



บทที่ 5

ผลการทดลอง วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

การดูดซึมของสารละลายในเยื่อแผ่นยางซิลิโคน

ผลการศึกษาการดูดซึมสารละลายบิวทานอลในน้ำโดยยางซิลิโคน ที่ความเข้มข้นของบิวทานอลในสารละลายต่างๆกัน พบว่า เมื่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารละลายมีค่าสูง สารละลายจะถูกดูดซึมโดยยางซิลิโคนได้มาก และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ยางซิลิโคนดูดซึมสารละลายได้มากขึ้นเช่นกัน การดูดซึมของสารละลายบิวทานอลโดยยางซิลิโคนมีค่าประมาณ 0.22-2.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในช่วงความเข้มข้นที่ทำการทดลอง (ความเข้มข้นของบิวทานอลในสารละลาย 0.5-3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (distribution coefficient) ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายบิวทานอลนี้ จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวค่อนข้างคงที่ ซึ่งหมายความว่า ความเข้มข้นของบิวทานอลในเยื่อแผ่นจะแปรผันตรงตามความเข้มข้นของบิวทานอลในสารละลาย ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่สารละลายมีความเข้มข้นต่ำเท่านั้น W.J. Groot และคณะ[19]ได้ทำการทดลองดูดซึมแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆด้วยยางซิลิโคน พบว่าได้ผลในทำนองเดียวกัน

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์การกระจายของบิวทานอลและน้ำในสายยางซิลิโคน

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	K_B	K_W
60	0.2145	0.0040
50	0.2278	0.0055
40	0.1916	0.0066
35	0.1640	0.0095

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสัมประสิทธิ์การกระจายของบิวทานอลมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ในขณะที่สัมประสิทธิ์การกระจายของน้ำมีค่าลดลงเล็กน้อย ตารางที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของ บิวทานอลและของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

เพอร์เวเพอร์ชันของผสมน้ำ-บิวทานอล

การศึกษาผลของความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อน ความดันด้านเพอร์มิเอท อุณหภูมิที่ใช้ดำเนินการ และความหนาของเยื่อแผ่น ที่มีต่อกระบวนการเพอร์เวเพอร์ชันของผสมน้ำ-บิวทานอลเมื่อความเข้มข้นของบิวทานอลมีค่าต่างๆ มีรายละเอียดของผลการทดลองและการ วิเคราะห์ ดังนี้

1. ผลของความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อน

1.1 ฟลักซ์ของบิวทานอล

รูป 27, 28 แสดงผลของความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ตามลำดับ ฟลักซ์ของบิวทานอลเป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อน จากแบบจำลองการละลายและการแพร่ ฟลักซ์ของสารอธิบายได้ด้วยกฎของฟิค

$$J_B = -D_B \frac{dc_{BM}}{dx}$$

เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย และเป็นฟังก์ชันก่ของอุณหภูมิเท่านั้น ได้ว่า

$$c_{BM} = S_B c_B$$

ดังนั้น

$$J_B = -D_B S_B \frac{dc_B}{dx}$$

ภาวะขอบเขต

$$C_B = C'_B \quad \text{ที่ } x = 0$$

$$C_B = C''_B \quad \text{ที่ } x = 1$$

$$J_B = D_B S_B \frac{(c'_B - c''_B)}{1}$$

จึงได้ว่า D_B ไม่เป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นของสารป้อน เนื่องจากสารป้อนมีความเข้มข้นต่ำ ความเข้มข้นของบิวทานอลในเยื่อแผ่นจึงมีค่าต่ำด้วย เยื่อแผ่นมีการพองตัวน้อย การแพร่จึงเหมือนกับแพร่ในโพลีเมอร์ที่ไม่มีการพองตัว

1.2 ฟลักซ์ของน้ำ

จากรูป 29,30 ฟลักซ์ของน้ำจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงความเข้มข้นที่ทำการทดลอง เมื่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนเพิ่มขึ้น ฟลักซ์ของบิวทานอลมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ฟลักซ์ของน้ำมีค่าคงที่ แสดงว่าไม่มีแรงควบคุมระหว่างน้ำกับบิวทานอล เนื่องจากความเข้มข้นของ บิวทานอลและน้ำในเยื่อแผ่นมีค่าต่ำ

1.3 เพอร์มิเอทฟลักซ์, ความเข้มข้นของเพอร์มิเอท, แฟคเตอร์การแยก

เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เพอร์มิเอทฟลักซ์เพิ่มขึ้น(รูป 31,32) เนื่องจากฟลักซ์ของบิวทานอลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ฟลักซ์ของน้ำคงที่ความเข้มข้นของเพอร์มิเอทจึงมีค่าเพิ่มขึ้น (ในรูป 33,34) แฟคเตอร์การแยกก็มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงความเข้มข้นที่สนใจ (รูป 35,36)

2. ผลของอุณหภูมิ

ฟลักซ์ของบิวทานอลและน้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารป้อนเพิ่มขึ้น ความชันของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและฟลักซ์(รูปที่ 37) มีค่าเท่ากับพลังงานกระตุ้นปรากฏของการซึมผ่าน พลังงานกระตุ้นปรากฏของการซึมผ่านของน้ำมีค่าประมาณ 28.39 กิโลแคลอรีต่อโมล พลังงานกระตุ้นปรากฏของบิวทานอลมีค่าประมาณ 24.98 กิโลแคลอรีต่อโมล เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ฟลักซ์ของน้ำจึงมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า

ความเข้มข้นของบิวทานอลในเพอร์มิเอทและแฟคเตอร์การแยกมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงอุณหภูมิ 35-60 องศาเซลเซียส (รูป 34 และ 36)

ความชันของกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารป้อนกับฟลักซ์ของสาร คือค่าการซึมผ่านของ $D_i K_i$ ตาราง 4 แสดง DK ของน้ำและบิวทานอลที่อุณหภูมิต่างๆ ค่า DK ของบิวทานอลสูงกว่าของน้ำ แสดงว่าเยื่อแผ่นยอมให้บิวทานอลผ่านได้ง่ายกว่าให้น้ำผ่าน จากค่า K ในการทดลองการดูดซึมสารละลายในเยื่อซิลิโคน จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในเยื่อซิลิโคนของบิวทานอลและน้ำได้ดังแสดงในตาราง 5

ตารางที่ 4 ค่าการซึมผ่านของสาร (permeability = $D_i K_i$) ที่ความดันเพอร์มิเอท 20 มิลลิเมตรปรอท ($\times 10^6$ ตารางเมตรต่อชั่วโมง)

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	$D_R K_R$	$D_W K_W$
35	0.2177	0.019
40	0.2675	0.007
50	0.3022	0.0298
60	0.4024	0.014

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารในเยื่อแผ่นยางซิลิโคน (D_i) ที่ความดันเพอร์มิเอท 20 มิลลิเมตรปรอท ($\times 10^6$ ตารางเมตรต่อชั่วโมง)

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	D_R	D_W
35	1.328	2.003
40	1.396	1.063
50	1.326	5.454
60	1.876	3.400

สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมีค่าสูงกว่าของบิวทานอล เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารทั้งสองก็มีค่าสูงขึ้น

3. ผลของความดันเพอร์มิเอท

พลั๊กซ์ของบิวทานอลและน้ำมีค่าสูงที่ความดันเพอร์มิเอทต่ำ ดังแสดงในรูป 27 และ 29 การเพิ่มของพลั๊กซ์ของบิวทานอลมีค่าสูงกว่าของน้ำ เป็นผลให้ความเข้มข้นของบิวทานอลใน เพอร์มิเอท และแพคเตอร์การแยกมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า แรงขับของกระบวนการเพอร์มิเอทเพอร์เมชันคือผลต่างของความดันของสารในสารป้อนและในเพอร์มิเอท โดยที่สารป้อนเป็นของเหลว แรงขับจะมีค่าสูงสุดเมื่อความดันย่อยของสารที่ด้านเพอร์มิเอทมีค่าต่ำสุด เมื่อแรงขับมีค่าสูง พลั๊กซ์ของสารจึงมีค่าสูง

