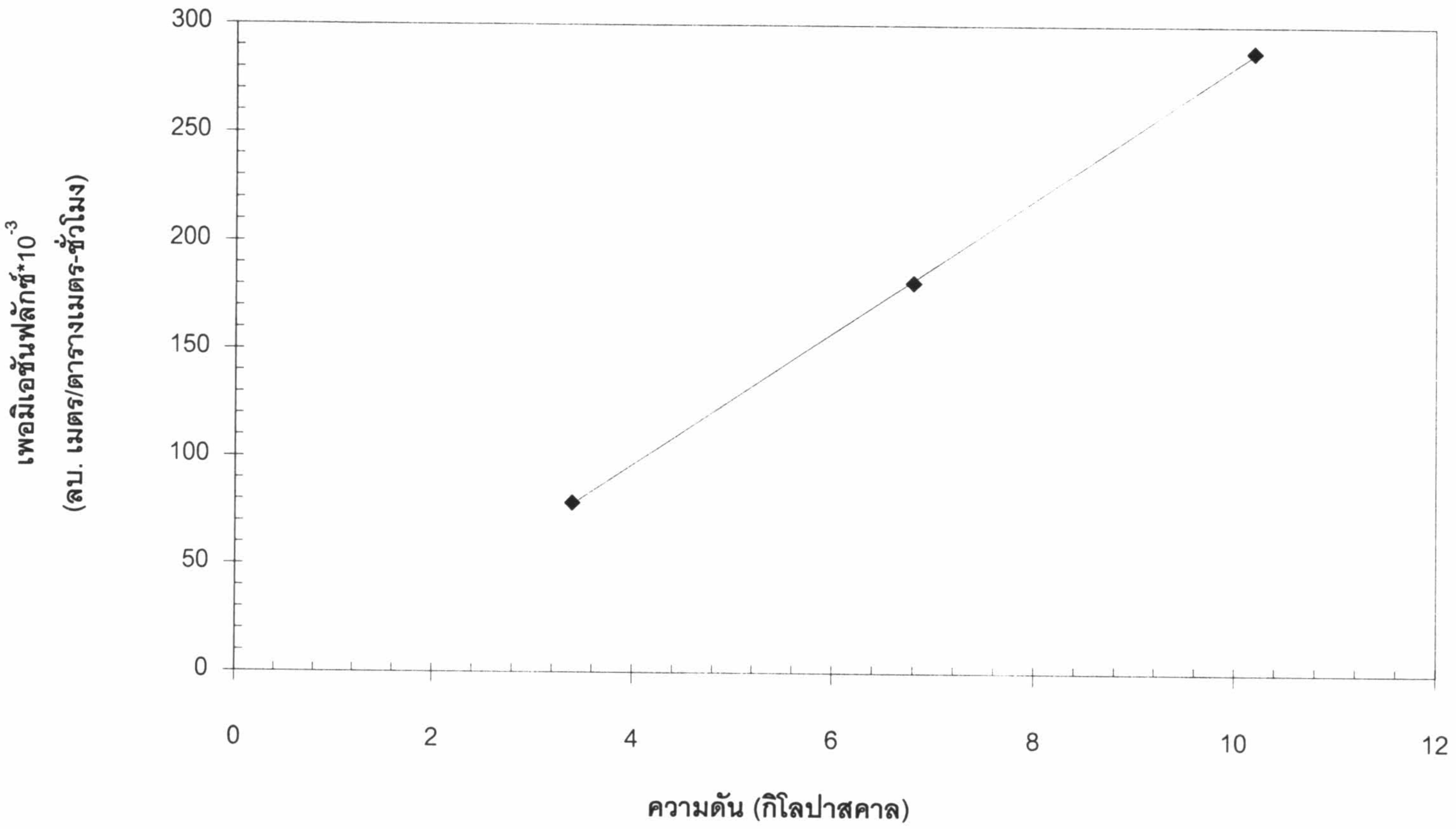
บทที่ 5

ผลการทดลอง วิเคราะห์ผล และสรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการแยก Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 ที่มีพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต โดยใช้เยื่อแผ่นเซรามิกในเครื่องกรองชนิดหมุนได้ ผลของตัวแปรที่มีต่อกระบวนการแยกสารด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ มีดังต่อไปนี้

5.1 การศึกษาผลของการกรองน้ำกำจัดแร่ธาตุ (demineral water) ที่มีต่อเยื่อแผ่นเซรามิก

จากการศึกษาการกรองน้ำกำจัดแร่ธาตุด้วยเยื่อแผ่นทำให้ทราบภาวะ และคุณสมบัติของเยื่อแผ่นที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยทำการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.013 ล.บ.เมตรต่อชั่วโมง ความดันขาเข้า 3.4, 6.8 และ 10.2 กิโลปาสคาล ที่ระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นด้านนอกกับผนังท่อด้านในเท่ากับ 7.25 มิลลิเมตร เก็บเพอมิเอชันฟลักซ์น้ำกำจัดแร่ธาตุทุก 1 นาที ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.1 พบว่า ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของน้ำต่อเวลาจะมีค่าคงที่ เนื่องจากในน้ำกำจัดแร่ธาตุปราศจากอนุภาคปนอยู่ จึงไม่เกิดการอุดตันของเยื่อแผ่น ซึ่งผลการทดลองนี้จะใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบความสะอาดของผิวเยื่อแผ่นในการทดลองครั้งต่อ ๆ ไป โดยที่ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของน้ำก่อนการทดลองทุกครั้งจะต้องได้เท่ากับค่าเพอมิเอชันฟลักซ์มาตรฐาน จึงจะสามารถทำการทดลองการกรองต่อไปได้



รูปที่ 5.1 แสดงค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของน้ำกำจัดแร่ธาตุกับความดัน

