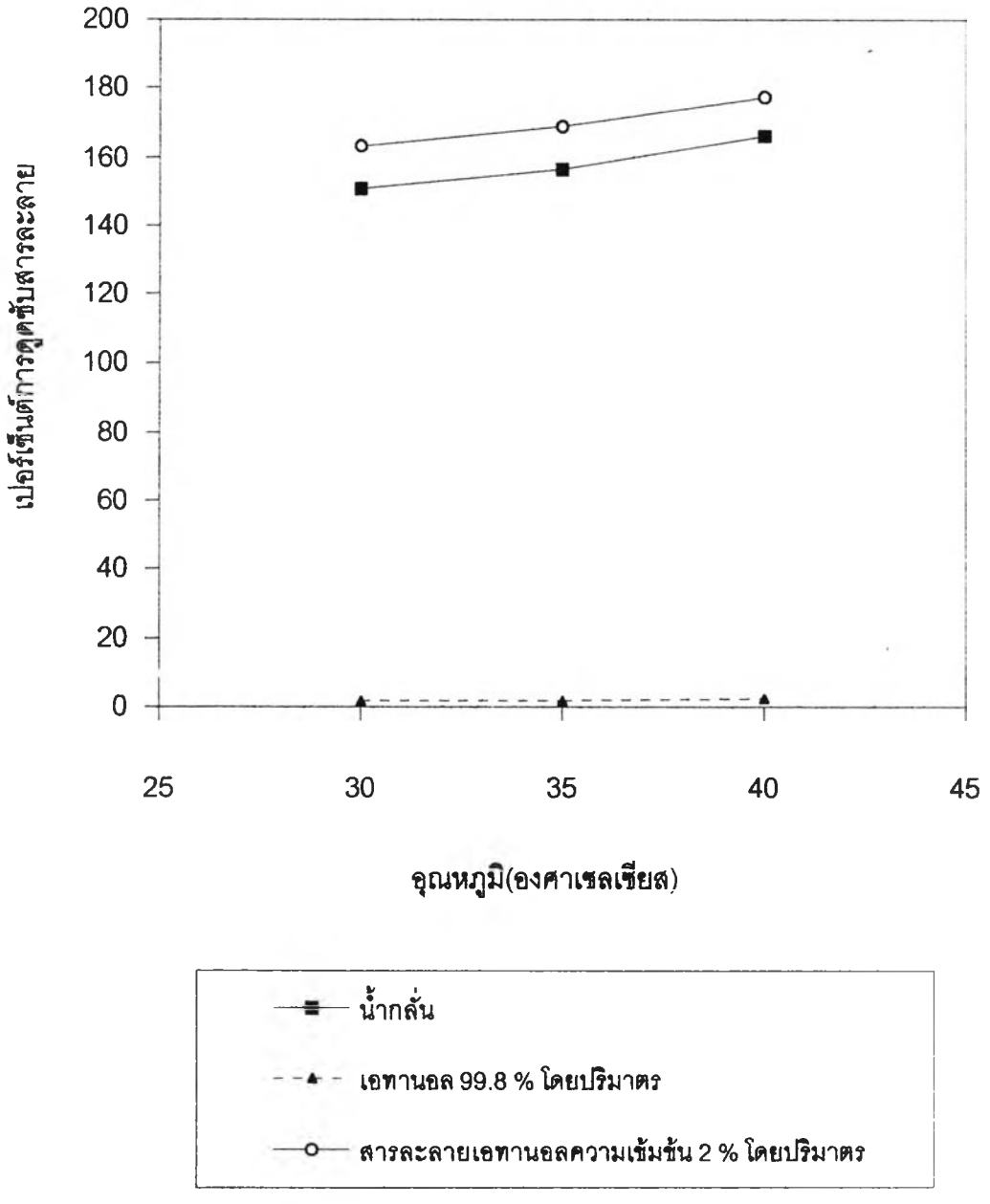
5.4 ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับน้ำกลั่น เอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในเยื่อแผ่น

จากการทดลองการดูดซับน้ำกลั่น เอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรซึ่งเป็นความเข้มข้นของเอทานอลในสารสกัดหยาบจากใบชี้เหล็กที่ผ่านการแยกเอทานอลออกในกระบวนการระเหยด้วยเครื่องโรตารีอีเวเพอเรเตอร์ ในเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริก ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.5 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกลั่นและสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ส่วนการดูดซับเอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในเยื่อแผ่นมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยเยื่อแผ่นมีความสามารถในการดูดซับน้ำกลั่นได้มากกว่าเอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แสดงว่าเยื่อแผ่นชนิดนี้เป็นเยื่อแผ่นที่สามารถเกิดแรงกระทำกับน้ำได้ดีกว่าเอทานอล

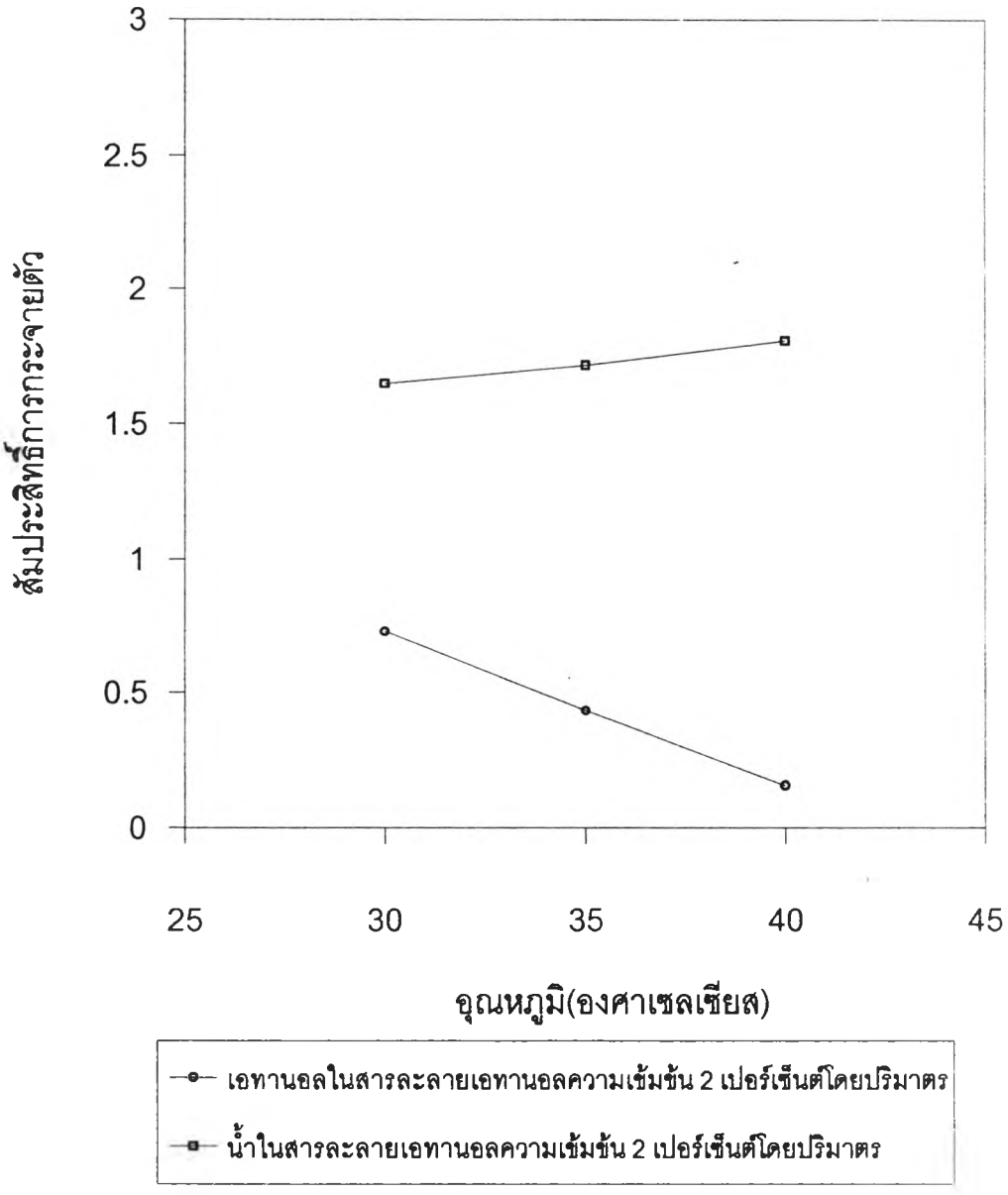
เนื่องจากการพองตัวของน้ำในเยื่อแผ่น ทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น โมเลกุลของเอทานอลและโมเลกุลที่เกิดพันธะควบคู่ระหว่างเอทานอลกับน้ำจึงแพร่เข้าไปในเยื่อแผ่นได้มากขึ้น เยื่อแผ่นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรได้มากกว่าน้ำกลั่นและเอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ

ความสามารถในการละลายหรือการดูดซับของสารในเยื่อแผ่นพอลิเมอร์สามารถแสดงได้ในเทอมของสัมประสิทธิ์การกระจายตัว รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารกับอุณหภูมิของสายป้อน พบว่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของน้ำในเยื่อแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเอทานอลมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้จากงานวิจัยของ Liang และ Ruckenstein(23) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของเอทานอลกับน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้ผลของพันธะควบคู่ระหว่างโมเลกุลน้ำและเอทานอลลด

ลง เอทานอลจึงแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้น้อยลง ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเอทานอลมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการดูดซับสารในเยื่อแผ่น



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารกับอุณหภูมิของสายป้อน

5.5 กระบวนการเพอร์เวเพอร์เรชันของน้ำกลั่น

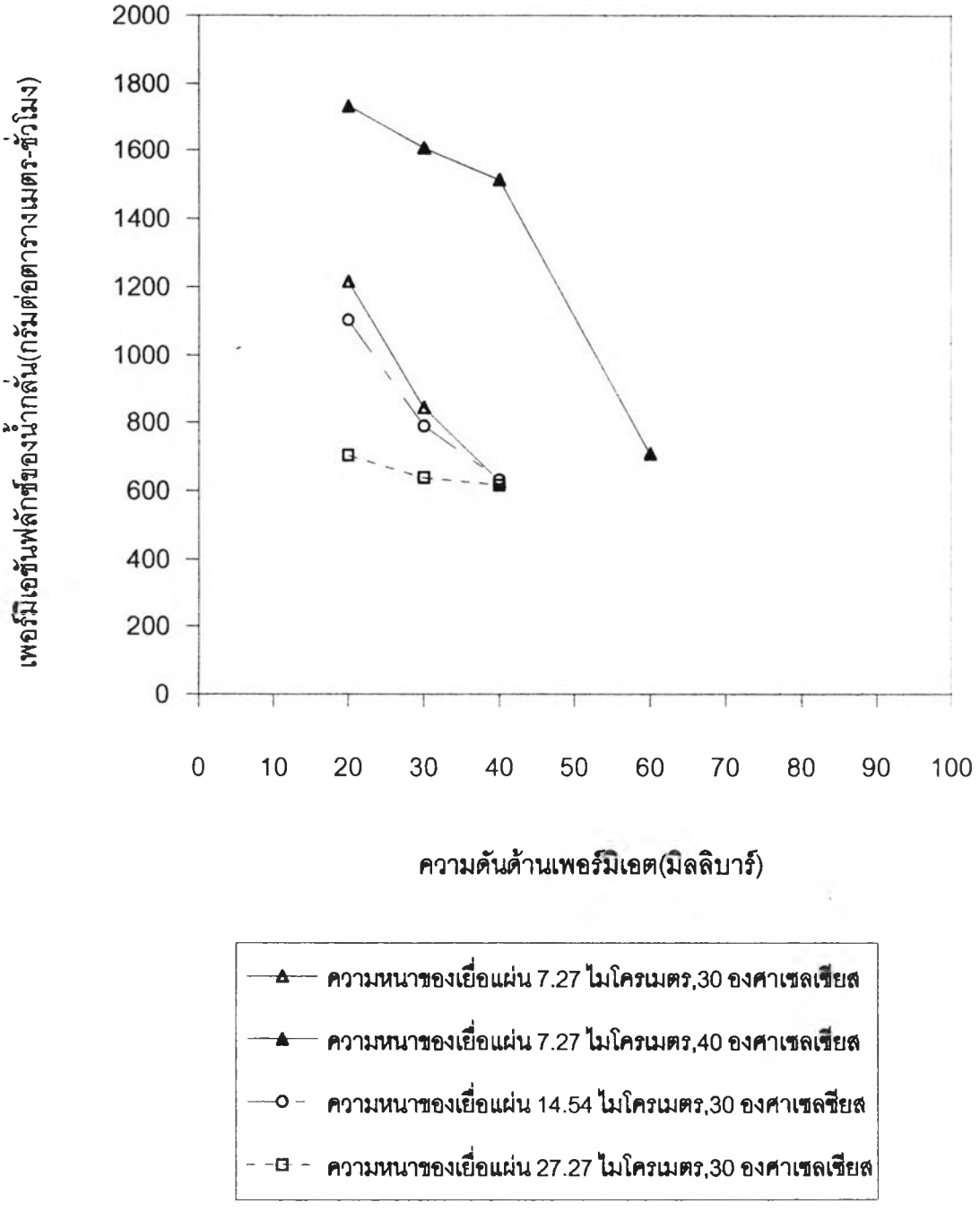
จากการทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นที่สังเคราะห์ได้สำหรับกระบวนการเพอร์เวเพอร์เรชันของน้ำกลั่น มีรายละเอียดดังนี้

5.5.1 ความหนาของเยื่อแผ่น

ผลของความหนาของเยื่อแผ่นที่มีต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำแสดงดังรูปที่ 5.7 เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำมีค่าลดลงจาก 1214.35 เป็น 701.27 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง เมื่อความหนาของชั้นที่ไม่มีรูพรุนในเยื่อแผ่นเพิ่มจาก 7.27 เป็น 27.27 ไมโครเมตร ที่ความดัน 20 มิลลิบาร์ อุณหภูมิสายป้อน 30 องศาเซลเซียส ฟลักซ์ของน้ำกลั่นมีค่าแปรผกผันกับความหนาของเยื่อแผ่นซึ่งเป็นไปตามสมการของฟิคก์(สมการที่ 3.18) ดังนั้นเยื่อแผ่นที่มีความเหมาะสมในการดำเนินงานในการทดลองขั้นต่อไปคือเยื่อแผ่นที่มีความหนาของชั้นที่ไม่มีรูพรุน 7.27 ไมโครเมตร

