



บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

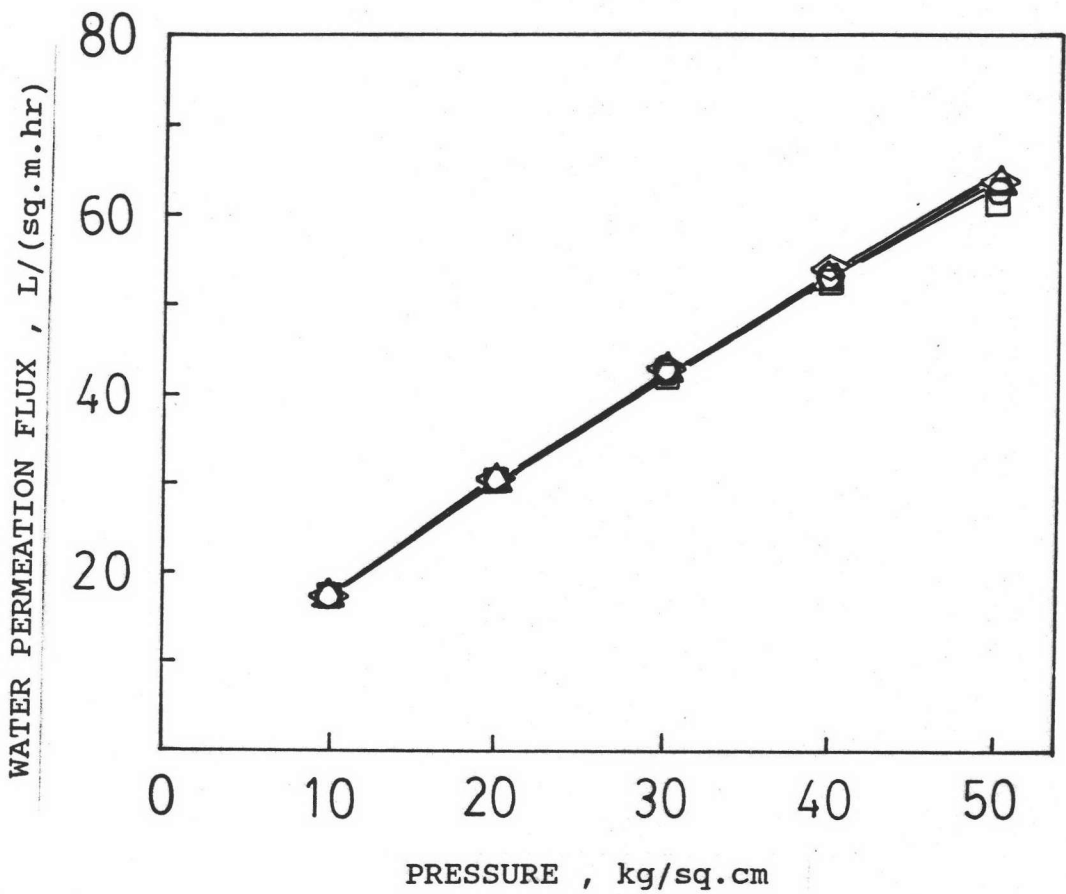
จากการศึกษา ผลการตอบสนองของสารทำลาย บิวทานอล, อะซิโตน, เอทานอล, กรดอะซิติก และ กรดบิวทิริก ที่มีต่อกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ โดยมีอัตราการไหลและความดันในระบบเป็นตัวแปรที่สนใจ การศึกษาความเป็นไปได้ ในการแยกน้ำจากน้ำหมัก บิวทานอลที่ผ่านกระบวนการอลตราฟิวเตรชั่นแล้ว รายละเอียดของผลการทดลองและการวิจารณ์ผลมีดังนี้

5.1 การศึกษาผลกระทบของความดันและอัตราการไหลของน้ำกำจัดแร่ธาตุ (demineralized water) ที่มีต่อเมมเบรน

จากการศึกษาบทบาทน้ำกำจัดแร่ธาตุ เพื่อให้ทราบสภาวะและคุณสมบัติเมมเบรนที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำ 1 ถึง 5 ลิตรต่อนาที และความดัน 10 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า ค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ของน้ำ ก่อนการใช้งานเมมเบรน เมื่อเปรียบเทียบกับความดันในระบบแปรตามกันเป็นเส้นตรง ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 18 โดยมี slope ของเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ $1/R_m$ โดย R_m คือความต้านทานของเมมเบรนที่มีต่อน้ำ และพบว่า ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กันระหว่าง 1 ถึง 5 ลิตรต่อนาที ค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ของน้ำไม่แตกต่างกัน อาจสรุปได้ว่า เพอมีเอชันฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ที่ผ่านเมมเบรนไม่ขึ้นกับอัตราการไหลป้อนของน้ำในช่วงที่ทดลอง ตามสมการที่ 18

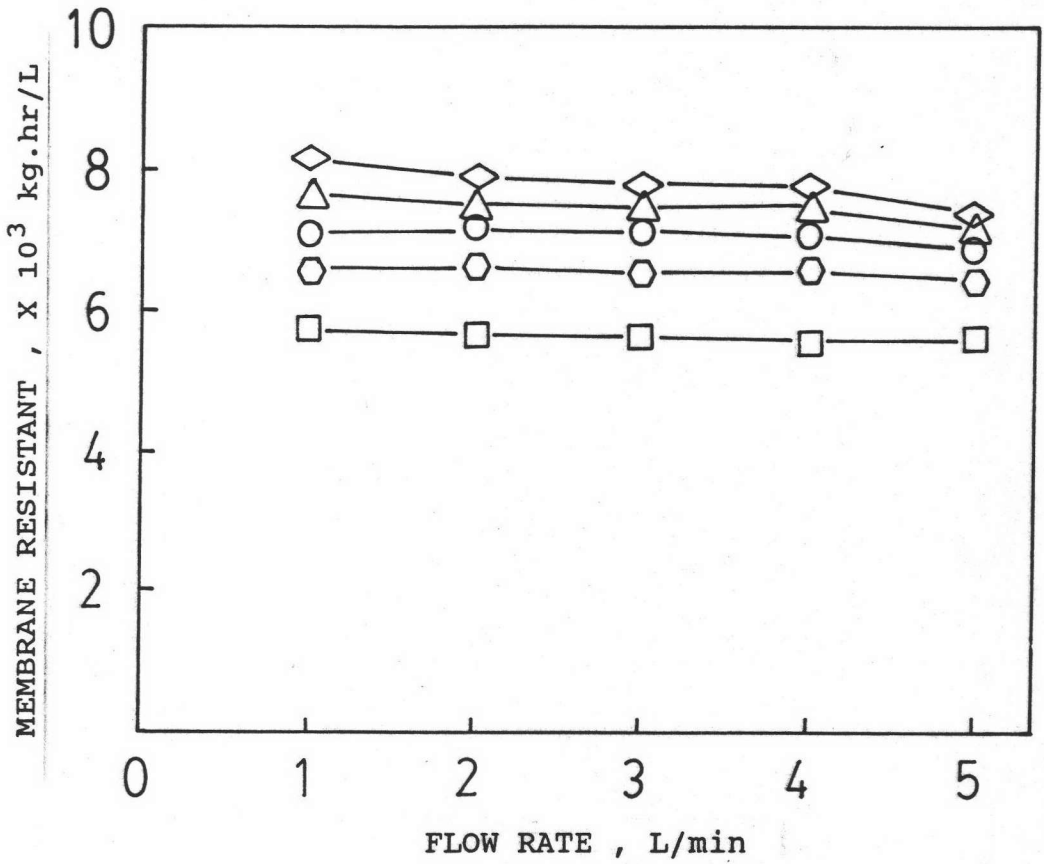
ค่าความต้านทานของเมมเบรนต่อการไหลผ่านของน้ำนั้น จากรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความดันขึ้นค่าความต้านทานของเมมเบรนก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่อนข้างคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลป้อน เนื่องจากการเพิ่มความดันระบบมีผลต่อการอัดตัวของเมมเบรน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความต้านทานของเมมเบรนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.1 โดยมีค่า

เฉลี่ยของความต้านทานของเมมเบรนที่ความดัน 10, 20, 30, 40, และ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เท่ากับ 5628, 6530, 7032, 7429, และ 7755 กิโลกรัม-ชั่วโมงต่อลิตรตามลำดับ



รูปที่ 5.1 แสดงเพอมีเอชันฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ต่อความดัน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ก่อนใช้งานเมมเบรน

- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ◊ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.2 แสดงความต้านทานเมมเบรนกับน้ำบริสุทธิ์ ต่ออัตราการไหล

ที่ความดันต่าง ๆ ก่อนใช้งานเมมเบรน

- ความดัน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ⬡ ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- △ ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ◇ ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 5.1 แสดงผลกระทบบของความดันและอัตราการไหลของน้ำกำจัดแร่ธาตุ
 ต่อ
 ฟิล์มเมมเบรน

FLOW RATE	PRESSURE	PERM. FLUX	MEMB. RESIST
L /min	kg/sq.cm	L / (sq.m.hr)	kg.hr/L
1.000	10.000	17.455	5729.167
1.000	20.000	30.545	6547.619
1.000	30.000	42.614	7040.000
1.000	40.000	52.432	7628.955
1.000	50.000	61.500	8130.081
2.000	10.000	17.727	5641.026
2.000	20.000	30.205	6621.520
2.000	30.000	41.932	7154.472
2.000	40.000	53.455	7482.993
2.000	50.000	63.477	7876.835
3.000	10.000	17.795	5619.413
3.000	20.000	30.682	6518.519
3.000	30.000	42.273	7096.774
3.000	40.000	53.727	7445.008
3.000	50.000	64.364	7768.362
4.000	10.000	18.068	5534.591
4.000	20.000	30.341	6591.760
4.000	30.000	42.409	7073.955
4.000	40.000	53.523	7473.461
4.000	50.000	64.568	7743.752
5.000	10.000	17.795	5619.413
5.000	20.000	31.364	6376.812
5.000	30.000	44.114	6800.618
5.000	40.000	56.182	7119.741
5.000	50.000	68.864	7260.726

5.2 การศึกษาผลกระทบของความดันและอัตราการไหล ที่มีต่อเพอมีเอชันฟลักซ์ของสารละลายสังเคราะห์และน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสรีเวิร์ส

5.2.1 ผลกระทบของความดัน

จากการศึกษาผลกระทบของความดันที่มีต่อเพอมีเอชันฟลักซ์ ของสารละลายสังเคราะห์และน้ำหมักดังรูปที่ 5.3 พบว่า ค่าเพอมีเอชันฟลักซ์เป็นสัดส่วนตรงกับความดัน โดยเห็นได้ชัดเจนในช่วงอัตราการไหลผ่านผิวหน้าเมมเบรน 3 ถึง 5 ลิตรต่อนาที ปรากฏการณ์ดังกล่าวสอดคล้องกับสมการที่ 8 ในขณะที่อัตราการไหล 1, 2, และ 3 ลิตรต่อนาที มีค่าเพอมีเอชันฟลักซ์เปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งสารละลายสังเคราะห์และน้ำหมัก อาจอธิบายได้ว่า ขณะที่เกิดกระบวนการออสโมซิสรีเวิร์สที่ผิวหน้าเมมเบรน มีปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันขึ้นที่ผิวหน้าเมมเบรน โดยจะเห็นได้จากสมการที่ 8 เมื่อความดัน (ΔP) เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และเพอมีเอชันฟลักซ์ก็เพิ่มขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลายบริเวณผิวหน้าเมมเบรนเพิ่มขึ้น ทำให้ผลต่างของความดันออสโมติก ($\Delta \pi$) ระหว่างผิวหน้าเมมเบรนทั้งสองด้านเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เพอมีเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นได้ ไม่เป็นสัดส่วนตรง กับความดันระบบนัก โดยเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของความดัน ก็มีผลให้ความต้านทานการไหลของเมมเบรน ที่มีต่อตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.4 จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มความดันขึ้นช่วง 30 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความต้านทานของเมมเบรนที่มีต่อตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นบ้าง แต่ไม่แตกต่างกันมาก จากรูปจะเห็นว่าความต้านทานในน้ำหมักอยู่ในช่วงที่สูงกว่าสารละลายสังเคราะห์ เนื่องจากมีสารประกอบอื่น ๆ มากกว่า

5.2.2 ผลกระทบของอัตราการไหล

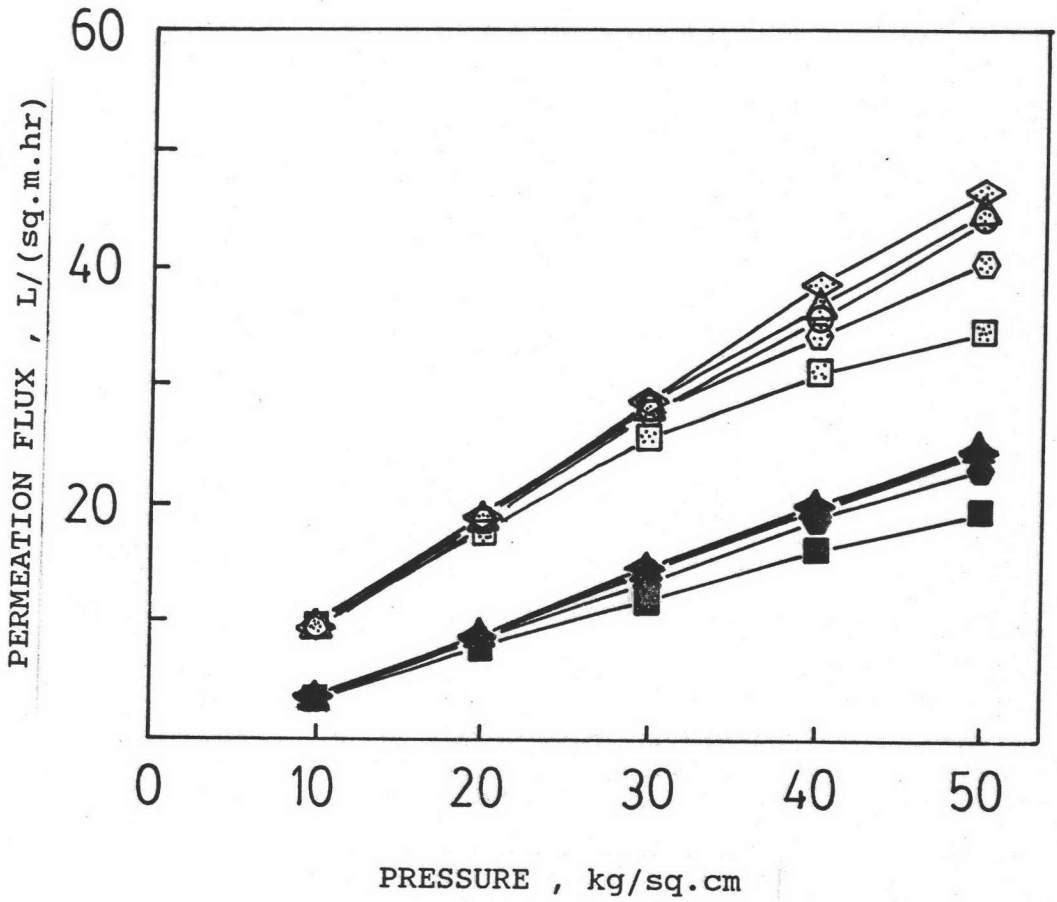
จากรูปที่ 5.3 เมื่อเพิ่มอัตราการไหลในช่วง 1 ถึง 3 ลิตรต่อนาที สามารถเพิ่มเพอมีเอชันฟลักซ์ ได้ซึ่งจากสมการที่ 8 อาจกล่าวได้ว่า อัตราการไหลป้อนมีอิทธิพลต่อเพอมีเอชันฟลักซ์ของน้ำ จากปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน เมื่อเพิ่มอัตราการไหลผ่านผิวหน้าเมมเบรน ทำให้เกิดแรงเฉือนลดชั้นขอบเขต และมีผลให้ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย

เทมวลของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น ตามสมการที่ 17 ทำให้สามารถเพิ่มเพมิเอชันฟลักส์ของน้ำได้
อย่างไรก็ตาม ในน้ำหมักเมื่ออัตราการไหลอยู่ในช่วง 3 ถึง 5 ลิตรต่อนาที ค่าเพมิเอชันฟลักส์
ของน้ำใกล้เคียงกันมาก อาจอธิบายได้ว่าที่สภาวะดังกล่าว ผลกระทบจากปรากฏการณ์คอนเซน
เตรชันโพลาไรเซชันมีลักษณะคงที่ การเพิ่มอัตราการไหลช่วงนี้มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลง
ของชั้นขอบเขต และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลน้อยมาก ทำให้ค่าเพมิเอชันฟลักส์แปรเป็นสัดส่วน
ตรงกับความดันระบบ ดังจะเห็นได้สอดคล้องกับรูปที่ 5.4 คือ ในขณะที่ความต้านทานเมื่อเพิ่ม
อัตราการไหลผ่านผิวหน้าเมมเบรนใช้ช่วง 1 ถึง 3 ลิตรต่อนาที มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน
และที่ช่วง 3 ถึง 5 ลิตรต่อนาที มีค่าค่อนข้างคงที่

จากผลการทดลองพบว่า เพมิเอชันฟลักส์ของน้ำหมักมีค่าประมาณ 33 ถึง 57 %
ของสารละลายสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดยที่อัตราการไหลต่าง ๆ เพมิเอชันฟลักส์
ของสารละลายทั้งสองก็มีสัดส่วนที่ค่อนข้างคงที่ เพิ่มขึ้นตามความดันเป็นลำดับ จึงเป็นเหตุผลที่
สามารถประเมินแนวโน้มของเพมิเอชันฟลักส์ของน้ำหมักได้ โดยอาศัยการศึกษาจากสารละลาย
สังเคราะห์ดังกล่าว

อนึ่ง เมื่อได้ตรวจสอบเพมิเอชันฟลักส์ของน้ำกำจัดแร่ธาตุหลังการใช้งานเมม
เบรนกับสารละลายสังเคราะห์และน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชันพบว่า เพมิเอชัน
ฟลักส์ของน้ำบริสุทธิ์ที่สภาวะความดันและอัตราการไหลต่าง ๆ เป็นเช่นเดียวกับก่อนใช้งานเมม
เบรนกับสารละลายทั้งสองชนิด ซึ่งแสดงว่า ในการทดลองแยกน้ำของสารละลายทั้ง 2 ชนิด ไม่
มีการอุดตันของตะกอนบนผิวหน้าเมมเบรน อันเนื่องมาจากสภาวะในการทดลองของสารละลายทั้ง
สอง จึงอาจสรุปได้ว่า ความต้านทานที่เกิดขึ้นต่อการเกิดเพมิเอชัน ได้แก่ ความต้านทานของ
เมมเบรนที่สภาวะการแยกต่าง ๆ นั้น (R_m) และความต้านทานเนื่องจากแรงกระทำระ
หว่างตัวถูกละลายกับเมมเบรน (R_p) เท่านั้น โดยที่ไม่มีความต้านทานเนื่องจากการอุดตัน
ของเมมเบรน ($R_p=0$) แต่พบว่า เพมิเอชันฟลักส์ของน้ำกำจัดแร่ธาตุในการทดลองกับน้ำ
หมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชัน (ในรูปที่ 5.6) มีค่าต่ำกว่าในการทดลองกับสารละลาย
สังเคราะห์ (ในรูปที่ 5.1) เล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าความต้านทานของเมมเบรนต่อเพมิ
เอชันฟลักส์ของน้ำกำจัดแร่ธาตุที่เพิ่มขึ้นในการทดลองแต่ละครั้ง เนื่องมาจากสภาพการอัดตัวของ