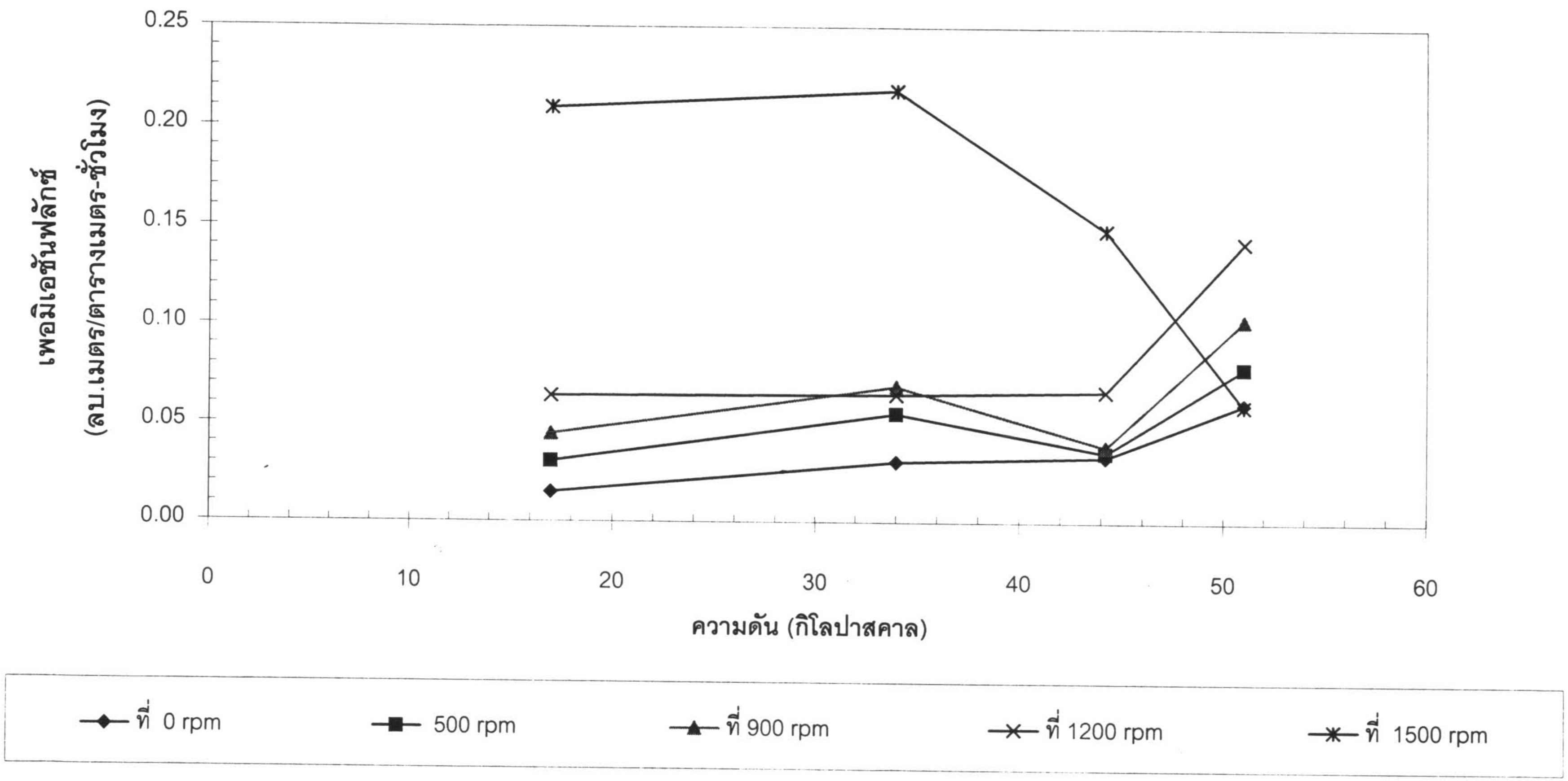
จากค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของน้ำที่ความดันต่าง ๆ (รูปที่ 5.1) จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผันตรง เนื่องจากเป็นการกรองสารละลายที่ไม่มีอนุภาคเจือปนอยู่ ความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นเนื่องจากการอุดตันของอนุภาคมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นความต้านทานการกรองซึ่งแสดงในรูปของสมการฟลักซ์ในสมการที่ 3.1 จึงเป็นค่าความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นเท่านั้นดังในสมการที่ 3.3 เนื่องจากค่าความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นมีค่าคงที่ จึงทำให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของน้ำมีค่าคงที่ ดูจากกราฟจะพบว่า ความชันของเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ $1/\mu R_m$ เมื่อ R_m คือ ค่าความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่น จากการคำนวณพบว่า เยื่อแผ่นเซรามิกที่ใช้ในการทดลองมีค่าความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นเท่ากับ $1.26*10^{11}$ เมตร$^{-1}$ สามารถนำค่าความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นนี้ไปใช้ในสมการที่ 3.1 เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานการกรองรวมของเยื่อแผ่นเนื่องจากการอุดตันของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น ในการกรองน้ำหมักได้ต่อไป

5.2 การศึกษาผลของความดันที่มีต่อการกรอง Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 ในน้ำหมักโดยใช้เยื่อแผ่นเซรามิกในเครื่องกรองชนิดหมุนได้

