หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

4.1 เคมีภัณฑ์

4.1.1 เคมีภัณฑ์ที่ใช้เตรียมน้ำหมัก

4.1.1.1 ไดโปรตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) ของบริษัท AJAX

4.1.1.2 โปรตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ของบริษัท MERCK

4.1.1.3 แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4.H_2O$) ของบริษัท AJAX

4.1.1.4 เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) ของบริษัท AJAX

4.1.1.5 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ของบริษัท AJAX

4.1.1.6 Yeast Extract ของบริษัท GIBCO, อังกฤษ

4.1.1.7 น้ำตาลกลูโคส (D-Glucose anhydrous) ของบริษัท Fluka

4.1.2 เคมีภัณฑ์ที่ใช้เตรียมสารละลายสังเคราะห์

4.1.2.1 บิวทานอล (n-Butanol) ของบริษัท May & Baker, อังกฤษ

4.1.2.2 อะซิโตน (Acetone) ของบริษัท BDH Chemical, อังกฤษ

4.1.2.3 เอธานอล (Ethanol) ของบริษัท Carlo Erba, อิตาลี

4.1.2.4 กรดบิวทิริค (Butyric Acid) ของบริษัท Merch

4.1.2.5 กรดอะซิติค (Acetic Acid) ของบริษัท Carlo Erba, อิตาลี

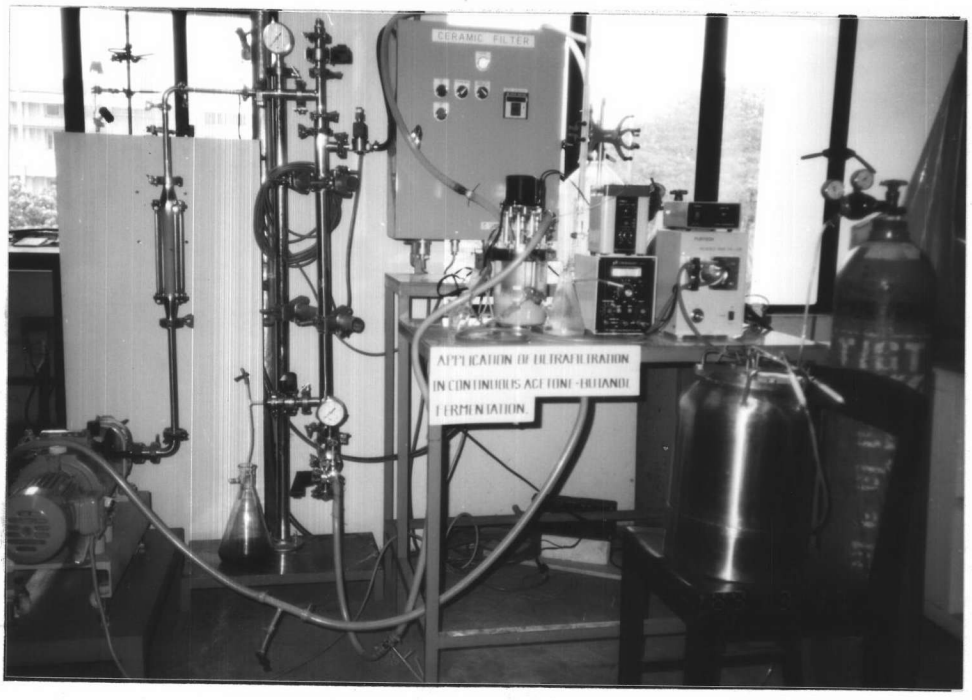
4.2 เชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เตรียมน้ำหมักคือ Clostridium acetobutylicum ATCC 824 เก็บในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

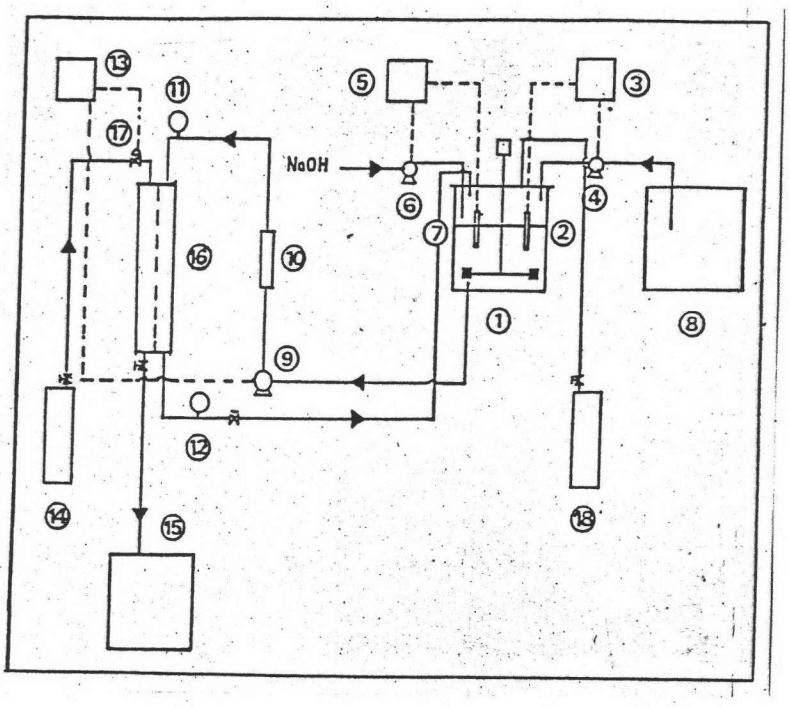
4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 ถังหมักแบบต่อเนื่องควบคู่กับอุลตราฟิวเตรชั่นเมมเบรน