เมมเบรนจากการทดลอง ซึ่งจะอยู่ในรูปของความต้านทานของเมมเบรน (R_m) ที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง
นอกจากนั้น ผลจากการทดลองดังรูปที่ 5.1 และ 5.3 สามารถนำไปหาค่าความดัน
ออสโมติกจากกราฟได้ตามเงื่อนไข ข้อ 3.7.4.1 และจะได้ว่า ความดันออสโมติกของสารละลาย
กลายสังเคราะห์และน้ำหมักบิวทานอล มีค่าเท่ากับ 4.4 และ 9.1 กก.ต่อ ตร.ซม.ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบเพอเมชันฟลักซ์ของสารละลายสังเคราะห์กับน้ำหมัก

ต่อความดัน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ



สารละลายสังเคราะห์



น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุตสาหกรรมฟิวเตรชั่น



อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที



อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที



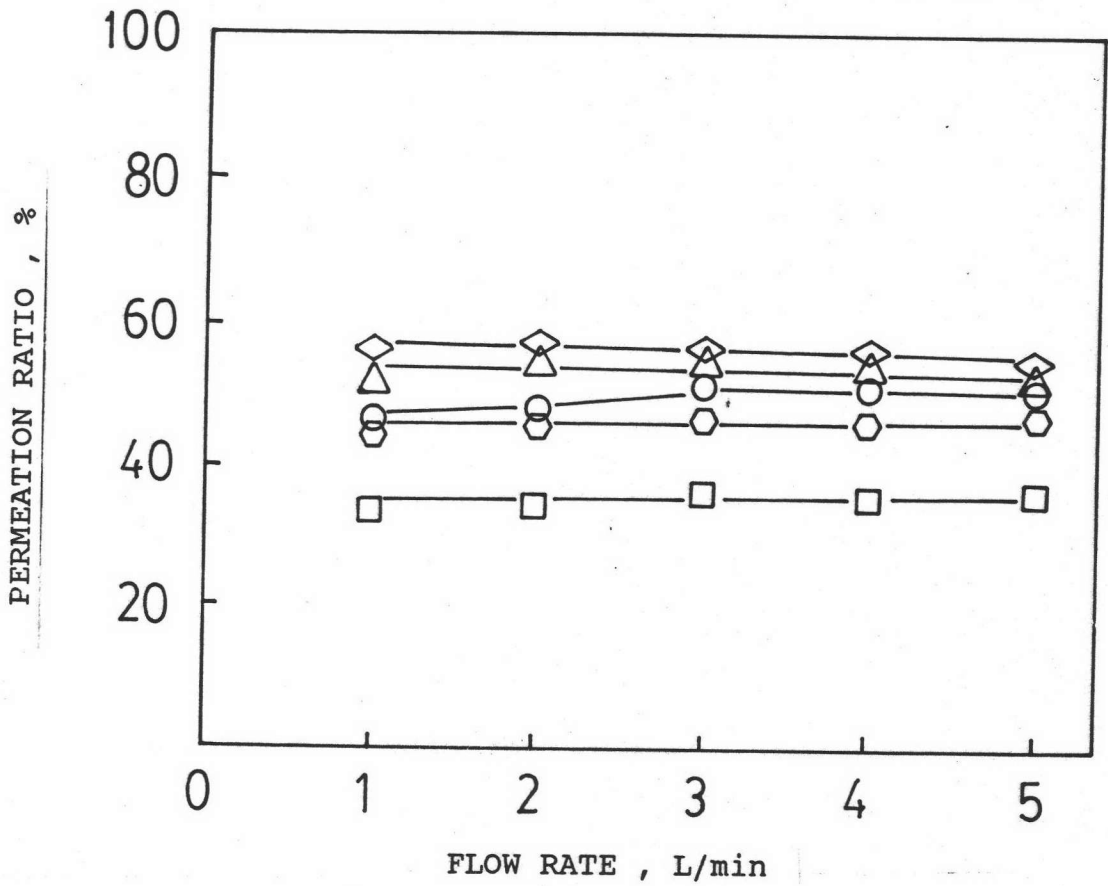
อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที



อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที



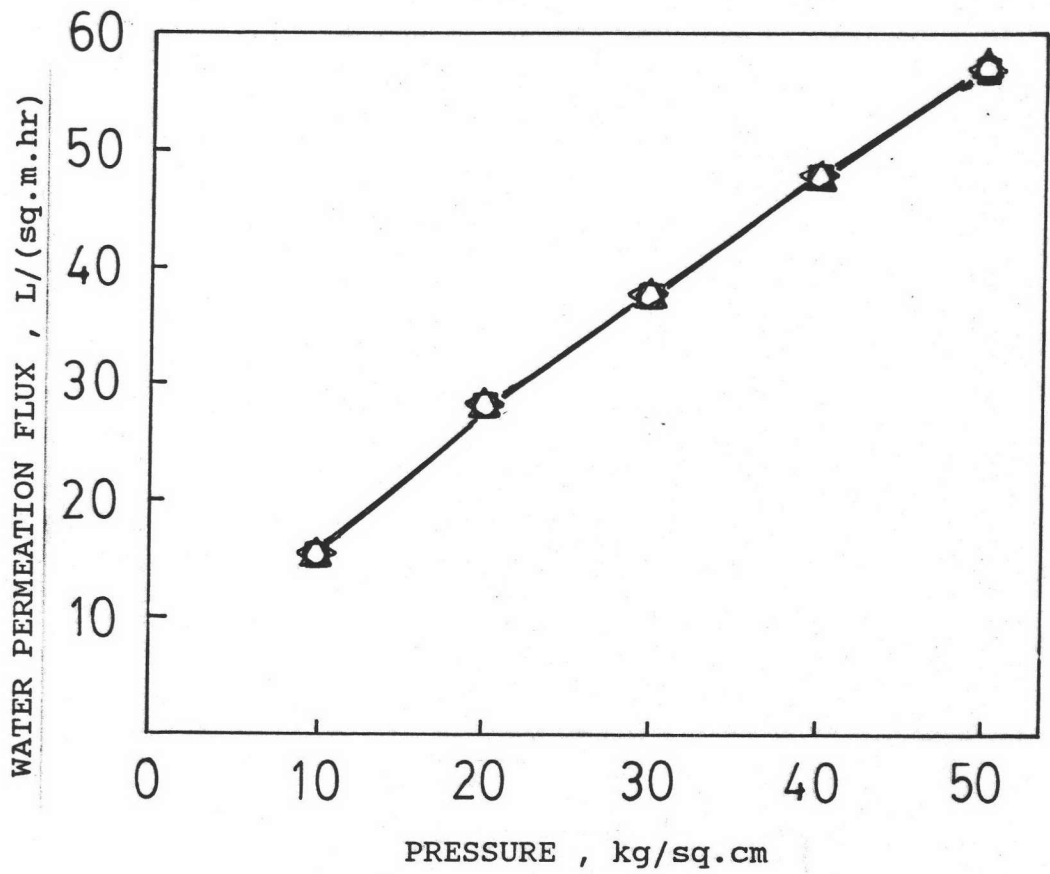
อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.5 เปอร์เซ็นต์เพอเมชันของน้ำหมัก เกี่ยวกับสารละลายสังเคราะห์

ต่ออัตราการไหล ที่ความดันต่าง ๆ

- ความดัน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- △ ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ◇ ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.6 แสดงเพอเมชันฟลักซ์ของน้ำต่อความดัน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

ก่อนใช้งานเมมเบรน กับน้ำหมักบิวทานอล

- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

5.3 การศึกษาผลกระทบของความดัน และอัตราการไหลที่มีผลต่อการแยกสารทำละลายใน สารละลายสังเคราะห์ และน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น

จากการทดลองพบว่า ที่สภาวะความดันและอัตราการไหลต่างการแยกสารทำละลายกับน้ำ มีลักษณะดังต่อไปนี้

5.3.1 เปอร์เซนต์รีเจกชันของสารทำละลาย

5.3.1.1 ความดัน

จากรูปที่ 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, และ 5.11 จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มความดันของระบบ (ΔP) พบว่า ค่ารีเจกชันของสารทำละลายทั้ง 5 ชนิดเพิ่มขึ้น โดยเห็นได้ชัดเจนในสารละลายตั้งต้นทั้งสองชนิด โดยที่ความดันเท่ากันสามารถให้ค่ารีเจกชันของสารทำละลายในน้ำหมัก สูงกว่าในสารละลายสังเคราะห์ สำหรับน้ำหมักที่ความดัน 30 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รีเจกชันมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 5.2 และ 5.3 ที่ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ให้ค่ารีเจกชันของบิวทานอลและอะซิโตนสูงสุดในช่วงประมาณ 85-93 % และ 67-81 % ตามลำดับ ในสารละลายสังเคราะห์ และในช่วงประมาณ 93-96 % และ 87-88 % ตามลำดับ ในน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น

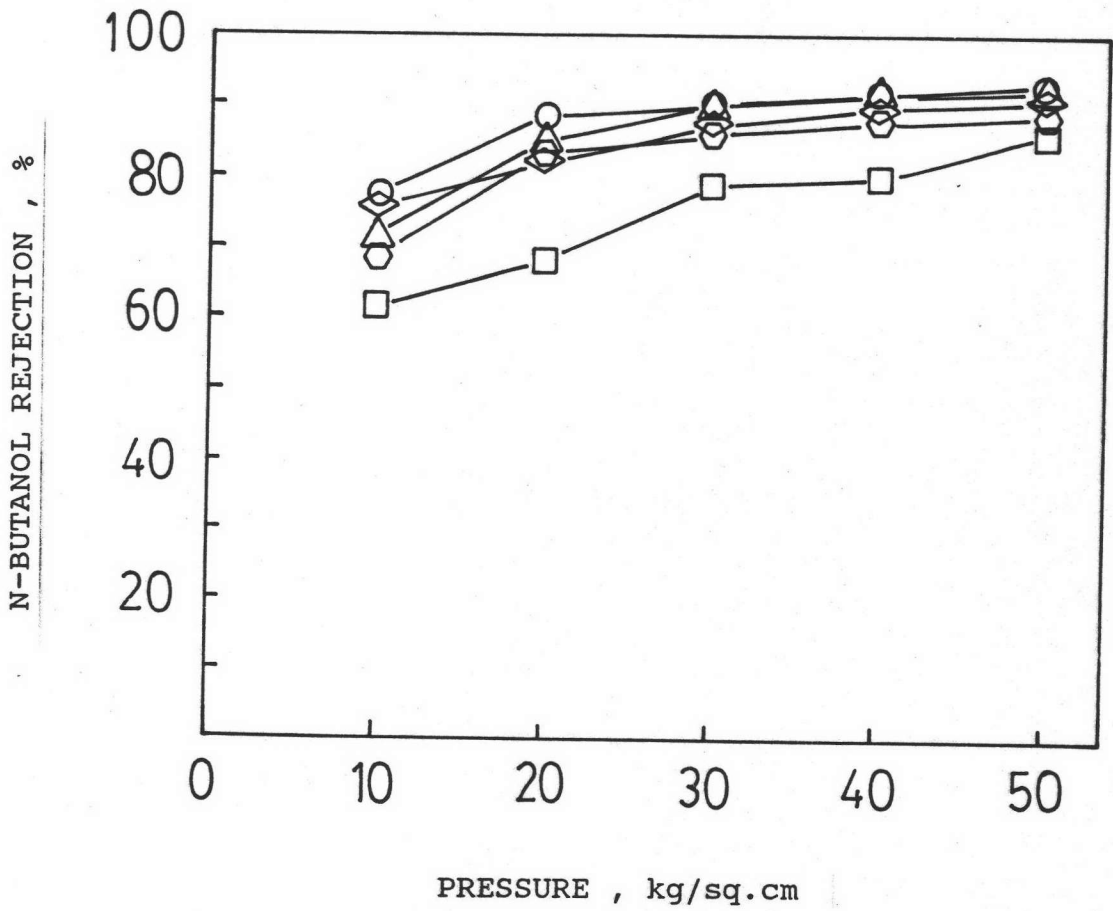
5.3.1.2 อัตราการไหล

ในส่วนของอัตราการไหลป้อน พบว่า กรณีสารละลายสังเคราะห์ ค่ารีเจกชันเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลป้อน สำหรับสารทำละลาย บิวทานอล, อะซิโตน, และ เอทานอล ในขณะที่รีเจกชันของกรดอะซิติก และกรดบิวทิริก ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ช่วงอัตราการไหล 3 ถึง 5 ลิตรต่อนาที ค่ารีเจกชันของสารทำละลายมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.2 พบว่า ที่อัตราการไหล 3 ลิตรต่อ นาที ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ให้ค่ารีเจกชันของสารทำละลายบิวทานอลและอะซิโตนสูงสุดที่ 93 และ 81 % ตามลำดับ

ในกรณีของน้ำหมัก อัตราการไหลมีผลต่อการเพิ่มรีเจกชันของสารทำละลายต่าง ๆ เล็กน้อยมาก ดังจะเห็นได้จาก ค่ารีเจกชันที่อัตราการไหลต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน

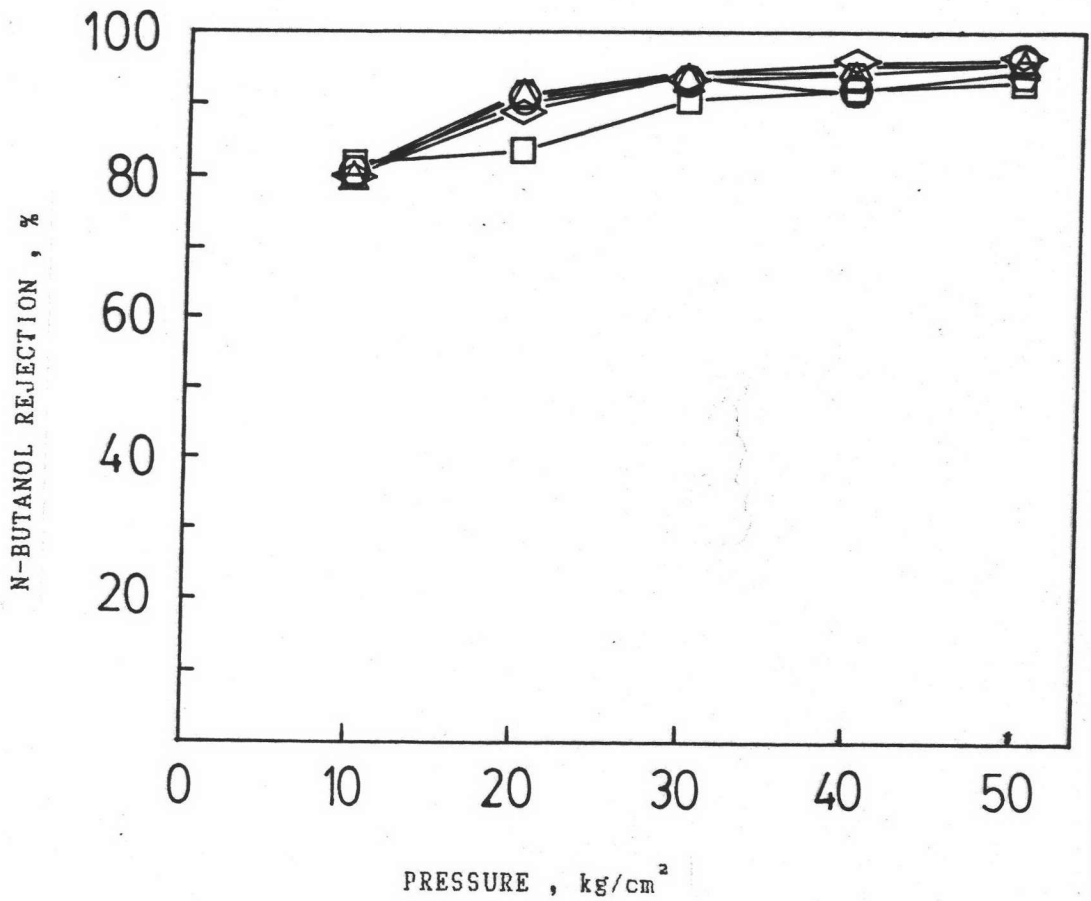
เคียงกันมากของสารทำลายแต่ละชนิด โดยมีค่ารีเจคชั่นของบิวทานอลและอะซิโตน ที่ อัตราการไหล 3 ถึง 5 ลิตรต่อนาที เท่ากับ 80-96 % และ 63-88 % ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม ค่ารีเจคชั่นของสารทำลายแทบทุกตัวในสารละลายน้ำหมัก มีค่าสูงกว่าในสารละลายสังเคราะห์ อันอาจเนื่องมาจากมีสารประกอบอื่น ๆ จากกระบวนการหมักร่วมอยู่ด้วย เกิดเป็นฟิล์มสารประกอบเหล่านั้นบนผิวหน้าของเมมเบรนขณะทำการแยก ทำให้สามารถเก็บกักสารทำลายได้ดีขึ้น โดยพบว่า ค่ารีเจคชั่นสูงสุดของบิวทานอล (รูปที่ 5.7) และของอะซิโตน (รูปที่ 5.8) เท่ากับ 96.3 % และ 88.8 % ตามลำดับ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที และ ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



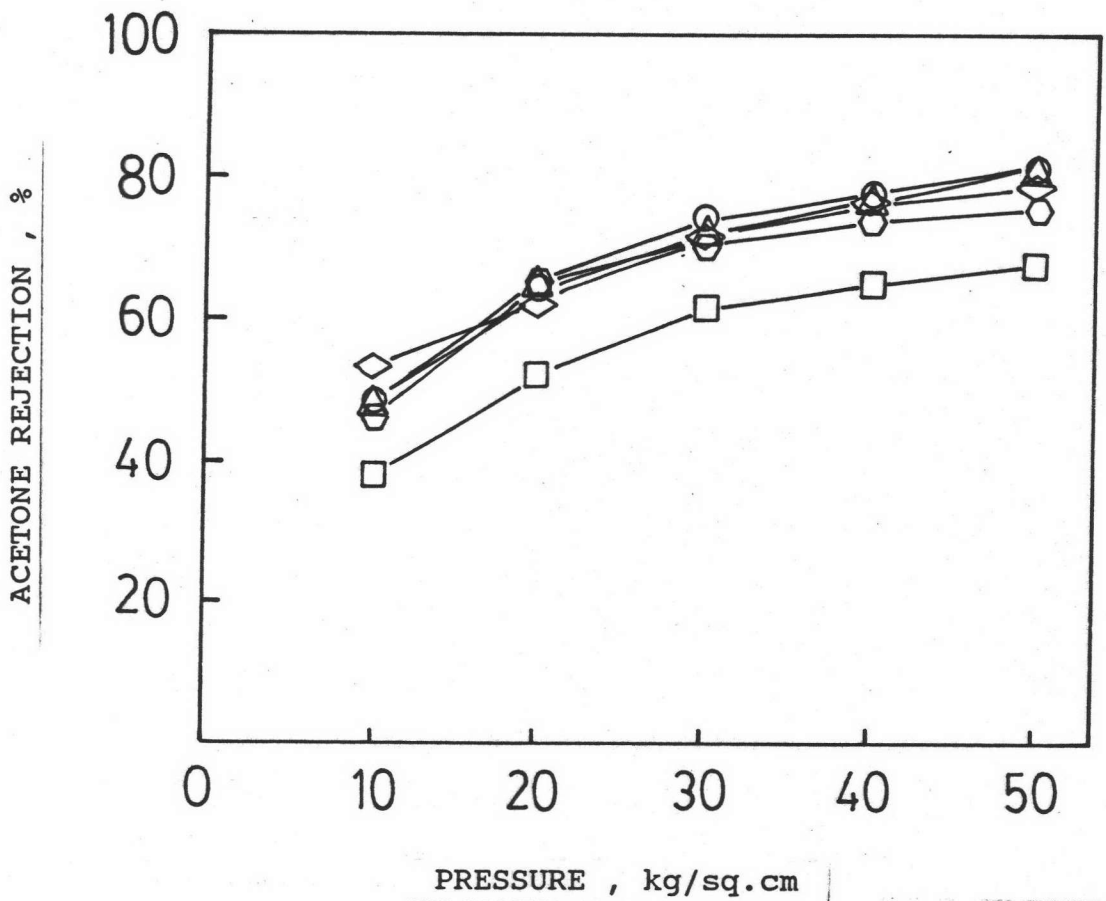
รูปที่ 5.7 ก. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของบิวทานอล ต่อความดัน
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในสารละลายสังเคราะห์

- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



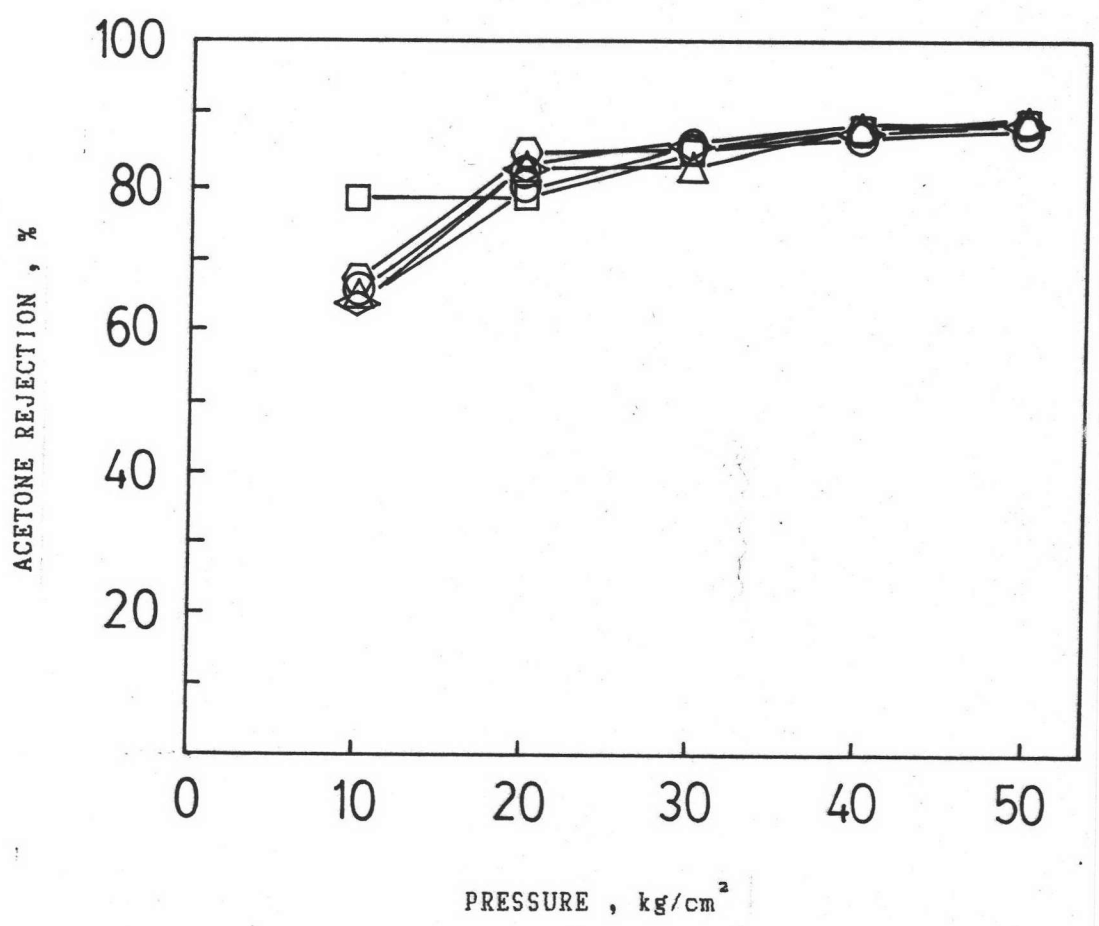
รูปที่ 5.7 ข. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของบิวทานอล ต่อความดัน
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในน้ำหมักบิวทานอล

- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ⬡ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.8 ก. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของอะซิโตน ต่อความดัน
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในสารละลายสังเคราะห์

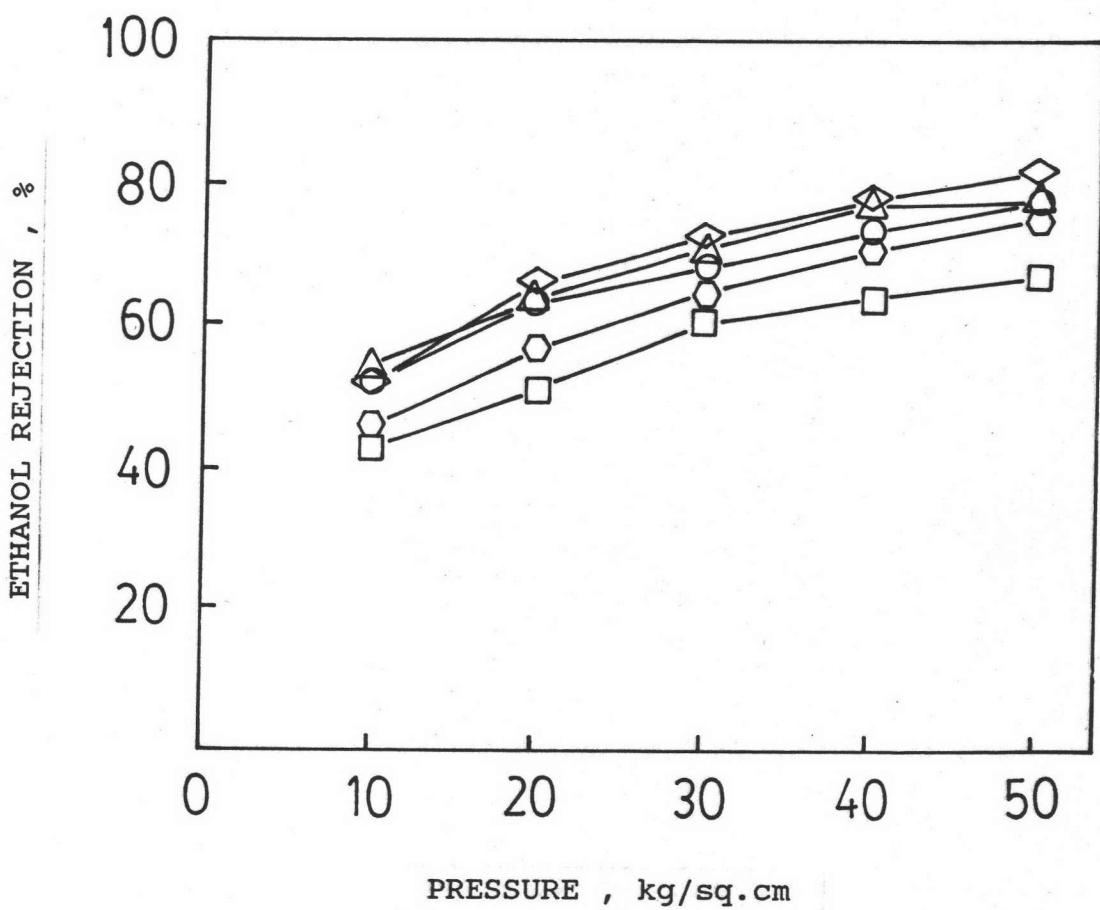
- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ◊ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.8 ข. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของอะซิโตน ต่อความดัน

ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในน้ำหมักบิวทานอล

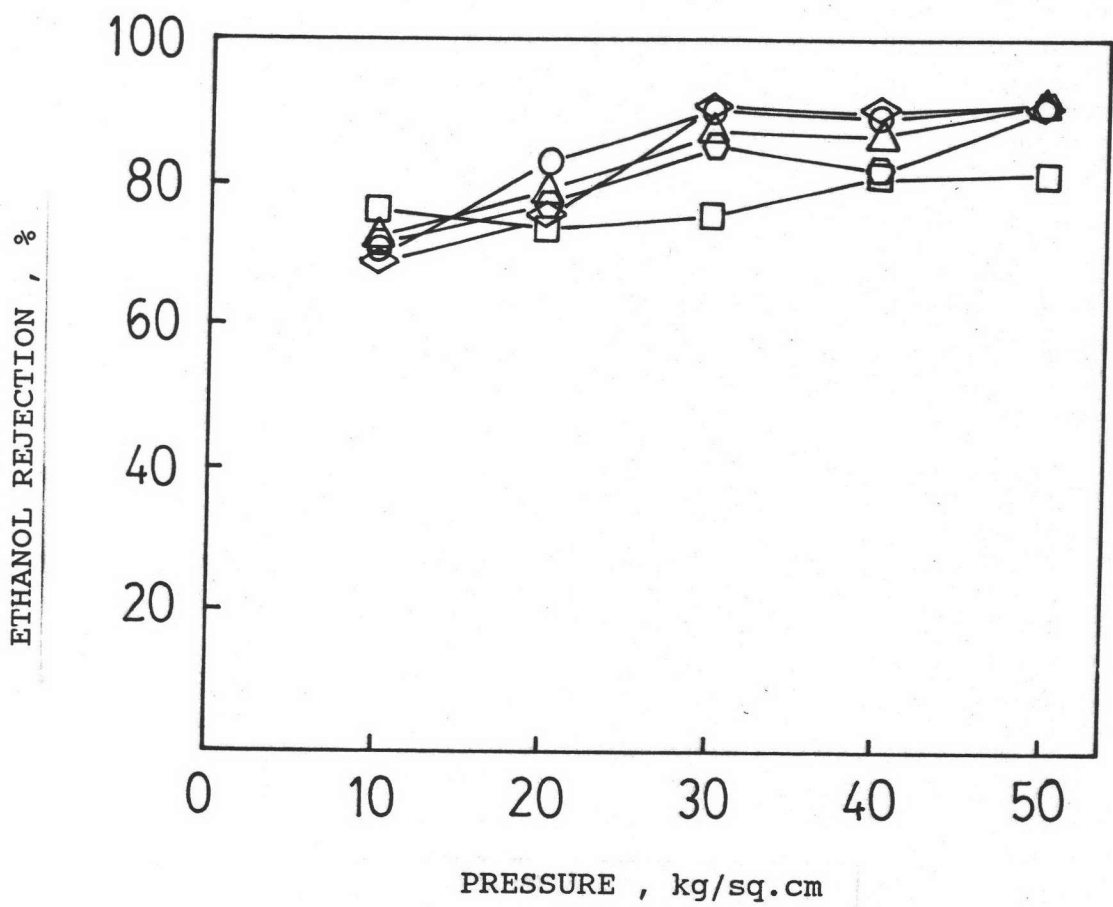
- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ⬡ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.9 ก. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของเอทานอล ต่อความดัน

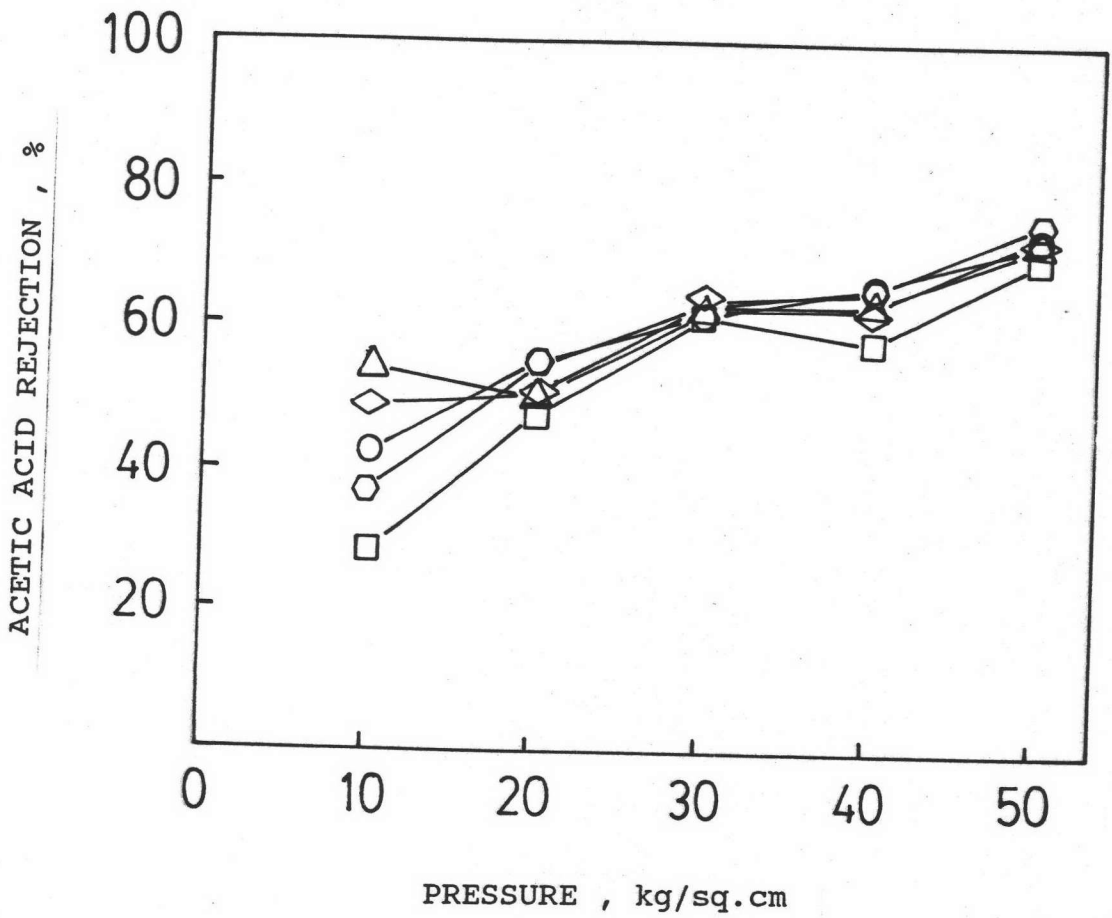
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในสารละลายสังเคราะห์

- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ◻ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.9 ข. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของเอทานอล ต่อความดัน
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในน้ำหมักบิวทานอล.

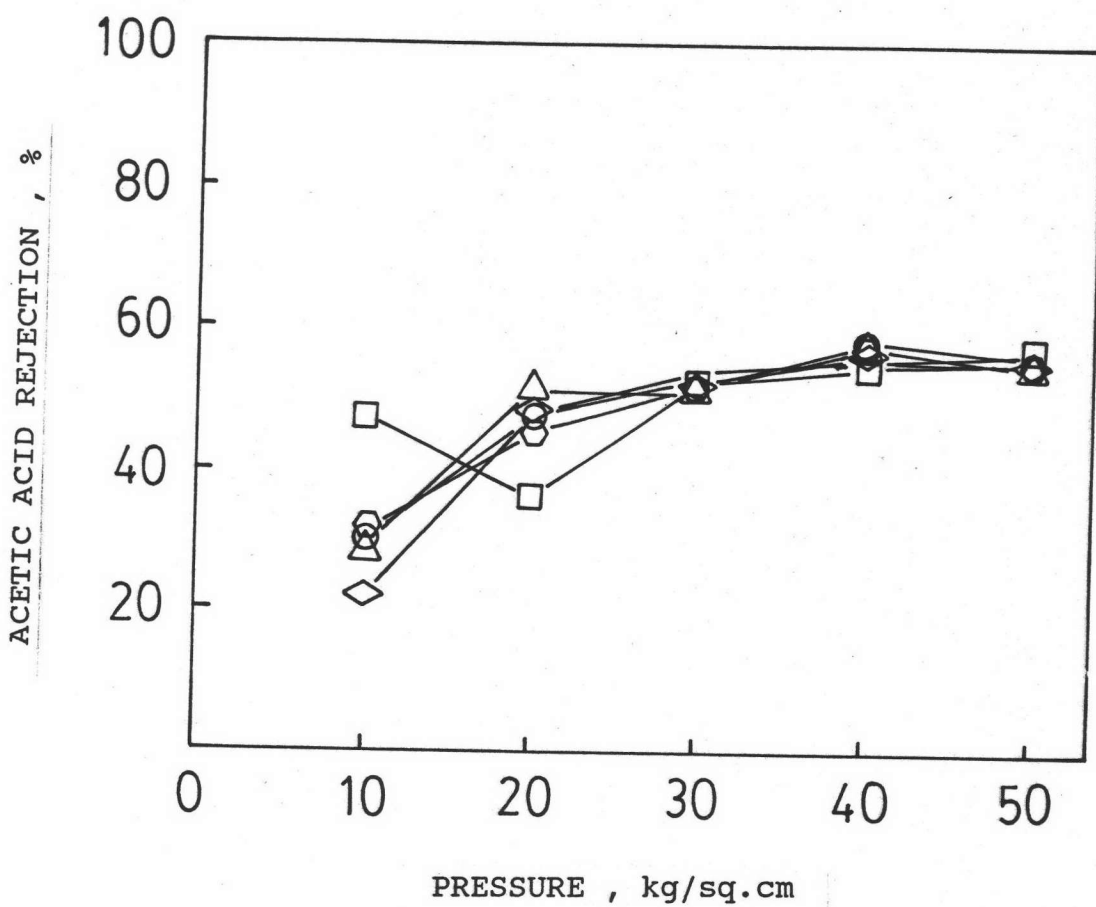
- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ⬡ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.10 ก. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของกรดอะซิติก ต่อความดัน

ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในสารละลายสังเคราะห์

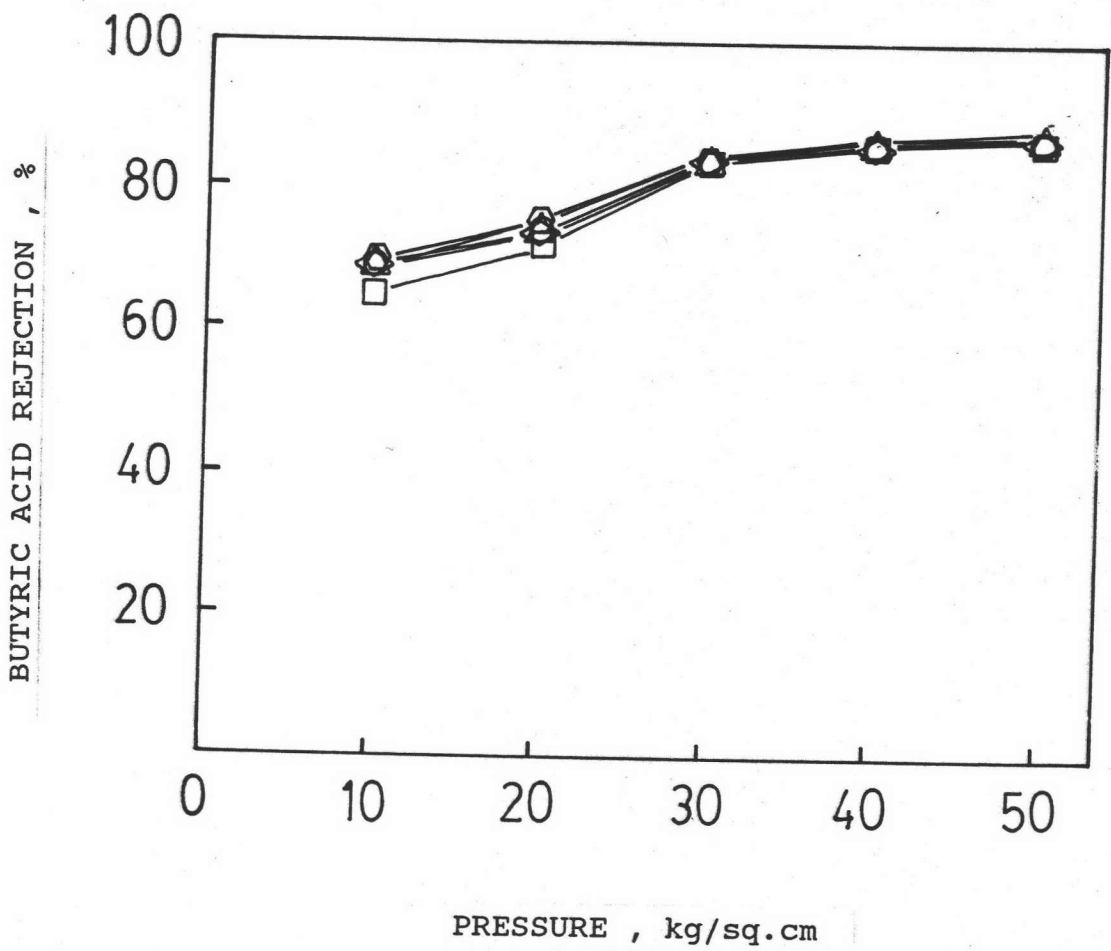
- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ⬡ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.10 ข. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของกรดอะซิติก ต่อความดัน

ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในน้ำหมักบิวทานอล

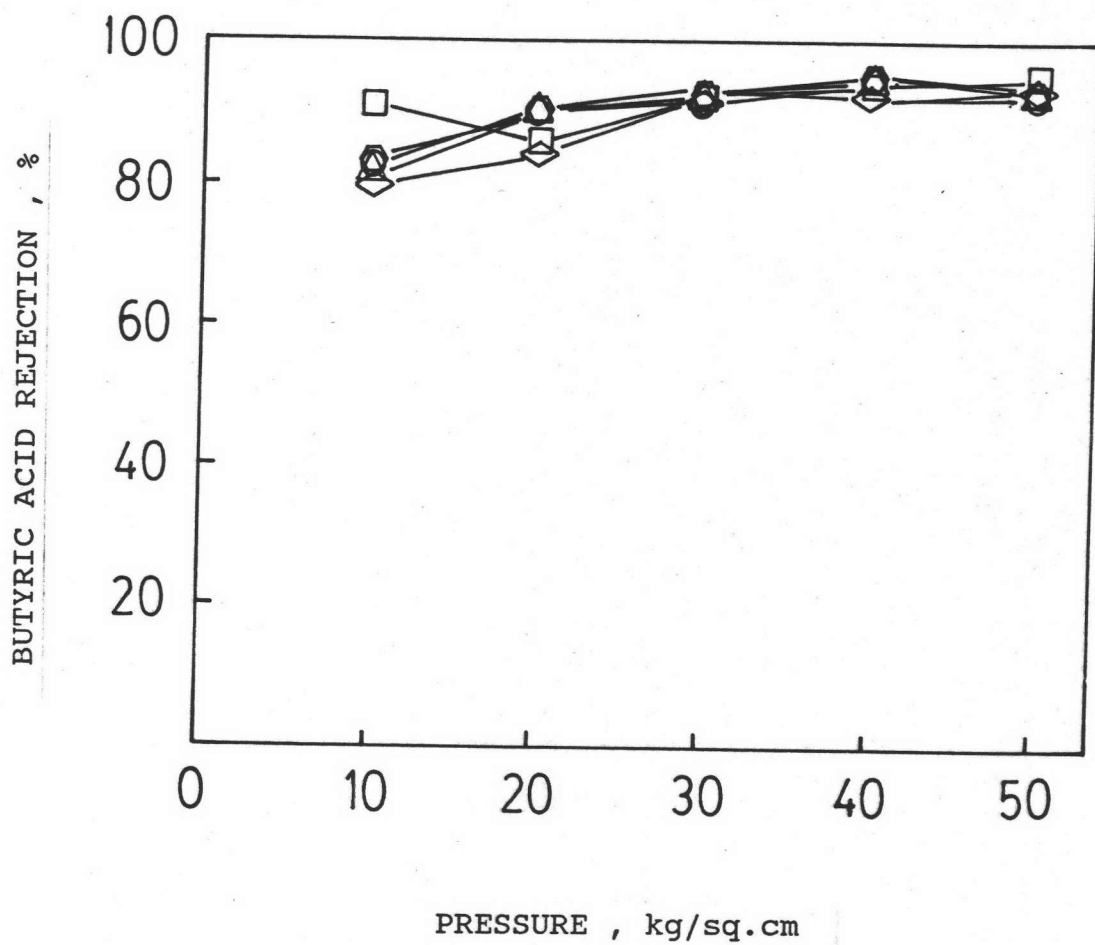
- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ⊙ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.11 ก. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชั่นของกรดบิวทิริก ต่อความดัน

ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในสารละลายสังเคราะห์

- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ⬡ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.11 ข. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของกรดบิวทิริก ต่อความดัน

ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในน้ำหมักบิวทานอล

- อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
- ◊ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
- △ อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
- ◇ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ 5.2 แสดงผลกระทบบของความดันและอัตราการไหลต่อการแยกสารทำละลาย
ในสารละลายสังเคราะห์

FLOW RATE L / min	PRESSURE kg/sq. cm	PERM. FLUX L / (sq. m. hr)	INTERACT. RESIST. kg. hr/L	REJECTION, %				SOLUTE PERMEATION CONSTANT, x 1e-3 m/h				
				BU	ACE	ET	AC	BU	ACE	ET	AC	
1.000	10.000	9.409	222.524	61.386	37.926	42.564	28.032	5.919	15.400	12.697	24.157	5.099
1.000	20.000	17.727	2252.381	67.752	51.924	51.020	47.451	8.438	16.413	17.018	19.632	7.040
1.000	30.000	25.773	2892.981	78.311	61.397	60.000	61.176	7.138	16.205	17.182	16.356	5.244
1.000	40.000	30.955	3871.779	79.660	64.970	63.636	57.800	7.904	16.690	17.688	22.600	5.111
1.000	50.000	34.500	5087.310	85.843	67.539	66.667	69.800	5.690	16.582	17.250	14.927	5.458
2.000	10.000	9.545	225.641	68.210	46.089	45.833	36.667	4.449	11.166	11.281	16.488	4.237
2.000	20.000	18.682	1728.845	83.180	64.629	56.522	53.939	3.778	10.225	14.371	15.953	6.321
2.000	30.000	27.886	2025.643	85.904	70.140	64.286	63.137	4.576	11.872	15.492	16.281	5.204
2.000	40.000	34.227	2918.069	87.832	73.846	70.370	65.192	4.742	12.122	14.411	18.275	5.567
2.000	50.000	40.364	3420.462	88.293	75.352	75.000	74.808	5.352	13.203	13.455	13.593	6.003
3.000	10.000	9.409	332.278	77.090	47.952	52.000	42.157	2.796	10.213	8.685	12.910	4.439
3.000	20.000	18.955	1711.697	88.619	65.362	62.963	54.600	2.434	10.045	11.150	15.761	6.235
3.000	30.000	27.886	2083.340	90.178	73.880	67.857	61.417	3.037	9.859	13.209	17.518	5.250
3.000	40.000	35.727	2519.368	91.624	77.506	73.077	66.082	3.266	10.369	13.163	18.338	5.342
3.000	50.000	44.182	2552.626	93.036	81.132	77.778	72.093	3.307	10.275	12.623	17.103	6.295
4.000	10.000	9.886	129.777	71.448	48.275	54.167	53.971	3.951	10.593	8.365	8.431	4.489
4.000	20.000	19.295	1493.045	85.117	63.759	63.636	49.903	3.374	10.968	11.026	19.371	6.972
4.000	30.000	28.636	1865.728	89.869	71.718	70.690	62.305	3.228	11.293	11.874	17.325	5.571
4.000	40.000	36.886	2177.802	91.716	76.410	76.923	63.116	3.332	11.388	11.066	21.555	6.184
4.000	50.000	44.727	2451.370	92.014	81.001	77.778	71.881	3.882	10.491	12.779	17.497	6.421
5.000	10.000	9.818	84.291	75.093	53.028	52.000	48.837	3.257	8.697	9.063	10.286	4.493
5.000	20.000	18.750	1943.188	81.895	62.315	65.455	50.199	4.145	11.339	9.896	18.601	6.931
5.000	30.000	28.841	2075.662	86.801	71.666	72.131	63.796	4.386	11.402	11.143	16.367	5.832
5.000	40.000	38.727	2072.747	89.695	76.238	77.419	62.376	4.449	12.070	11.295	23.359	6.224
5.000	50.000	46.500	2545.726	90.681	78.311	81.818	73.267	4.779	12.879	10.333	16.966	7.272

REMARK : BU = N-BUTANOL
ACE = ACETONE
ET = ETHANOL
AC = ACETIC ACID
AB = BUTYRIC ACID

ตารางที่ 5.3 แสดงผลกระทบของความดันและอัตราการไหลต่อการแยกสารทำละลาย
ในน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชันแล้ว

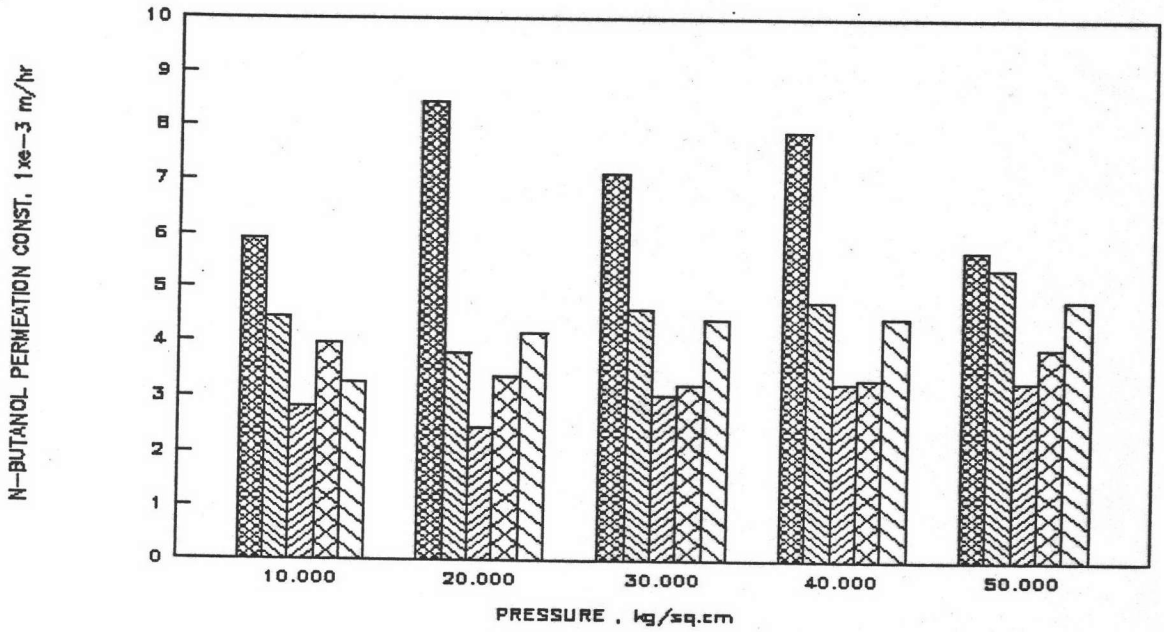
FLOW RATE l./min	PRESSURE kg/sq.cm	PERM.FLUX l./sq.m.hr	INTERACT. RESIST. kg.hr/l.	REJECTION, %				SOLUTE PERMEATION CONSTANT, $\times 10^{-3}$ m/h				
				BU	ACE	ET	AC	BU	ACE	ET	AC	AB
1.000	10.000	3.136	966.486	81.459	78.280	76.139	47.373	0.714	0.870	0.983	3.484	0.321
1.000	20.000	7.841	888.265	83.389	78.304	73.333	35.944	1.562	2.173	2.851	13.973	1.250
1.000	30.000	11.727	1180.961	90.501	84.470	75.122	52.258	1.231	2.156	3.884	10.714	0.941
1.000	40.000	16.159	12236.024	91.944	87.681	80.909	54.512	1.416	2.270	3.813	13.484	1.041
1.000	50.000	19.432	13535.416	93.040	88.625	80.930	57.467	1.454	2.494	4.579	14.382	0.968
2.000	10.000	3.273	775.641	80.555	67.255	71.049	30.788	0.790	1.593	1.334	7.357	0.657
2.000	20.000	8.523	7575.813	90.003	84.465	76.633	45.267	0.947	1.567	2.599	10.305	0.940
2.000	30.000	13.295	9467.751	93.504	84.863	85.102	51.886	0.924	2.372	2.327	12.329	1.102
2.000	40.000	18.750	9637.007	91.641	88.426	81.614	57.516	1.710	2.454	4.224	13.850	0.973
2.000	50.000	23.045	10391.410	94.737	88.511	90.094	54.288	1.280	2.991	2.534	19.405	1.691
3.000	10.000	3.409	540.587	80.033	63.560	69.615	29.492	0.850	1.954	1.488	8.150	0.740
3.000	20.000	8.864	7132.764	91.328	79.659	82.591	47.686	0.842	2.263	1.868	9.724	0.941
3.000	30.000	14.318	8338.146	94.462	85.560	90.131	53.948	0.839	2.416	1.568	12.223	1.011
3.000	40.000	19.636	8902.214	95.447	86.506	89.013	55.848	0.937	3.063	2.424	15.524	1.848
3.000	50.000	24.682	9288.729	95.971	87.794	90.839	54.086	1.036	3.432	2.489	20.952	2.021
4.000	10.000	3.477	504.624	79.586	65.174	72.260	28.581	0.892	1.858	1.335	8.689	0.834
4.000	20.000	8.864	7059.522	90.787	82.570	78.571	51.264	0.899	1.871	2.417	8.427	0.894
4.000	30.000	14.659	8002.014	93.441	82.450	87.021	51.356	1.029	3.120	2.186	13.885	1.421
4.000	40.000	19.909	8649.827	93.864	88.560	86.364	58.490	1.301	2.572	3.144	14.129	0.917
4.000	50.000	24.886	9173.143	96.333	88.622	91.298	55.750	0.947	3.195	2.372	19.752	1.610
5.000	10.000	3.545	303.664	79.987	63.297	68.286	21.811	0.887	2.056	1.647	12.710	0.912
5.000	20.000	8.795	7380.294	88.792	82.841	74.888	48.128	1.110	1.822	2.949	9.480	1.628
5.000	30.000	14.659	8275.351	94.139	86.227	90.326	52.310	0.913	2.342	1.570	13.365	1.123
5.000	40.000	20.114	8839.581	95.877	87.905	89.856	55.743	0.865	2.767	2.271	15.969	1.779
5.000	50.000	25.159	9472.788	96.395	88.871	91.133	55.578	0.941	3.150	2.448	20.109	1.802

REMARK : BU = N-BUTANOL
ACE = ACETONE
ET = ETHANOL
AC = ACETIC ACID
AB = BUTYRIC ACID

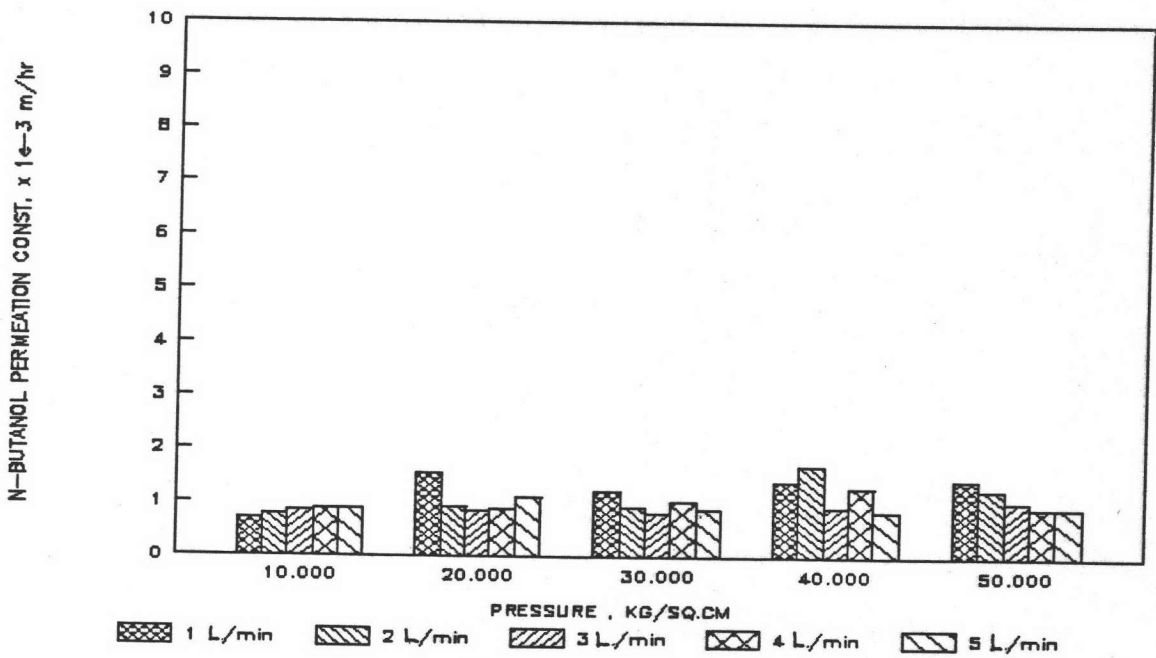
5.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเมมเบรนของสารทำละลาย (solute permeation constant)

จากสมการที่ 11 เราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเมมเบรนของสารทำละลาย (B) จากการทดลองได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, และ 5.16 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า B ในสารละลายทั้งสองชนิด มีค่าคงที่ ไม่ขึ้นกับสภาวะการทำงาน โดยเฉพาะในน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 11 ดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การที่ค่า B ในสารละลายสังเคราะห์มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปบ้างตามอัตราการไหลป้อน อาจเนื่องจาก สารละลายสังเคราะห์มีความเข้มข้นต่ำ เพราะไม่มีสารประกอบอื่น ๆ นอกจากสารทำละลายที่เตรียมไว้ละลายอยู่ ทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลป้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารทำละลายในเมมเบรน (distribution coefficient constant, K_A) ตามสมการที่ 10 ทำให้ค่า B เปลี่ยนแปลงด้วย

เช่นเดียวกันที่ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเมมเบรนของสารทำละลาย ในน้ำหมักมีค่าต่ำกว่าในสารละลายสังเคราะห์ ซึ่งอาจเนื่องจากการเกิดขึ้น layer ของสารประกอบอื่น ๆ ในน้ำหมัก ทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารทำละลายเข้าสู่เมมเบรนลดลง เป็นผลให้ค่า B ลดลง และการที่ค่า B ของน้ำหมักต่ำกว่าของสารละลายสังเคราะห์นี้เอง ที่ทำให้เปอร์เซ็นต์รีเจคชั่นของสารทำละลายในน้ำหมัก มีค่าสูงกว่าในสารละลายสังเคราะห์ สังเกตได้ว่าค่า B เฉลี่ย ของสารทำละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าจะมีค่าต่ำกว่าในสารประเภทเดียวกัน เช่นค่า B เฉลี่ยของอัลกอฮอล์บิวทานอล มีค่าต่ำกว่าของเอทานอล และค่า B เฉลี่ยของกรดบิวทิริก มีค่าต่ำกว่าของกรดอะซิติก โดย ค่า B เฉลี่ยของบิวทานอลและอะซิโตนในน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น มีค่าเท่ากับ 1.0×10^{-3} และ 2.3×10^{-3} เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