5.5.2 ความดันเพอร์มิเอต

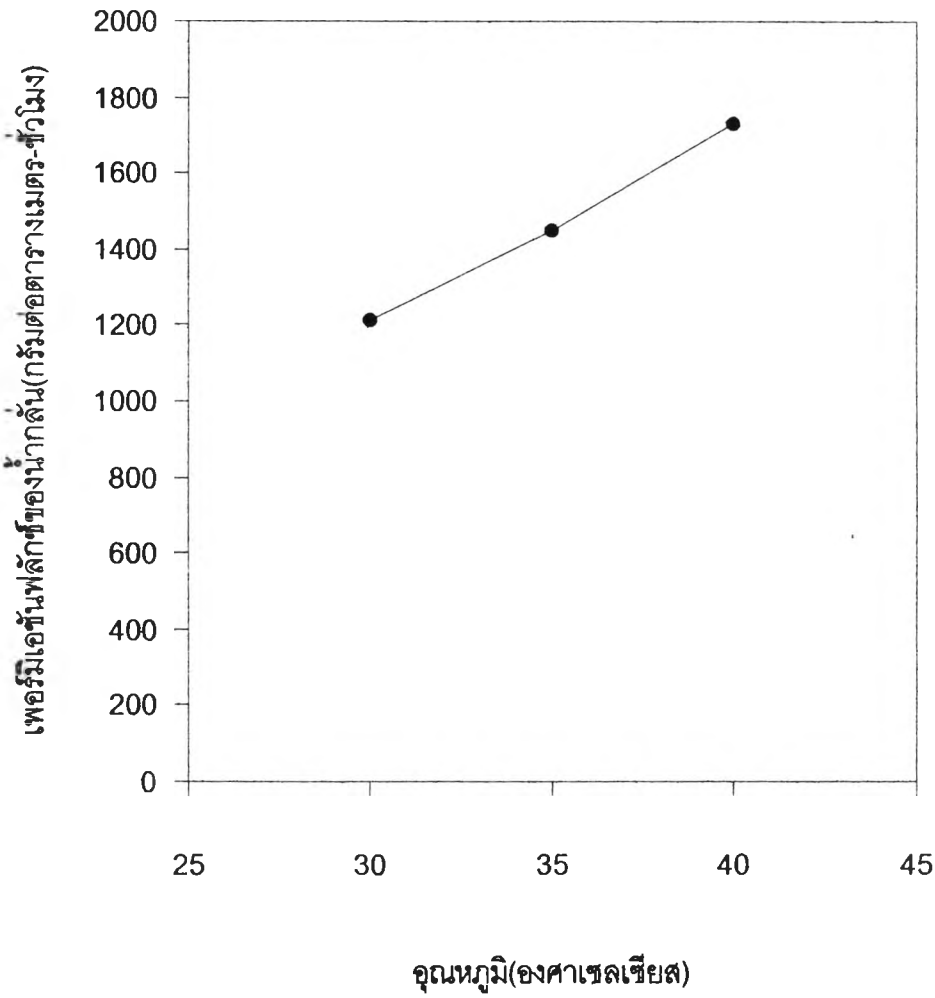
ผลของความดันทางด้านเพอร์มิเอตที่มีต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำกลั่นแสดงดังรูปที่ 5.7 ฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันทางด้านเพอร์มิเอตลดลง เนื่องจากแรงขับดันของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันคือผลต่างของความดันในสารป้อนและด้านเพอร์มิเอต ดังสมการที่ 3.21 แรงขับดันดังกล่าวมีค่าสูงเมื่อความดันย่อยของสารทางด้านเพอร์มิเอตมีค่าต่ำ และเมื่อแรงขับดันมีค่าสูงฟลักซ์ของน้ำจึงมีค่าสูง



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเพอร์มิเอตและความหนาของเยื่อแผ่น กับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำกลั่น

5.5.3 อุณหภูมิของสายป้อน

เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสายป้อนเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5.8 เนื่องจากความสามารถในการดูดซับและการแพร่ของน้ำเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอาร์รีเนียส



รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสายป้อนกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำกลั่น ที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ ความหนาของเยื่อแผ่น 7.27 ไมโครเมตร

5.5.4 ค่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำกลั่น

สามารถคำนวณค่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำกลั่นในเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริกได้โดยใช้สมการที่ 3. 21 ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.9 โดยเพอร์มิเอบิลิตีมีค่าลดลงเมื่อลดความดันทางด้านเพอร์มิเอต เนื่องจากผลของการพองตัวของเยื่อแผ่นพบในกรณีที่พอลิเมอร์มีการพองตัวสูง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Thompson และคณะ(28) ซึ่งศึกษากระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของเฮกเซนผ่านเยื่อแผ่นพอลิเมอร์พวกยาง

จากรูปที่ 5.9 เพอร์มิเอบิลิตีมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าเพอร์มิเอบิลิตีสามารถอธิบายได้สองแบบดังนี้ แบบแรกคือการอธิบายโดยใช้สมการของอาร์รีเนียส โดยค่าเพอร์มิเอบิลิตีของสาร(P) เป็นผลจากความสามารถในการละลาย(S)และการแพร่ของสารผ่านเยื่อแผ่น(D) ดังสมการที่ 5.1(31)

$$P = DS \qquad 5.1$$

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการละลายและการแพร่ของสารแสดงได้ดังสมการที่ 5.2 และ 5.3

$$D = D_o \exp(-E_D/RT) \qquad 5.2$$

$$S = S_o \exp(-\Delta H/RT) \qquad 5.3$$

ดังนั้น

$$P = P_o \exp(-E_p/RT) \qquad 5.4$$

เมื่อ E_p คือพลังงานกระตุ้นในการซึมผ่านเยื่อแผ่นซึ่งเป็นผลรวมของพลังงานกระตุ้นในการแพร่(E_D) และ enthalpy of dissolution (ΔH) : ($E_P = E_D + \Delta H$)

จากสมการที่ 5.4 ค่า E_P คือความชันของเส้นกราฟระหว่างค่าเพอร์มิเอบิลิตีและ 1/T ดังรูปที่ 5.10 ในการทดลองนี้ E_P มีค่าเท่ากับ -0.77×10^{-8} -0.93×10^{-8} -2.88×10^{-8} แคลอรีต่อชั่วโมง-กรัมโมล ที่ความดัน 20 30 และ 40 มิลลิบาร์ตามลำดับ โดยทั่วไป E_D มีค่าเป็นบวก และ ΔH มีค่า

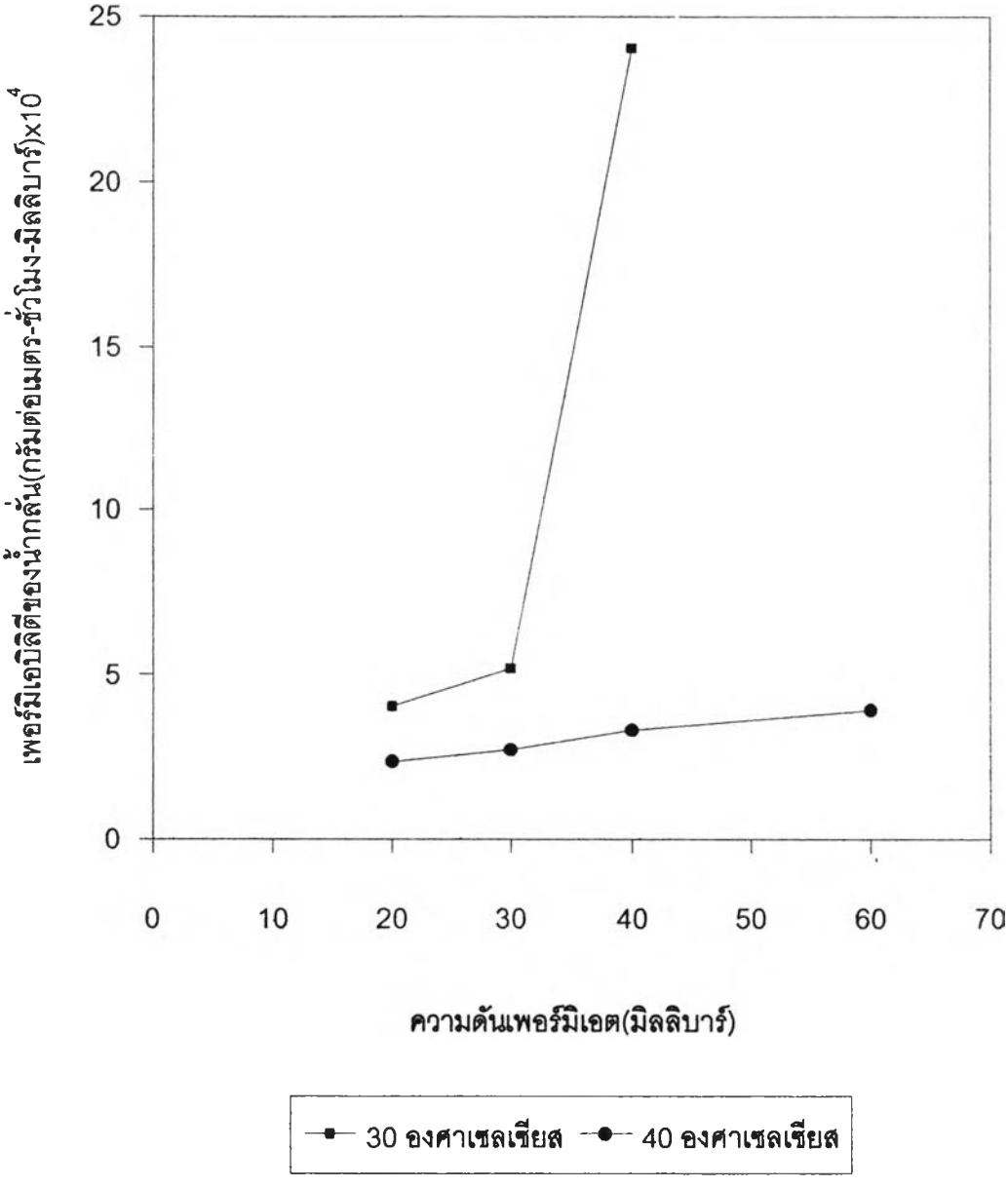
เป็นลบสำหรับกระบวนการดูดซับแบบคายความร้อน เมื่อ ΔH มีค่าเป็นลบมากกว่าค่าบวกของ E_D ทำให้ E_P มีค่าเป็นลบ ส่งผลให้ค่าเพอร์มิเอบิลิตีลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในขณะที่เพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความดันไออิ่มตัวของสารมีความสำคัญมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Karakane และคณะ(32) ซึ่งทำการทดลองกระบวนการเพอร์เรชันของระบบน้ำ-เอทานอล ผ่านเยื่อแผ่น Polyion complex(PIC) ซึ่งเป็นเยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่าน โดยพบว่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำมีค่าลดลง จาก 5.93×10^{-6} เป็น 4.21×10^{-6} กรัมต่อเมตร-ชั่วโมง-มิลลิบาร์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 50 เป็น 70 องศาเซลเซียส

การอธิบายผลของอุณหภูมิต่อค่าเพอร์มิเอบิลิตีแบบที่สองคือการอธิบายจากผลของการพองตัวของโพลิเมอร์ที่มีค่อค่าการแพร่ของสารผ่านเยื่อแผ่น ดังสมการ

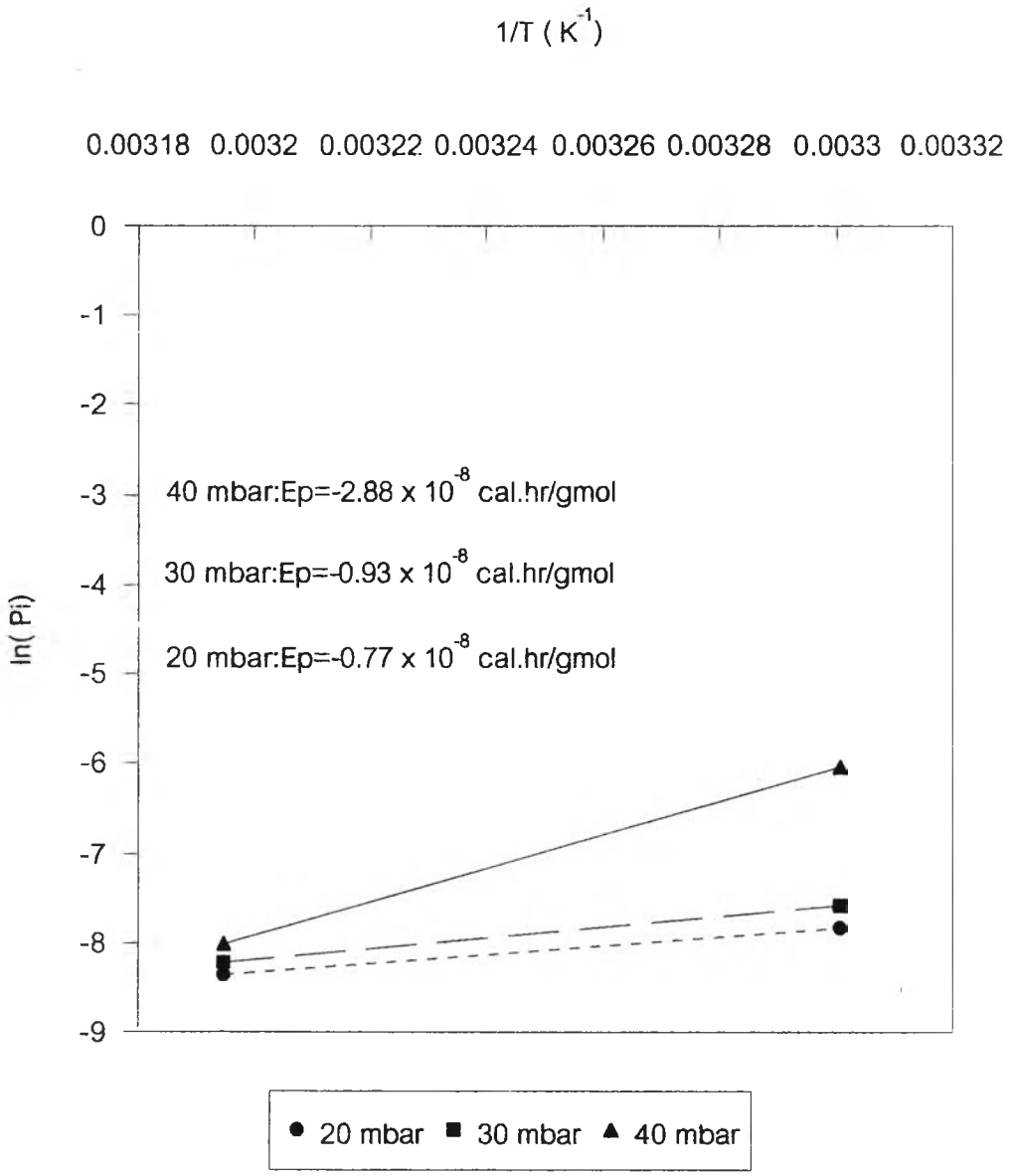
$$D = D_o \exp(bc) \qquad 5.5$$

เมื่อ b คือสัมประสิทธิ์พลาสติไซซิง

จากการทดลองการดูดซับน้ำกลั่นของเยื่อแผ่น แสดงให้เห็นว่าการพองตัวของเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิสูงมีมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเยื่อแผ่นที่ยังพองตัวได้น้อยกว่าจะมีโอกาสในการรับสารเข้าไปอีกได้มากกว่า ผลของสัมประสิทธิ์พลาสติไซซิงของสารที่อุณหภูมิต่ำจึงมีมากกว่า ส่งผลให้ค่าเพอร์มิเอบิลิตีลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเพอร์มิเอตกับค่าเพอร์มิเอบิลิตี ของน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ

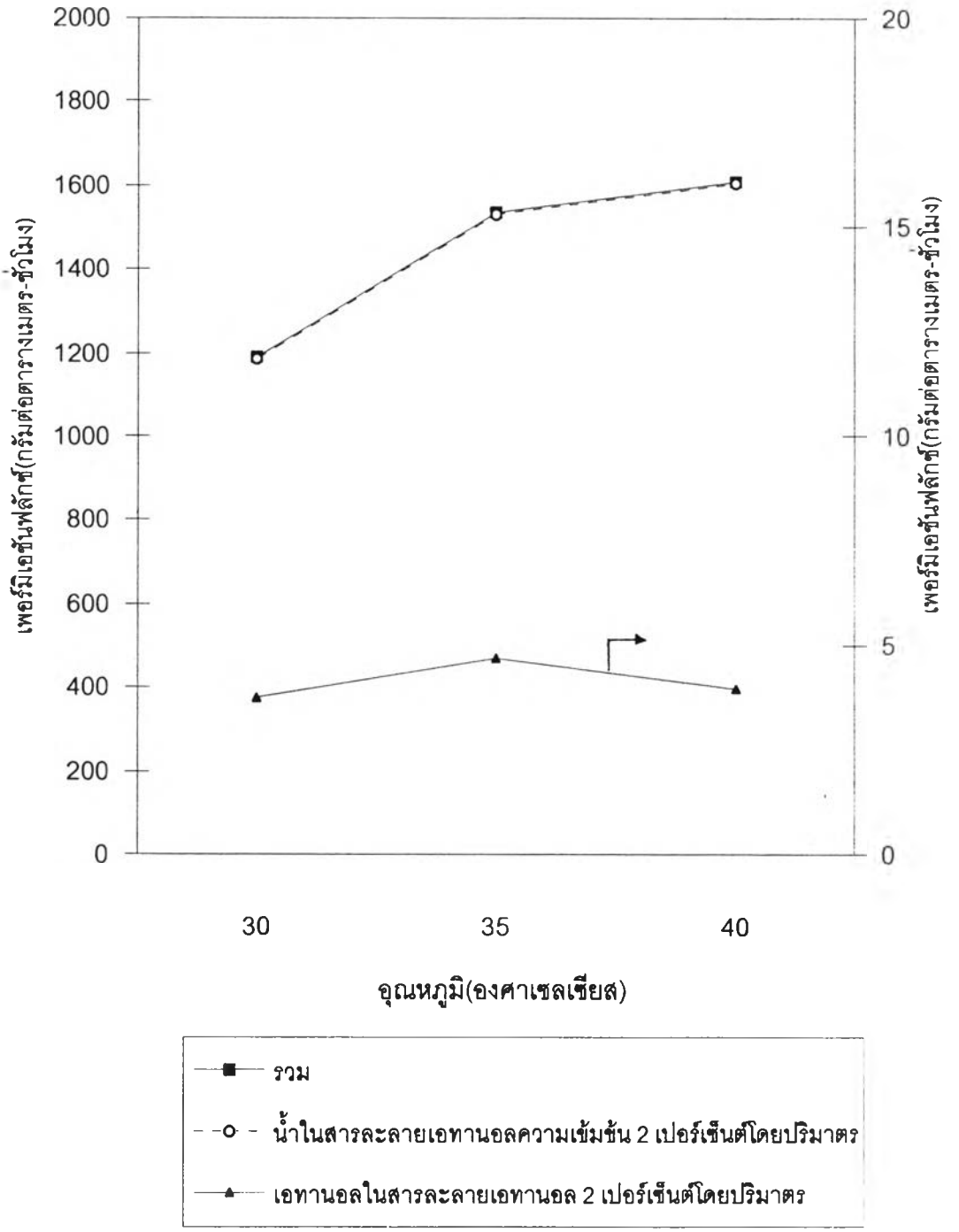


รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำกลั่น ที่ความดันเพอร์มิเอตต่างๆ

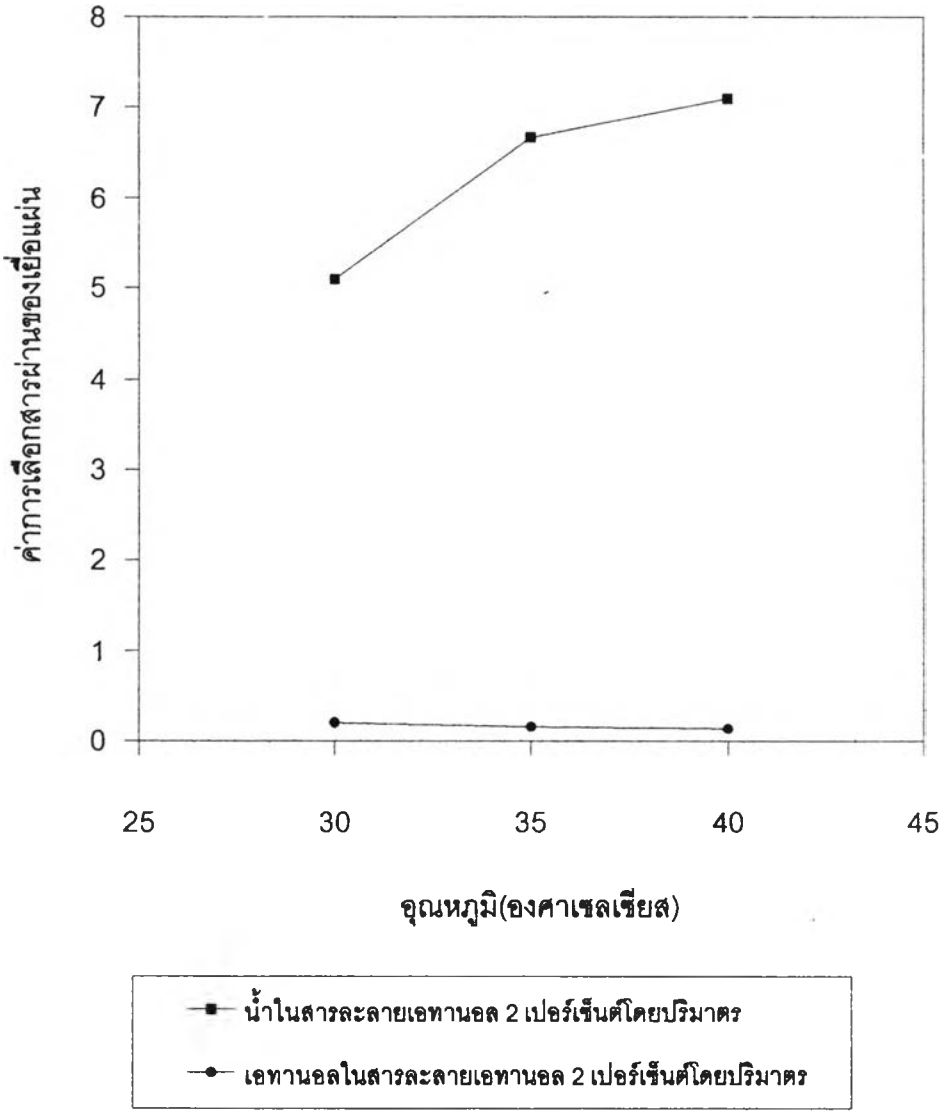
5.6 กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ผลการทดลองกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ อุณหภูมิสายป้อน 30 35 และ 40 องศาเซลเซียสแสดงดังรูปที่ 5.11 เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยมีค่าใกล้เคียงกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำกลั่น เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอทานอลในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นมีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิในการทดลองดังรูปที่ 5.12 สามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากการลดลงของการเกิดพันธะควบคู่ระหว่างโมเลกุลของเอทานอลและน้ำเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liang และ Ruckenstein(23) ซึ่งศึกษาการแยกเอทานอลออกจากสารละลายเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้เยื่อแผ่น PDMS-PS IPN พบว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำและเอทานอลลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลของพันธะควบคู่จึงลดลง ทำให้ค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

เยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูง ในขณะที่ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่านในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของน้ำ-เอทานอลชนิดอื่นๆ ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ ความหนาของเยื่อแผ่น 7.27 ไมโครเมตร



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริกกับเยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่านในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของน้ำ-เอทานอล

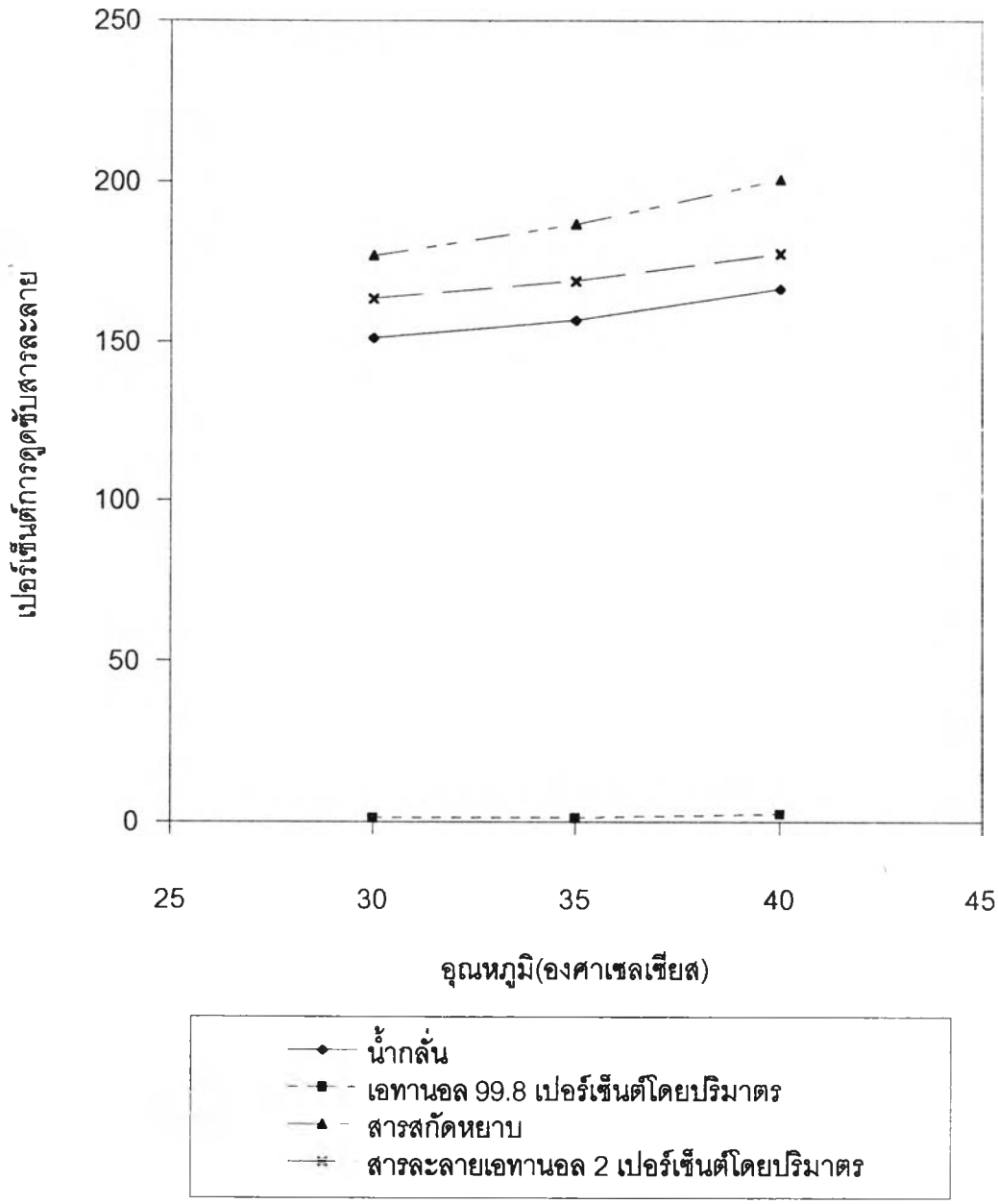
เยื่อแผ่น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง)	ค่าการเลือกน้ำ
โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริก	30-40	1191-1609	5-7
โพลิเอสเทอร์ซัลโฟน(17)	70	72	52
โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาราลดีไฮด์(15)	56	60-200	80-200

5.7 กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก

จากการทดลองกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของน้ำกลั่นและสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรด้วยเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริก พบว่าเยื่อแผ่นดังกล่าวให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำสูง จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารบาราคอลในสารสกัดหยาบโดยการแยกน้ำออก ผลการศึกษาการดูดซับสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กในเยื่อแผ่น ผลของอุณหภูมิ ความดันทางด้านเพอร์มิเอต ความเร็วของสายป้อนและเวลาที่ใช้ดำเนินการ ต่อประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กที่ผ่านการทำให้เข้มข้นขึ้นโดยใช้การระเหย มีรายละเอียดของผลการทดลองและการวิเคราะห์ดังนี้