การศึกษาผลของความดันที่มีต่อการกรองน้ำหมัก โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดันขาเข้า 17, 34, 44.2 และ 51 กิโลปาสคาล อัตราการป้อนน้ำหมักเท่ากับ 0.013 ล.บ.เมตรต่อชั่วโมง ระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับท่อด้านในเท่ากับ 7.25 มิลลิเมตร ทำการวัดค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ที่เวลาต่าง ๆ กันทุก ๆ 2 นาที จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 คือ เมื่อทำการทดลองขณะเยื่อแผ่นอยู่กับที่ และเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นเป็น 500, 900, 1200 และ 1500 รอบต่อนาที เมื่อทำการทดลองที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ พบว่าในภาวะที่เยื่อแผ่นอยู่กับที่ เมื่อเพิ่มความดันในช่วง 17 - 44.2 กิโลปาสคาล ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเซลล์ในสารละลายมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อแผ่น จึงไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นออกไปได้ เซลล์จะถูกกักสะสมอยู่บริเวณผิวเยื่อแผ่น ทำให้เกิดการอุดตันของเยื่อแผ่นเป็นผลให้ความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นมีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตราการเพิ่มของเพอมิเอชันฟลักซ์มีค่าลดลง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 3.1 แต่เมื่อเพิ่มความดันขึ้นไปอีก (มากกว่า 44.2 กิโลปาสคาล) พบว่าค่าเพอมิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นผลเนื่องมาจากที่ความดันสูงนี้สามารถดันให้เพอมิเอทไหลผ่านตัวกรองที่มีชั้นเจลบาง ๆ ไปได้ นั่นคือ ความดันมีผลมากต่อการกรองที่ความเข้มข้นน้อย ๆ และเมื่อทำการทดลองขณะเยื่อแผ่นหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำ ๆ (500-900 รอบต่อนาที) การเพิ่มความดันขึ้นมีผลทำให้เพอมิเอชันฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก เนื่องมาจากว่าเมื่อเยื่อแผ่นหมุนจะเกิดการหมุนวนของสารละลายขึ้น

ทำให้เกิดชั้นเจลบริเวณผิวเยื่อแผ่นไม่มาก ความดันจึงมีผลต่อการกรองมาก ทำให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงที่ความดันเท่ากับ 44.2 กิโลปาสคาล พบว่าเพอมิเอชันฟลักซ์มีค่าลดลง แสดงว่า ความดันมีผลทำให้เกิดการอัดตัวของชั้นเจลขึ้นคลุมผิวเยื่อแผ่นมีลักษณะคล้ายเยื่อแผ่นอีกแผ่นต่ออนุกรมอยู่กับเยื่อแผ่นเดิม การหมุนวนของสารละลายไม่สามารถเฉือนชั้นเจลนี้ออกไปได้ ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์จึงลดลง แต่เมื่อเพิ่มความดันขึ้นไปอีก (51 กิโลปาสคาล) ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์กลับเพิ่มขึ้นที่ภาวะความเร็วรอบการหมุนคงที่ เป็นผลเนื่องมาจากว่า เมื่อเกิดชั้นเจลมากขึ้นมากขึ้นจนทำให้ชั้นเจลนี้ถูกเหวี่ยงกลับสู่สารละลายเร็วขึ้น ความดันจึงทำให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์สูงขึ้นได้อีก

การเพิ่มค่าเพอมิเอชันฟลักซ์สามารถกระทำได้โดยการเพิ่มความเร็วรอบในการหมุนของเยื่อแผ่น การเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นสามารถลดการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันที่บริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นได้เป็นอย่างดี ทำให้ความต้านทานการกรองรวมของเยื่อแผ่นมีค่าน้อยลง ดังนั้นเมื่อทำการเพิ่มความดันให้กับระบบ จึงทำให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นและมีค่าเพอมิเอชันฟลักซ์สูงกว่าเมื่อเทียบกับการกรองขณะเยื่อแผ่นอยู่กับที่ แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้นเป็นที่ 1200 รอบต่อนาที ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ค่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มความดัน เป็นผลเนื่องมาจากการที่ความดันมีค่าสมดุลกับแรงเหวี่ยง และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบเป็น 1500 รอบต่อนาที พฤติกรรมการกรองเหมือนที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ ที่ช่วงต้น ๆ นั่นคือค่าเพอมิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นแล้วลดลง โดยที่ความดัน 51 กิโลปาสคาลยังไม่สามารถทำให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความดันมีผลทำให้เกิดการอัดตัวของชั้นเจลจนแน่นมาก ค่าฟลักซ์ที่ได้จึงลดลง