4. ผลของความหนาของเยื่อแผ่น

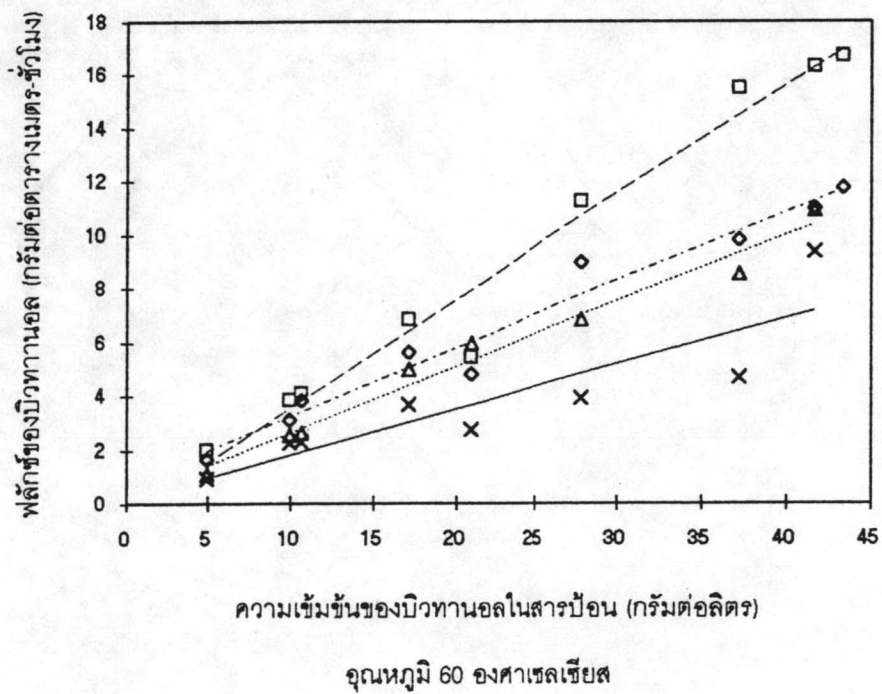
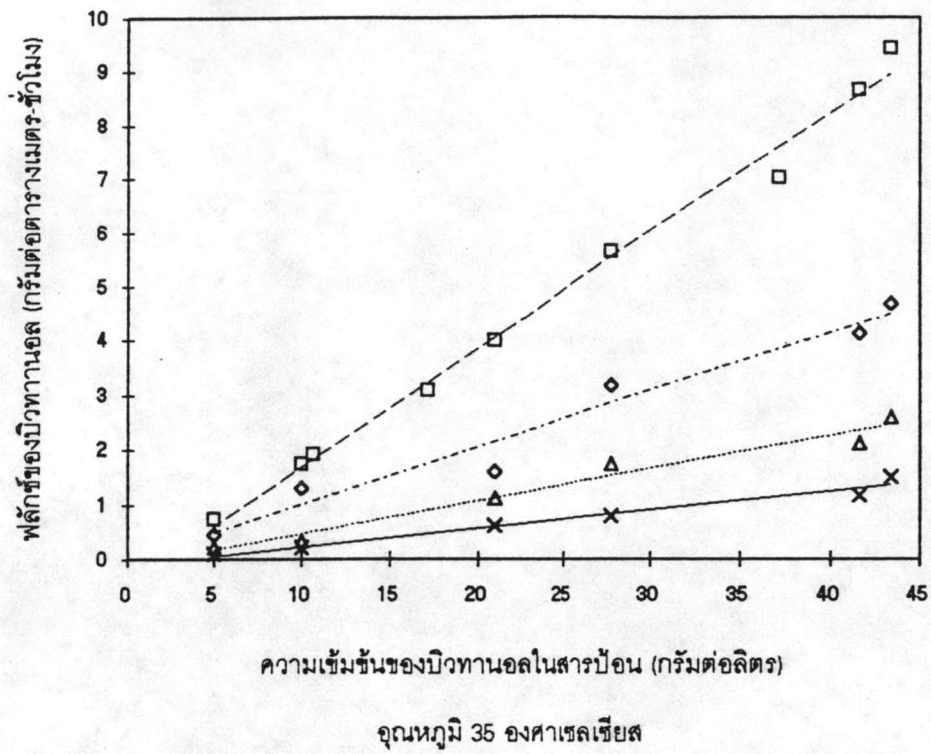
ฟลักซ์ของสารมีค่าแปรผกผันกับความหนาของเยื่อแผ่นตามกฎของฟิค ความหนาต่างๆ ที่ทำการทดลองคือ 1, 0.25 มิลลิเมตร ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของเพอร์มิเอทมากนัก ตาราง 4 แสดงผลของความหนาของเยื่อแผ่นต่อกระบวนการเพอร์เวปอเรชัน

ตารางที่ 6 แสดงผลของความหนาของเยื่อแผ่นที่มีต่อกระบวนการเพอร์เวปอเรชัน

ความหนาของเยื่อ (มิลลิเมตร)	ฟลักซ์ (กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง)			ความเข้มข้นของเพอร์มิเอท (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	แฟคเตอร์การแยก
	เพอร์มิเอท	บิวทานอล	น้ำ		
1	14.32391	8.566	5.758	59.8	49.364
0.25	57.296	30.376	26.919	53.01612	37.44576

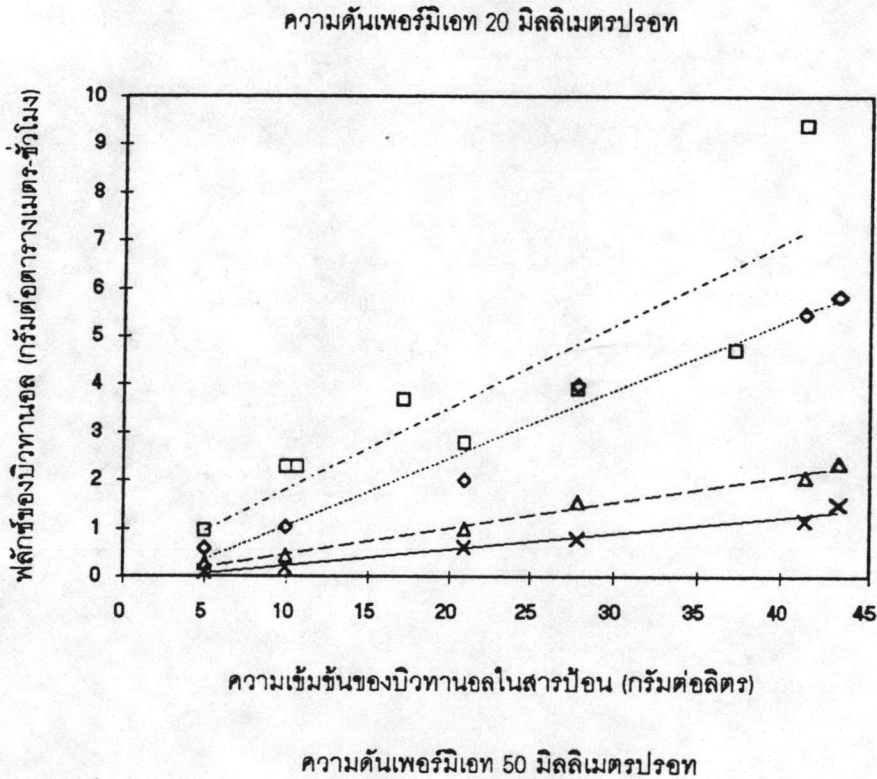
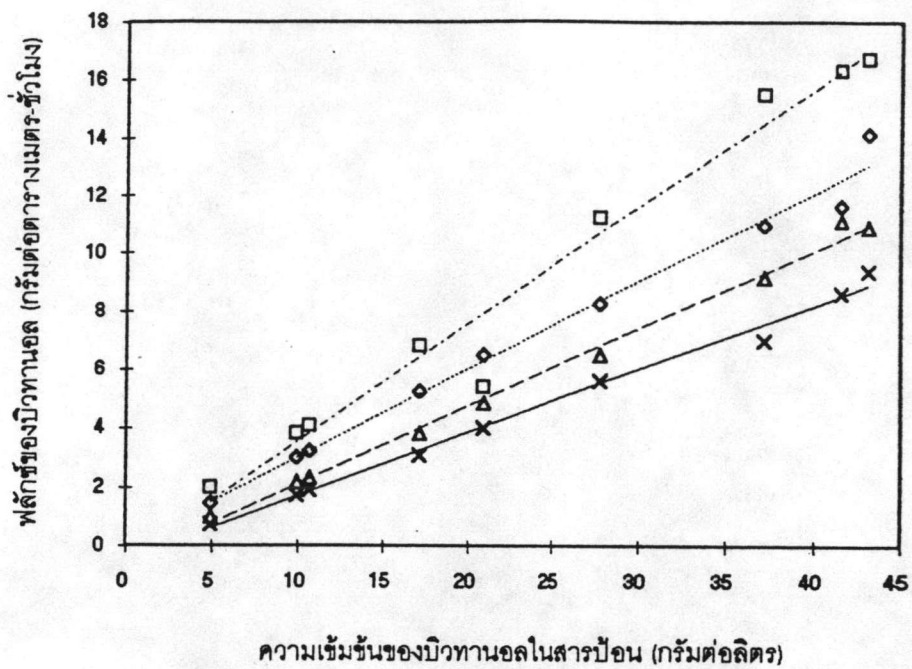
ภาวะที่ทำการทดลอง : อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอท 20 มิลลิเมตรปรอท ความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อน 2.925 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราการไหลของสารป้อน 0.5 ลิตรต่อชั่วโมง เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่ออย่างซิลิโคน 2 มิลลิเมตร ความยาวท่อซิลิโคน 1 เมตร