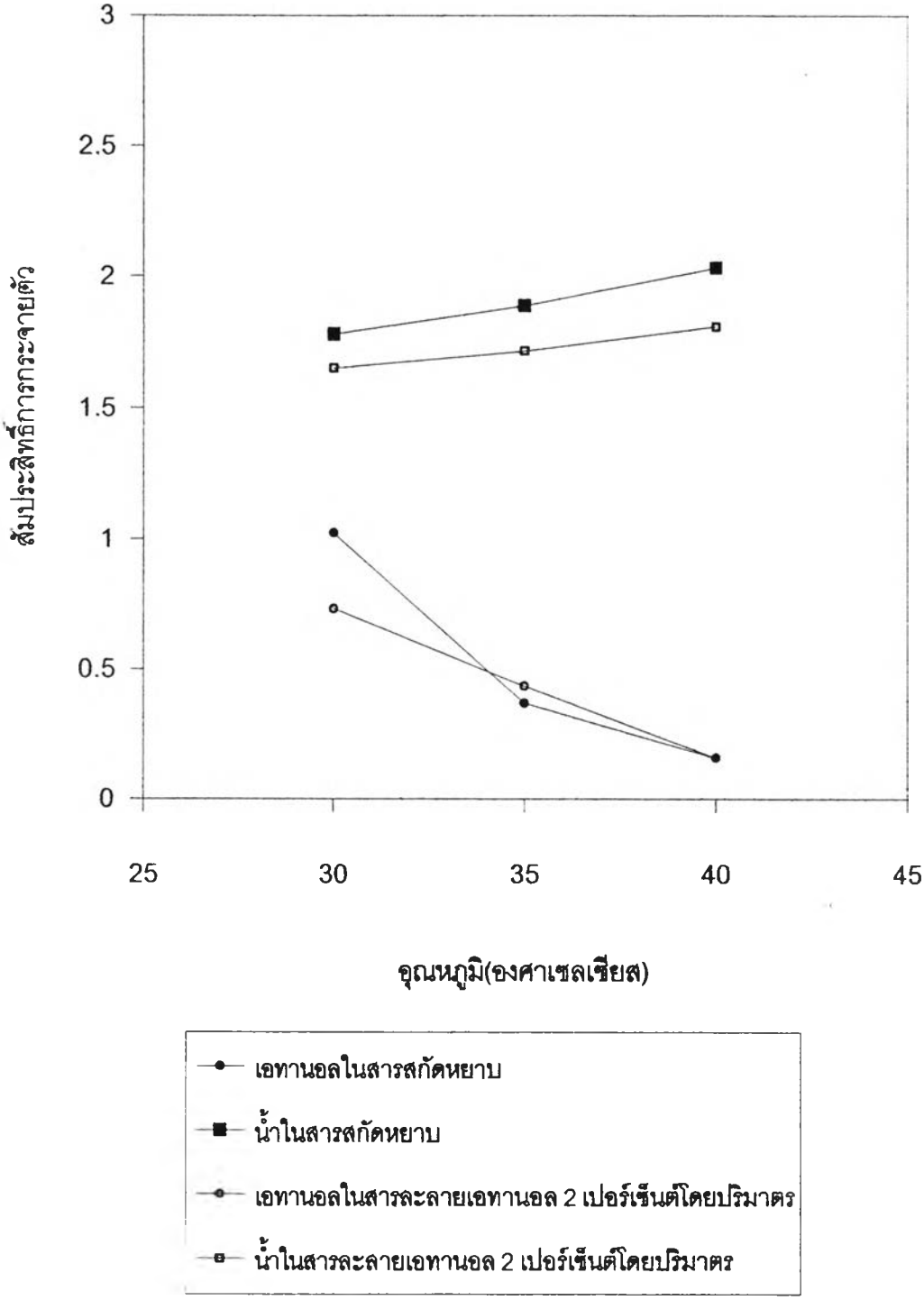
5.7.1 การดูดซับสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กในเยื่อแผ่น

จากการศึกษาการดูดซับสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กที่ผ่านการแยกเอทานอลออกโดยกระบวนการระเหยในเยื่อแผ่นแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริก ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.13 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารสกัดหยาบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเยื่อแผ่นมีความสามารถในการดูดซับสารสกัดหยาบได้มากกว่า สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ แสดงว่ามีการดูดซับสารบาราคอลในเยื่อแผ่น

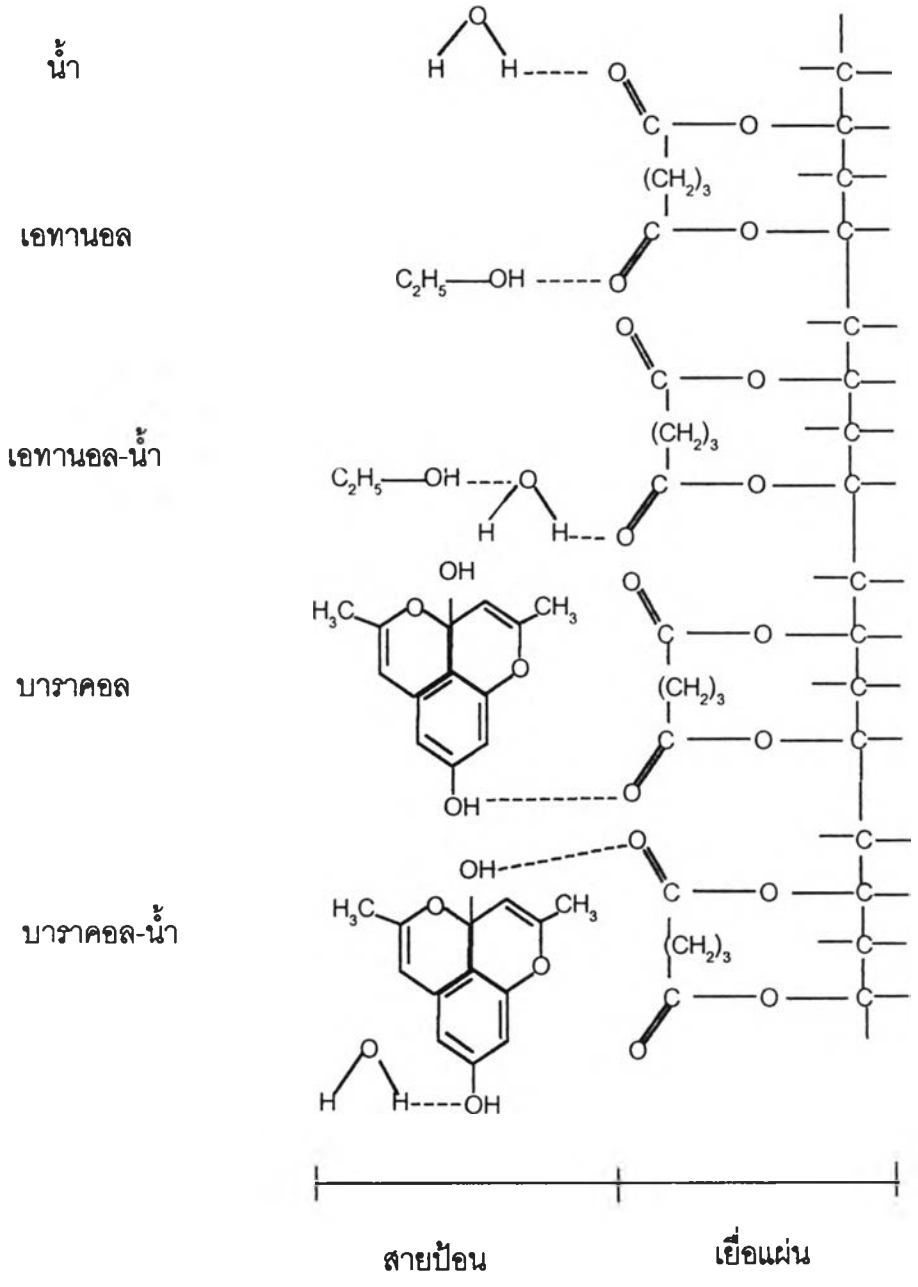


รูปที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารสกัดหยาบและสารละลายอื่นๆ ในเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 5.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของของน้ำและเอทานอลในสารสกัดหยาบในเยื่อแผ่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเอทานอลมีค่าลดลง โดยสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของน้ำมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเอทานอล ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของน้ำและเอทานอลในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในเยื่อแผ่น โดยการกระจายตัวของน้ำในสารสกัดหยาบในเยื่อแผ่นมีค่ามากกว่าการกระจายตัวของน้ำในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในเยื่อแผ่น ในขณะที่การกระจายตัวของเอทานอลในสารสกัดหยาบและในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าสารบาราคอลทำให้มีเยื่อแผ่นมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากขึ้น ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำและบาราคอลที่เกิดการดูดซับในบริเวณผิวเยื่อแผ่น การดูดซับสารบาราคอลที่บริเวณผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อน น่าจะเกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล(-OH)ของโมเลกุลสารบาราคอลและหมู่คาร์บอนิลของเยื่อแผ่น(-CO-) กลไกการดูดซับน้ำ เอทานอลและสารบาราคอลในบริเวณผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สายป้อนแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.14 แสดงสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของน้ำและเอทานอลในเยื่อแผ่น



รูปที่ 5.15 แสดงกลไกการดูดซับสารของเยื่อแผ่น

5.7.2 อุณหภูมิของสายป้อน

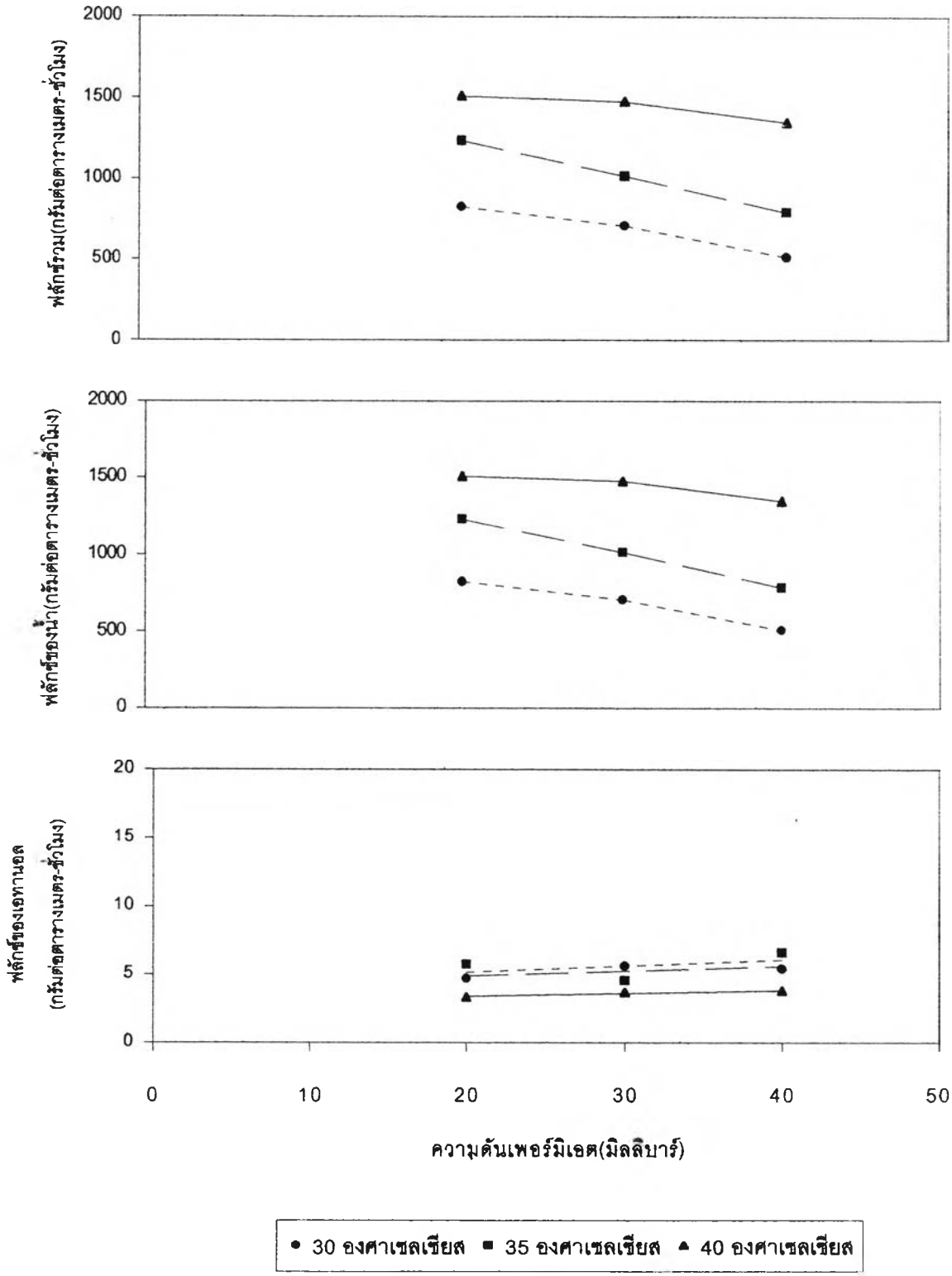
ทำการทดลองที่อุณหภูมิของสายป้อน 30 35 และ 40 องศาเซลเซียสและความดันทางด้านเพอร์มิเอต 20 30 และ 40 มิลลิบาร์ โดยสายป้อนมีการไหลวนกลับด้วยอัตราเร็ว 5 ลิตรต่อชั่วโมงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารแสดงในรูปที่ 5.16 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เพอร์มิเอชันฟลักซ์รวม(เอทานอล น้ำและบาราคอล)และเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสายป้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของสารและโซ่พอลิเมอร์มีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น โดยเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวมมีค่าเท่ากับ 826.13 1233.91 และ 1510.09 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ที่ความดันทางด้านเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ อุณหภูมิสายป้อน 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอทานอล พบว่ามีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำมีค่าสูงกว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอทานอลที่ทุกอุณหภูมิในช่วงการทดลอง สำหรับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของบาราคอลมีค่าเท่ากับศูนย์ในการทดลองนี้ เนื่องจากสารบาราคอลมีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อน จึงไม่สามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้

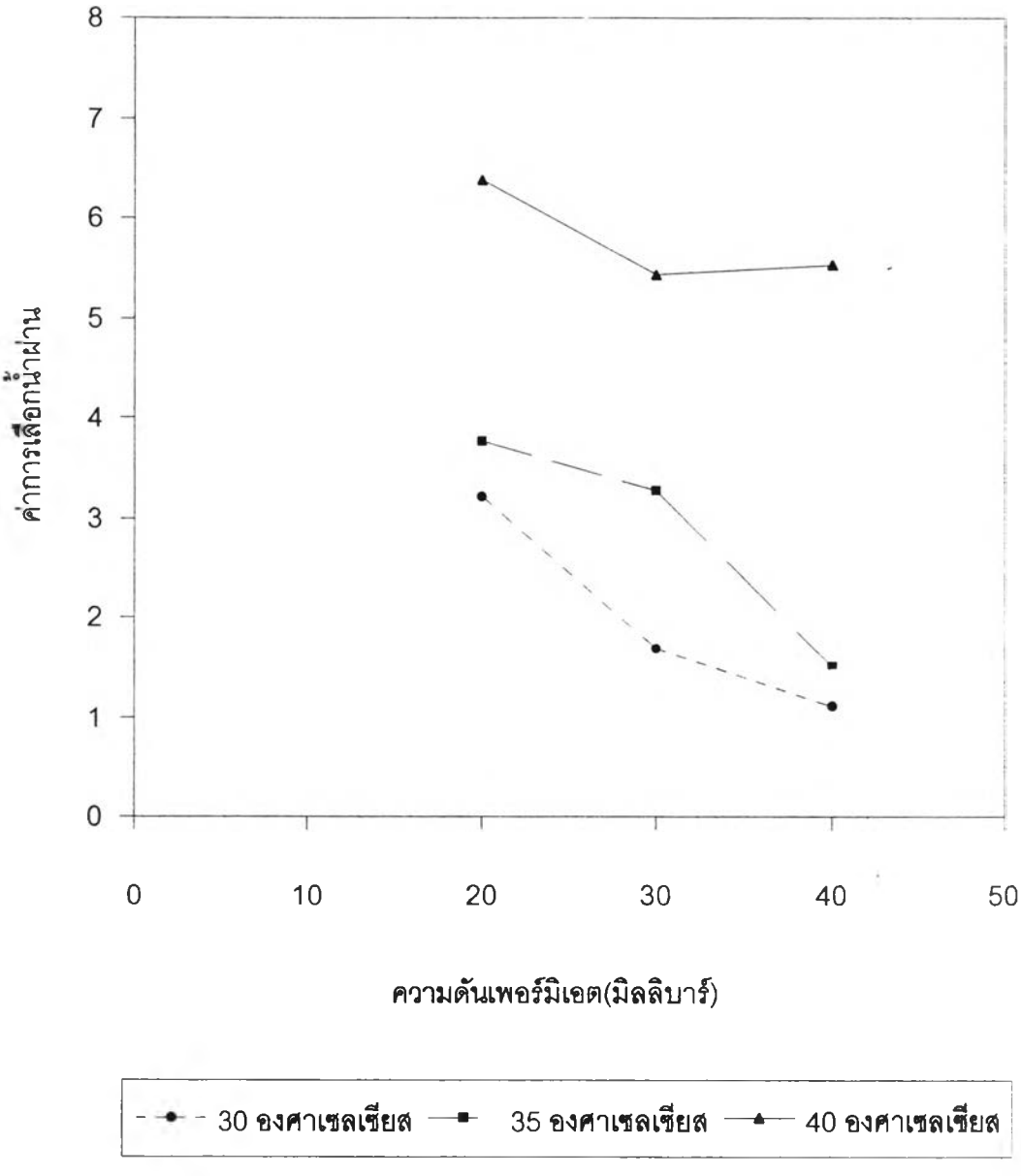
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริกยอมให้น้ำและเอทานอลผ่านเยื่อแผ่น เอทานอลสามารถผ่านเยื่อแผ่นมาพร้อมน้ำได้เนื่องจากผลของ coupling effect จากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของเอทานอลกับน้ำ ซึ่งแรงกระทำดังกล่าวลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liang และ Ruckenstein (23) ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นจึงเพิ่มขึ้นและค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นลดลง ผลของอุณหภูมิของสายป้อนที่มีต่อค่าการเลือกน้ำและเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นแสดงในรูปที่ 5.17 และ 5.18