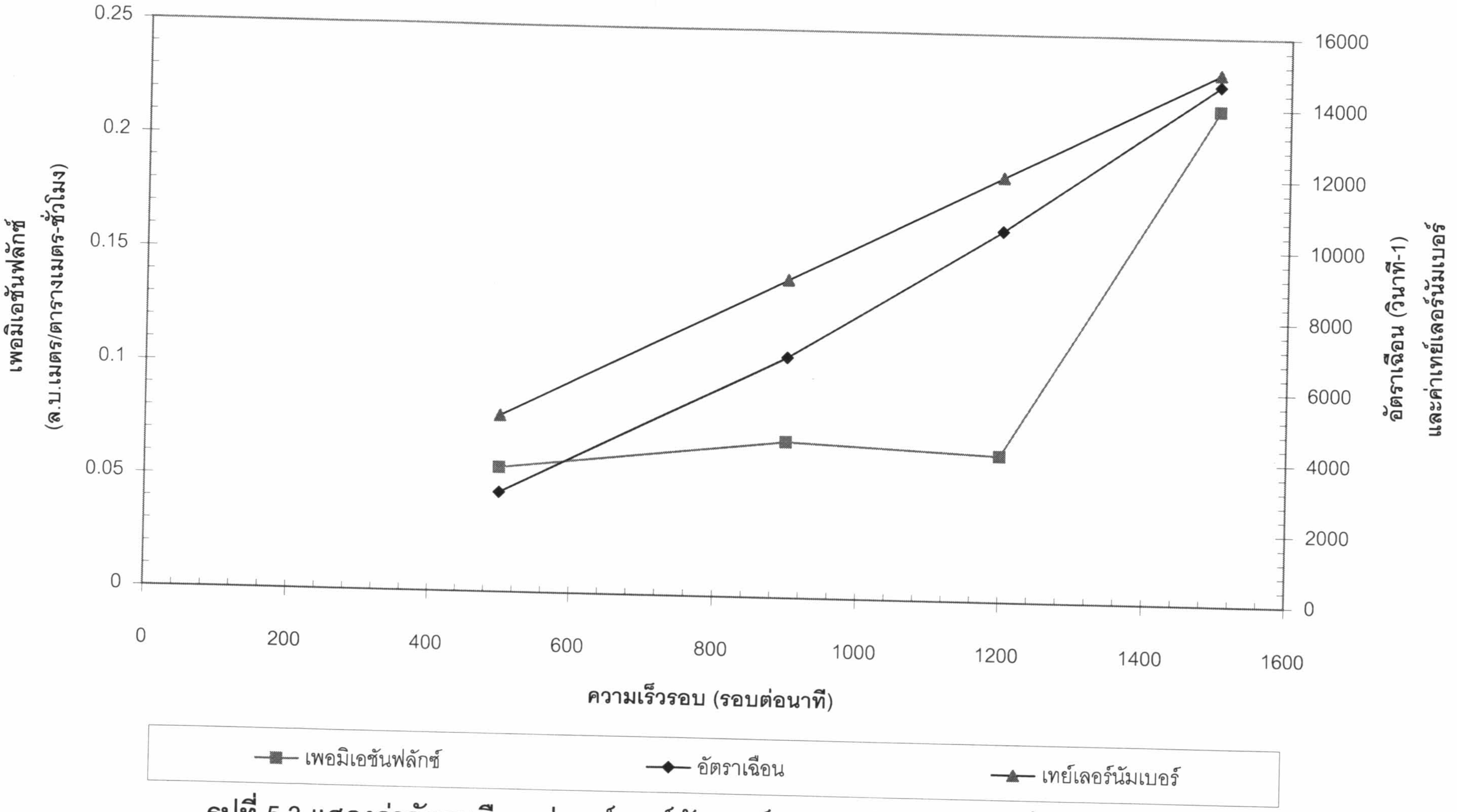


รูปที่ 5.2 แสดงค่าเพอมิเอชันฟลักซ์กับความดัน ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

5.3 การศึกษาผลของความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นต่อการกรอง Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 ในน้ำหมัก โดยใช้เยื่อแผ่นเซรามิกในเครื่องกรองชนิดหมุนได้

จากการศึกษาผลของความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นต่อค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของน้ำหมัก โดยทำการทดลองขณะเยื่อแผ่นอยู่กับที่ และทำการเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 500, 900, 1200 และ 1500 รอบต่อนาที ความดันขาเข้า 17, 34, 44.2, และ 51 กิโลปาสคาล โดยใช้อัตราการป้อนของน้ำหมักเท่ากับ 0.013 ล.บ.เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมิเอชันฟลักซ์กับค่าความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่น ดังรูปที่ 5.2 พบว่าการเพิ่มค่าความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่น มีแนวโน้มทำให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการหมุนของเยื่อแผ่นทำให้เกิดการหมุนวนของสารละลายที่เรียกว่า การหมุนวนของเทย์เลอร์ ทำให้เกิดแรงเฉือนตลอดผิวเยื่อแผ่น กวาดอนุภาคที่เกาะบริเวณผิวเยื่อแผ่นให้หลุดออกกลับเข้าไปในสารละลายอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการสร้างเจลบนผิวเยื่อแผ่นได้เป็นอย่างดี ทำให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ที่ได้มีค่าสูง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นกับค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ (Taylor number) และอัตราเฉือน (Shear rate) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวเยื่อแผ่น แสดงได้ดังรูปที่ 5.3 พบว่าการหมุนของเยื่อแผ่นทำให้เกิดการหมุนวนของเทย์เลอร์ การเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นมีผลทำให้ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ และแรงเฉือนที่เกิดบริเวณผิวเยื่อแผ่นสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นกับการหมุนวนของเทย์เลอร์แสดงในรูปของค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 3.14 และ 3.18 และจากค่าแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นทำให้สามารถอธิบายการเพิ่มขึ้นของค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ได้ จากรูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์