จากรูป 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของบิวทานอลในผลิตภัณฑ์และในสารป้อน ของกระบวนการเพอร์เวปอเรชันโดยใช้เยื่อแผ่นอย่างซิลิโคน ความดันเพอร์มิเอท 20 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับข้อมูลสมดุลระหว่างวัฏภาคไอ-ของเหลวที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท จะเห็นว่าความเข้มข้นของบิวทานอลในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเพอร์เวปอเรชันมีค่าสูงกว่าตลอดช่วงความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อน 05-4.38 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



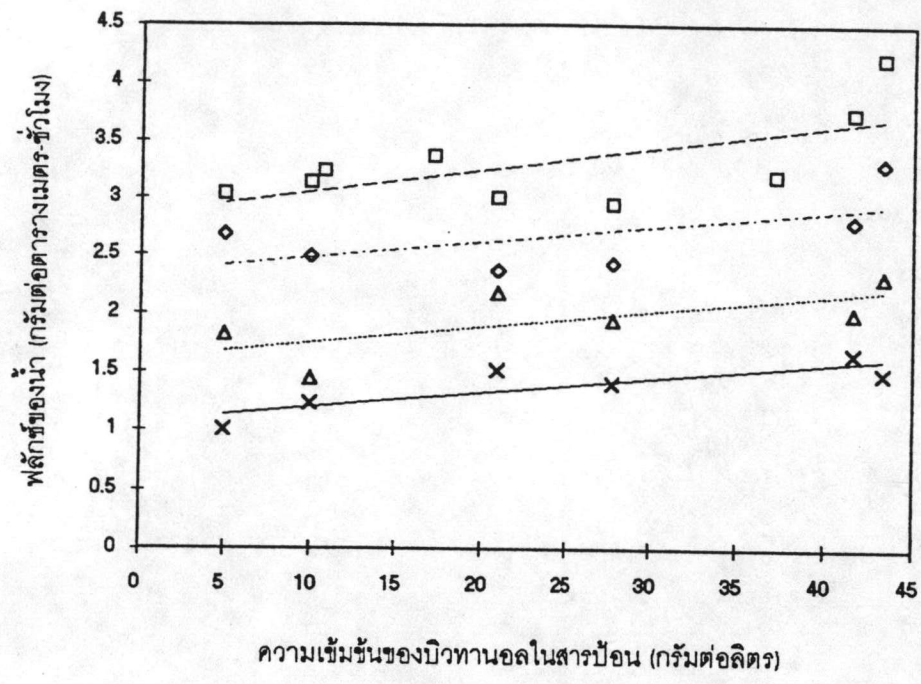
รูปที่ 27 ฟลักซ์ของบิวทานอลต่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารบีดอนที่อุณหภูมิคงที่

--□-- 20 มิลลิเมตรพรอท --◇-- 30 มิลลิเมตรพรอท --△-- 40 มิลลิเมตรพรอท --×-- 50 มิลลิเมตรพรอท

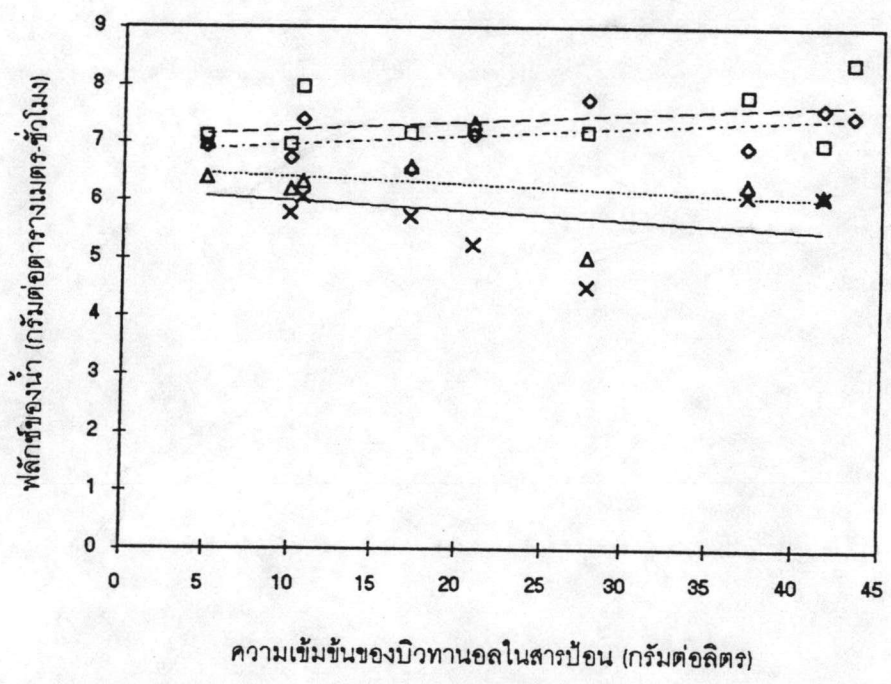


รูปที่ 28 ฟลักซ์ของบิวทานอลต่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนที่ความดันเพอร์มิเอทคงที่

---□--- 60 องศาเซลเซียส ---◇--- 50 องศาเซลเซียส --△-- 40 องศาเซลเซียส ---×--- 35 องศาเซลเซียส



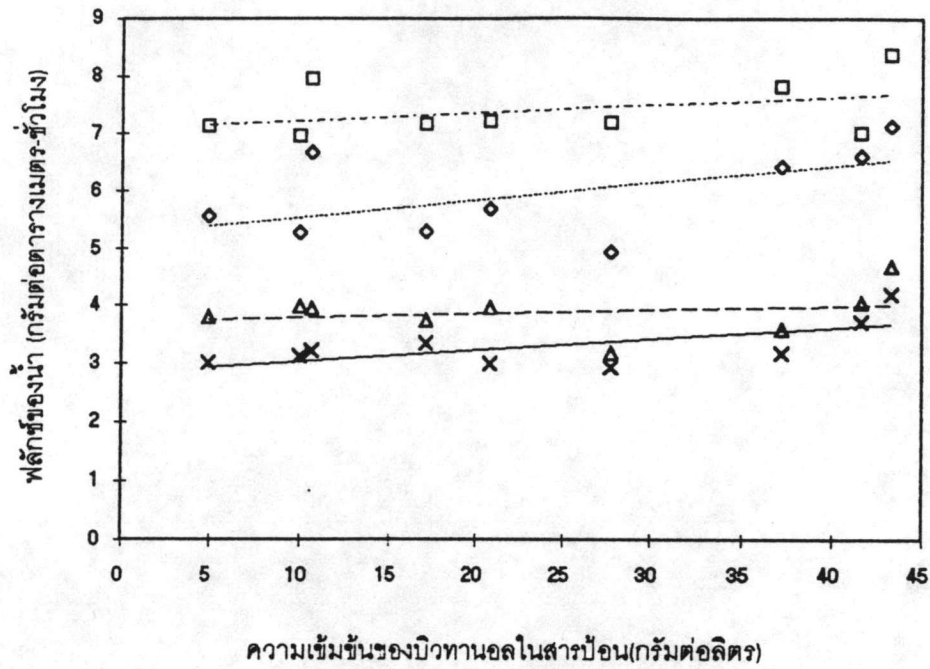
อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