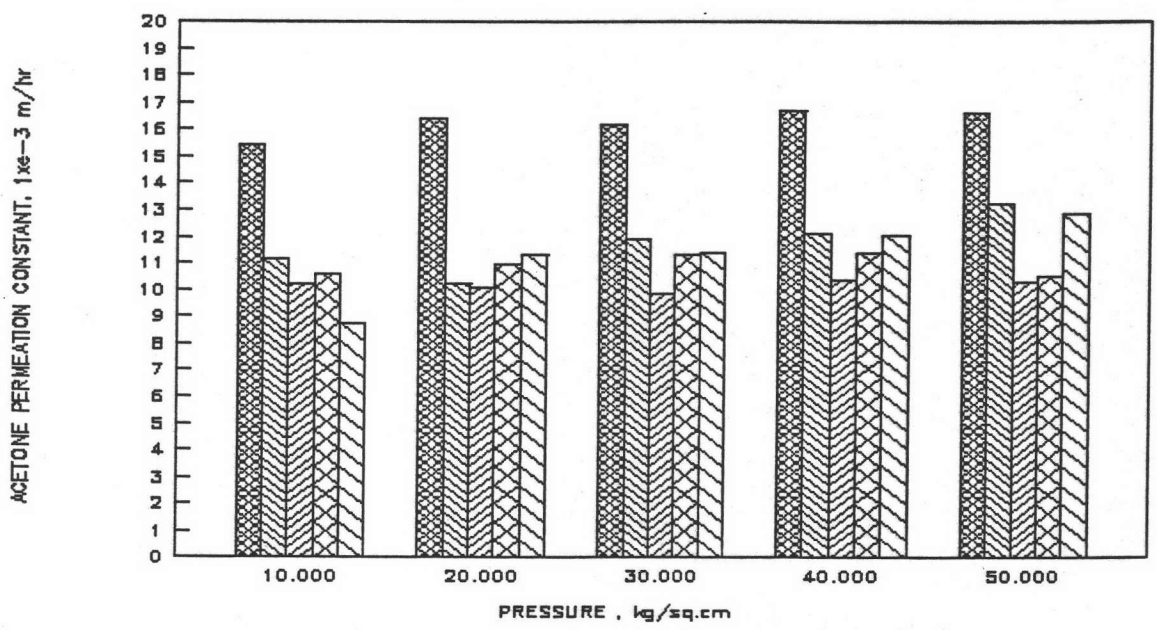


ก. สารละลายสังเคราะห์

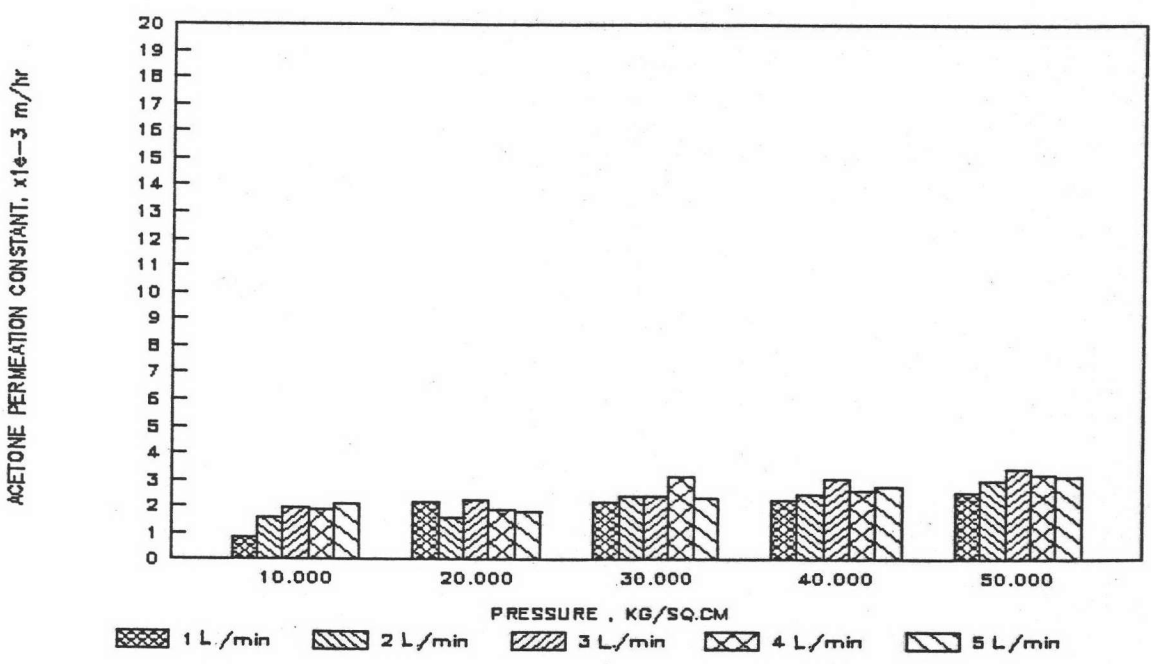


ข. น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอลตราฟิวเตรชั่น

รูปที่ 5.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเมมเบรนของบิวทานอล (butanol permeation constant) ต่อความดันที่อัตราการไหลต่าง ๆ

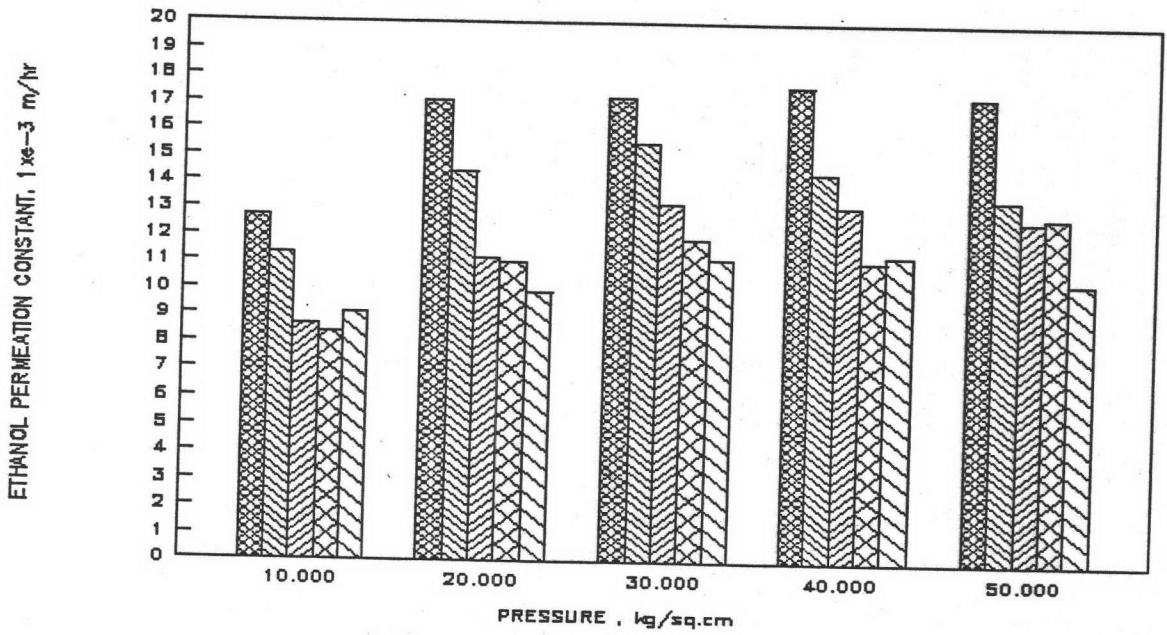


ก. สารละลายสังเคราะห์

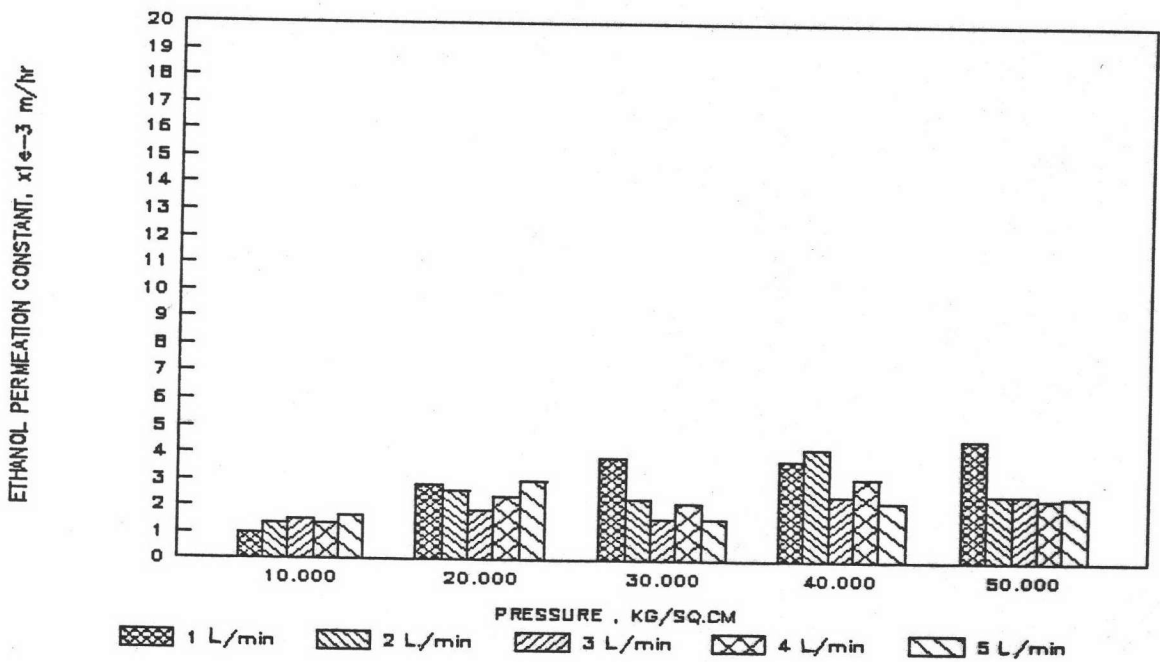


ข. น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชัน

รูปที่ 5.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเมมเบรนของอะซิโตน (acetone permeation constant) ต่อความดันที่อัตราการไหลต่าง ๆ

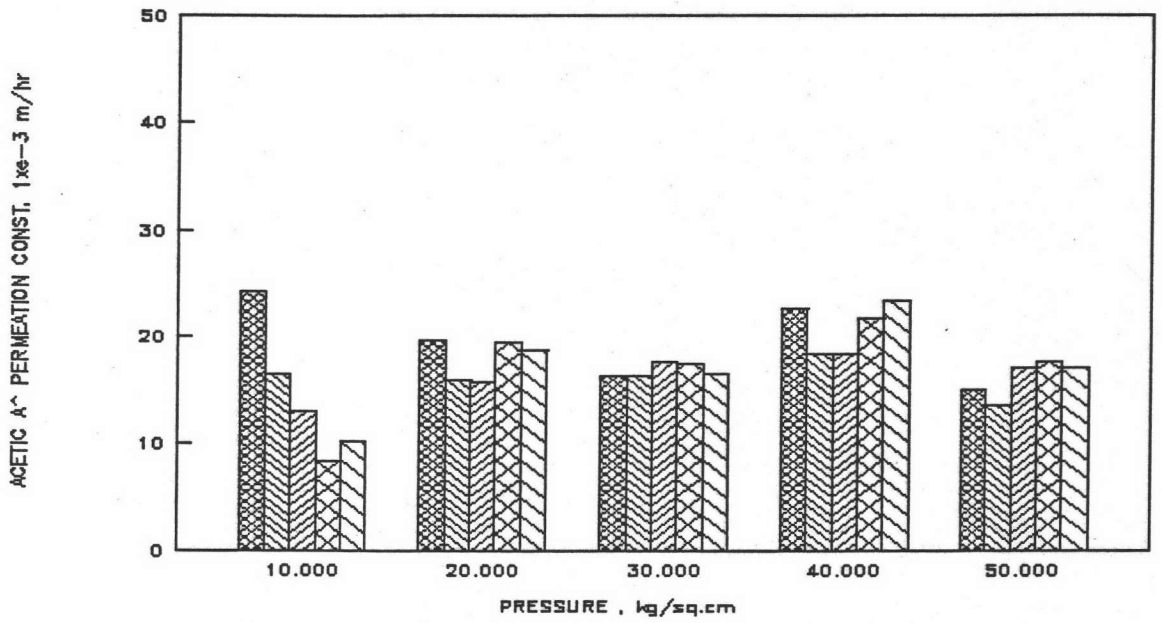


ก. สารละลายสังเคราะห์

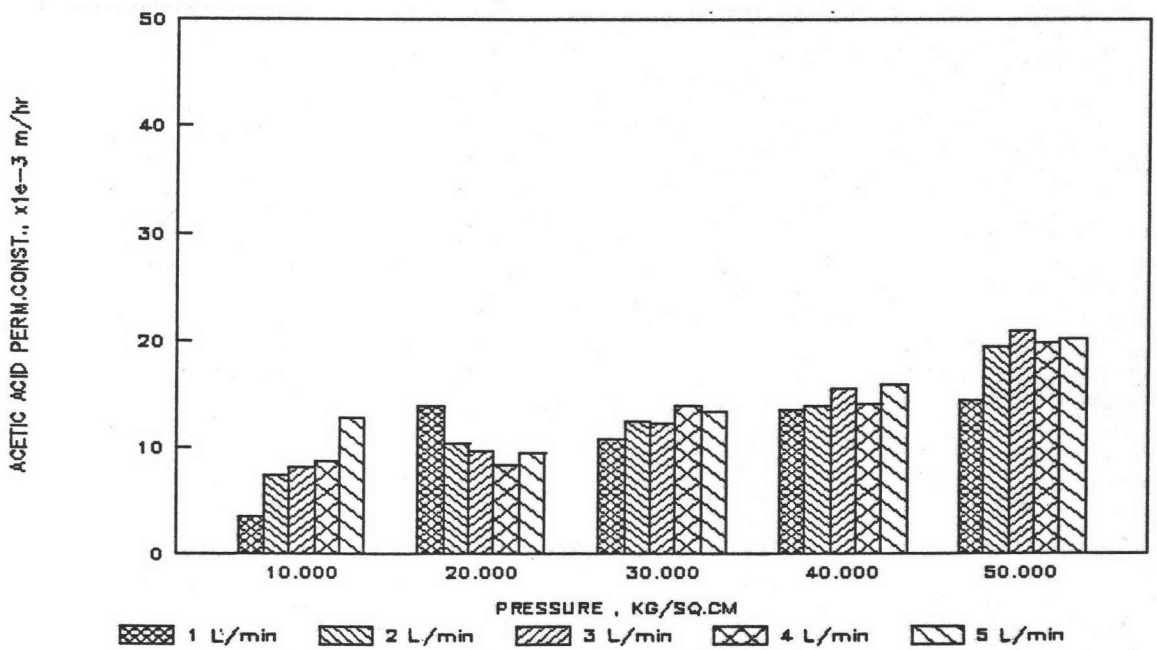


ข. น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุตสาหกรรมฟิวเตรชั่น

รูปที่ 5.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเมมเบรนของเอทานอล (ethanol permeation constant) ต่อความดันที่อัตราการไหลต่าง ๆ

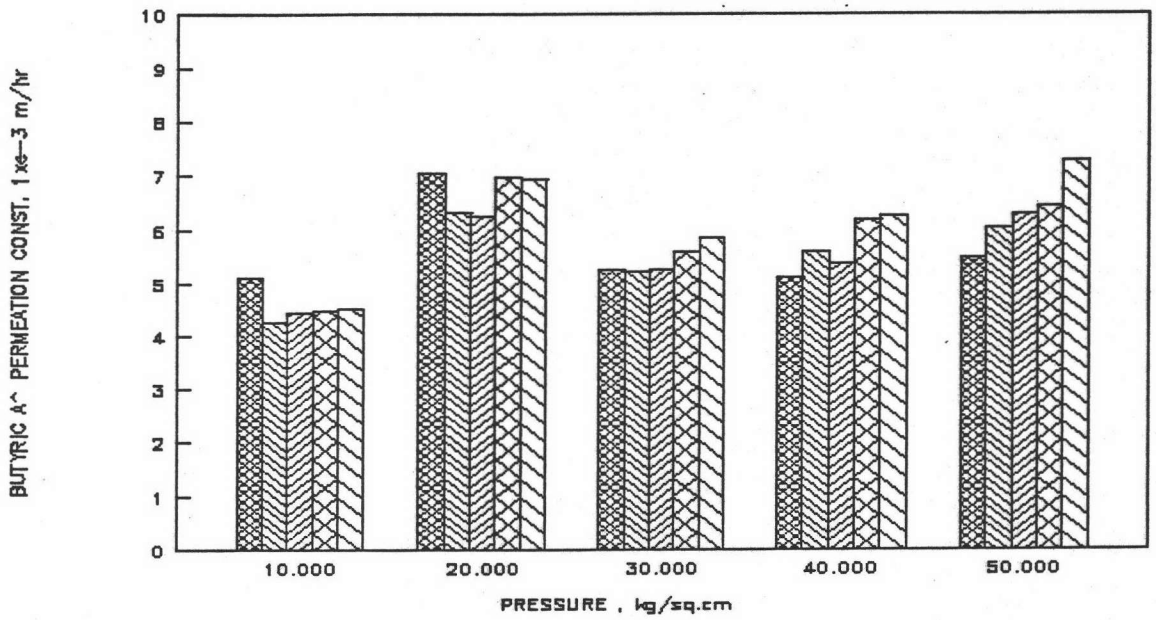


ก. สารละลายสังเคราะห์

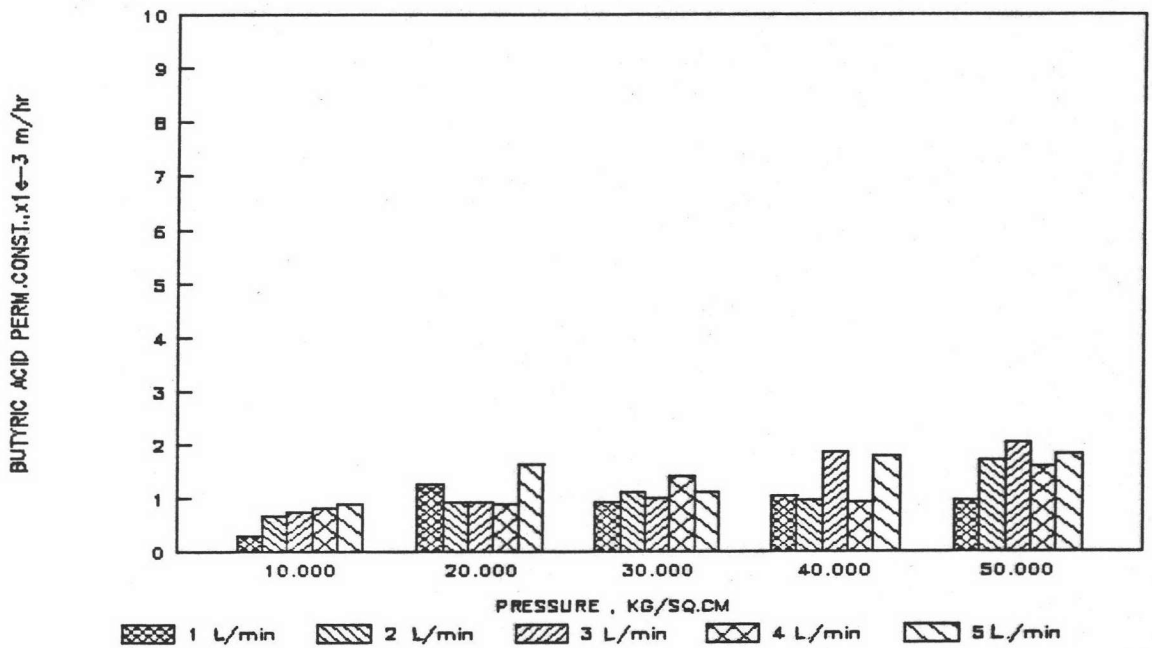


ข. น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุตสาหกรรม

รูปที่ 5.15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเมมเบรนของกรดอะซิติก (acetic acid permeation constant) ต่อความดันที่อัตราการไหลต่าง ๆ