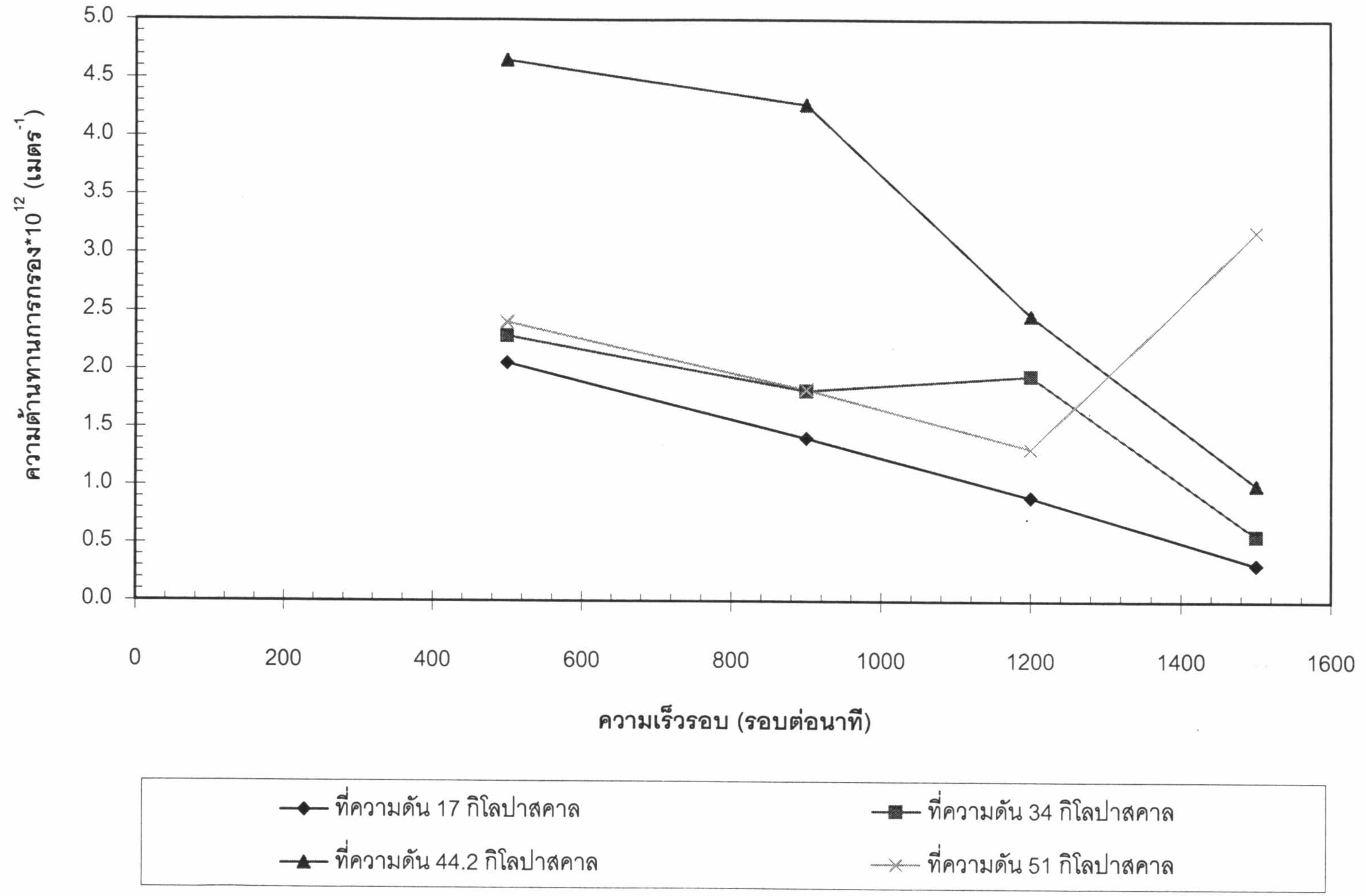


รูปที่ 5.3 แสดงค่าอัตราเฉือน ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์และเพอมิเอชันฟลักซ์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล

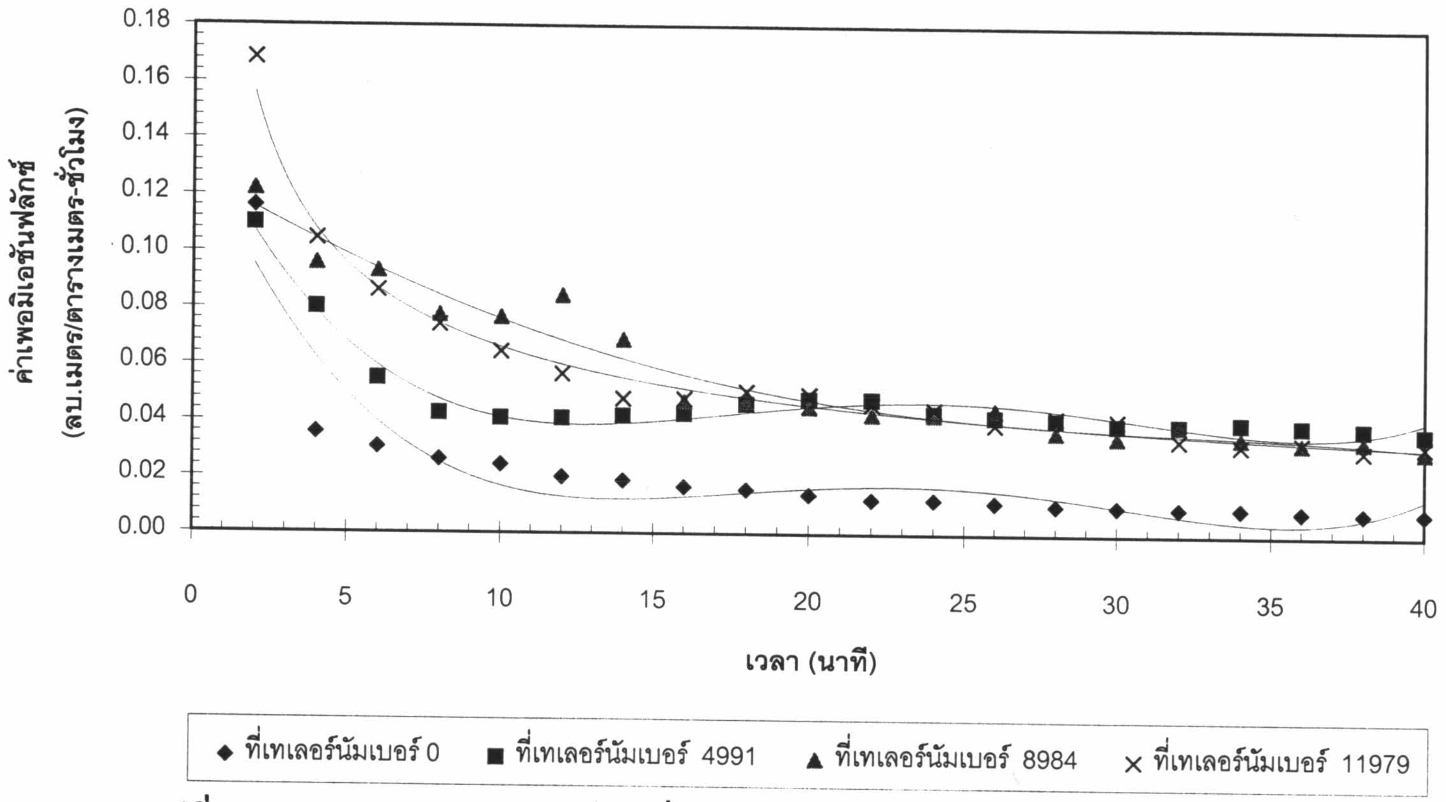
ระหว่างค่าความต้านทานการกรองรวมของเยื่อแผ่นต่อความเร็วรอบ พบว่าการเพิ่มความเร็วรอบจะทำให้ค่าความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นมีค่าลดลง อธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่น จะทำให้แรงเฉือนบริเวณผิวเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวกวาดอนุภาคบริเวณผิวเยื่อแผ่นออก ทำให้ค่าความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นเนื่องจากการอุดตันของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่นมีค่าลดลง ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ที่ได้จึงมีค่าสูงขึ้น แต่ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที ความดัน 51 กิโลปาสคาล ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์จะลดลง เนื่องมาจากที่ความดันมากทำให้เกิดการอัดตัวของชั้นเจล จนแน่น ทำให้การกรองไม่ดีเพอมิเอชันฟลักซ์จึงลดลง

ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้สามารถทำนายลักษณะการไหลของสารละลายในช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในได้ ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักซ์กับเวลาที่ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ต่าง ๆ ในรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อหมุนเยื่อแผ่นเร็วขึ้น นั่นคือ ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์มากขึ้น ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์จะมีค่ามากขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากการที่เยื่อแผ่นหมุนทำให้ค่าเทย์เลอร์สูงขึ้น แรงเฉือนจึงมากขึ้น โดยที่ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์สูงกว่า 800 การไหลของสารละลายเริ่มเปลี่ยนจากช่วงเปลี่ยนแปลงการไหล (transition) เข้าสู่ช่วงการหมุนวนแบบปั่นป่วน (turbulent vortex) ซึ่งเป็นไปตามช่วงการเปลี่ยนแปลงการไหลที่ทำการทดลองโดย KATAOKA (21) ทำให้การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายมีค่าสูงขึ้น ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์จึงมีค่าสูงตามไปด้วย

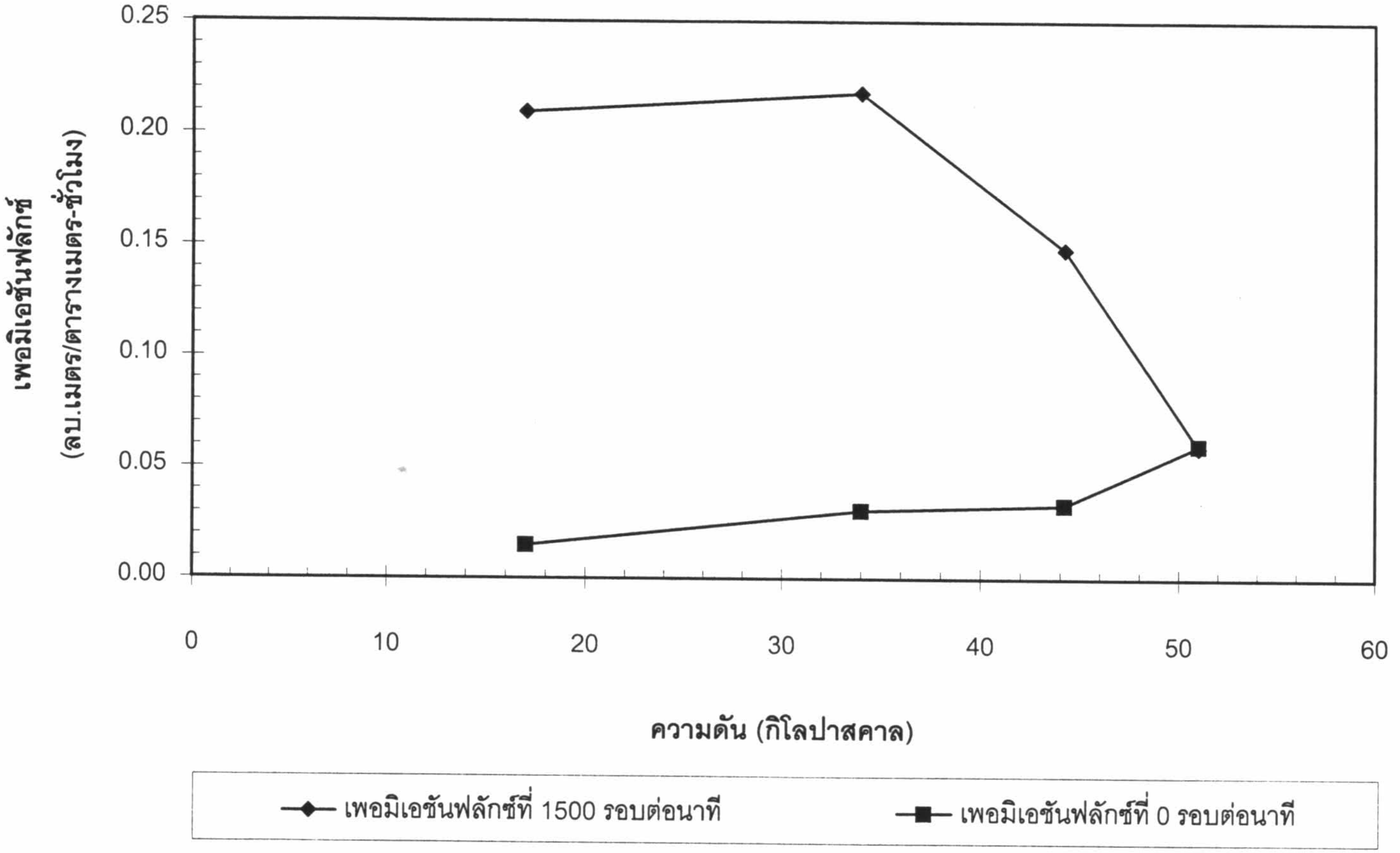
จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบผลของความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นต่อการกรองโดยการเปรียบเทียบค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของการกรองขณะเยื่อแผ่นอยู่กับที่ กับ การกรองขณะเยื่อแผ่นหมุนที่ 1500 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 5.6 โดยทำการทดลองที่ความดันขาเข้า 17, 34, 44.2 และ 51 กิโลปาสคาล จากกราฟจะเห็นได้ว่า การกรองขณะเยื่อแผ่นหมุนจะ