5.7.3 ความดันทางด้านเพอร์มิเอต

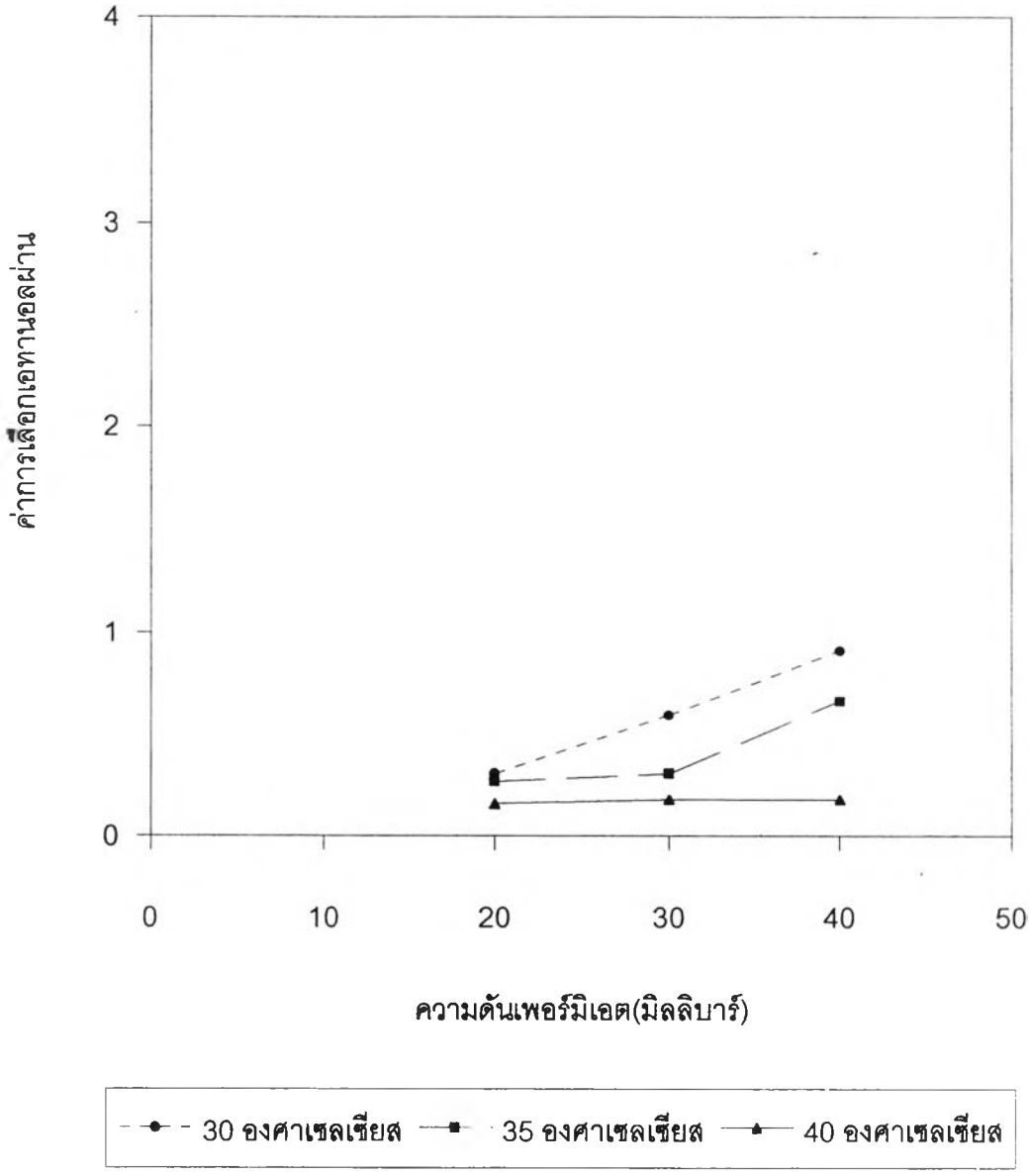
จากผลการทดลองดังรูปที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวมและเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลดความดันทางด้านเพอร์มิเอต เนื่องจากการลดความดันทางด้านเพอร์มิเอตทำให้ความแตกต่างระหว่างความดันทางสายป้อนและความดันทางด้านเพอร์มิเอตเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงขับดันในการถ่ายเทมวลสาร โดยเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวมมีค่าเท่ากับ 1510.09 1478.15 และ 1349.54 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ที่อุณหภูมิสารป้อน 40 องศาเซลเซียส ความดันทางด้านเพอร์มิเอต 20 30 และ 40 มิลลิบาร์ตามลำดับ ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลดความดันเพอร์มิเอต เป็นเพราะเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอทานอลมีค่าค่อนข้างคงที่



รูปที่5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารสกัดหยาบจากใบชี้เหล็กกับความดันเพอร์มิเอตและอุณหภูมิของสายป้อน



รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นกับความดันเพอร์มิเอต และอุณหภูมิในกระบวนการเพอร์เวเพอร์เรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก

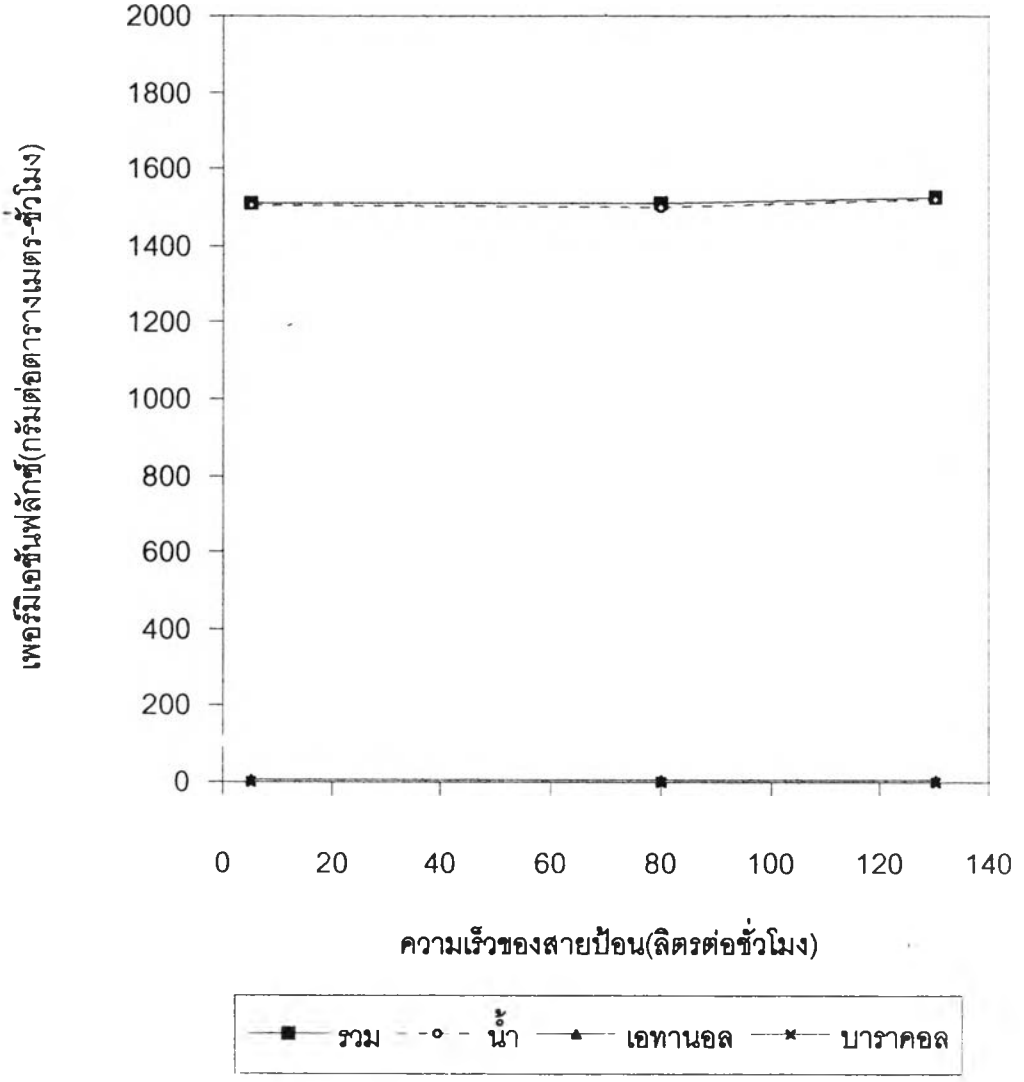


รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นกับความดันเพอร์มิเอตและอุณหภูมิในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก

5.7.4 ความเร็วของสายป้อน

ทำการทดลองที่อุณหภูมิสายป้อน 40 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ ที่ความเร็วของสายป้อน 5 80 และ 130 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.19 ซึ่งค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวมเกือบไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มความเร็วของสายป้อนในช่วงการไหลแบบราบเรียบ(larminar flow) ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถอธิบายผลของความเร็วของสายป้อนที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน เนื่องจากข้อจำกัดของเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ฉีกขาดง่ายเมื่อดำเนินงานที่ความเร็วสูง จึงไม่สามารถทำการทดลองในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน(turbulent flow) แต่ข้อดีของเยื่อแผ่นประเภทนี้คือมีความเป็นไฮโดรฟิลิก(hydrophilic)สูง ทำให้ฟลักซ์ของน้ำมีค่าสูง

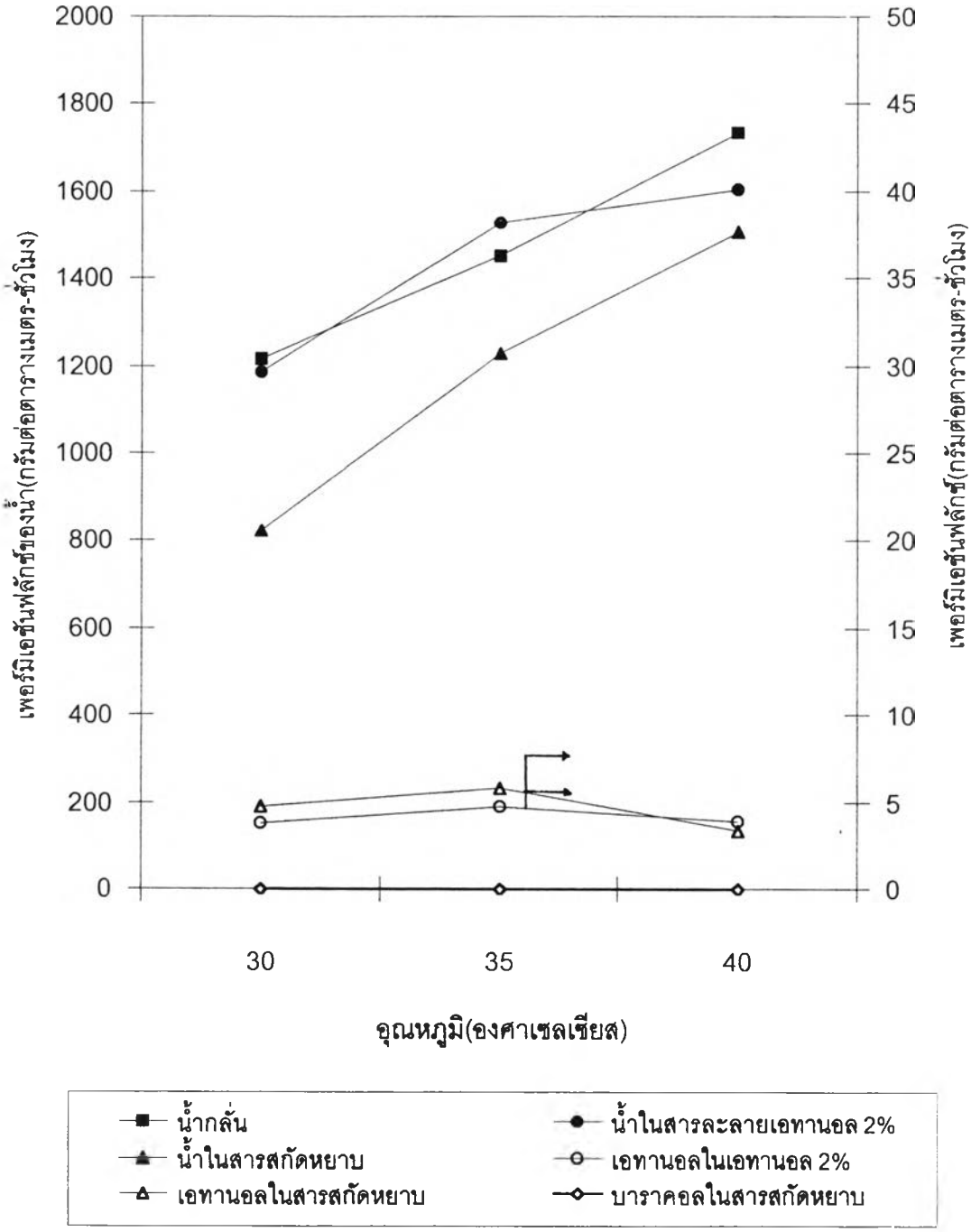
ดังนั้นภาวะการดำเนินงานกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้คือการดำเนินงานที่อุณหภูมิสายป้อน 40 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์และอัตราเร็วของสายป้อน 5 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารสกัดหยาบ กับความเร็วของสายป้อน