ประกอบด้วยถังหมักแก้ว ขนาด 2 ลิตร ต่อเข้ากับปั๊มสเตนเลสแบบโรตารีขนาด 0.75 กิโลวัตต์ เพื่อจ่ายน้ำหมักจากถังหมักผ่านอุลตราฟิวเตรชั่นเมมเบรนทำด้วยเซรามิค (type 1M-1, ญี่ปุ่น) ประกอบด้วย 19 ท่อคาร์บอนมีเซรามิคเคลือบภายในแต่ละท่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ยาว 85 เซนติเมตร และมีพื้นที่การกรอง 0.2030 ตารางเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางรูมีขนาด 0.2 ไมครอน (ปิดกั้นอนุภาคที่มีน้ำหนักโมเลกุล ขนาดประมาณ 100,000) ใช้ปั๊มแบบรีดสายป้อนสารอาหารจากถังเก็บสารอาหารเข้าถังหมัก โดยควบคุมด้วยอุปกรณ์ควบคุมระดับของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่ที่ถังหมัก



รูปที่ 4.1 แสดงระบบถังหมักแบบต่อเนื่องควบคู่กับอุลตราฟิวเตรชั่นเมมเบรน



รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมแสดงระบบถังหมักแบบต่อเนื่องควบคู่กับอุลตราฟิวเตรชั่นเมมเบรน

1. ถังหมัก
2. ลูกลอยวัดระดับน้ำหมัก
3. เครื่องควบคุมระดับน้ำหมัก
4. ปั๊มป้อนสารอาหาร
5. เครื่องควบคุม pH
6. ปั๊มป้อนสารละลายด่าง
7. อุปกรณ์วัด pH
8. ถังสารอาหาร
9. ปั๊มหมุนเวียน
10. มาตรวัดอัตราการไหล
11. เกจความดันเข้า
12. เกจความดันออก
13. ตู้ควบคุม
14. ถังก๊าซไนโตรเจน
15. ถังเพอมิเอท
16. อุลตราฟิวเตรชั่นเมมเบรน
17. วาล์วควบคุม
18. ถังก๊าซไนโตรเจน

4.3.2 ระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ระบบนี้ได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อใช้ศึกษา ผลของตัวแปรที่มีต่อการแยกของสารทำละลาย โดยสามารถควบคุมความดันได้ในช่วงสูงสุดไม่เกิน 60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราการไหลของน้ำได้สูงสุดไม่เกิน 7 ลิตรต่อนาที โดยทั้งระบบมีความจุเท่ากับ 1.65 ลิตร รายละเอียดส่วนต่าง ๆ ของระบบมีดังนี้

4.3.2.1 ถังป้อน (Feed Reservoir) เป็นถังสเตนเลส ขนาดบรรจุ 200 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.56 เมตร ส่วนล่างของถังมีท่อต่อออก 2 ทาง ทางหนึ่งสำหรับสายป้อนเข้าระบบ อีกทางหนึ่งเป็นท่อน้ำทิ้ง มีปั๊มหอยโข่งหัวเทฟรอน ขนาด 45 วัตต์ อัตราการไหล 38 ลิตรต่อนาที ทำหน้าที่หมุนเวียนสารละลายในถังป้อนให้ผสมเข้ากัน

4.3.2.2 ไส้กรอง (Cartridge Filter) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร ความละเอียดการกรอง 10 ไมครอน ทำหน้าที่กรองสารละลายก่อนเข้าสู่เมมเบรนออสโมซิสย้อนกลับ

4.3.2.3 ปั๊มความดันสูง (High Pressure Pump) เป็นแบบ triplex piston pump ผู้ผลิตคือ CAT PUMPS model 281 ทำด้วยสเตนเลส ต่อกับมอเตอร์ 1.0 แรงม้า ให้อัตราการไหลสูงสุด 11 ลิตรต่อนาที ความดันสูงสุด 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ควบคุมรอบมอเตอร์ด้วยทรานซิสเตอร์ อินเวอเตอร์ (Transistor Inverter) ยี่ห้อ Inventor ปรับลักษณะการไหลให้เรียบด้วยอุปกรณ์ Pressure Pulsation Dampener วาล์วปรับความดัน (Pressure Relief Valve) ควบคุมความดันในระบบไม่เกิน 60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเกจความดันช่วง 0 ถึง 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