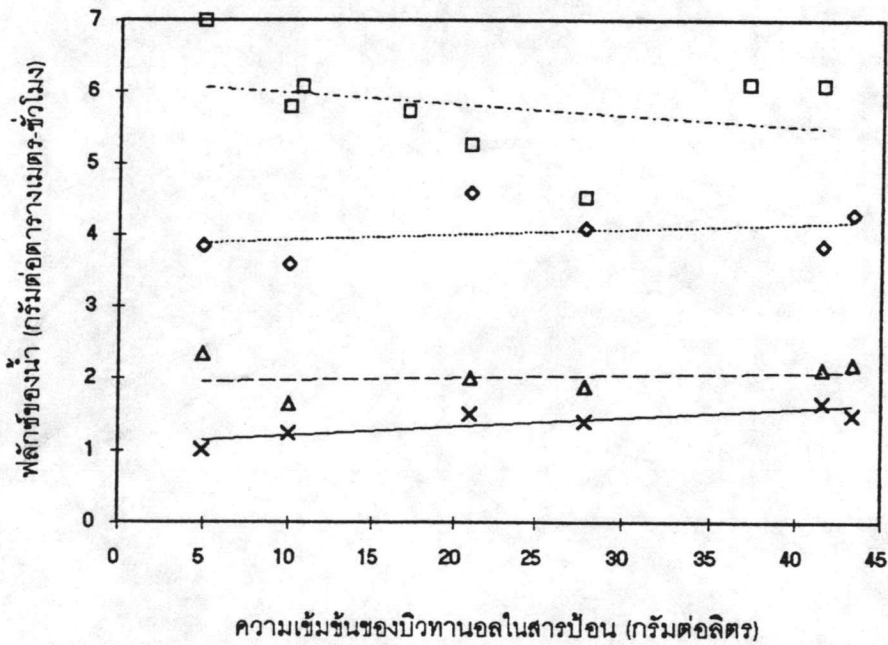
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

รูปที่ 29 ฟลักซ์ของน้ำต่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนที่อุณหภูมิคงที่

---□--- 20 มิลลิเมตรปรอท ---◇--- 30 มิลลิเมตรปรอท ---△--- 40 มิลลิเมตรปรอท ---×--- 50 มิลลิเมตรปรอท



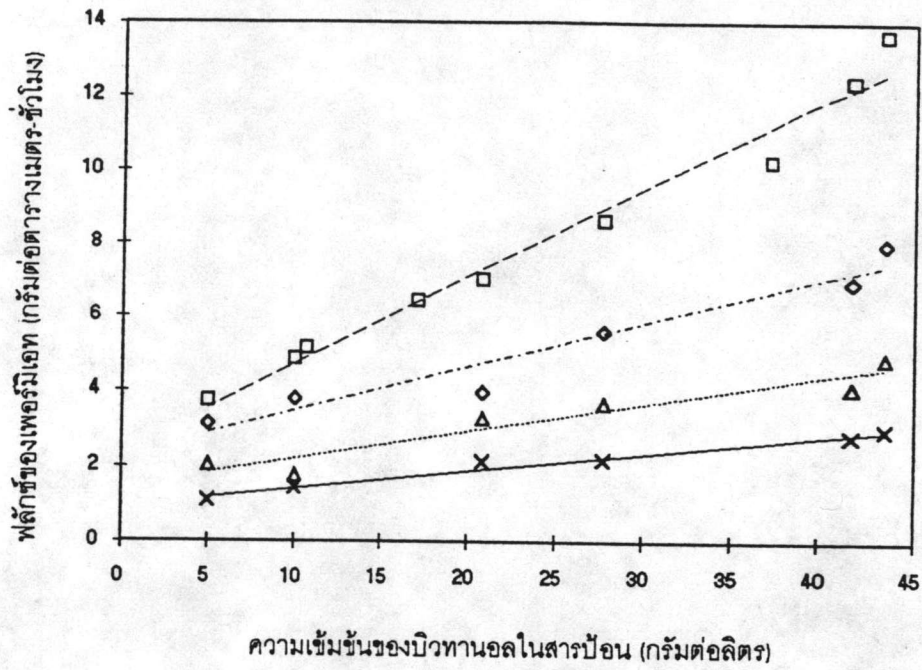
ความดันเพอร์มิเอท 20 มิลลิเมตรปรอท



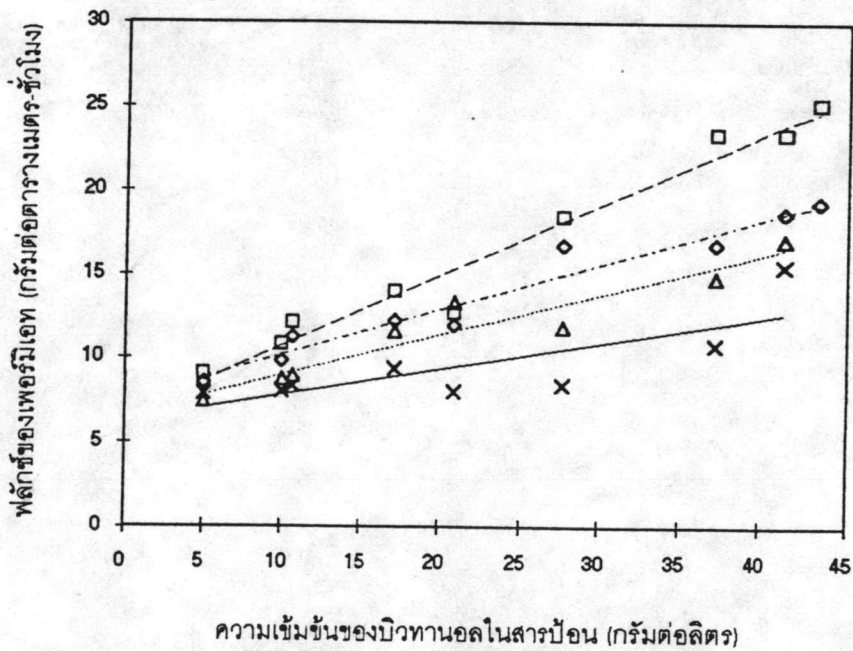
ความดันเพอร์มิเอท 50 มิลลิเมตรปรอท

รูปที่ 30 ฟลักซ์ของน้ำต่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนที่ความดันเพอร์มิเอทคงที่

---□--- 60 องศาเซลเซียส ---◇--- 50 องศาเซลเซียส --△-- 40 องศาเซลเซียส ---×--- 35 องศาเซลเซียส