รูปที่ 5.4 แสดงค่าความต้านทานการกรองกับความเร็วรอบ ที่ความดันต่างๆ กัน



รูปที่ 5.5 แสดงค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ที่ค่าเทเลอร์ต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร และความดัน 34 กิโลปาสคาล



รูปที่ 5.6 แสดงค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ที่ความดันต่าง ๆ เมื่อใช้ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร

ให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ที่สูงกว่าการกรองขณะเยื่อแผ่นอยู่กับที่มาก จากกราฟที่ภาวะคงที่จะเห็นว่าค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของการกรองขณะเยื่อแผ่นหมุนที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที จะมีค่าสูงกว่าค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของการกรองขณะเยื่อแผ่นอยู่กับที่

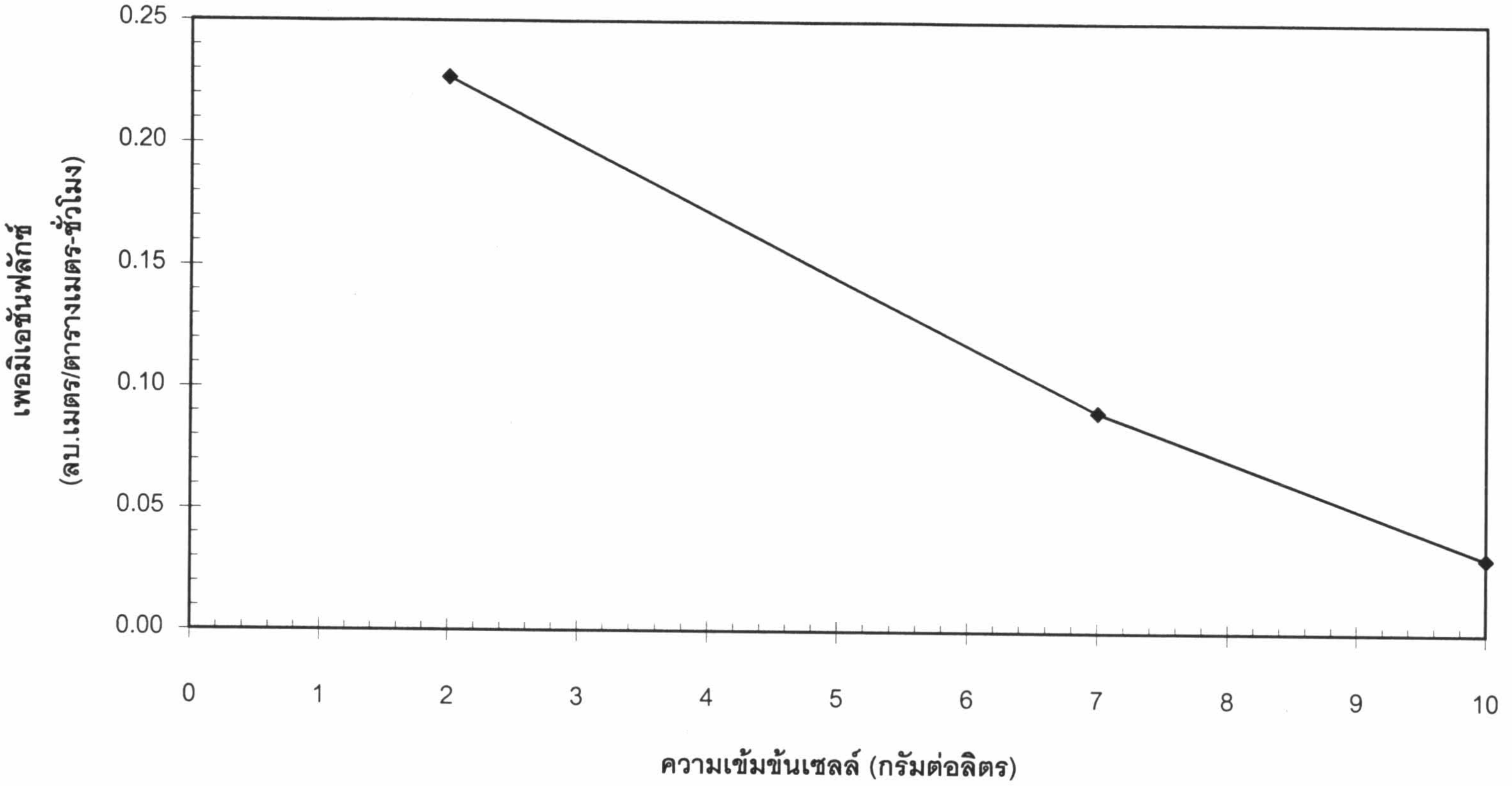
5.4 <u>การศึกษาผลของความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อนต่อการกรอง Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 ในน้ำหมัก โดยใช้เยื่อแผ่นเซรามิกในเครื่องกรองชนิดหมุนได้</u>