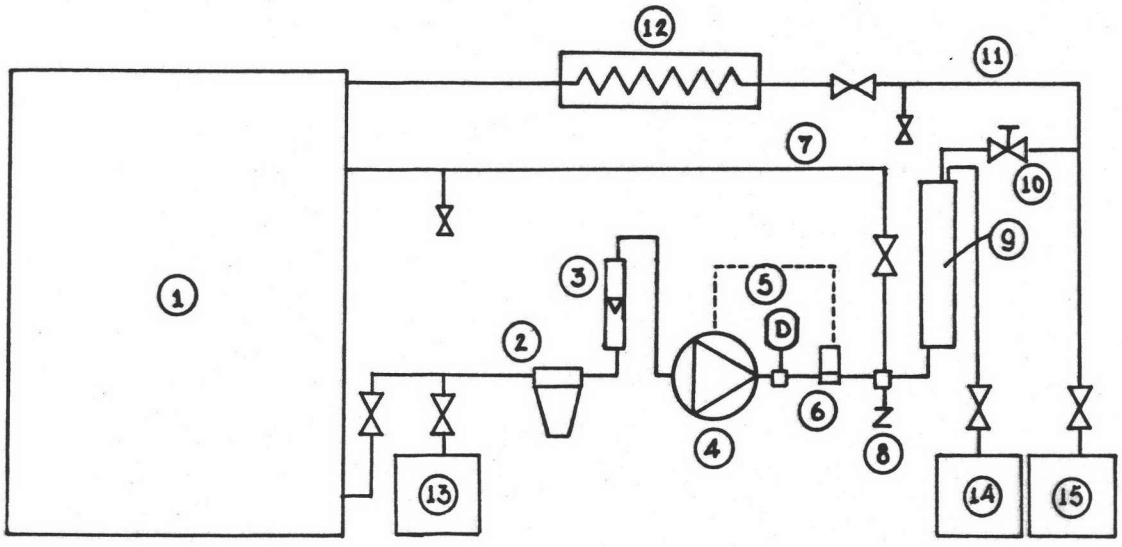
4.3.2.4 มิเตอร์วัดอัตราการไหล (Flow Meter) เป็นแบบ Rotameter ของ Blue-White (U.S.A) ทำด้วยอะคริลิค (acrylic) วัดอัตราการไหลของน้ำช่วง 0 ถึง 7 ลิตรต่อนาที

4.3.2.5 เมมเบรนออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis Membrane) ทำจากโพลีเอไมด์ (Polyamide) ของ FILMTEC model SW30-2521 เป็นโมดูลแบบม้วนมีพื้นที่ผิวเมมเบรน 0.88 ตารางเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8 เซนติเมตร ยาว 52.5

เซนติเมตร ทนความดันสูงสุดประมาณ 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิสูงสุด 45 องศาเซลเซียส อัตราไหลสูงสุด 23 ลิตรต่อนาที ที่ทางออกมีเกจวัดความดันช่วง 0 ถึง 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และวาล์วเข็ม (Needle Valve) ปรับความดัน ท่อสายคอนเซนเตรทแยกไปถังเก็บคอนเซนเตรท และท่อเวียนกลับเข้าสู่ถังป้อนโดยต่อผ่านหน่วยหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ

4.3.2.6 **วัตต์มิเตอร์** (Watt meter) ทำหน้าที่วัดพลังงานกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ ของบริษัท SIEMENS ขนาด 50 เฮิร์ทซ, 220/380 โวลท์, 20 แอมป์, 240 ยูนิต/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เยอรมัน

รูปที่ 4.3 แสดงระบบออสโมซิสย้อนกลับ



รูปที่ 4.4 แสดงไดอะแกรมของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

1. ถังป้อน
2. ไส้กรองละเอียด
3. มิเตอร์วัดอัตราการไหล
4. ปั๊มความดันสูง
5. Pulsation Dampener
6. สวิตช์ตัดไฟด้วยความดัน
7. ท่อไหลกลับ
8. วาล์วปรับความดัน
9. เมมเบรนออสโมซิสย้อนกลับ
10. วาล์วเข็ม
11. ท่อคอนเซนเตรทเวียนกลับ
12. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
13. ถังสารละลายล้างเมมเบรน
14. ถังเพอมิเอท
15. ถังคอนเซนเตรท

รูปที่ 4.5 แสดงเมมเบรนออสโมซิสย้อนกลับและโมดูล

4.3.3 ระบบการกลั่นลำดับส่วนง่าย

เป็นระบบที่ใช้เพื่อศึกษา การใช้พลังงานในการทำให้น้ำหมักบิวทานอลเข้มข้นขึ้นเปรียบเทียบการกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ โดยเป็นระบบการกลั่นลำดับส่วนแบบครั้งคราวประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างดังนี้

4.3.3.1 เครื่องต้ม (Heater) สำหรับให้ความร้อนขวดทดลองก้นกลม ขนาด 1000 มิลลิลิตรของบริษัท ISOPAD model MUL ILER ขนาด 200/250 โวลท์, 300 วัตต์ อังกฤษ สามารถปรับปริมาณความร้อนที่ใช้ได้

4.3.3.2 ขวดกลั่น เป็นขวดทดลองก้นกลม ขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำด้วยแก้วทนความร้อน ใส่ชิ้นกระเบื้องเคลือบ (boiling chip) จำนวน 3 ชิ้น หุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

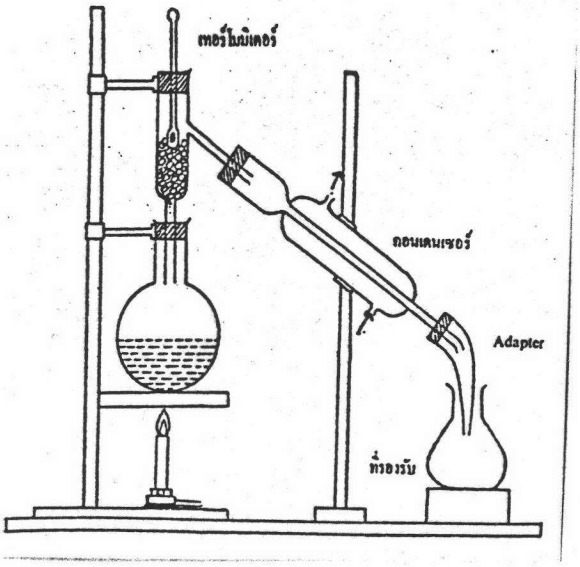
4.3.3.3 คอลัมน์กลั่นลำดับส่วน (Fractionating column) เป็นแพคคอลัมน์แบบธรรมดา (simple packed column) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 220 มิลลิเมตร ทำด้วยแก้วทนความร้อน บรรจุหลอดแก้วสั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความยาว 6 มิลลิเมตรจนเต็มคอลัมน์ หุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