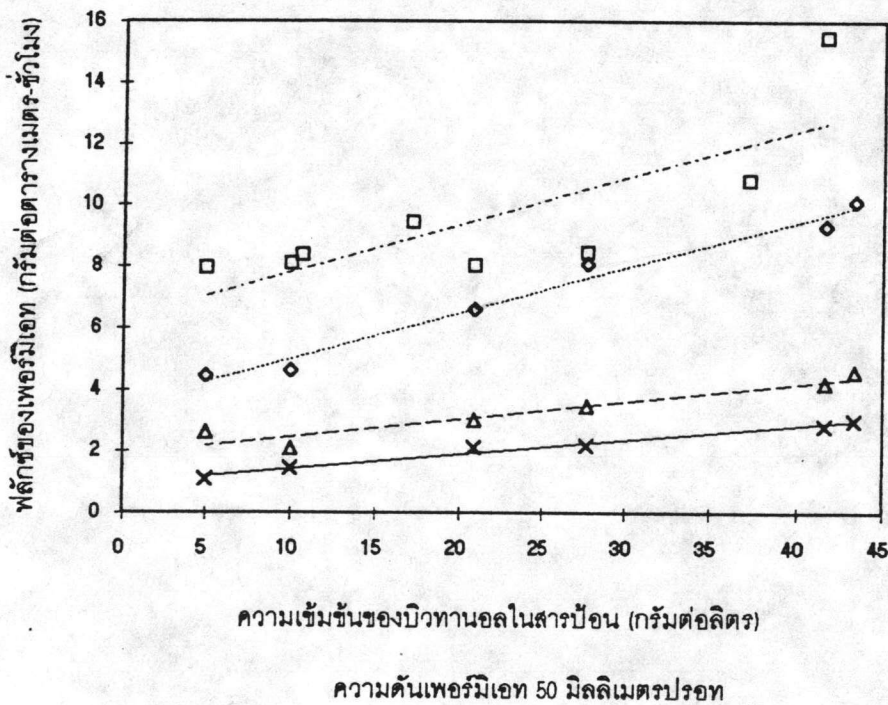
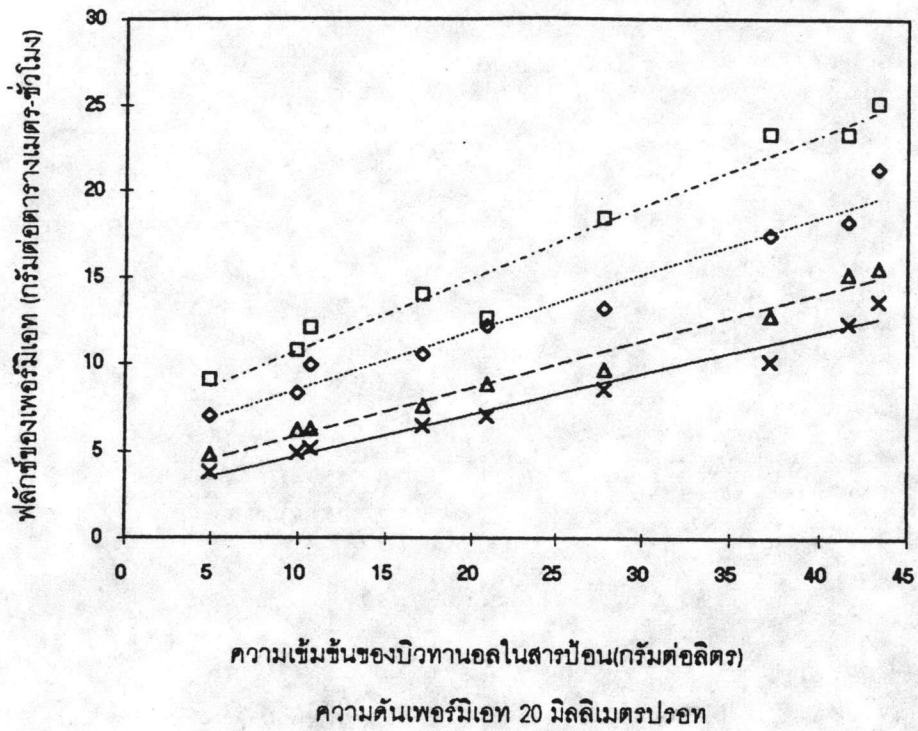
จุดหนุมิ 35 องศาเซลเซียส



จุดหนุมิ 60 องศาเซลเซียส

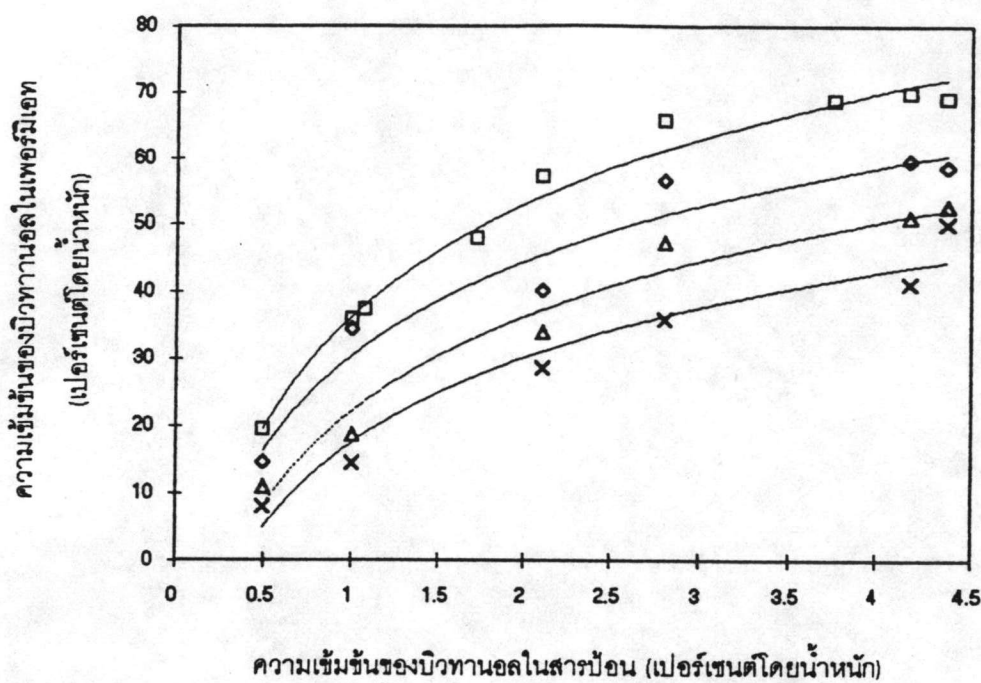
รูปที่ 31 ฟลักซ์ของเพอร์มิเอทต่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนที่อุณหภูมิคงที่

--□-- 20 มิลลิเมตรปรอท --◇-- 30 มิลลิเมตรปรอท --△-- 40 มิลลิเมตรปรอท --×-- 50 มิลลิเมตรปรอท

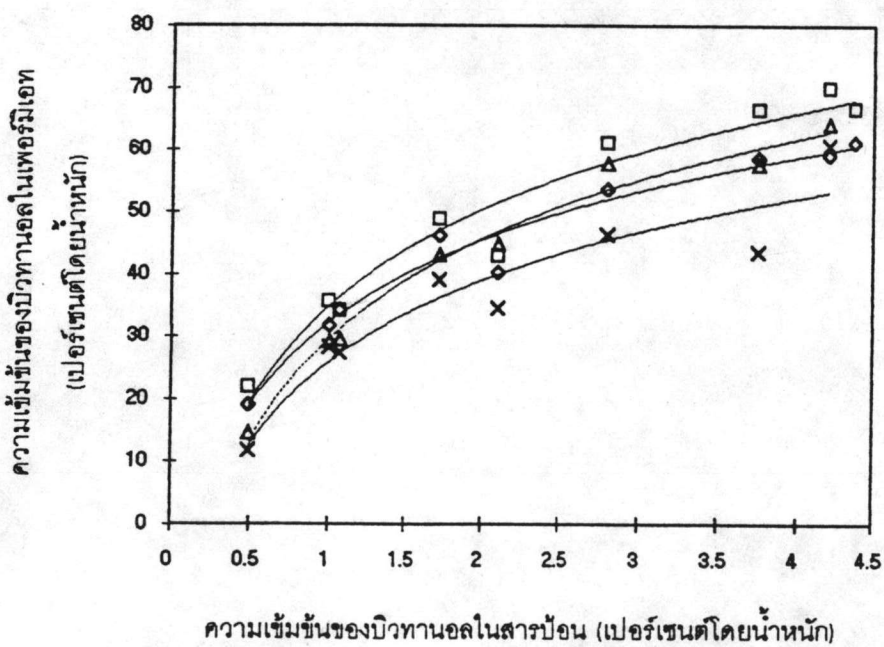


รูปที่ 32 ฟลักซ์ของเพอร์มิเอทต่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนที่ความดันเพอร์มิเอทคงที่

---□--- 60 องศาเซลเซียส ---◇--- 50 องศาเซลเซียส ---△--- 40 องศาเซลเซียส ---×--- 35 องศาเซลเซียส