5.7.5 การเปรียบเทียบเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กและเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำและสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

จากรูปที่ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำและสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ อุณหภูมิสายป้อน 30 35 และ40 องศาเซลเซียส พบว่าฟลักซ์ของน้ำในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กมีค่าน้อยกว่าฟลักซ์ของน้ำกลั่นและฟลักซ์ของน้ำในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เนื่องจากการดูดซับของสารบาราคอลซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่บนผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อนทำให้เกิดการบดบัง(steric effect)การดูดซับโมเลกุลของน้ำโดยเยื่อแผ่น โมเลกุลของน้ำจึงผ่านเยื่อแผ่นได้น้อยลง



รูปที่ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำกลั่น สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและสารละลายสกัดหยาบจากใบชี้เหล็ก ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์

5.7.6 เวลาในการดำเนินงาน

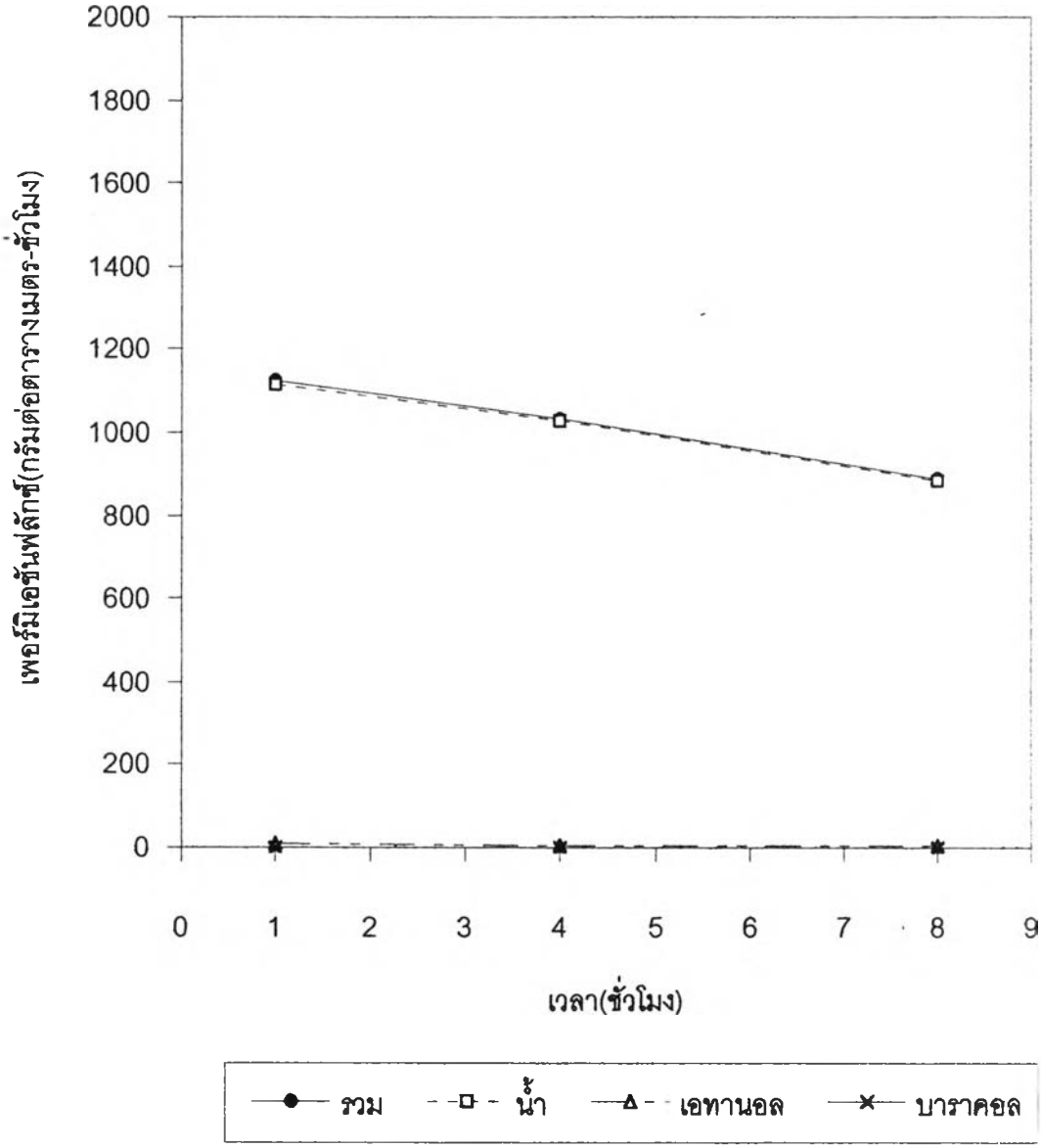
จากการทดลองกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก ที่ความดัน 20 มิลลิบาร์ ความเร็วของสายป้อน 5 ลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส เวลาในการดำเนินงาน 1 4 และ 8 ชั่วโมง ผลของเวลาที่มีต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารแสดงในรูปที่ 5.21 และ 5.22 โดยเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวมและฟลักซ์ของน้ำในสารสกัดหยาบมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการดำเนินงานเพิ่มขึ้น ส่วนเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอทานอลมีค่าคงที่เมื่อเวลาในการดำเนินงานเพิ่มขึ้น

ผลของเวลาในการดำเนินงานที่มีต่อค่าการเลือกน้ำและเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่น ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 5.23 และ 5.24 พบว่าค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นมีค่าคงที่ ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการดำเนินงานจาก 1 เป็น 4 ชั่วโมงและลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการดำเนินงานจาก 4 เป็น 8 ชั่วโมง

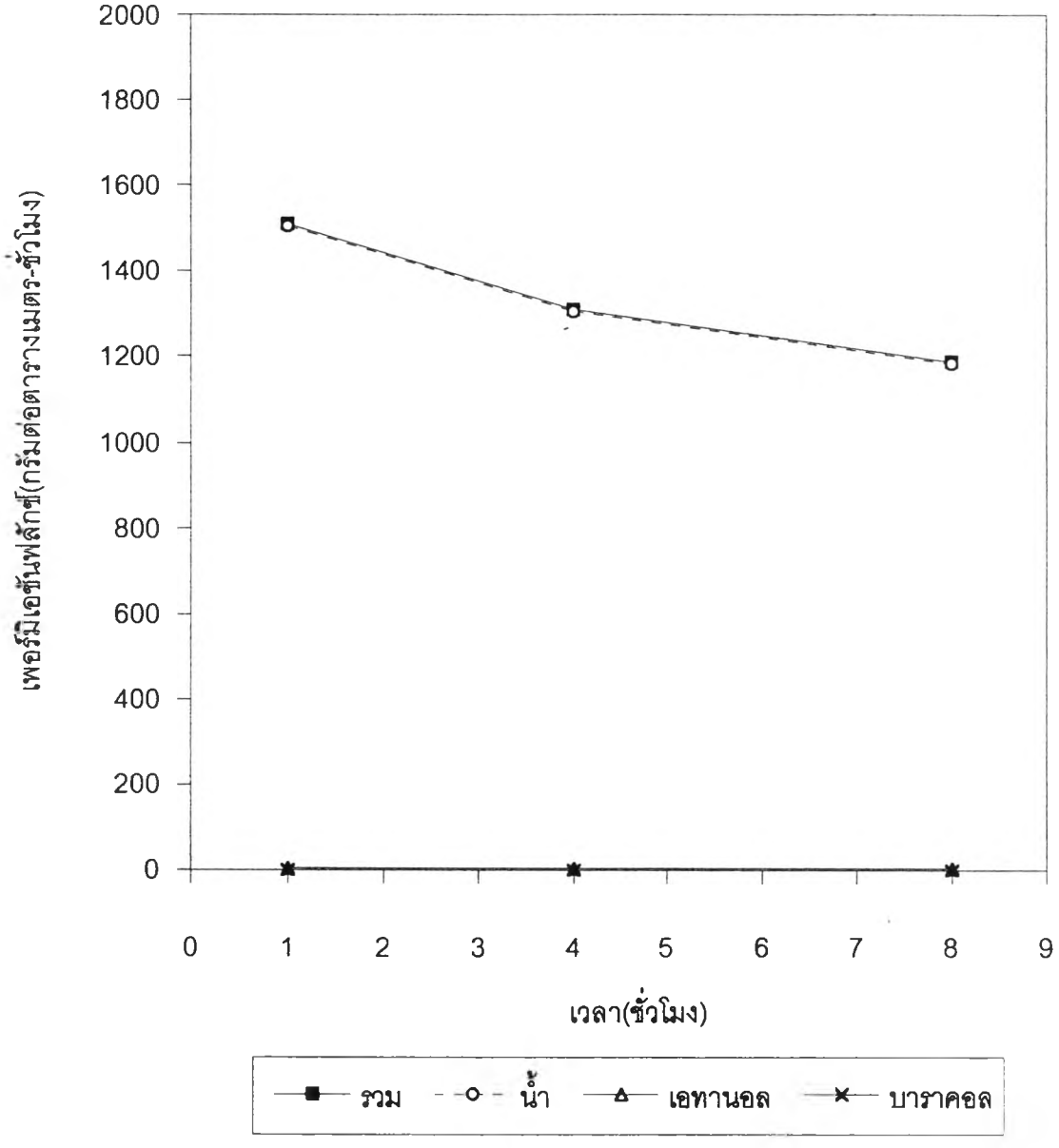
เมื่อเพิ่มเวลาในการดำเนินงานจาก 1 เป็น 4 ชั่วโมง ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นในขณะที่เพอร์มิเอชันฟลักซ์ลดลงเนื่องจาก หมู่ไฮดรอกซิลของเอทานอลที่เกิดการดูดซับในเยื่อแผ่น ทำให้เยื่อแผ่นมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liang และ Ruckenstein(23) ซึ่งพบว่าการพองตัวของเยื่อแผ่นที่เลือกเอทานอลผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของหมู่ไฮดรอกซิลในเยื่อแผ่นทำให้เยื่อแผ่นมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการเกิดชั้นเจลของสารบาราคอลที่บริเวณผิวเยื่อแผ่น ซึ่งส่งผลให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ลดลง

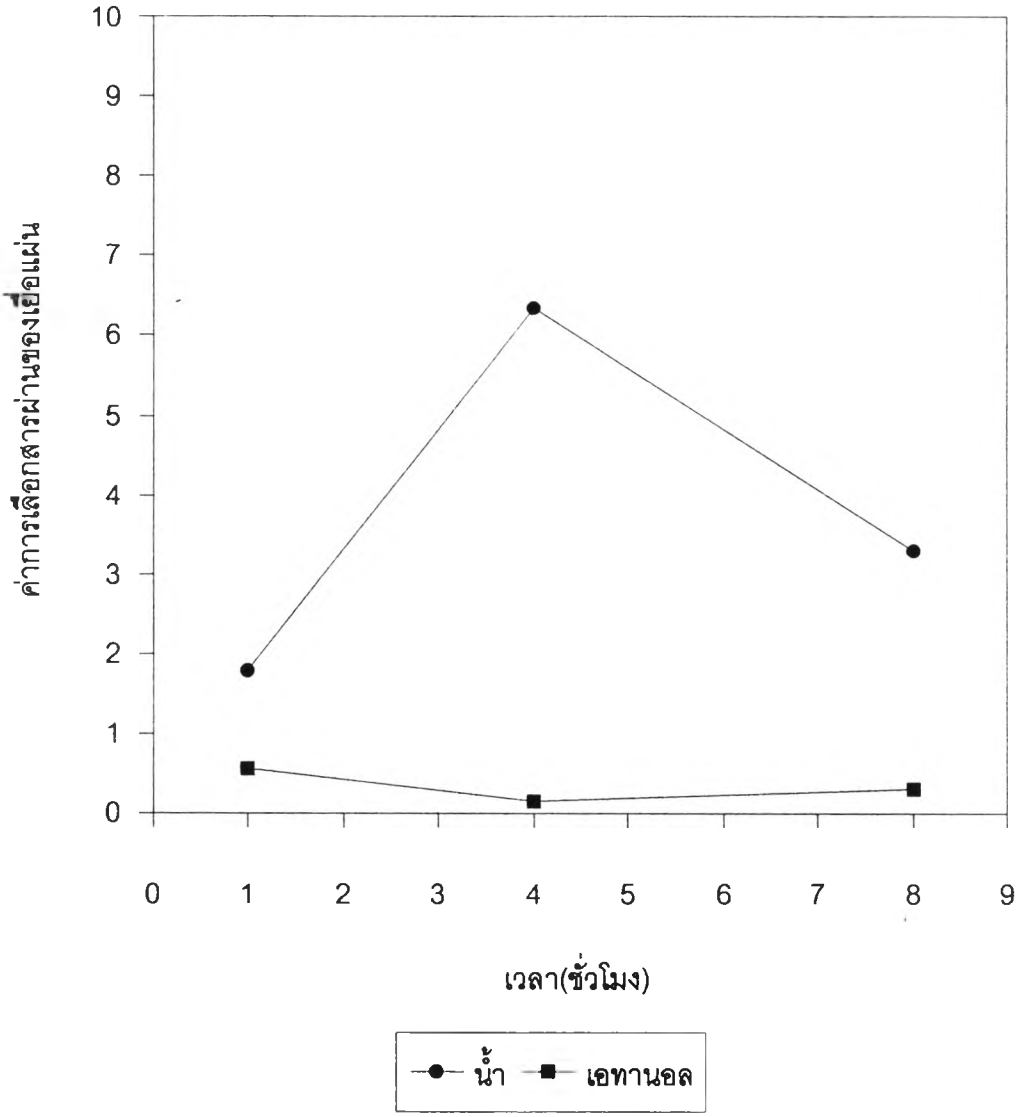
เมื่อเพิ่มเวลาในการดำเนินงานจาก 4 เป็น 8 ชั่วโมงพบว่าผลจากชั้นเจลของบาราคอลที่บริเวณผิวเยื่อแผ่น มีมากกว่าผลของเอทานอลที่ช่วยเสริมการดูดซับน้ำในเยื่อแผ่นทำให้ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นและค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ลดลง