4.3.3.4 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ขนาด 200 องศาเซลเซียส

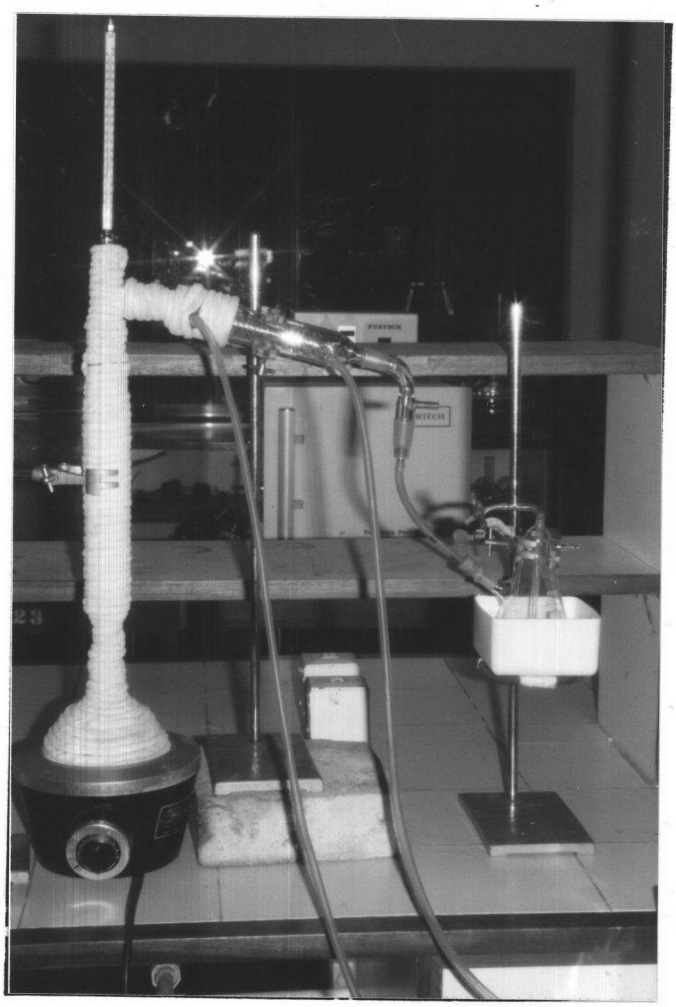
4.3.3.5 คอลัมน์หล่อเย็น (Condensing Column) ทำด้วยแก้วทนความร้อน หล่อเย็นด้วยน้ำอุณหภูมิ10 องศาเซลเซียส

4.3.3.6. ขวดสารละลายกลั่น เป็นขวดทดลองขนาด 250 มิลลิลิตร หุ้มด้วยกล่องใส่น้ำแข็ง

4.3.3.7 วัตต์มิเตอร์ (Watt Meter) วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการกลั่นของบริษัท SIEMENS ขนาด 50 เฮิร์ทซ. 220 โวลท์. 5/15 แอมป์. 960 ยูนิต/กิโลวัตต์-ชั่วโมง.



รูปที่ 4.6 แสดงไดอะแกรมระบบการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย



รูปที่ 4.7 แสดงระบบการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย

4.4 วิธีการทดลอง

4.4.1 การเตรียมน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น

4.4.1.1 เตรียมสารอาหารตั้งต้น

น้ำหมักที่ใช้ได้จากการหมัก D-Glucose (40 กรัม) โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ Clostridium acetobutylicum ATCC 824 และใช้สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อดังนี้

Yeast Extract	6	กรัม
K_2HPO_4	0.5	กรัม
KH_2PO_4	0.5	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.2	กรัม
$MnSO_4.H_2O$	0.01	กรัม
$FeSO_4.7H_2O$	0.01	กรัม
NaCl	0.01	กรัม

เติมน้ำกำจัดแร่ธาตุ (demineralized water)ให้เป็น 1000 มิลลิลิตร แล้วฆ่าเชื้อในเครื่องอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

4.4.1.2 การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์

ถ่ายเชื้อจุลินทรีย์ Clostridium acetobutylicum ATCC 824 จากอาหารเหลว 10 มิลลิเมตร ซึ่งบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ 100 มิลลิเมตร ที่บรรจุใน flask ขนาด 500 มิลลิเมตร รักษาสภาพให้เป็นสภาวะไร้อากาศ (anaerobic) โดยเป่าก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์นาน 15 นาที แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสนาน 18 ชั่วโมง

4.4.1.3 กระบวนการหมักเพื่อผลิตบิวทานอล

ถ่ายเชื้อจุลินทรีย์ที่เตรียมแล้วลงในถังหมักขนาด 2 ลิตร ที่มีสารอาหารเลี้ยงเชื้อ 1 ลิตร ใช้อัตราการกวนประมาณ 200 รอบต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิประมาณ

33 ถึง 35 องศาเซลเซียส

หลังจากสารอาหารตั้งต้นมีความเข้มข้นกลูโคสเหลือประมาณ 10 กรัมต่อลิตร เติมสารอาหารตั้งต้นใหม่ 1.75 ลิตร และเปิดปั๊มหมุนเวียน จนกระทั่งความเข้มข้นกลูโคสเหลือประมาณ 10 กรัมต่อลิตร อีกครั้ง เริ่มป้อนสารอาหารตั้งต้นอย่างต่อเนื่องและเริ่มเปิดให้น้ำหมักที่กรองผ่านเมมเบรนอุลตราฟิวเตรชั่น ในอัตรา dilution rate (D)0.55 hr^{-1} (D=F/V, F=อัตราการป้อนสารอาหารตั้งต้น =อัตราการกรองออกของน้ำหมักผ่านเมมเบรนอุลตราฟิวเตรชั่น,V=ปริมาตรของระบบ) เก็บน้ำหมักที่แยกในถังเก็บปิดมิดชิดเพื่อป้องกันการระเหยของสารทำละลาย

4.4.2 การเตรียมสารละลายสังเคราะห์

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยประมาณ ในการแยกสารทำละลายแทนการใช้น้ำหมักทั้งหมด เนื่องจากในการทดลองกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ ต้องการใช้สารละลายป้อนเป็นจำนวนมากในแต่ละครั้งในขณะที่การผลิตน้ำหมักข้อ 4.4.1 เพื่อการทดลองให้ได้ปริมาณมากพอต้องใช้เวลานาน

สารละลายสังเคราะห์ที่ใช้เตรียมได้จากการละลายสารทำละลายบิวทานอล ,อะซิโตน, เอธานอล, กรดอะซิติค และกรดบิวทิริค ในน้ำกำจัดแร่ธาตุ (demineralized water) โดยประมาณให้ใกล้เคียงความเข้มข้นที่ผลิตได้ตามข้อ 4.4.1 ซึ่งจากการเตรียมสารละลายน้ำหมักดังกล่าวพบว่าความเข้มข้นของสารทำละลายเป็นดังต่อไปนี้

บิวทานอล	5.5-7.0	กรัม/ลิตร
อะซิโตน	4.5-6.0	กรัม/ลิตร
เอธานอล	0.17-0.25	กรัม/ลิตร
กรดอะซิติค	0.4-0.5	กรัม/ลิตร
กรดบิวทิริค	0.15-0.2	กรัม/ลิตร

จึงเตรียมสารละลายสังเคราะห์ ให้มีความเข้มข้นของสารทำละลายเช่นเดียวกัน

4.4.3 การศึกษาคุณสมบัติของเมมเบรน ในแง่การเกิดเพอมิเอชั่นของน้ำที่ความดันและอัตราการไหลต่าง ๆ

ในการศึกษาใช้น้ำกำจัดแร่ธาตุใส่ในถังป้อนแล้วเปิดปั๊มความดันสูง ปรับอัตราการไหล และความดันโดยเครื่องควบคุมรอบมอเตอร์และวาล์วเข็ม โดยปรับอัตราการไหล 1, 2, 3, 4, และ 5 ลิตร/นาที กับความดัน 10, 20, 30, 40, และ 50 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร วัดอัตราการไหลของเพอมิเอท โดยสารละลายสายเพอมิเอท และคอนเซนเตรทปล่อยทิ้ง

4.4.4 การศึกษาผลกระทบจากสภาวะการแยกสารทำละลาย โดยใช้สารละลายสังเคราะห์

4.4.4.1 การศึกษาผลกระทบของความดัน และอัตราการไหลที่มีผลต่อการแยกสารทำละลายในสารละลายสังเคราะห์

หลังจากเตรียมสารละลายสังเคราะห์ ตามข้อ 4.4.2 ในถังป้อน ทำการทดลองแยกสารละลาย ปรับอัตราการไหลที่ 1, 2, 3, 4, และ 5 ลิตร/นาที และความดัน 10, 20, 30, 40, และ 50 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร โดยเริ่มด้วยการป้อนน้ำกำจัดแร่ธาตุที่สภาวะนั้น จนอัตราการไหลของเพอมิเอทคงที่ แล้ววัดอัตราการไหล จากนั้นป้อนสารละลายสังเคราะห์ที่สภาวะเดียวกัน เมื่ออัตราการไหลเพอมิเอทคงที่ วัดอัตราการไหลของเพอมิเอท และเก็บตัวอย่าง 3 จุดคือ สายป้อน สายเพอมิเอท และสายคอนเซนเตรท จากนั้นป้อนน้ำกำจัดแร่ธาตุอีกครั้งที่สภาวะเดียวกัน วัดอัตราการไหลเพอมิเอทเมื่อคงที่ โดยทำเช่นนี้ทุกครั้งที่เปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบ

4.4.4.2 การศึกษาผลกระทบของสภาวะความดัน ในการทำให้สารทำละลายของสารละลายสังเคราะห์เข้มข้นขึ้น

จากการทดลองข้อ 4.4.4.1 สามารถเลือกอัตราการไหลที่เหมาะสมเตรียมสารละลายสังเคราะห์ 101.65 ลิตรต่อการทดลองแต่ละสภาวะ ทำการ

แยกสารละลาย หมุนเวียนสายคอนเซนเตรทกลับเข้าถังป้อนโดยผ่านการถ่ายเทความร้อน เพื่อให้ อุณหภูมิของสารละลายสังเคราะห์ภายในถังป้อนคงที่ ที่ 30 องศาเซลเซียส ระหว่างการทดลอง เปิดปั๊มหมุนเวียนเพื่อให้ผสมสารละลายสังเคราะห์ในถังป้อนให้เป็นเนื้อเดียวกันตลอดเวลา โดยปรับเปลี่ยนความดัน 10, 20, 30, 40, และ 50 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