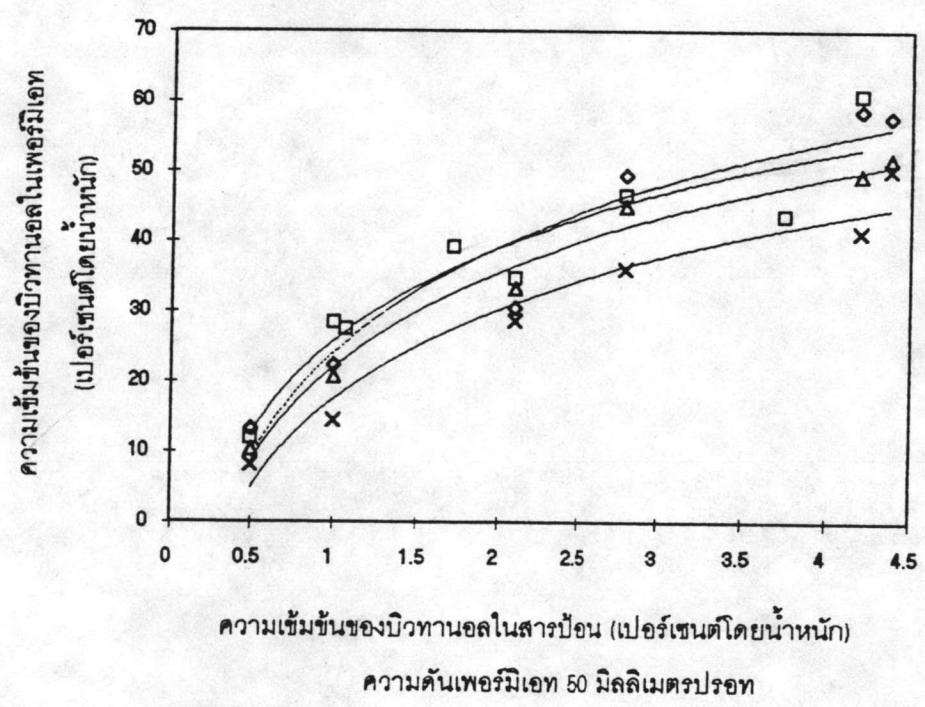
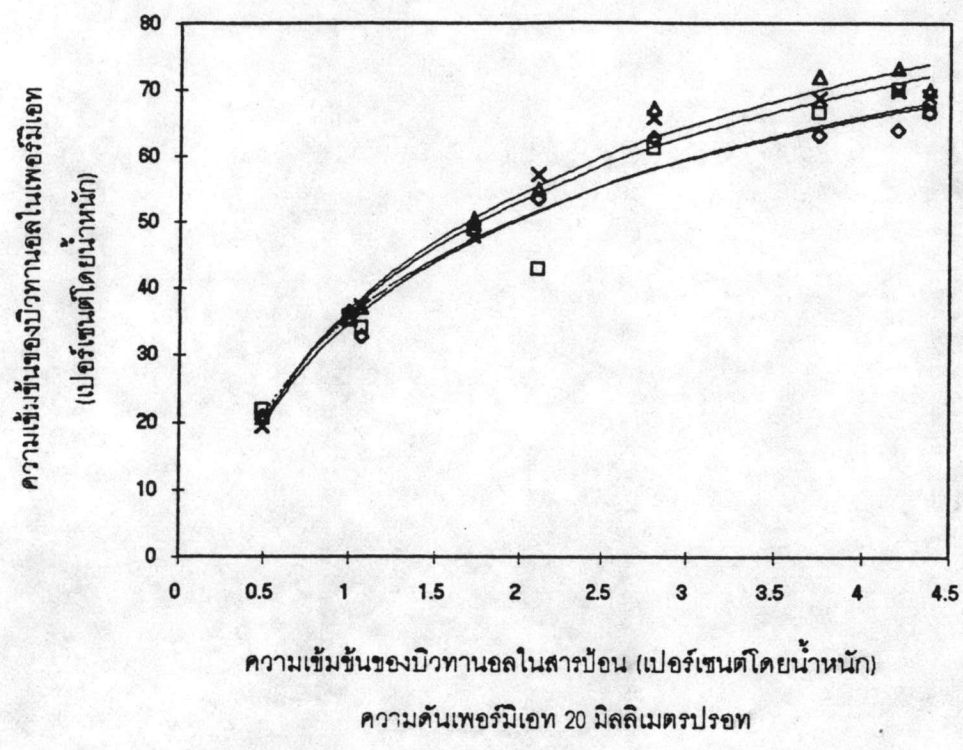
อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

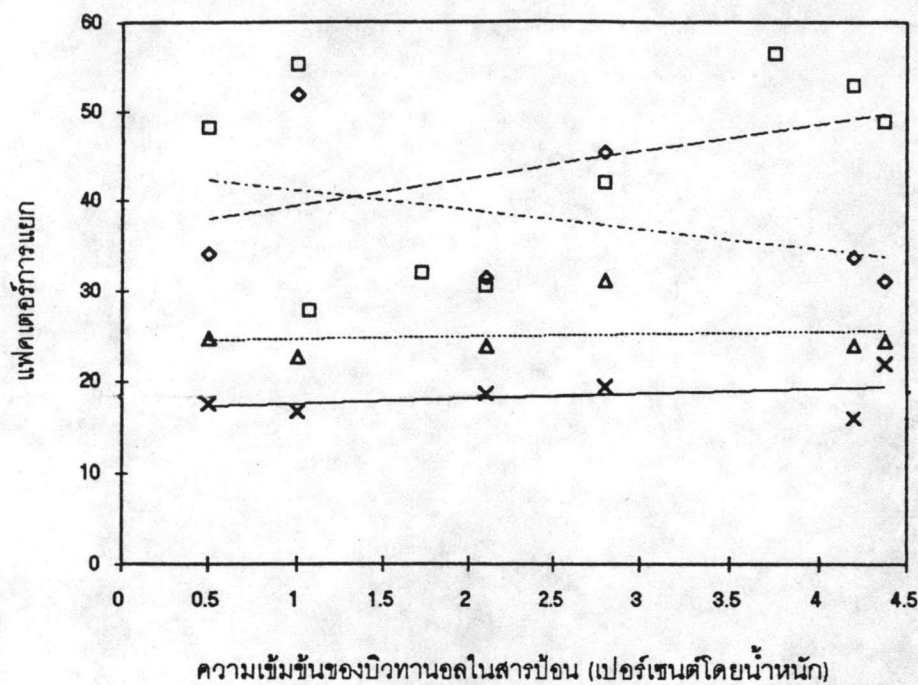
รูปที่ 33 ความชื้นชั้นของบิวทานอลในเพอร์มิเอทและสารป้อนที่อุณหภูมิคงที่

--□-- 20 มิลลิเมตรปรอท --◇-- 30 มิลลิเมตรปรอท --△-- 40 มิลลิเมตรปรอท --×-- 50 มิลลิเมตรปรอท

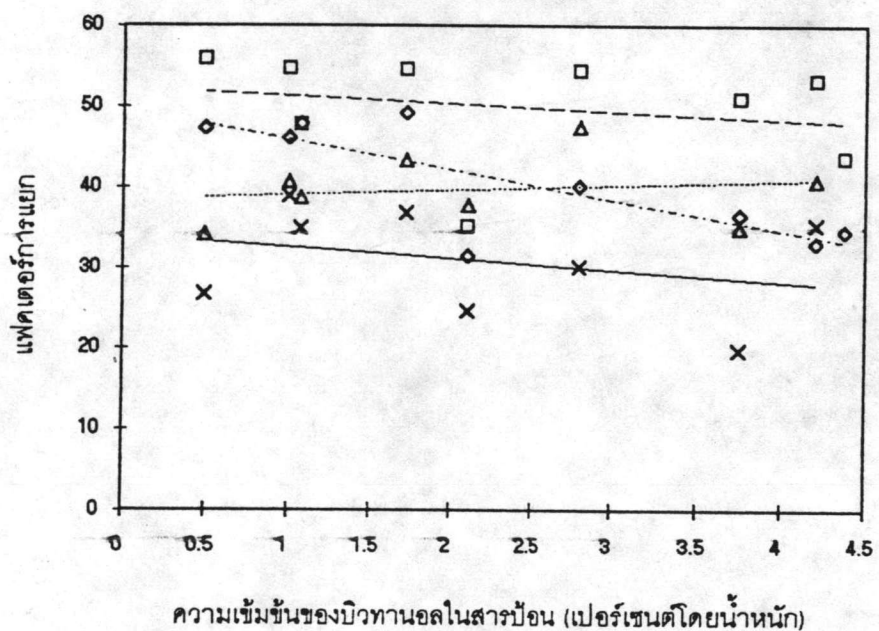


รูปที่ 34 ความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลในพอร์มีเอทและสารป้อนที่ความดันพอร์มีเอทคงที่

---□--- 60 องศาเซลเซียส ---◇--- 50 องศาเซลเซียส ---△--- 40 องศาเซลเซียส ---×--- 35 องศาเซลเซียส