ก. สารละลายสังเคราะห์



ข. น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น

รูปที่ 5.16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเมมเบรนของกรดบิวทิริก (butyric acid permeation constant) ต่อความดันที่อัตราการไหลต่าง ๆ

5.3.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าในการแยกสารทำละลายในสารละลายสังเคราะห์ และน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น

จากรูปที่ 5.17 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเพอมีเอท 1 ลิตร ในการแยกน้ำจากสารละลายสังเคราะห์ และน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น ที่สภาวะ ความดัน และอัตราการไหลต่าง ๆ เพื่อให้สารทำละลายเข้มข้นขึ้น สามารถพิจารณาได้ดังนี้

5.3.3.1 ความดัน

พบว่า ในสารละลายสังเคราะห์ และน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น การเพิ่มความดันในช่วง 10 ถึง 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สามารถลดการใช้พลังงานเพื่อให้แยกเพอมีเอท 1 ลิตรลงได้เล็กน้อย และค่อนข้างคงที่ที่ความดันในช่วง 30 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อาจอธิบายได้ว่า การเพิ่มความดันในช่วงแรก (10 ถึง 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ทำให้เพิ่มเพอมีเอชันฟลักซ์ในอัตราที่มากกว่า อัตราการใช้พลังงานเพื่อเพิ่มความดัน และในช่วงความดันสูง (30 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) สามารถให้เพอมีเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้พลังงาน โดยอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยช่วงความดัน 30 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ของสารละลายสังเคราะห์และน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่นเท่ากับ 0.015 และ 0.033 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลิตรเพอมีเอท ตามลำดับ นอกจากนี้เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกันของสารละลายทั้งสอง และอัตราการไหลเพอมีเอทของน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น ต่ำกว่าของสารละลายสังเคราะห์ที่สภาวะเดียวกัน ดังแสดงข้างต้นแล้วในรูปที่ 5.3

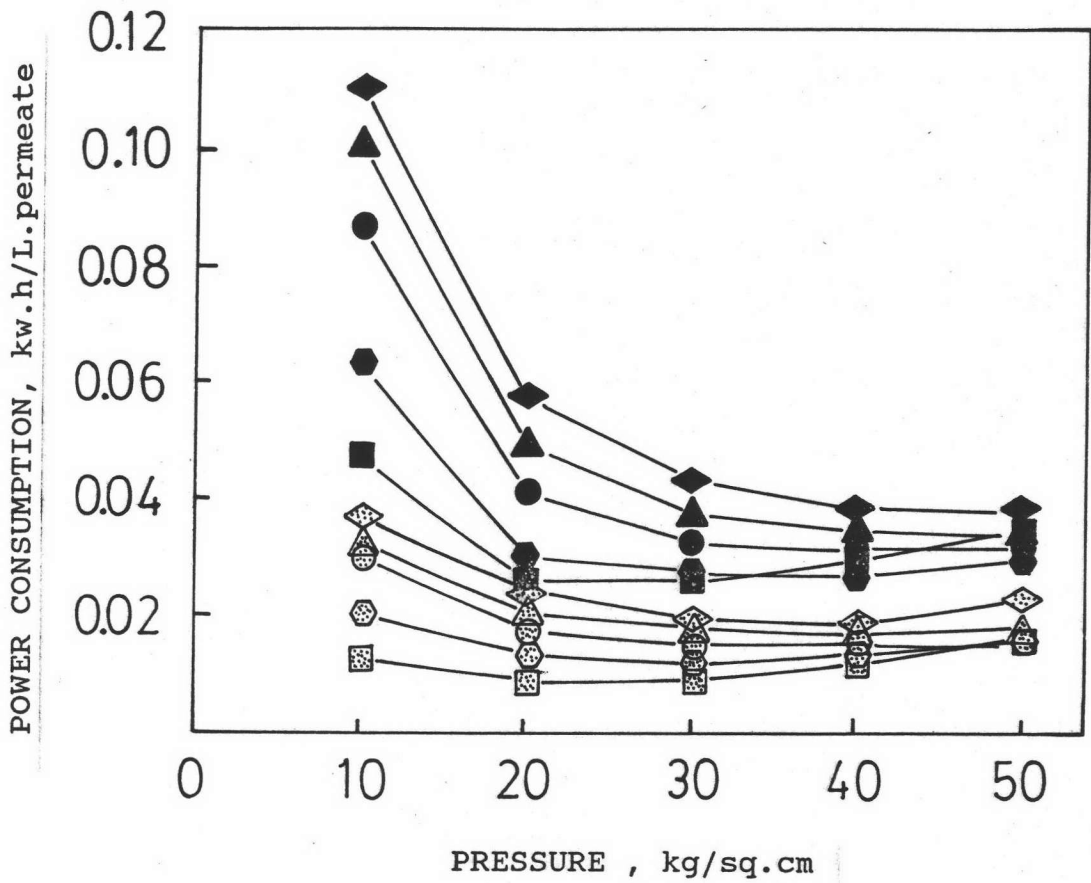
5.3.3.2 อัตราการไหลป้อน

ในส่วนอัตราการไหลป้อน พบว่า การเพิ่มอัตราการไหลขึ้นมีผลทำให้อัตราการใช้พลังงานต่อเพอมีเอทเพิ่มขึ้นด้วยในทั้งสารละลายสังเคราะห์ และน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น แม้ว่าการเพิ่มอัตราการไหลป้อนจะสามารถเพิ่มเพอมีเอชันฟลักซ์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.3 แล้ว จึงอาจกล่าวได้ว่าอัตราการใช้พลังงานในการเพิ่มอัตรา








การไหล ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้น ในขณะที่ได้ปริมาณของเพอมีเอทเท่าเดิม

นอกจากนี้ที่อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที ในช่วงความดัน 30 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การใช้พลังงานกลับเพิ่มขึ้นจนสูงกว่าที่อัตราการไหล 2 และ 3 ลิตรต่อนาที แสดงให้เห็นว่า ที่อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที ให้เพอมีเอชันพลักส์ต่ำเกินไปเมื่อเทียบกับที่อัตราการไหล 2 และ 3 ลิตรต่อนาที ในขณะที่ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มความดันช่วงดังกล่าว

จากผลการศึกษา ผลกระทบของความดันและอัตราการไหลที่มีผลต่อการแยกสารทำลายในสารละลายสังเคราะห์ และน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอูลตราฟิวดเรชั่น ตามการทดลองข้อ 5.3 จะเห็นได้ว่า ที่อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที สามารถให้เพอมีเอชันพลักส์สูง, ความต้านทานการไหลของเมมเบรนต่ำ, เปรอร์เซนตริเจคชันสูง, ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเมมเบรนของสารทำลายต่ำ, และการใช้พลังงานต่อเพอมีเอทต่ำ จึงเหมาะสมในการนำไปใช้ศึกษาการทำให้สารทำลายเข้มข้นขึ้นต่อไป



รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อเพอมีเอทของสารละลายสังเคราะห์ และน้ำหมัก ต่อความดัน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

-  สารละลายสังเคราะห์
-  น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการลดทราฟิวเตรชั่น
-  อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที
-  อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที
-  อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที
-  อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
-  อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

5.4 การศึกษาผลกระทบของสภาวะความดัน ต่อการทำให้สารทำละลายในสารละลาย สังเคราะห์เข้มข้นขึ้นด้วยการหมุนเวียนสารละลายกลับ ที่อัตราการไหลที่เหมาะสม

จากผลการศึกษา ผลกระทบของความดันและอัตราการไหลที่มีผลต่อการแยกสารทำละลายในสารละลายสังเคราะห์ และน้ำหนักที่ผ่านกระบวนการอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ตามการทดลองข้อ 5.3 ได้เลือกอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที ศึกษาการทำให้สารทำละลายเข้มข้นขึ้นที่สภาวะความดันต่างได้ผลดังนี้

5.4.1 เอมิเอชั่นฟลักส์

จากรูปที่ 5.18 แสดงให้เห็นว่า ที่อัตราการไหลป้อน 3 ลิตรต่อนาที ที่ความดันต่าง ๆ เอมิเอชั่นฟลักส์จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเปอร์เซ็นต์รีโควเวอรีเพิ่มขึ้น โดยความดันสูงให้เอมิเอชั่นฟลักส์สูง

5.4.2 เปอร์เซนต์รีเจกชันของสารทำละลาย

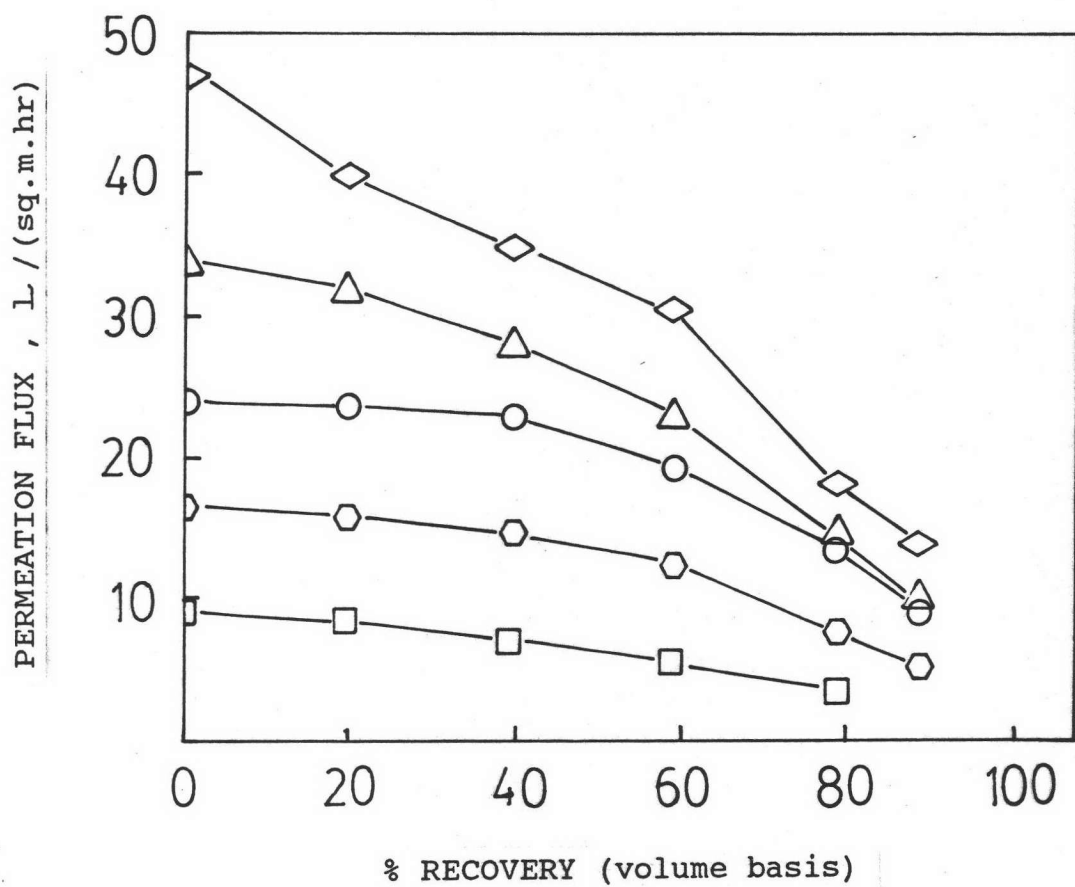
จากรูปที่ 5.19 และ 5.20 พบว่า ความดันเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซนต์รีเจกชันของสารทำละลายบิวทานอลและอะซิโตนเพิ่มขึ้นด้วยอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะที่ความดัน 40 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เปอร์เซนต์รีเจกชันค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่ช่วงรีโควเวอรี 0 ถึง 40 % โดยปริมาตร เปอร์เซนต์รีเจกชันค่อนข้างคงที่ และเริ่มลดลงที่รีโควเวอรี > 40 % โดยปริมาตร และเห็นได้อย่างชัดเจนที่รีโควเวอรี > 80 % โดยปริมาตร ในการทดลองพบว่า ค่ารีเจกชันสูงสุดของสารทำละลายบิวทานอล และอะซิโตน เท่ากับ 88.8 % และ 73.5 % ที่รีโควเวอรีโดยมวลเท่ากับ 97.1 % และ 94.0 % ตามลำดับ และรีโควเวอรี 20 % โดยปริมาตร, ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที ดังตารางที่ 5.4

ส่วนค่ารีเจกชันของสารทำละลายเอทานอล, กรดอะซิติก, และกรดบิวทิริก มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสารทำละลาย 2 ชนิดแรก แต่เนื่องจากสารทำละลายดังกล่าวมีความเข้มข้นต่ำ และไม่ใช่วัสดุภัณฑ์หลักที่สนใจศึกษา จึงไม่กล่าวโดยรายละเอียด ณ ที่นี้

5.4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้สารทำละลายเข้มข้นขึ้น

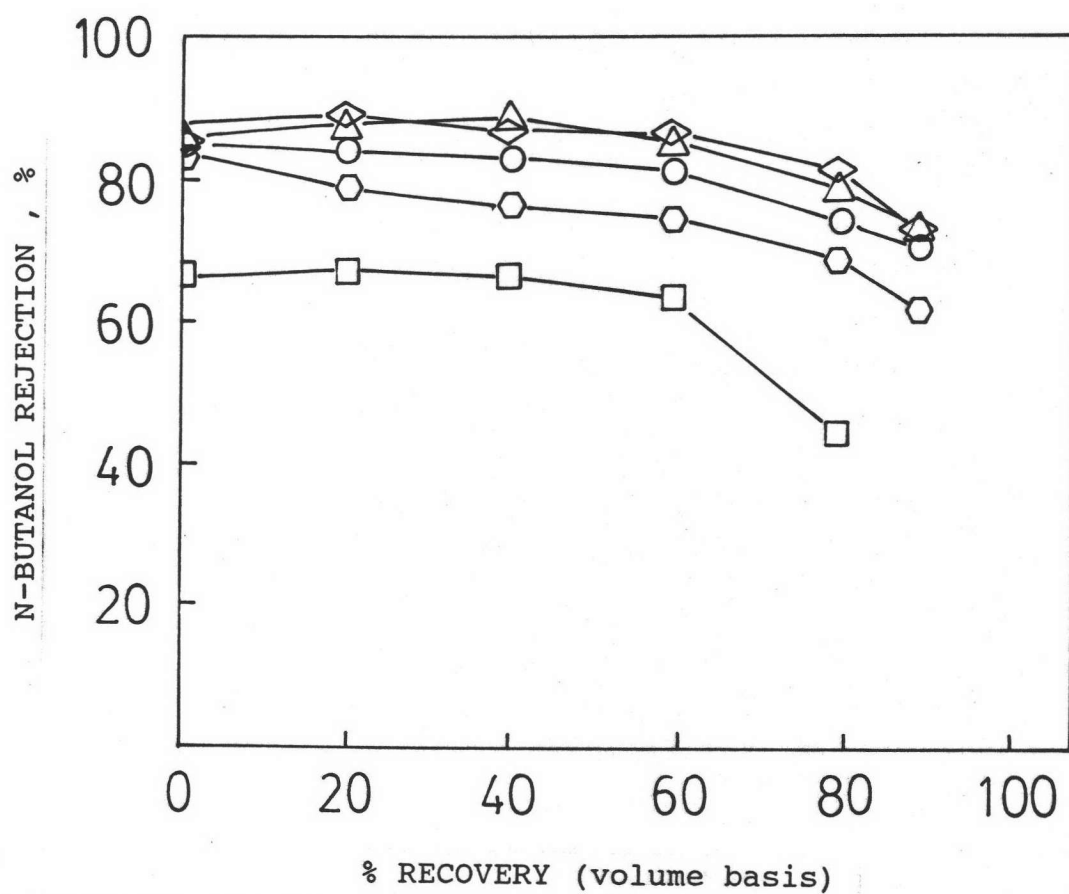
จากรูปที่ 5.21 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เมื่อมีการเพิ่มความดันขึ้นเรื่อย ๆ สามารถทำให้บิวทานอลเข้มข้นขึ้น ในขณะที่ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง โดยที่ความเข้มข้นสูงสุดของบิวทานอล เท่ากับ 44.8 กรัมต่อลิตร ที่รีโคโนเวอรี่ 88.5 % โดยปริมาตร, ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที ในขณะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 0.0192 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อ สารละลายสังเคราะห์เริ่มต้น 1.0 ลิตร

จากผลการศึกษาผลกระทบของความดัน ต่อการทำให้สารทำละลายเข้มข้นขึ้น จากสารละลายสังเคราะห์ จึงพิจารณาเลือกศึกษาการทำให้สารทำละลายเข้มข้นขึ้นจากน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น ที่ความดัน 30, 40, และ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที เนื่องจากเปอร์เซ็นต์รีเจคชั่นสูง และใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ ในขณะที่ให้สารละลายเข้มข้นที่มีความเข้มข้นของบิวทานอลสูง



รูปที่ 5.18 แสดงเพอเมชันฟลักซ์ของสารละลายสังเคราะห์ ต่อเปอร์เซ็นต์รีโคเวอรี โดยปริมาตร ที่ความดันต่าง ๆ และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