ทำการวัดอัตราการไหลเพอมิเอท และเก็บตัวอย่าง สายป้อน สายเพอมิเอท สายคอนเซนเตรทและเพอมิเอทสะสมที่ออกจากระบบ พร้อมบันทึกเวลาและกำลังไฟฟ้าที่เพอมิเอทสะสมที่ 0, 20, 40, 60, 80, และ 90 ลิตร โดยเพอมิเอทสะสมที่เก็บตัวอย่างแล้วไม่นำมาผสมกับเพอมิเอทที่ออกจากระบบใน % recovery ต่อไป และเก็บตัวอย่างคอนเซนเตรทสุดท้ายที่เหลือในถังป้อน

ก่อนและหลังการทดลอง วัดอัตราการไหลเพอมิเอทของน้ำกำจัดแร่ธาตุที่สภาวะการทำงานนั้นด้วย

4.4.4.3 การศึกษาผลกระทบของความดัน และอัตราการไหลที่มีผลต่อการแยกสารทำละลายน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.4.4.1 แต่ใช้น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่นแทนสารละลายสังเคราะห์

4.4.4.4 การศึกษาผลกระทบของสภาวะความดัน ในการทำให้สารทำละลายในน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่นเข้มข้นขึ้น

จากการทดลองข้อ 4.4.4.3 สามารถเลือกอัตราการไหลที่เหมาะสม จากนั้น ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองข้อ 4.4.4.2 แต่ใช้น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น แทนสารละลายสังเคราะห์ โดยใช้ปริมาณเริ่มต้น 21.65 ลิตร ต่อการทดลองแต่ละครั้ง วัดผลการทดลองที่เพอมิเอทสะสมที่ 0, 4, 8, 12, และ 16 ลิตร โดยศึกษาผลการทดลองข้อ 4.4.4.2 เลือกระดับความดันที่น่าศึกษาเพื่อทำการทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้ปรับเปลี่ยนความดันที่ 30, 40, และ 50 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

4.4.5 การเปรียบเทียบการใช้พลังงาน เพื่อแยกสารทำละลายในน้ำหมักระหว่างกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ กับการกลั่น

ทำการกลั่นน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการอุลตราฟิวเตรชั่น 500 มิลลิลิตร ด้วยระบบการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่ายและหยุดการกลั่น (การให้ความร้อน) เมื่อปริมาณสารละลายที่กลั่นได้ประมาณ 25, 50, 100, 150, 200, และ 250 มิลลิลิตร (vol.recovery = 5, 10, 20, 30, 40,และ 50 % ตามลำดับ) โดยเก็บตัวอย่างและวัดปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น สารละลายที่กลั่นได้ และสารละลายที่เหลือจากการกลั่น บันทึกเวลาและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกลั่นแต่ละครั้ง ในการทดลองปรับอัตราการให้ความร้อนเท่ากันทุกครั้ง โดยแบ่งการทดลองเป็นการกลั่นน้ำหมักที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณ บิวทานอล, อะซิโตน, เอธานอล, กรดอะซิติค, และ กรดบิวทิริค โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟฟี

ใช้แก๊สโครมาโตกราฟฟีของ Shimadzu Model Gc 7AG กับ recorder integrator ของ Chromatopac CR1A เมื่อทำการวิเคราะห์

สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์

คอลัมน์ยาว 2 เมตร ขนาด 1/8 นิ้ว บรรจุด้วย parapak Q 80-100 mesh อุณหภูมิคอลัมน์คงที่ที่ 210 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอินเจคเตอร์ (injector) 280 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของดีเทคเตอร์ (detector) 300 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 50 มิลลิเมตร/นาที ปริมาณของผลิตภัณฑ์หาได้จากการเทียบพื้นที่ใต้พีค (peak) ของสารที่ใช้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบ (external standard) โดยที่บิวทานอล, อะซิโตน, เอธานอล, กรดอะซิโตน, และกรดบิวทิริค มีรีเทนชันไทม์ (retention time) เป็น 4.09,1.77, 1.31, 3.10, และ 9.96 ตามลำดับ

4.6 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณตัวทำละลายที่เกิดขึ้น

4.6.1 ตัวอย่างในกระบวนการหมัก

ใช้หลอดฉีดยาดูดน้ำหมักที่ต้องการจัดมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดขนาดเล็ก นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) อัตราการหมุน 5,000 รอบ/นาที ดูดสารละลายส่วนใสมา 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดขนาดเล็กมีฝาปิด นำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดและตัวทำละลายโดยแก๊สโครมาโตกราฟฟี

4.6.2 ตัวอย่างในการบวนการออสโมซิสย้อนกลับและการกลั่น

ใช้หลอดฉีดยาดูดสารละลายตัวอย่างจากท่อตามตำแหน่งที่เก็บ ใส่ในหลอดขนาดเล็กมีฝาปิด จำนวน 5 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดและตัวทำละลายโดยแก๊สโครมาโตรกราฟฟี