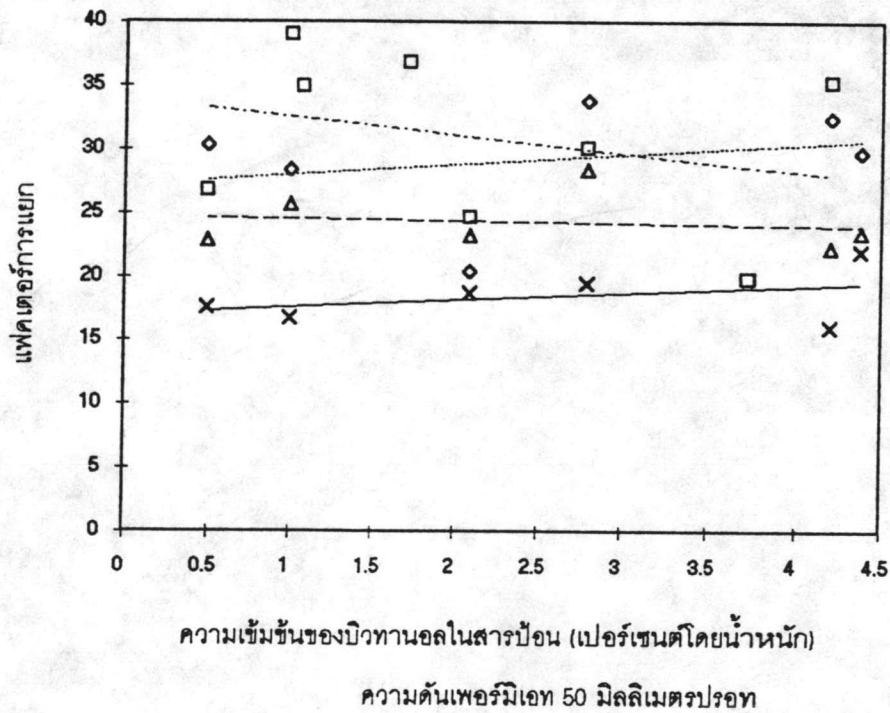
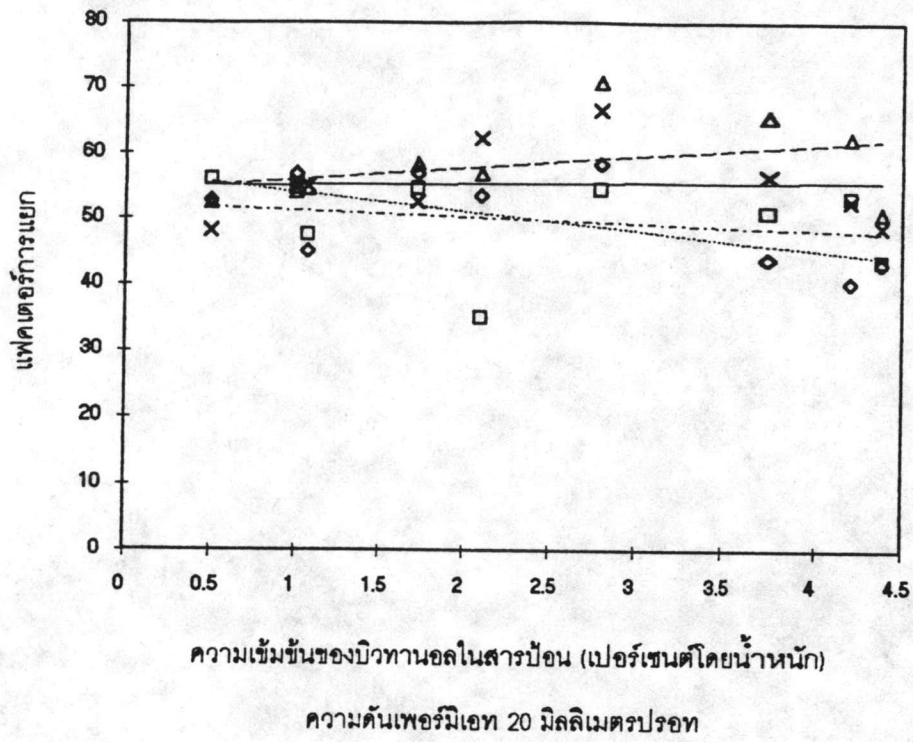
อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

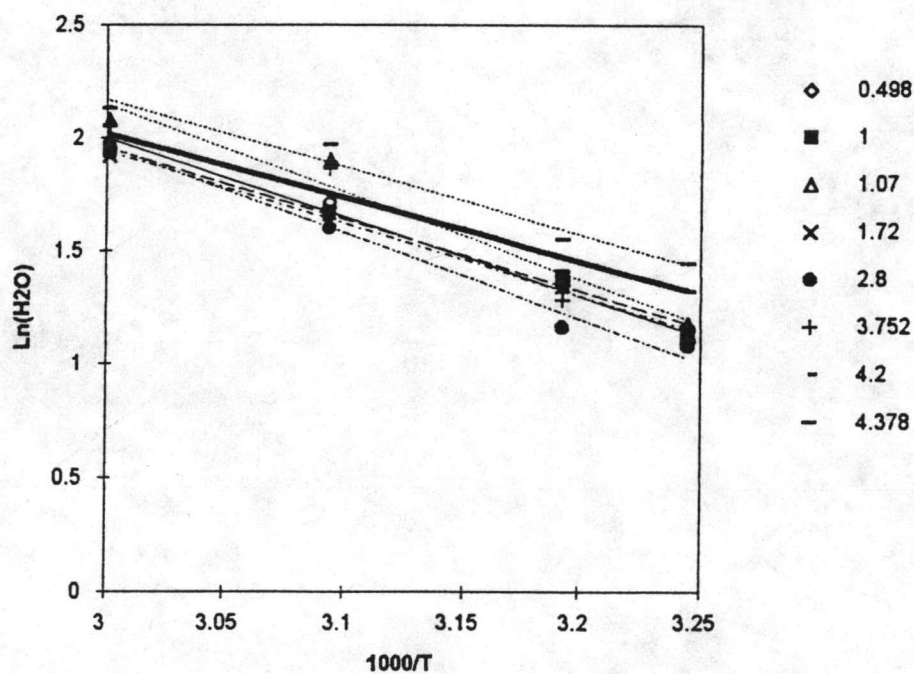
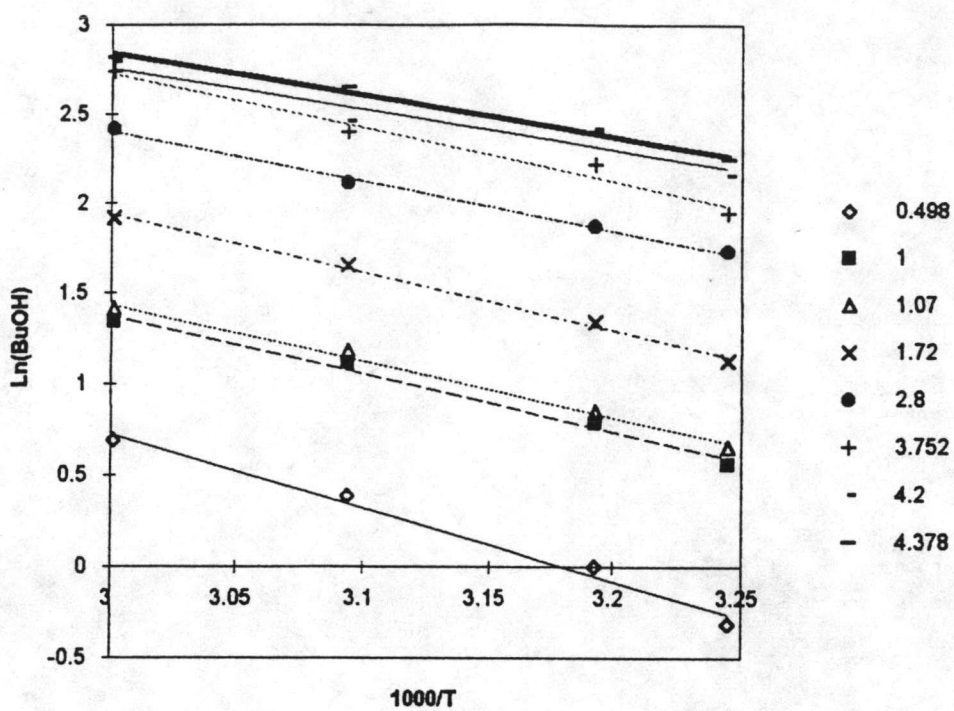
รูปที่ 35 แฟคเตอร์การแยกต่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนที่อุณหภูมิคงที่