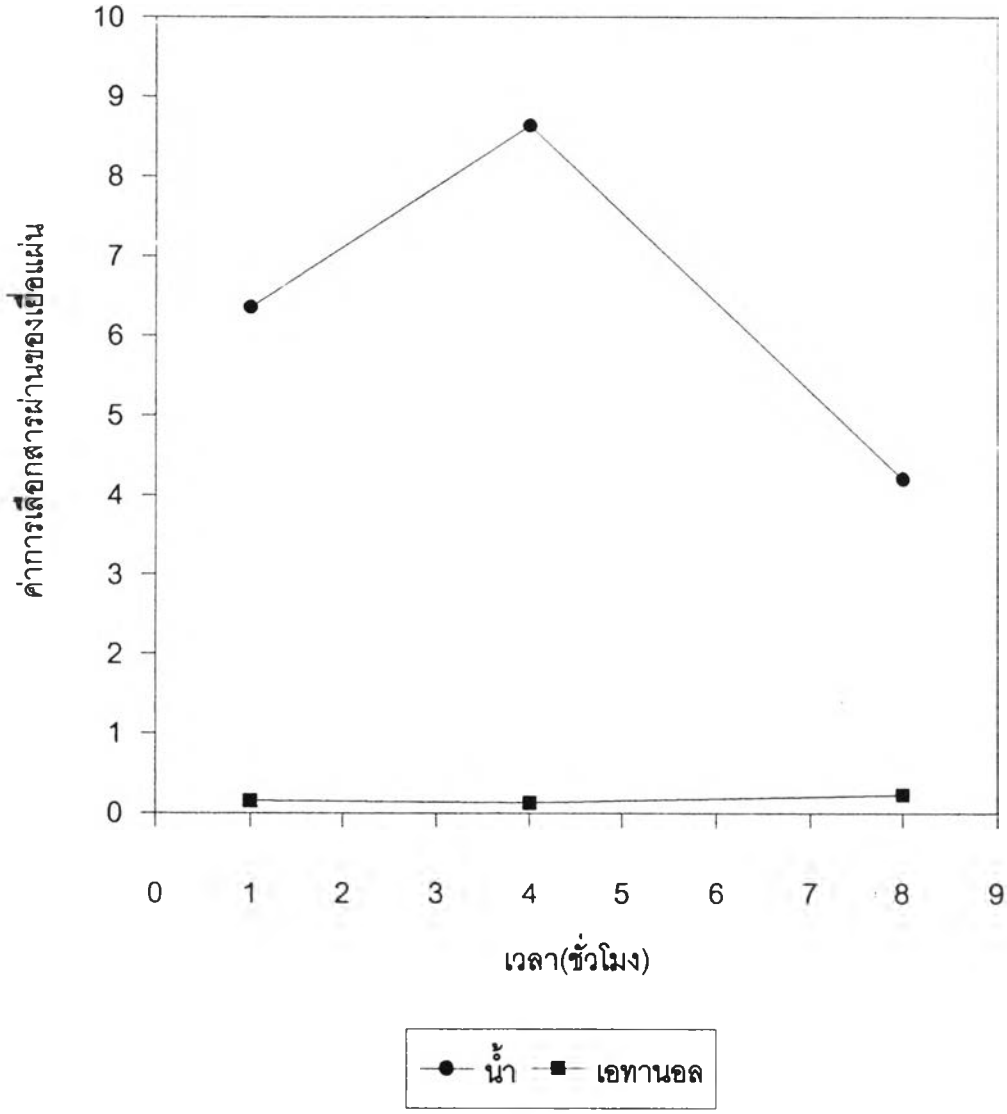
รูปที่ 5.21 แสดงผลของเวลาในการดำเนินการต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่อุณหภูมิสายป้อน เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ความดันด้านเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์



รูปที่ 5.22 แสดงผลของเวลาในการดำเนินการต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่อุณหภูมิสายป้อน เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความดันด้านเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์



รูปที่ 5.23 แสดงผลของเวลาในการดำเนินการต่อค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิสายป้อนเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ความดันด้านเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์

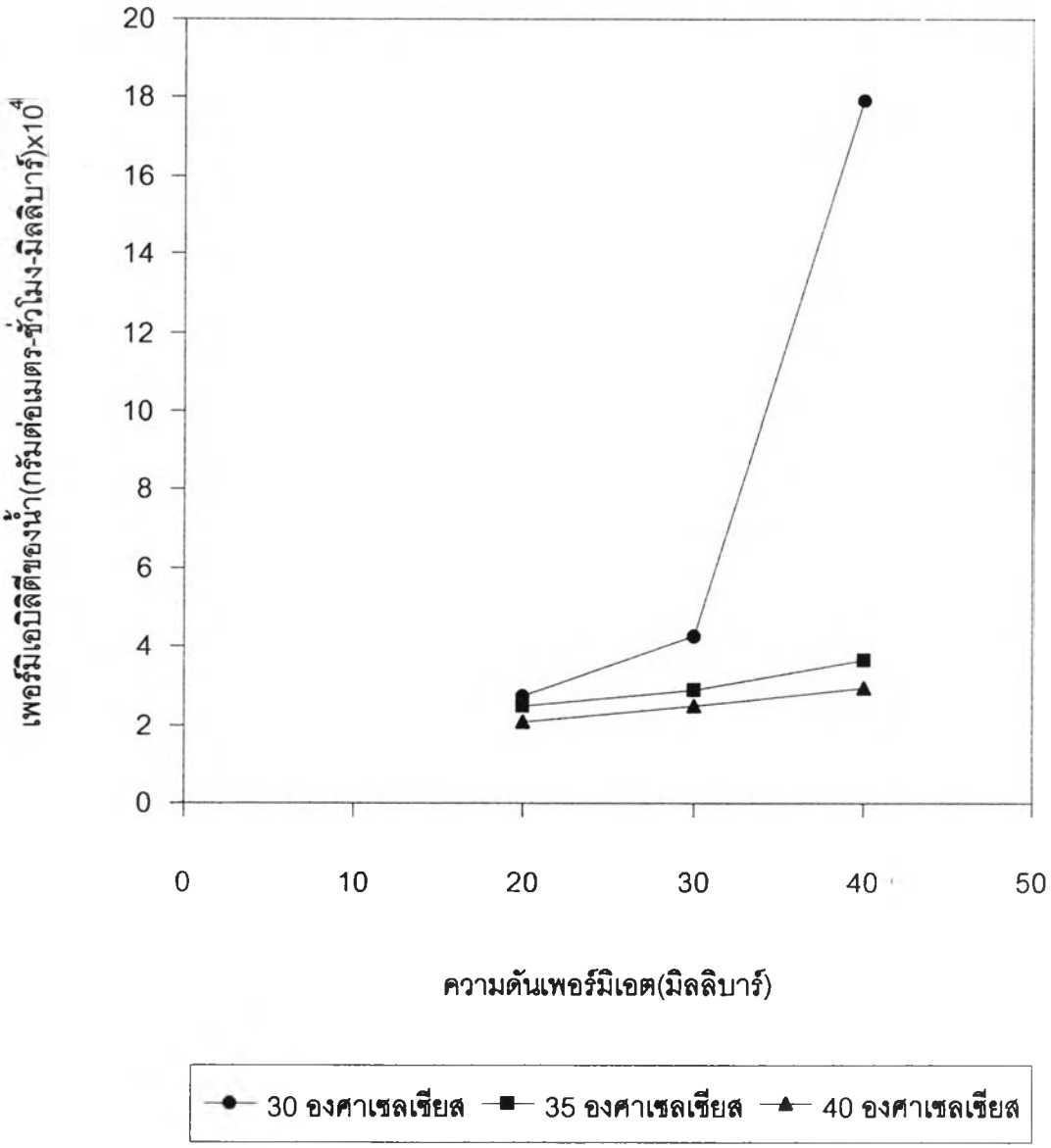


รูปที่ 5.24 แสดงผลของเวลาในการดำเนินการต่อค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิสายป้อนเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความดันด้านเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์

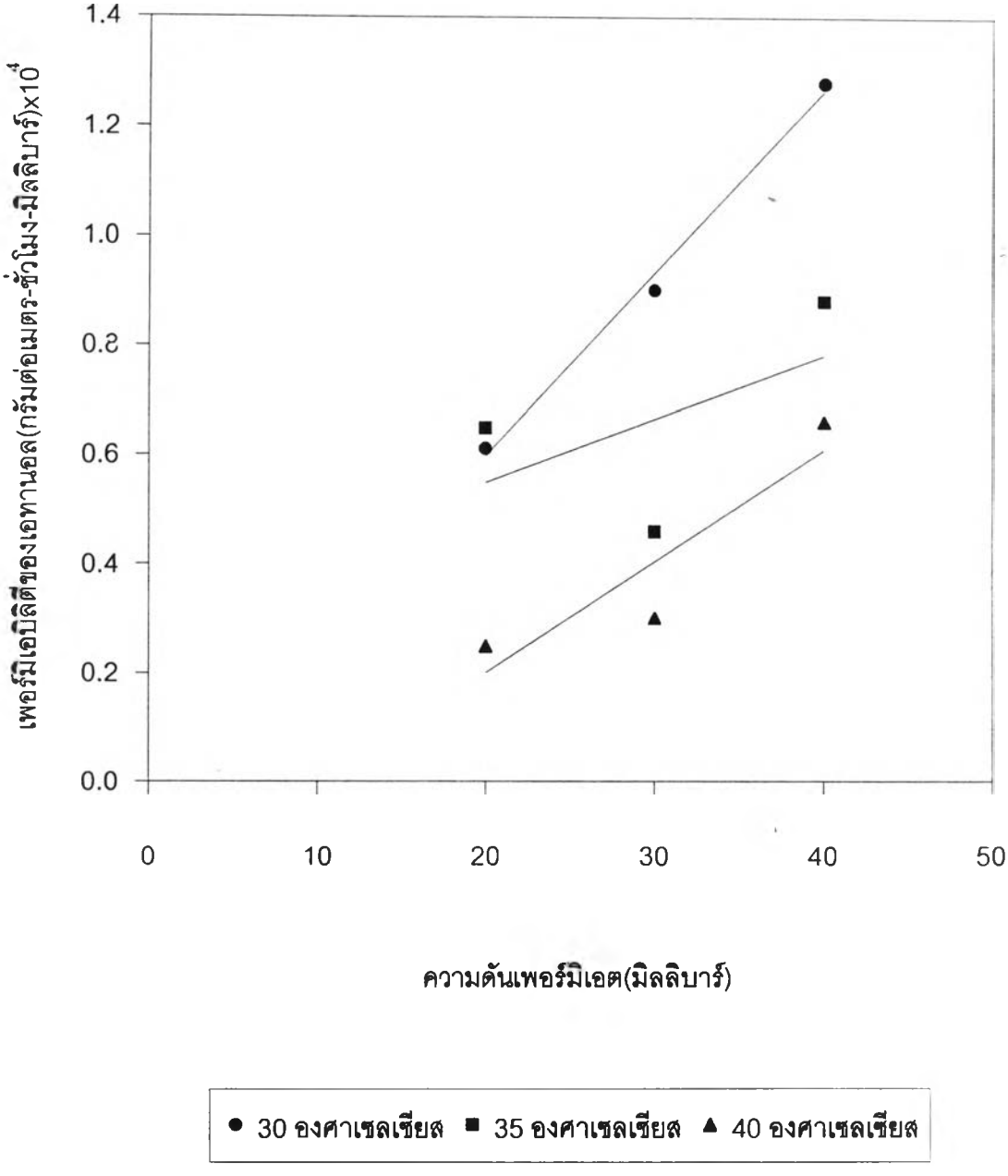
5.7.7 เพอร์มิเอบิลิตี

ผลการคำนวณค่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำและเอทานอล จากผลการทดลองกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กที่อุณหภูมิของสายป้อน 30 35 และ 40 องศาเซลเซียสและความดันทางด้านเพอร์มิเอต 20 30 และ 40 มิลลิบาร์ โดยสายป้อนมีการไหลวนกลับด้วยอัตราเร็ว 5 ลิตรต่อชั่วโมงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 5.25 และ 5.26 เพอร์มิเอบิลิตีของน้ำและเอทานอลในสารสกัดหยาบมีค่าลดลงเมื่อลดความดันเพอร์มิเอต เนื่องจากผลของการพองตัวของเยื่อแผ่นและเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำและเอทานอลในสารสกัดหยาบมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำกลั่น โดยเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำมีค่ามากกว่าเพอร์มิเบิลิตีของเอทานอลในทุกการทดลอง

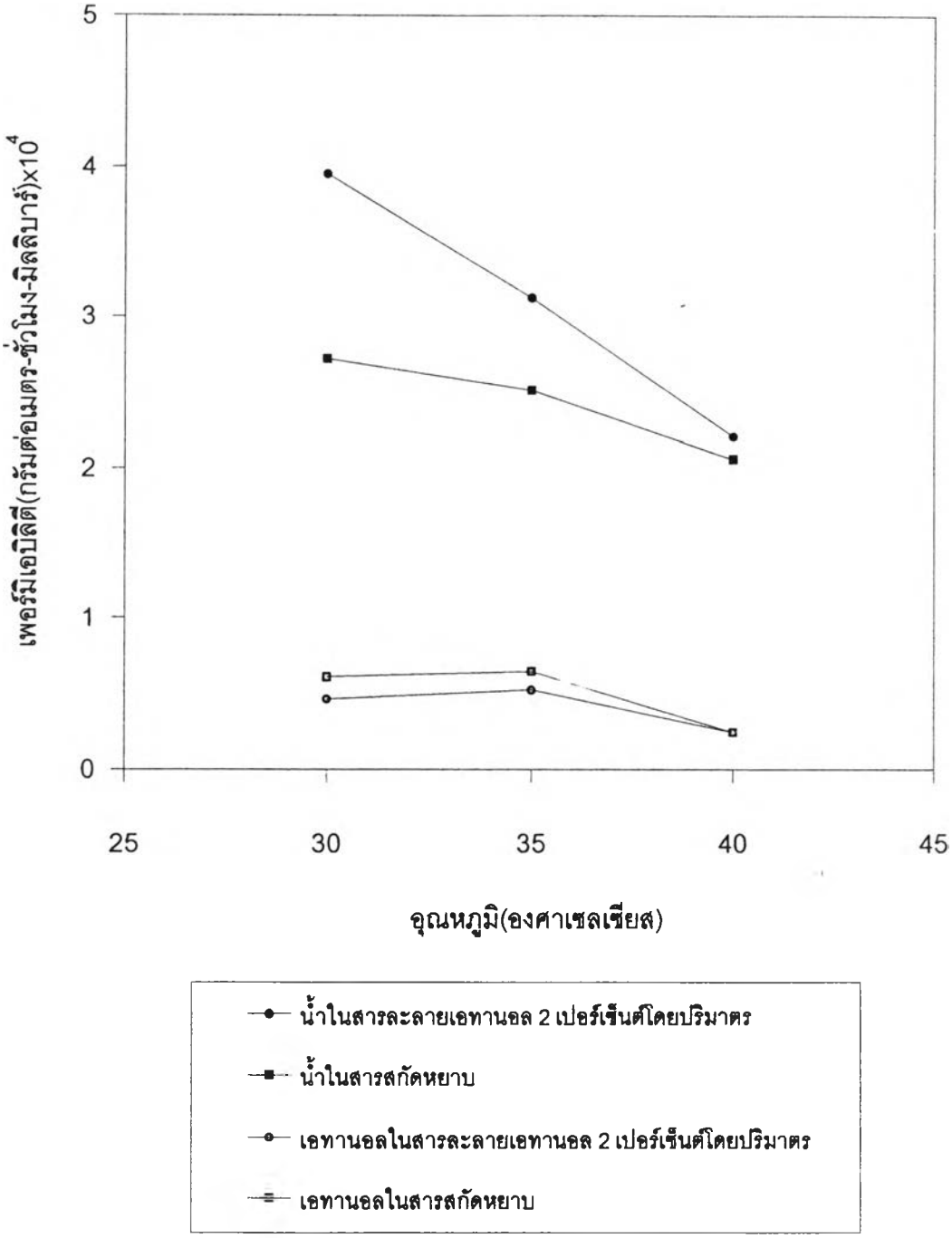
รูปที่ 5.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำและเอทานอลในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและสารสกัดหยาบ ที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ พบว่า ค่าเพอร์มิเอบิลิตีของเอทานอลมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำในสารสกัดหยาบในเยื่อแผ่นมีค่าต่ำกว่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เนื่องจากผลของการดูดซับสารบาราคอลที่บริเวณผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สายป้อนทำให้ความสามารถของน้ำในการซึมผ่านเยื่อแผ่นลดลง