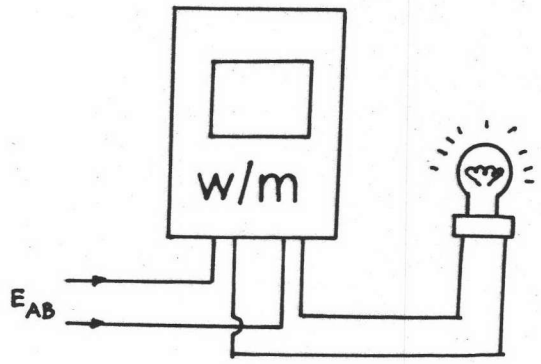
4.7 การปรับเทียบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้า

มาตรวัดพลังงานไฟฟ้า หรือวัตต์มิเตอร์ ที่ใช้ในการทดลองนี้ จำเป็นต้องมีการปรับเทียบ (Calibration) เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้มีความแม่นยำถูกต้อง โดยดำเนินการปรับเทียบดังต่อไปนี้

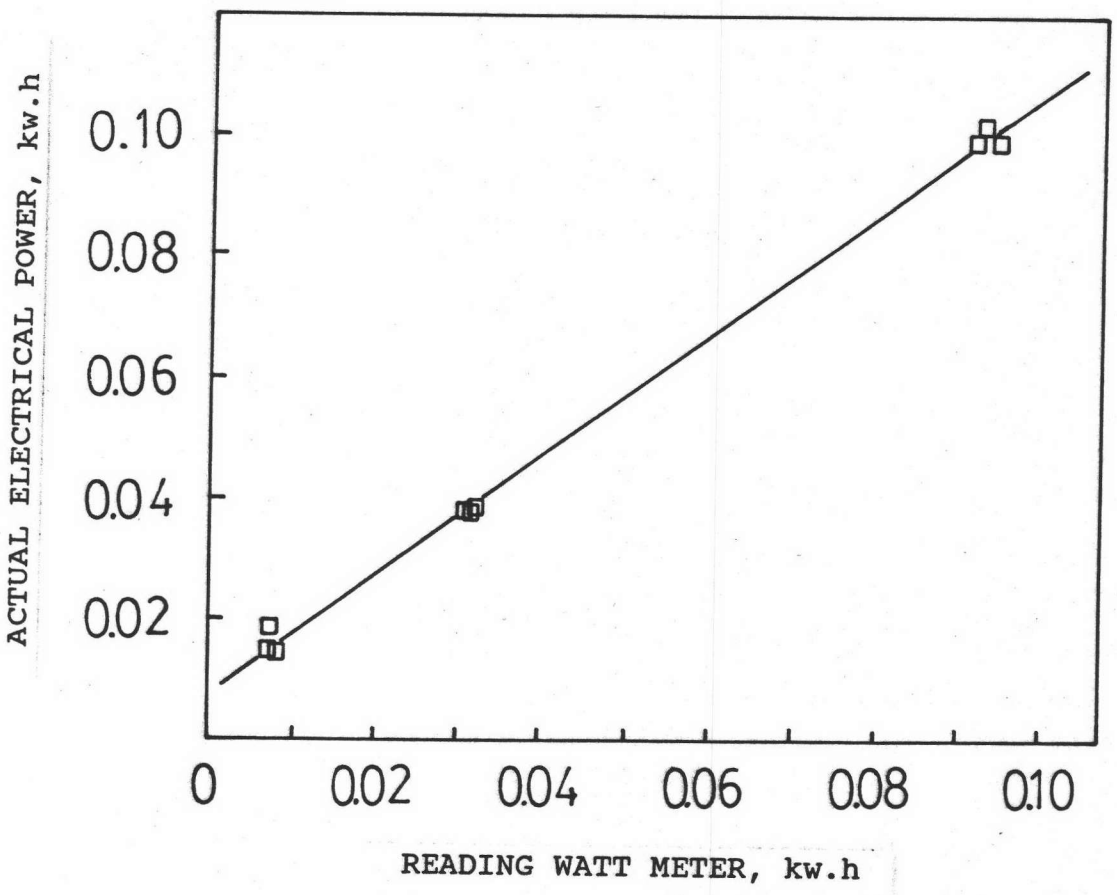
4.7.1 วัตต์มิเตอร์แบบ 1 เฟส

เป็นมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าของระบบการกลั่นลำดับส่วน ตามข้อ 4.3.3.7 การปรับเทียบทำได้โดยนำหลอดไฟฟ้าขนาด 15, 40, และ 100 วัตต์ ทำการต่อวงจรผ่านวัตต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 4.8 ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ใช้จริงในแต่ละหลอดไฟฟ้า แล้วจับเวลาการหมุนครบ 10 รอบ ของจานหมุน ของวัตต์มิเตอร์ ทำการทดลองกับหลอดไฟฟ้าขนาดละ 3 หลอด เพื่อเปรียบเทียบรอบการหมุนต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงที่ใช้จริง ซึ่งผลการปรับเทียบแสดงในรูปที่ 4.9

หมายเหตุ การคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรการปรับเทียบวัตต์มิเตอร์แบบ 1 เฟส