--□-- 20 มิลลิเมตรปรอท --◇-- 30 มิลลิเมตรปรอท --△-- 40 มิลลิเมตรปรอท --×-- 50 มิลลิเมตรปรอท

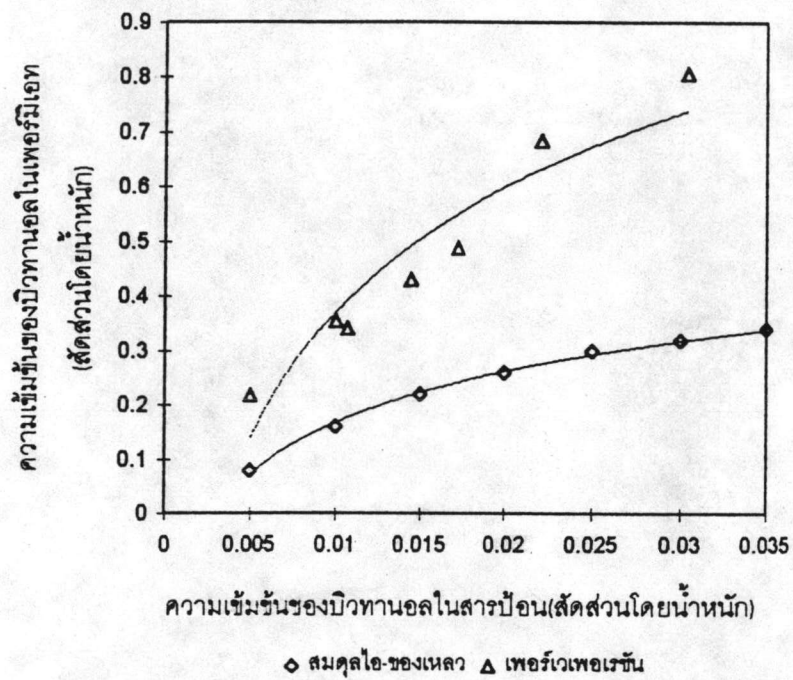


รูปที่ 36 แฟคเตอร์การแยกต่อความเข้มข้นของบิวทานอลในสารบ่อนที่ความดันเฟอร์มิเอทคงที่

---□--- 60 องศาเซลเซียส ---◇--- 50 องศาเซลเซียส ---△--- 40 องศาเซลเซียส ---×--- 35 องศาเซลเซียส



รูปที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ของบิวทานอลและน้ำกับอุณหภูมิที่ความดันเพอร์มิเอท 20 มิลลิเมตรปรอท



รูปที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนและในเฟอร์มิเอท
โดยเฟอร์เวเพอเรชั่นและการกลายเป็นไอ

ภาวะดำเนินการของเฟอร์เวเพอเรชั่น : ความดันเฟอร์มิเอท 20 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 60 องศา
เซลเซียส อัตราการไหลของสารป้อน 0.5 ลิตรต่อชั่วโมง ความหนาของเยื่อแผ่นยางซิลิโคน 0.1
มิลลิเมตร



สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน พบว่า ฟลักซ์ของบิวทานอลเป็นฟังก์ชันโดยตรงกับความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและความดันเพอร์มิเอทลดลง การถ่ายเทมวลของบิวทานอลในเยื่อแผ่นไม่มีรูปทรงสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการละลาย-การแพร่ โดยที่ค่าการแพร่ และการกระจายของ บิวทานอลในเยื่อแผ่นและในสารป้อน มีค่าคงที่เนื่องจาก ความเข้มข้นในช่วงที่ทำการทดลองมีค่าต่ำ การพองในเยื่อแผ่นโพลีเมอริเกิดน้อยมาก ความเข้มข้นของสารป้อนจึงไม่มีผลต่อค่าการแพร่ของ บิวทานอล

ฟลักซ์ของน้ำมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงความเข้มข้นของสารป้อนที่ศึกษา และพบว่าไม่มีแรงคู่ควบของบิวทานอลและน้ำในระบบที่ศึกษา ฟลักซ์ของน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพอร์มิเอท ลดลงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่อความดันเพอร์มิเอทลดลงจาก 50 มิลลิเมตรปรอทเป็น 20 มิลลิเมตรปรอท ฟลักซ์ของน้ำเพิ่มขึ้น 1.2-2.65 เท่า และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 35 เป็น 60 องศาเซลเซียส ฟลักซ์ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น 2.5-6 เท่า พลังงานกระตุ้นของการซึมผ่านของน้ำมีค่าสูงกว่าของบิวทานอล เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ฟลักซ์ของน้ำจึงมีค่าเปลี่ยนไปมากกว่า

ความเข้มข้นของบิวทานอลในเพอร์มิเอทมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อนและลดความดันเพอร์มิเอทลง และมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

แฟคเตอร์การแยกมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงความเข้มข้นของสารป้อนและอุณหภูมิที่ศึกษา แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพอร์มิเอทลดลง ที่ความดันเพอร์มิเอท 50 มิลลิเมตรปรอท แฟคเตอร์การแยกมีค่าประมาณ 26 ที่ความดันเพอร์มิเอท 20 มิลลิเมตรปรอท แฟคเตอร์การแยกมีค่าประมาณ 53

ฟลักซ์ของสารเป็นฟังก์ชันโดยตรงกับความหนาของเยื่อแผ่น แต่ความเข้มข้นของเพอร์มิ-เอทมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อเปลี่ยนความหนาของเยื่อแผ่น

โดยอาศัยแบบจำลองการละลาย-การแพร่ พบว่า เยื่อแผ่นยางซิลิโคนดูดซึมบิวทานอลได้ดีกว่าน้ำ แต่น้ำแพร่ผ่านในเยื่อแผ่นนี้ได้ดีกว่า ค่าการเลือกของแผ่นเยื่อซิลิโคนเกิดจากขั้นตอนการดูดซึมบิวทานอลมากกว่าน้ำ

ในช่วงความเข้มข้นของบิวทานอลที่ทำการทดลอง ภาวะที่เหมาะสมในการแยกคือใช้ความดันเพอร์มิเอทต่ำๆ และอุณหภูมิสูง เมื่อใช้เพอร์เวเพอเรชันในการแยกบิวทานอลออกจาก

ของผสมที่มีความเข้มข้นของบิวทานอล 4.38 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยอุณหภูมิของโมดูลและสารป้อนเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอท 20 มิลลิเมตรปรอท ความหนาของเยื่อแผ่นยางซิลิโคน 1 มิลลิเมตร อัตราการไหลของสารป้อน 0.5 ลิตรต่อชั่วโมง เพอร์มิเอทที่ได้มีความเข้มข้นของ บิวทานอล 66.626 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ฟลักซ์มีค่า 25.1 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์รีโคเวอรีของบิวทานอล 4.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แฟคเตอร์การแยก 43.604

การใช้เยื่อแผ่นยางซิลิโคนที่มีความหนา 0.25 มิลลิเมตร จะช่วยเพิ่มฟลักซ์ของเพอร์มิเอทโดยที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารน้อยมาก

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ความดันเพอร์มิเอทที่มีค่าต่ำกว่าที่ใช้ในการทดลองนี้ จะทำให้ได้ฟลักซ์และความเข้มข้นที่สูงขึ้น
2. ความหนาของเยื่อที่ต่ำกว่า 0.25 มิลลิเมตรอาจจะช่วยเพิ่มฟลักซ์ของสารได้อีกโดยไม่มีผลต่อความเข้มข้นของเพอร์มิเอท แต่การใช้เยื่อที่บางมากๆ จะต้องพิจารณาถึงความร้อนที่ต้องให้แก่ระบบ ความดันเพอร์มิเอทที่เหมาะสม รวมถึงรูปแบบการไหลของสารป้อนในโมดูลเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน
3. การใช้โมดูลที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของโมดูลสูงก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มฟลักซ์ ของสาร
4. ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของบิวทานอลในเพอร์มิเอทจะมีค่าสูง แต่ฟลักซ์มีค่าค่อนข้างต่ำ ทำให้ดึงบิวทานอลออกจากของผสมได้น้อย การหมุนเวียนสารป้อนกลับจะสามารถแยกบิวทานอลออกได้มากขึ้น