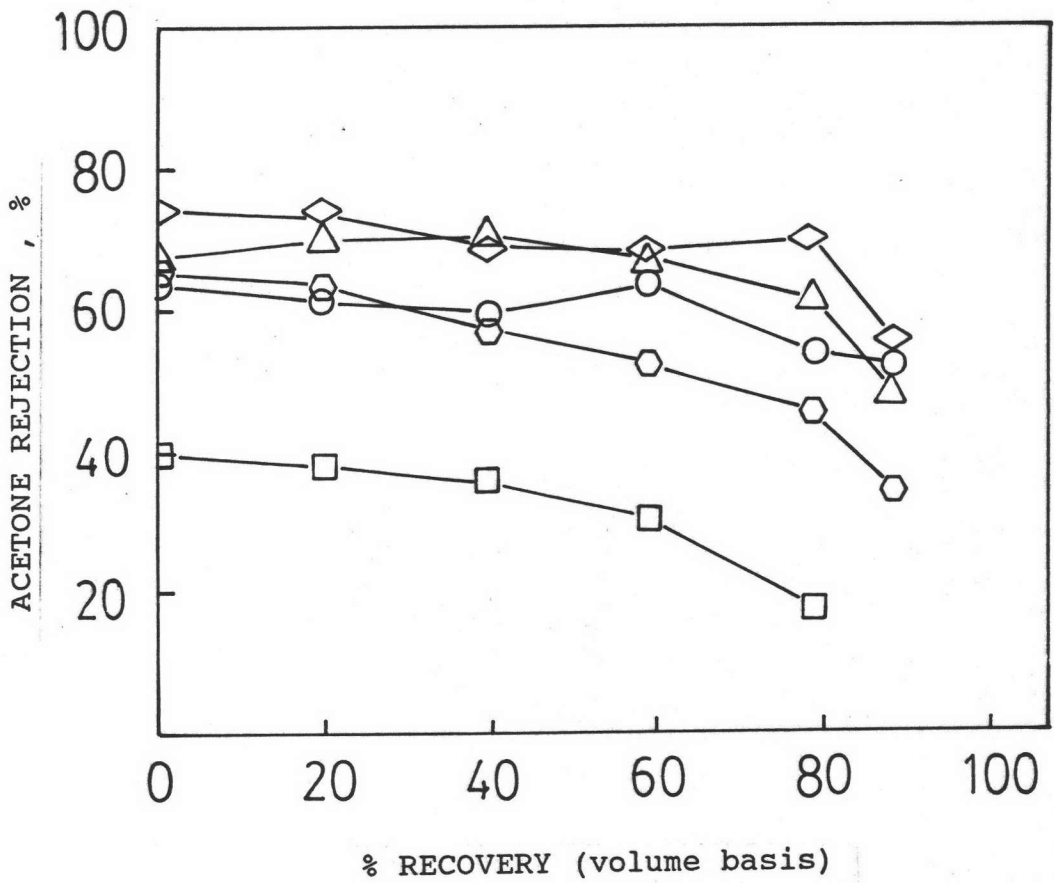
- ความดัน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ◻ ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- △ ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ◇ ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.19 แสดงเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของบิวทานอล ต่อเปอร์เซ็นต์รีโคเวอรี

โดยปริมาตร ที่ความดันต่าง ๆ และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

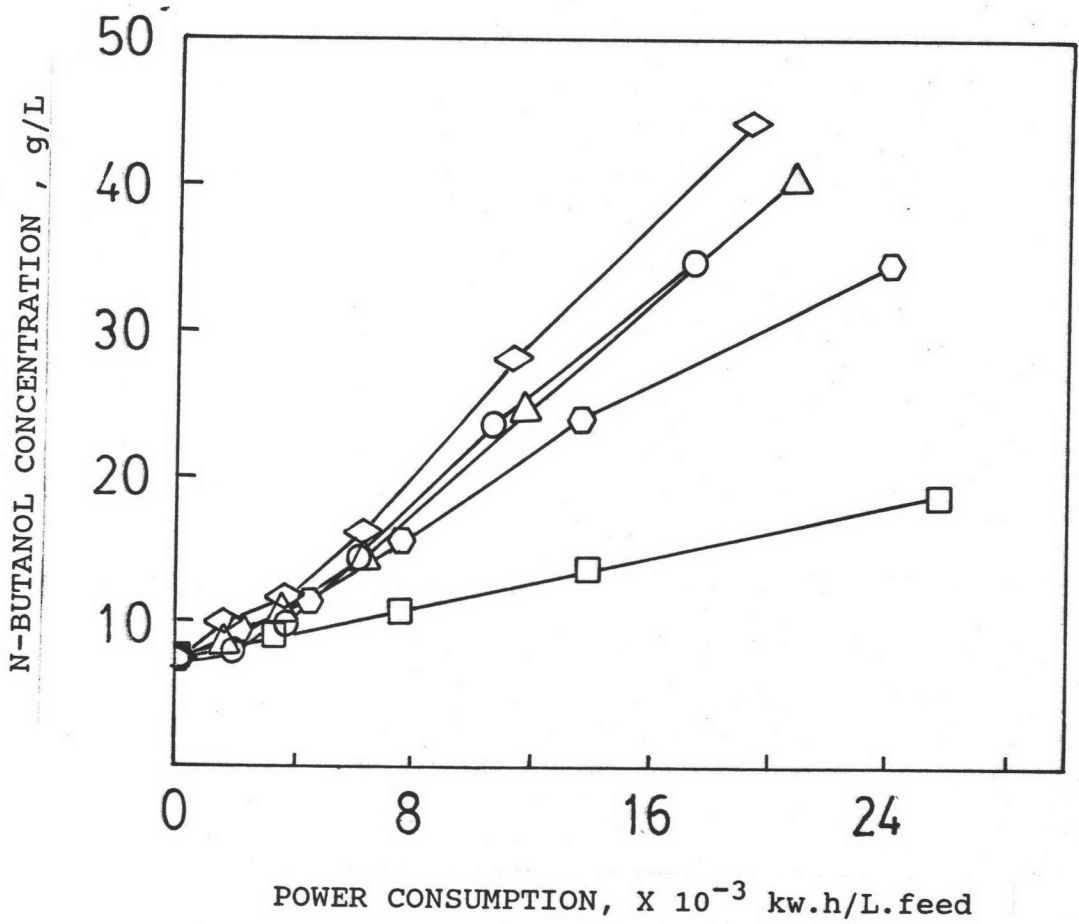
- ความดัน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- △ ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ◇ ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.20 แสดงเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของอะซิโตน ต่อเปอร์เซ็นต์รีโคเวอรี

โดยปริมาตร ที่ความดันต่าง ๆ และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

- ความดัน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ⬡ ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- △ ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ◇ ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.21 แสดงความเข้มข้นของบิวทานอล ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า
ในสารละลายสังเคราะห์ 1.0 ลิตร ที่ความดันต่าง ๆ
และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

- ความดัน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- △ ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ◇ ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 5.4 แสดงผลกระทบบทของสภาวะความดัน ต่อการทำให้สารทำละลายภายใน

สารละลายสังเคราะห์เข้มข้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3 ลิตรต่อนาที

PRESSURE kg/sq.cm	RECOVERY vol.basis %	PERM.FLUX L/(sq.m.h)	POWER CONSUMPTION		REJECTION %					
			kw.h	kw.h/0.5L.	BU	ACE	ET	AC	AB	
10.0	0.0	9.136	0.000	0.0000	66.5	39.5	30.3	41.5	69.1	
	19.7	8.250	0.333	0.0016	67.0	38.0	28.5	39.7	67.9	
	39.4	6.886	0.766	0.0038	66.2	35.8	24.6	37.1	66.0	
	59.0	5.455	1.410	0.0069	63.3	30.1	17.6	37.1	59.9	
20.0	78.7	3.409	2.618	0.0129	43.9	17.4	4.0	12.9	45.7	
	0.0	16.568	0.000	0.0000	83.7	65.2	51.3	51.0	74.0	
	19.7	15.818	0.213	0.0011	78.9	63.4	46.2	47.6	78.7	
	39.4	14.455	0.458	0.0023	76.2	57.5	42.1	46.8	76.9	
30.0	59.0	12.409	0.775	0.0038	74.5	52.3	37.9	45.2	71.2	
	78.7	7.568	1.390	0.0068	68.7	45.2	32.4	44.0	66.1	
	88.5	5.182	2.451	0.0121	61.3	34.2	22.6	28.2	57.5	
	0.0	24.000	0.000	0.0000	85.1	63.5	58.5	63.4	83.1	
40.0	19.7	23.659	0.186	0.0009	84.0	61.1	57.8	59.6	82.6	
	39.4	22.841	0.382	0.0019	83.0	59.3	54.3	58.0	79.7	
	59.0	19.295	0.633	0.0031	81.3	63.6	51.9	58.5	75.6	
	78.7	13.500	1.086	0.0053	74.2	53.8	50.1	58.0	72.3	
50.0	88.5	9.205	1.765	0.0087	70.2	52.0	40.4	41.4	69.0	
	0.0	34.091	0.000	0.0000	85.9	67.7	60.0	69.7	86.3	
	19.7	32.045	0.168	0.0008	87.6	69.8	59.3	69.0	83.3	
	39.4	28.091	0.371	0.0018	88.3	70.4	58.7	68.8	82.9	
59.0	59.0	23.114	0.654	0.0032	85.6	67.1	55.4	68.0	85.2	
	78.7	15.750	1.192	0.0059	78.7	61.3	46.6	64.1	80.6	
	88.5	11.932	2.108	0.0104	73.1	48.0	40.2	38.5	74.2	
	0.0	47.727	0.000	0.0000	87.8	74.2	65.5	75.4	79.3	
59.0	19.7	39.682	0.160	0.0008	88.8	73.5	66.4	71.6	83.6	
	39.4	34.909	0.376	0.0019	86.7	68.7	59.9	69.8	85.7	
	59.0	30.750	0.642	0.0032	86.5	67.7	62.2	69.7	82.8	
	78.7	18.068	1.152	0.0057	81.0	69.9	56.3	70.0	80.0	
88.5	14.318	1.954	0.0096	72.4	55.4	30.0	34.1	74.3		

REMARK : BU = N-BUTANOL
ACE = ACETONE
ET = ETHANOL
AC = ACETIC ACID
AB = BUTYRIC ACID

5.5 การศึกษาผลกระทบของสภาวะความดัน ต่อการทำให้สารทำละลายในน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่นเข้มข้นขึ้น ด้วยการหมุนเวียนสารละลายกลับที่อัตราการไหลที่เหมาะสม

จากผลการศึกษา ในสารละลายสังเคราะห์ ข้อ 5.4.1 ได้เลือกศึกษาต่อด้วยน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น ที่ความดัน 30, 40, และ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ปรากฏผลการทดลองดังนี้

5.5.1 เอมิเอชั่นฟลักส์

มีลักษณะเช่นเดียวกับเอมิเอชั่นฟลักส์ของสารละลายสังเคราะห์

5.5.2 เปอร์เซนต์รีเจกชันของสารทำละลาย

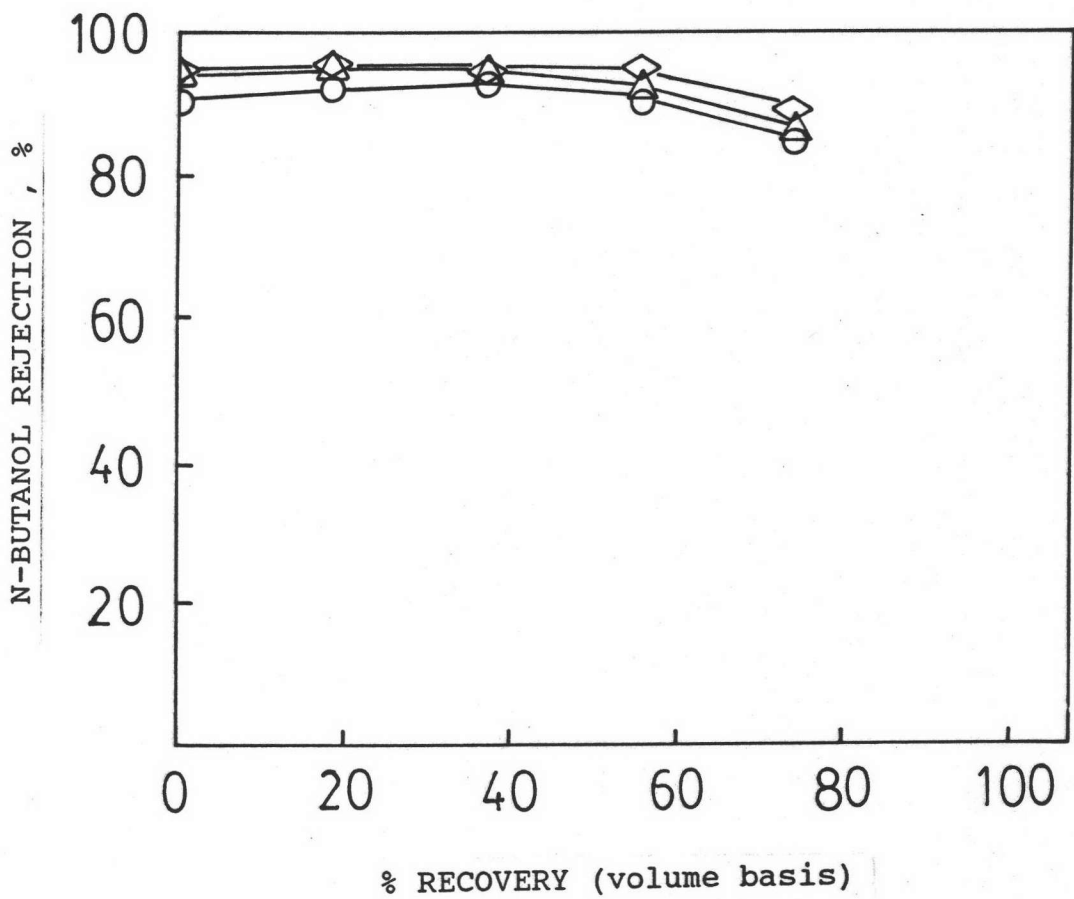
จากรูปที่ 5.22 และ 5.23 พบว่า ความดันเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซนต์รีเจกชันของสารทำละลายบิวทานอลและอะซิโตนเพิ่มขึ้นด้วยอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะที่ความดัน 40 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เปอร์เซนต์รีเจกชันค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่ช่วงรีโควเวอรี 0 ถึง 55 % โดยปริมาตร เปอร์เซนต์รีเจกชันค่อนข้างคงที่ และเริ่มลดลงที่รีโควเวอรี > 55 % โดยปริมาตร และเห็นได้อย่างชัดเจน ความเข้มข้นของสารทำละลายบิวทานอล และอะซิโตน ในคอนเซนเตรตสุดท้ายที่รีโควเวอรี 74 % เท่ากับ 18.9 และ 16.4 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่ารีเจกชันสูงสุด เท่ากับ 95.3 % และ 92.6 % ตามลำดับ ที่รีโควเวอรี 55 % โดยปริมาตร, ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที ดังตารางที่ 5.5 นอกจากนั้น ที่รีโควเวอรี 74 % โดยปริมาตร ในสภาวะความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ยังสามารถให้ค่ารีโควเวอรีโดยมวลของบิวทานอลสุดท้ายที่ 92.7 % ในขณะที่ความดัน 30 และ 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรให้ค่ารีโควเวอรีโดยมวลของบิวทานอลสุดท้ายที่ 85.5 และ 88.9 % ตามลำดับ เท่านั้น

ส่วนค่ารีเจกชันของสารทำละลายเอทานอล, กรดอะซิติก, และกรดบิวทิริกมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสารทำละลาย 2 ชนิดแรก แต่เนื่องจากสารทำละลายดังกล่าวมีความเข้มข้นต่ำ และไม่ใช่วัตถุหลักที่สนใจศึกษา จึงไม่กล่าวโดยรายละเอียด ณ ที่นี้

5.5.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น

จากรูปที่ 5.24 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นเรื่อย ๆ สามารถทำให้บิวทานอลเข้มข้นขึ้น ในขณะที่ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง (เช่นเดียวกับสารละลายสังเคราะห์) โดยที่ความเข้มข้นสูงสุดของบิวทานอล เท่ากับ 18.9 กรัมต่อลิตร ที่รีโควเอรี 74 % โดยปริมาตร, ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที ในขณะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 0.039 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อ น้ำหนักเริ่มต้น 1.0 ลิตร อย่างไรก็ตาม พบว่า ที่ความดัน 40 และ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การใช้พลังงานค่อนข้างใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกสภาวะความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที ในการทำให้บิวทานอลในน้ำหนักที่ผ่านกระบวนการอุตสาหกรรมแล้วเข้มข้นขึ้น โดยกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ เพื่อเปรียบเทียบกับการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย

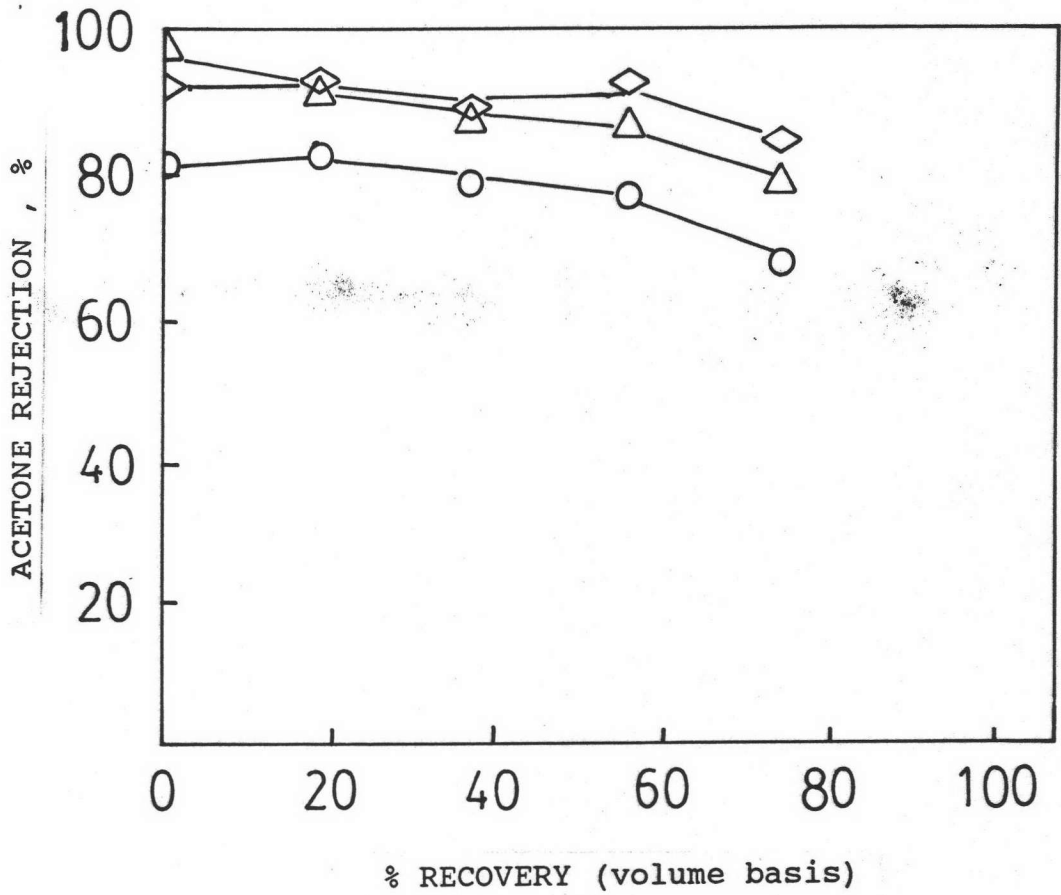


รูปที่ 5.22 แสดงเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของบิวทานอล ต่อเปอร์เซ็นต์รีโคเวอรี

โดยปริมาตร ของน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิวเตรชัน

ที่ความดันต่าง ๆ และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

- ความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- △ ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ◇ ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.23 แสดงเปอร์เซ็นต์รีเจคชั่นของอะซิโตน ต่อเปอร์เซ็นต์รีโคเวอรี