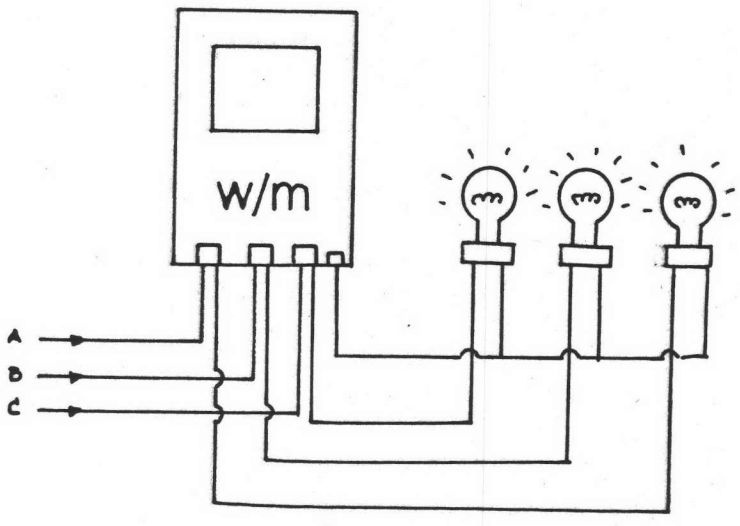


รูปที่ 4.9 แสดงค่าปรับเทียบ (Calibration Curve) ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง และพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์แบบ 1 เฟส

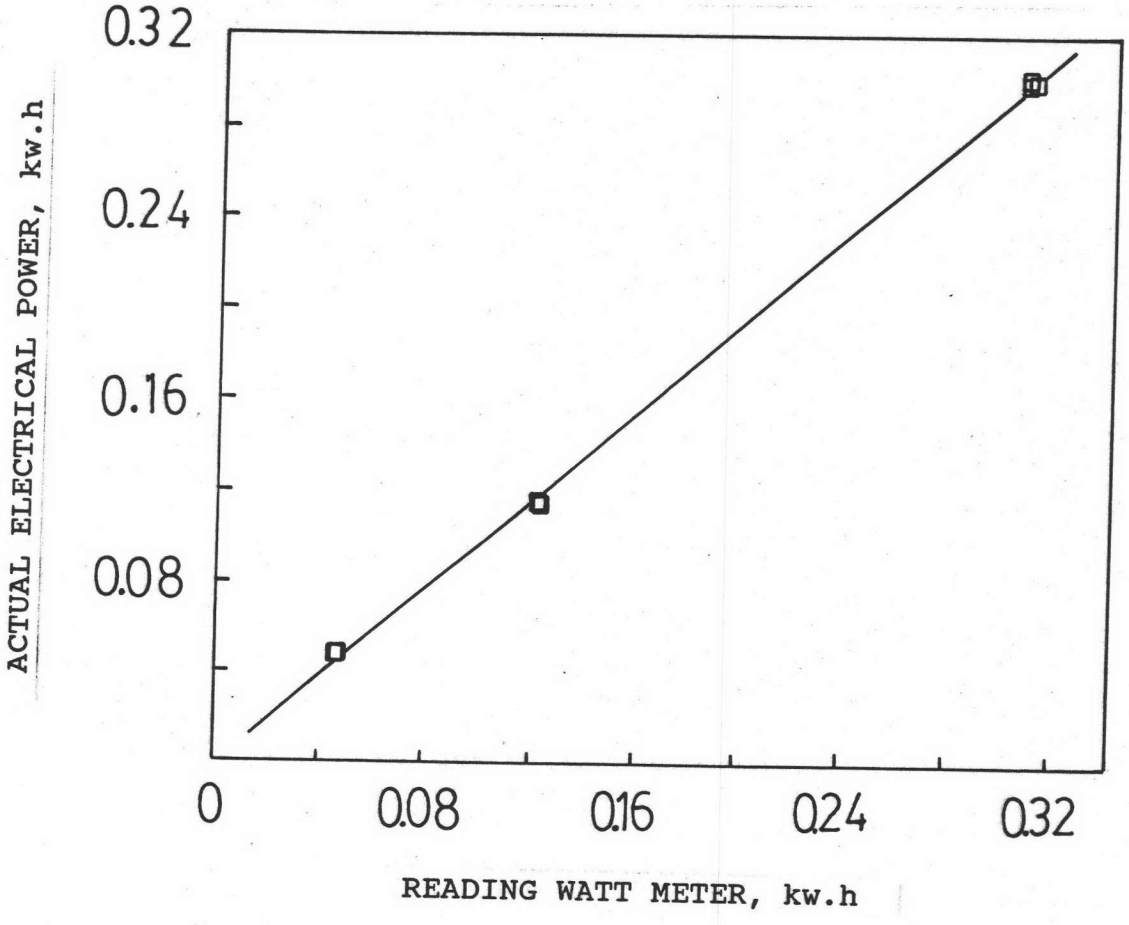
4.7.2 วัตต์มิเตอร์แบบ 3 เฟส

เป็นมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าของระบบออสโมซิสย้อนกลับ ตามข้อ 4.3.2.6 การปรับเทียบทำได้โดยนำหลอดไฟฟ้าจำนวน 3 ชุด โดยมีขนาด 15, 40,และ 100 วัตต์ ชุดละ 3 หลอด ทำการต่อวงจรแต่ละชุดผ่านวัตต์มิเตอร์แบบวาย (wye) ดังรูปที่ 4.10 ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ใช้จริงในแต่ละหลอดไฟฟ้า แล้วจับเวลาการหมุนครบ 10 รอบ ของจานหมุน ของวัตต์มิเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบรอบการหมุนต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงที่ใช้จริง ซึ่งผลการปรับเทียบแสดงในรูปที่ 4.11

หมายเหตุ การคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก



รูปที่ 4.10 แสดงวงจรการปรับเทียบวัตต์มิเตอร์แบบ 3 เฟส



รูปที่ 4.11 แสดงค่าปรับเทียบ (Calibration Curve) ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง และพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์แบบ 3 เฟส