รูปที่ 5.25 เพอร์มิเอบิลิตีของน้ำในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก



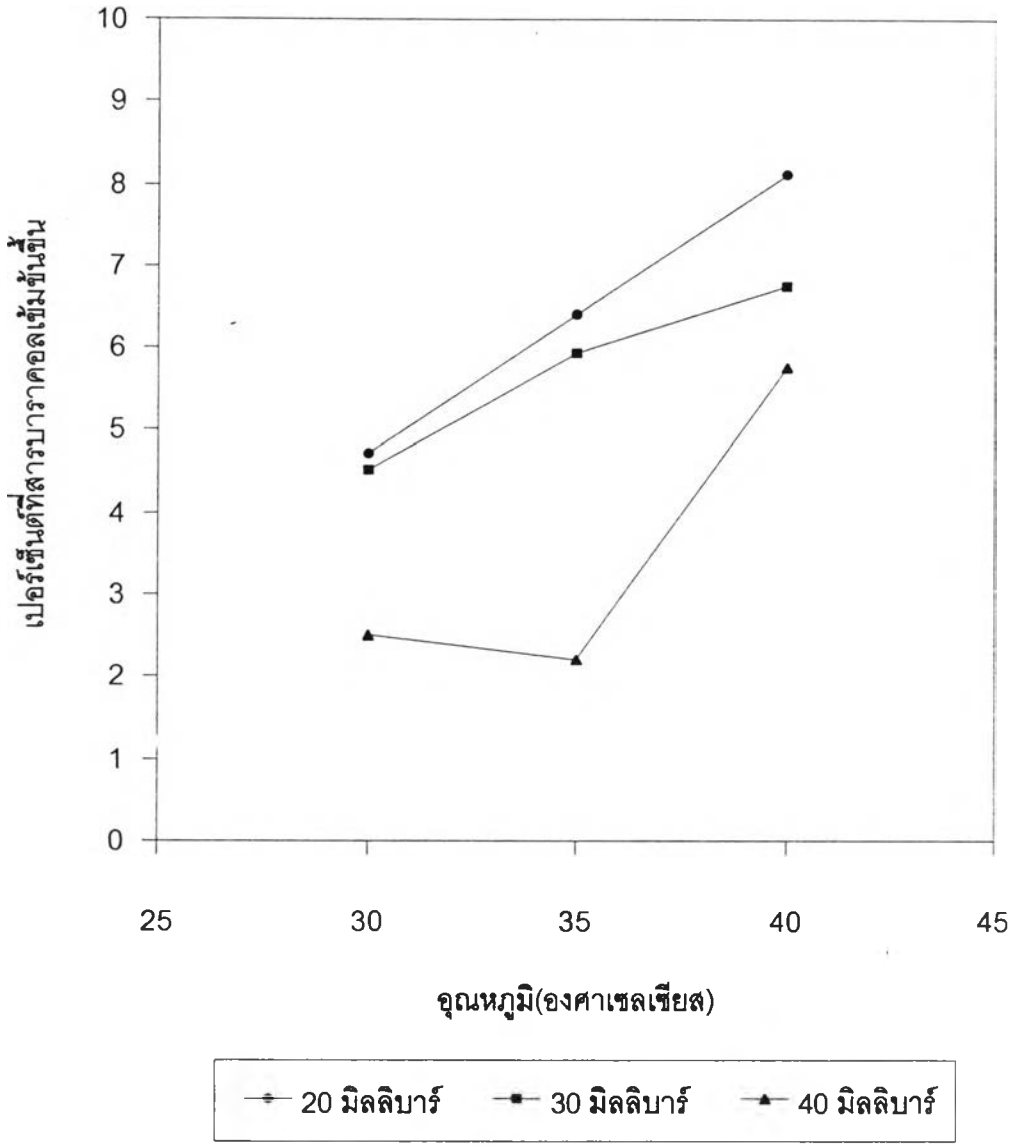
รูปที่ 5.26 เพอร์มิเอบิลิตีของเอทานอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก



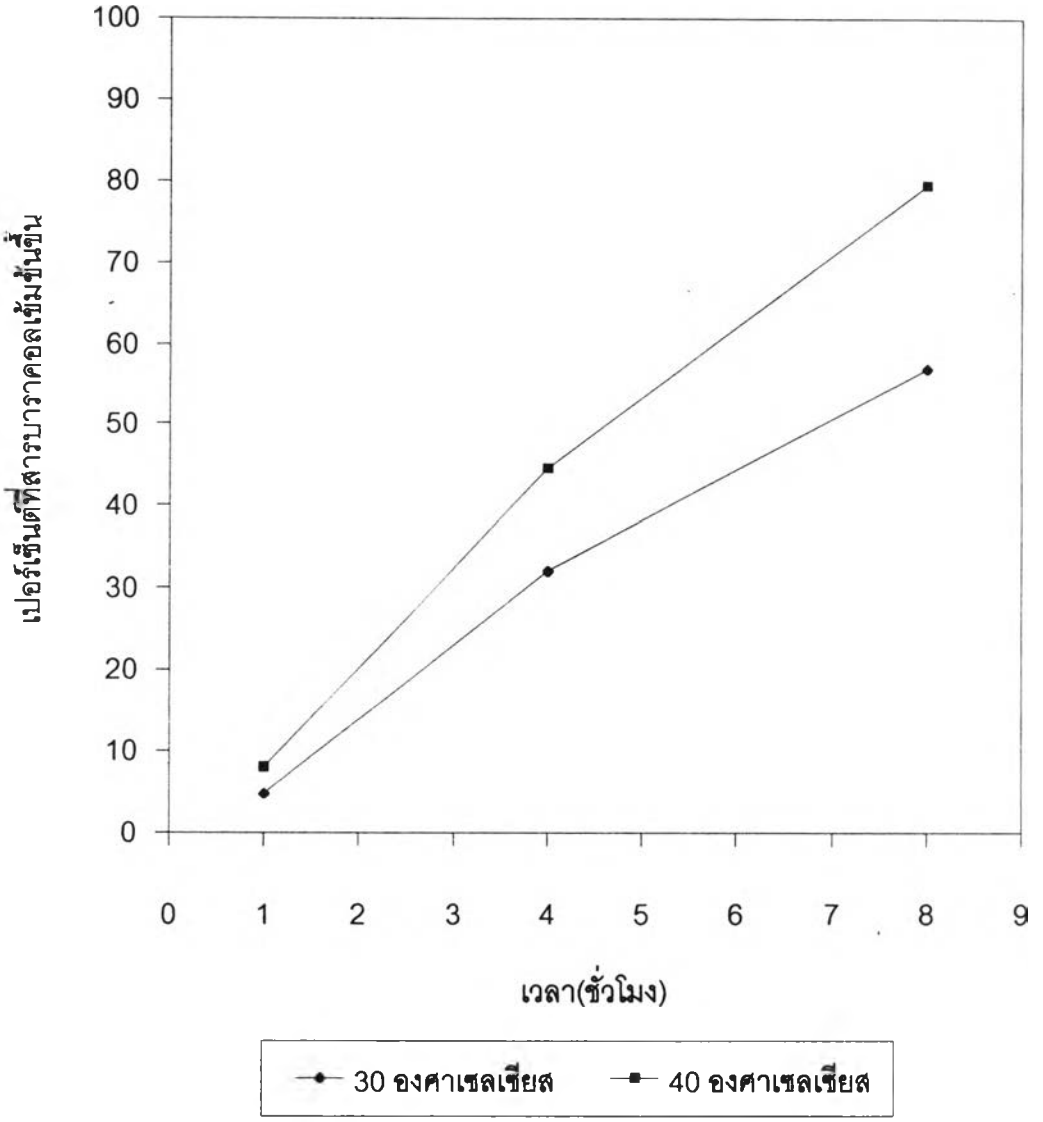
รูปที่ 5.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำและเอทานอลในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน ของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและสารสกัดหยาบ

5.8 ผลของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันในการทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้น

จากผลการทดลองในหัวข้อ 5.7 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริกในการแยกน้ำออกจากสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก ซึ่งส่งผลให้ความเข้มข้นของสารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้น ผลของความดันเพอร์มิเอตและอุณหภูมิสายป้อนต่อการทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้นแสดงในรูปที่ 5.28 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการดำเนินงาน 1 ชั่วโมง สามารถทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้นได้มากที่สุด 8.12 เปอร์เซ็นต์ โดยการดำเนินงานที่อุณหภูมิสายป้อน 40 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ ความเร็วของสายป้อน 5 ลิตรต่อชั่วโมง จากการทำสมดุลมวลสารซึ่งแสดงผลการคำนวณในภาคผนวก ง. พบว่าความเข้มข้นของสารบาราคอลจากการวิเคราะห์มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของบาราคอลจากการทำสมดุลมวล ความแตกต่างดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารบาราคอลมีการสลายตัวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยของพิชัย(4) ผลของเวลาในการดำเนินงานต่อการทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้นแสดงในรูปที่ 5.29 การเพิ่มเวลาในการดำเนินงานทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้น แต่จากการทำสมดุลมวลสารพบว่ามวลของสารบาราคอลในระบบลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการดำเนินการเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของมวลของสารบาราคอลคาดว่ามาจากสาเหตุสองประการคือ การสลายตัวของสารบาราคอลและการดูดซับของสารบาราคอลที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อน ดังนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการดำเนินงานของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันในการเพิ่มความเข้มข้นของบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กคือความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ อุณหภูมิสายป้อน 40 องศาเซลเซียส ความเร็วของสายป้อน 5 ลิตรต่อชั่วโมง เวลาดำเนินงาน 4 ชั่วโมง ซึ่งทำให้สารบาราคอลเข้มข้นขึ้น 44.51 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารบาราคอลที่เข้มข้นขึ้นกับความดันเพอร์มิเอตและอุณหภูมิสายป้อน เวลาในการดำเนินงาน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารบาราคอลที่เข้มข้นขึ้นกับเวลาในการดำเนินงาน ที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์

จากการทดลองเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทมวลสารของเยื่อแผ่นจาก 0.015 ตารางเมตรเป็น 0.030 ตารางเมตร โดยดำเนินงานที่อุณหภูมิสายป้อน 40 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ เวลาในการดำเนินงาน 1 และ 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.3 พบว่าการเพิ่มขึ้นของการดูดซับสารบาราคอลที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อนเมื่อพื้นที่ถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น ทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์ลดลง ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทมวลสารเป็นสองเท่าจึงไม่ได้ทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบเข้มข้นขึ้นเป็นสองเท่า

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลของการเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทมวลสารของเยื่อแผ่นในการทำให้สารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้น โดยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์

พื้นที่ถ่ายเทมวลสาร (ตารางเมตร)	เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของบาราคอล(มก./มล.)		% ที่สารบาราคอลในสารสกัดหยาบเข้มข้นขึ้น	%การสลายตัวและดูดซับสารบาราคอลที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อน
		สายป้อน	สายขาออก		
0.015	1	2.5573	2.7650	8.12	2.69
0.015	4	2.6774	3.8692	44.51	2.89
0.030	1	2.3352	2.7085	15.99	2.57
0.030	2	2.4824	3.3463	34.80	5.10

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการทำให้สารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้นโดยใช้กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันร่วมกับการระเหยด้วยเครื่องโรตารีอีเวเพอเรเตอร์ มีรายละเอียดของสรุปผลการทดลองดังนี้

1. สารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในถังกวน มีความเข้มข้นของสารบาราคอล 1.6890-1.9535 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร คิดเป็นร้อยละ 1.69-1.95 ในใบขี้เหล็กแห้ง
2. การระเหยด้วยเครื่องโรตารีอีเวเพอเรเตอร์ทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบเข้มข้นขึ้น 37.78 เปอร์เซ็นต์
3. สารบาราคอลเกิดการสลายตัวมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
4. สัมประสิทธิ์การกระจายตัวของน้ำในเยื่อแผ่นมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเอทานอล แสดงว่าเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริกเป็นเยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่าน
5. เพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าแปรผกผันกับความหนาของเยื่อแผ่น
6. สารบาราคอลไม่สามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้เนื่องจากมีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อน
7. เพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสายป้อนเพิ่มขึ้น ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นและค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดลงของการเกิดพันธะควบคู่ระหว่างโมเลกุลเอทานอลกับน้ำ
8. เพอร์มิเอชันฟลักซ์ลดลงเมื่อเพิ่มความดันด้านเพอร์มิเอตเนื่องจากเป็นการลดแรงขับดันในการถ่ายเทมวลสาร

9. เงื่อนไขที่ดีของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันเพื่อการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กคือ ที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วของสายป้อน 5 ลิตรต่อชั่วโมง เวลาในการดำเนินงาน 4 ชั่วโมง โดยสารบาราคอลในสารสกัดหยาบเข้มข้นขึ้น 44.51 เปอร์เซ็นต์

10. การเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทมวลสารเป็นสองเท่าไม่ได้ทำให้สารบาราคอลเข้มข้นขึ้นเป็นสองเท่า เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผลจากชั้นเจลสารบาราคอลในบริเวณผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สายป้อน

ข้อเสนอแนะ

1. การดำเนินงานที่ความดันเพอร์มิเอตต่ำกว่าในการทดลองนี้ จะทำให้ได้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์และความเข้มข้นที่สูงขึ้น

2. ควรเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทมวลสารของเยื่อแผ่นต่อปริมาตรของโมดูล