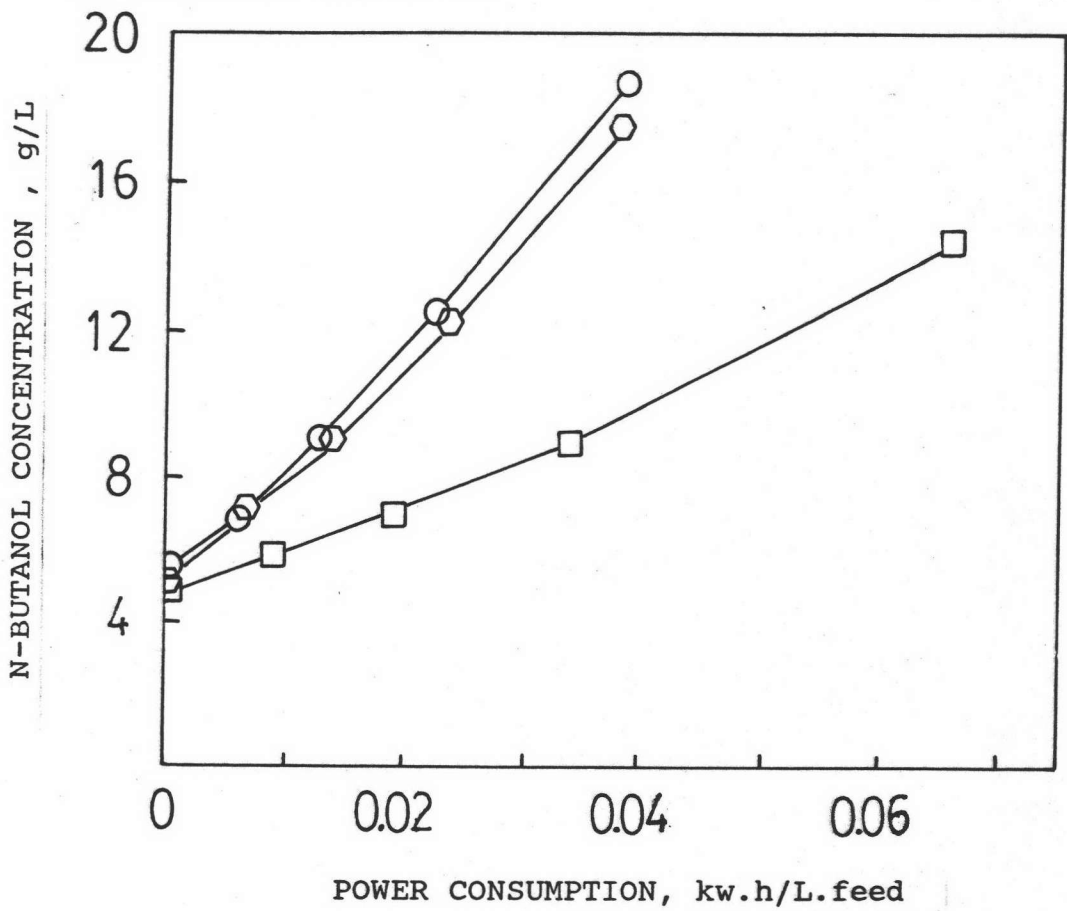
โดยปริมาตร ของน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิวเตรชั่น

ที่ความดันต่าง ๆ และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

○ ความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

△ ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

◇ ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.24 แสดงความเข้มข้นของบิวทานอล ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า
 ในน้ำหมัก 1.0 ลิตร ที่ความดันต่าง ๆ
 และอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

- ความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ◡ ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 5.5 แสดงผลกระทบบของสภาวะความดัน ต่อการทำให้อ่างทาลายใน

น้ำหมักผ่านกระบวนการอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้น^๒

ต่อตารางไหล 3 ลิตรต่อนาที

PRESSURE kg/sq.cm	RECOVERY vol.basis %	PERM.FLUX L/(sq.m.h)	POWER CONSUMPTION		REJECTION %					
			kw.h	kw.h/0.5L.	BU	ACE	ET	AC	AB	
30.0	0.0	4.943	0.000	0.0000	90.5	81.1	80.4	53.2	99.1	
	18.5	4.943	0.192	0.0044	91.8	82.3	75.9	53.7	94.8	
	37.0	4.330	0.411	0.0095	92.8	78.4	76.3	53.7	93.5	
	55.4	3.477	0.733	0.0169	90.4	76.6	73.1	53.6	92.9	
	73.9	1.875	1.427	0.0330	84.6	67.5	61.2	49.6	89.1	
30.0	0.0	9.409	0.000	0.0000	94.7	97.7	82.6	52.2	94.3	
	18.5	8.932	0.136	0.0031	93.9	91.0	81.3	53.7	96.4	
	37.0	8.080	0.295	0.0068	94.5	87.3	78.2	52.6	95.3	
	55.4	6.818	0.506	0.0117	92.4	86.6	76.7	54.4	94.8	
	73.9	5.489	0.817	0.0189	85.7	78.8	66.7	46.2	91.1	
50.0	0.0	12.341	0.000	0.0000	94.8	91.7	88.8	54.5	96.5	
	18.5	11.795	0.130	0.0030	95.2	92.6	87.6	55.8	97.3	
	37.0	10.636	0.281	0.0065	95.3	88.4	85.0	53.9	96.2	
	55.4	8.727	0.489	0.0113	95.3	92.5	83.1	51.5	97.3	
	73.9	6.205	0.846	0.0195	88.9	84.3	72.6	50.3	91.1	

REMARK : BU = N-BUTANOL
ACE = ACETONE
ET = ETHANOL
AC = ACETIC ACID
AB = BUTYRIC ACID

5.6 การเปรียบเทียบการใช้พลังงาน ในการทำให้บิวทานอลในน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการ ลดทราฟิเวเตอร์ชั้นเข้มข้น โดยกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับและการกลั่นลำดับส่วน อย่างง่าย

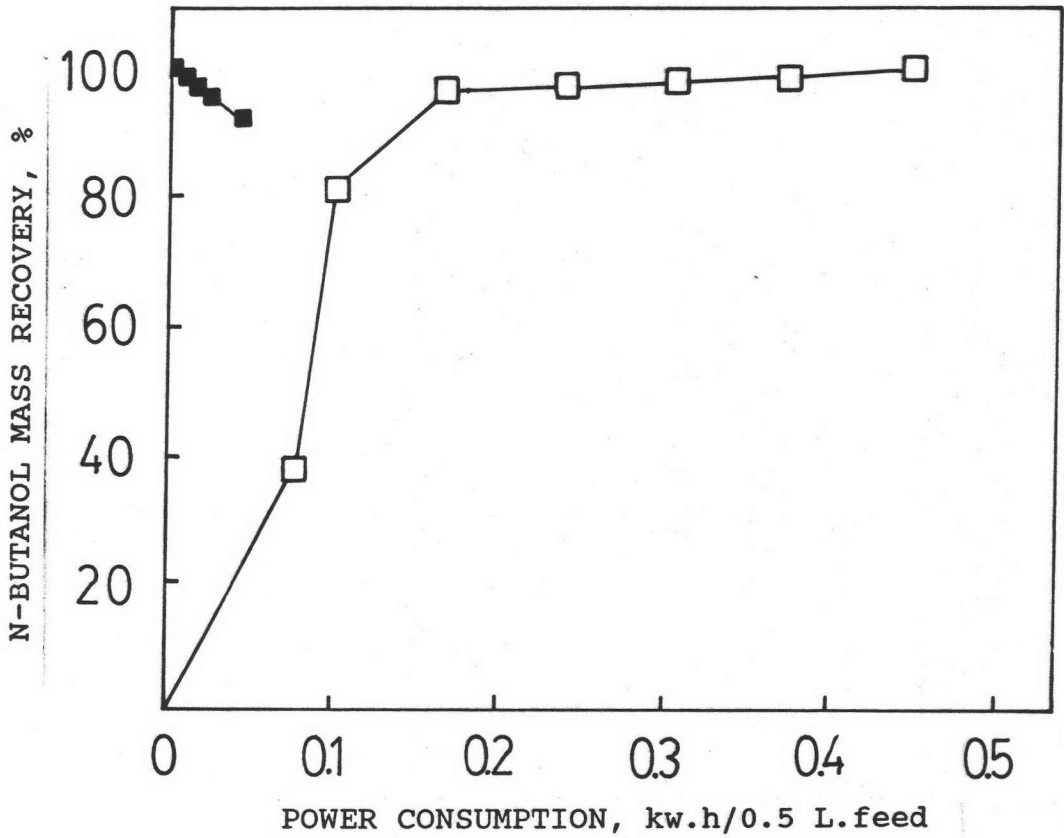
จากผลการศึกษาในข้อ 5.5 ได้แสดงความเป็นไปได้ในการทำให้ น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการลดทราฟิเวเตอร์ชั้นเข้มข้น โดยกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการใช้พลังงาน ในกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ เปรียบเทียบกับการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่ายปรากฏผลดังนี้

จากรูปที่ 5.25 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการทดลองที่ น้ำหมักเริ่มต้น 0.5 ลิตร เท่ากัน พบว่า ที่เปอร์เซ็นต์รีโคโนเวอร์โดยมวล 92.7 % ของบิวทานอลในผลิตภัณฑ์ที่ได้ กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ กับการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0195 และ 0.148 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในขณะที่ความเข้มข้นของบิวทานอลประมาณ 18.9 และ 67.0 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังตารางที่ 5.7 โดยพบว่า ที่รีโคโนเวอร์โดยมวลดังกล่าวเท่ากัน กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับสามารถใช้พลังงาน 1 ใน 21.3 ส่วนของการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย และประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการกลั่นได้ถึง 95.3 % (กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปริมาตรผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.15 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลิตรผลิตภัณฑ์ ส่วนการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่ายใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปริมาตรผลิตภัณฑ์เท่ากับ 3.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลิตรผลิตภัณฑ์) และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.17 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลิตรผลิตภัณฑ์ต่อตารางเมตรเมมเบรน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสารละลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ มีความเข้มข้นของบิวทานอลต่ำกว่าสารละลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่ายมาก จึงนำสารละลายน้ำหมักเข้มข้นที่ได้จากกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับตามสภาวะดังกล่าว ไปทำการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่ายต่อไปเพื่อศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในการกลั่นต่อเทียบกับความเข้มข้นของบิวทานอลที่ได้

จากการทดลอง พบว่าเมื่อทำการกลั่นสารละลายน้ำหมักเข้มข้นที่ได้จากกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับแล้วจำนวน 0.5 ลิตร จะได้สารละลายบิวทานอลแยกเป็นสองชั้นเห็นได้ชัดเจน มีความเข้มข้นของบิวทานอลสูงสุดเท่ากับ 461.0 กรัมต่อลิตรที่รีโคโนเวอร์ 21.9 %

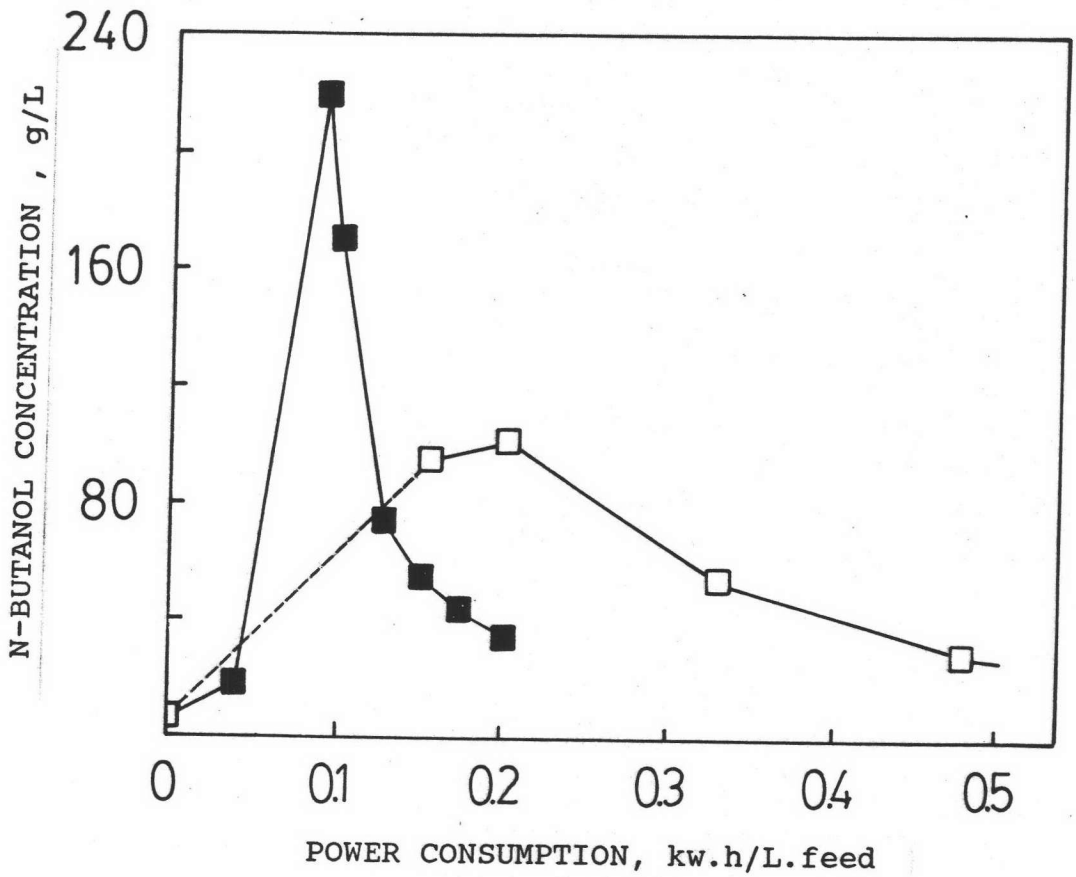
โดยปริมาตร และความเข้มข้นของอะซิโตนสูงสุดเท่ากับ 205.7 กรัมต่อลิตร ที่รีโควเวอรี 9.0 % โดยปริมาตร ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของสารทำลายชีวทานอลและอะซิโตน ในสารละลายที่กลั่นได้น้ำหมักที่ไม่ผ่านกระบวนการออสโมซิสย้อน จำนวน 0.5 ลิตร เท่ากับ 101.5 และ 90.0 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.8 ที่รีโควเวอรี 4.8 % โดยปริมาตร โดยไม่มีการแบ่งชั้นของสารละลาย

จากรูปที่ 5.26 จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของชีวทานอลเฉลี่ยต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ พบว่า การกลั่นน้ำหมักเข้มข้นจากกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ สามารถให้ความเข้มข้นชีวทานอลเฉลี่ยสูงสุด 237 กรัมต่อลิตร ด้วยพลังงานไฟฟ้า 0.090 กิโลวัตต์ ในขณะที่ การกลั่นให้ความเข้มข้นชีวทานอลสูงสุดที่ 101.7 กรัมต่อลิตรด้วยพลังงานไฟฟ้า 0.202 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นชีวทานอลสูงสุดที่ 101.7 กรัมต่อลิตร เท่ากัน กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับรวมกับการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.123 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งแสดงว่ากระบวนการออสโมซิสย้อนกลับรวมกับการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย (ใช้พลังงาน 1/1.6 เท่าของการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย) สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่ายขั้นตอนเดียวได้ถึง 39 % ในสภาวะดังกล่าว



รูปที่ 5.25 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์รีโคเวอรีโดยมวลของบิวทานอลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ระหว่างกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ กับการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย น้ำหมักบิวทานอล 0.5 ลิตร

- กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ
- การกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย



รูปที่ 5.26 แสดงความเข้มข้นของบิวทานอลในสารละลายที่ได้

ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด

□ สารละลายจากการกลั่นน้ำหมัก

■ สารละลายจากการกลั่นน้ำหมักเข้มข้นที่ได้จาก

กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการกลั่นน้ำหมักที่ไม่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันกลับ

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	N-BUTANOL CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL	RESIDUE	
2.4	0.078	6.082	95.295	1.312	37.6
4.8	0.101	5.982	101.483	1.160	81.4
10.9	0.166	6.051	53.849	0.202	97.0
20.8	0.240	6.172	28.957	0.180	97.6
32	0.307	6.040	18.561	0.145	98.3
41.2	0.374	6.020	14.434	0.122	98.8
50	0.449	5.961	11.927	0.000	100.0

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	ACETONE CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL	RESIDUE	
2.4	0.078	5.034	79.826	0.914	38.1
4.8	0.101	5.073	90.203	0.780	85.3
10.9	0.166	4.977	45.011	0.075	98.6
20.8	0.240	5.036	23.673	0.140	97.8
32	0.307	5.106	15.755	0.080	98.7
41.2	0.374	5.140	12.457	0.000	99.8
50	0.449	5.227	10.443	0.000	99.9

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	ETHANOL CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL	RESIDUE	
2.4	0.078	0.201	3.125	0.072	37.3
4.8	0.101	0.201	3.287	0.045	78.5
10.9	0.166	0.191	1.474	0.034	84.3
20.8	0.240	0.199	0.800	0.040	83.6
32	0.307	0.205	0.578	0.030	90.2
41.2	0.374	0.200	0.486	0.000	100.1
50	0.449	0.204	0.411	0.000	100.6

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	ACETIC A. CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL	RESIDUE	
2.4	0.078	0.502	0.000	0.512	0.0
4.8	0.101	0.513	0.000	0.536	0.0
10.9	0.166	0.522	0.000	0.585	0.0
20.8	0.240	0.519	0.000	0.650	0.0
32	0.307	0.504	0.000	0.741	0.0
41.2	0.374	0.506	0.103	0.794	8.4
50	0.449	0.510	0.179	0.863	17.5

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	BUTYRIC A. CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL	RESIDUE	
2.4	0.078	0.200	0.382	0.198	4.6
4.8	0.101	0.198	0.424	0.188	10.3
10.9	0.166	0.204	0.422	0.178	22.5
20.8	0.240	0.200	0.388	0.150	40.3
32	0.307	0.203	0.339	0.136	53.3
41.2	0.374	0.202	0.309	0.112	63.0
50	0.449	0.205	0.284	0.098	69.3

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการกลั่นน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	N-BUTANOL CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL (T/B)	RESIDUE	
6.6	0.099	18.886	237.184	2.990	82.9
9	0.118	18.926	336.033	1.435	87.9
21.9	0.172	18.889	461.052	0.469	93.2
29.9	0.218	18.800	287.234	0.439	95.2
39.4	0.260	18.962	47.544	0.348	98.8
50.4	0.313	18.898	37.209	0.271	99.2

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	ACETONE CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL (T/B)	RESIDUE	
6.6	0.099	15.526	199.102	1.796	84.6
9	0.118	15.530	205.719	0.775	88.8
21.9	0.172	15.518	120.362	0.453	91.5
29.9	0.218	15.527	81.679	0.382	94.0
39.4	0.260	15.533	38.630	0.287	98.0
50.4	0.313	15.524	30.565	0.234	99.2

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	ETHANOL CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL (T/B)	RESIDUE	
6.6	0.099	0.589	5.878	0.124	65.9
9	0.118	0.587	7.537	0.095	69.0
21.9	0.172	0.590	6.263	0.078	86.5
29.9	0.218	0.595	3.418	0.065	91.9
39.4	0.260	0.597	1.431	0.051	94.4
50.4	0.313	0.598	1.146	0.036	96.6

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	ACETIC A. CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL (T/B)	RESIDUE	
6.6	0.099	1.184	1.072	0.983	6.0
9	0.118	1.184	1.239	0.931	8.1
21.9	0.172	1.186	2.438	0.913	20.4
29.9	0.218	1.176	1.973	0.825	27.4
39.4	0.260	1.187	1.065	0.811	35.4
50.4	0.313	1.186	1.056	0.802	44.9

% VOL. RECOVERY	POWER CONSUMP. (kw.h)	BUTYRIC A. CONC. (g/l)			% MASS RECOVERY
		FEED	DISTILL (T/B)	RESIDUE	
6.6	0.099	0.771	1.247	0.745	10.7
9	0.118	0.771	2.368	0.721	14.3
21.9	0.172	0.771	6.619	0.704	30.0
29.9	0.218	0.772	5.149	0.588	42.3
39.4	0.260	0.770	1.111	0.508	56.8
50.4	0.313	0.770	1.110	0.400	72.6