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 5.2 และ 5.3 ข้างต้น นำภาวะที่การกรองดี (ภาวะที่มีค่าเพอมิเอชันฟลักซ์มาก) มาศึกษาผลของความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อนต่อค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของน้ำหมักมาทำการทดลองเรื่องการกรองที่ภาวะต่าง ๆ ตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงภาวะการกรองที่อัตราการป้อน 0.013 ล.บ.เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	ความดัน (กิโลปาสคาล)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)
2	17 และ 34	1200 และ 1500
7	17 และ 34	1200 และ 1500
10	17 และ 34	1200 และ 1500

จากการศึกษาตามตารางข้างต้น พบว่าค่าเพอมิเอชันฟลักซ์จะแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อน (รูปที่ 5.7) เมื่อสารป้อนมีความเข้มข้นของเซลล์สูงจะทำให้ค่าเพอมิเอชัน



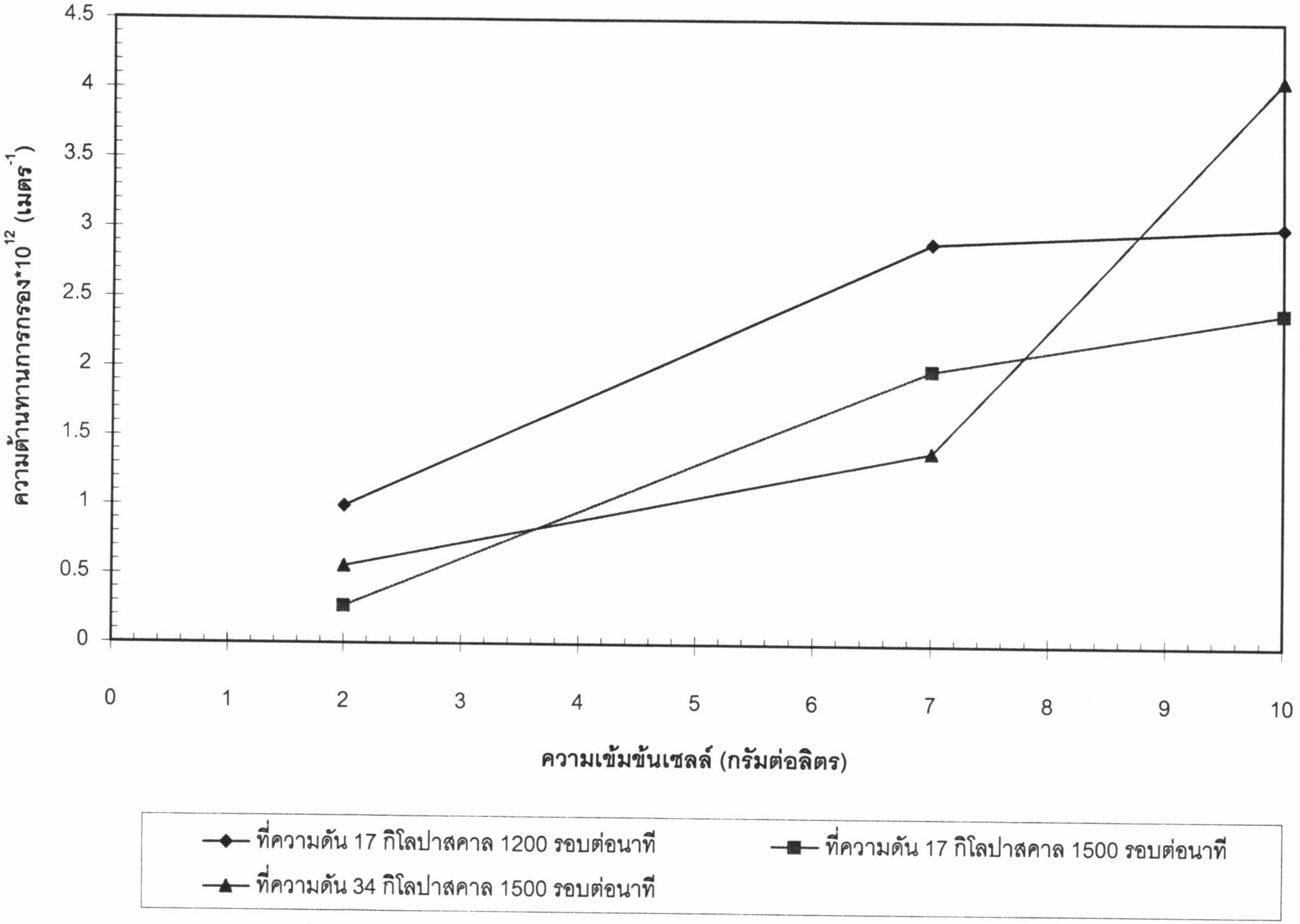
รูปที่ 5.7 แสดงค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
เมื่อใช้ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที ความดัน 34 กิโลปาสคาล

ฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 3.12 เนื่องจากความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อนมีผลต่อการถ่ายเทมวล, การเกิดโพลาไรเซชัน และการอุดตันของเยื่อแผ่น ดังแสดงในรูปที่ 5.8 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นกับความเข้มข้นของเซลล์ในสายป้อนที่ความดันต่างๆ จะเห็นได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อนจะทำให้ค่าความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นเนื่องจากการอุดตันของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่นมีค่าสูงขึ้น ทำให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์มีค่าลดลง

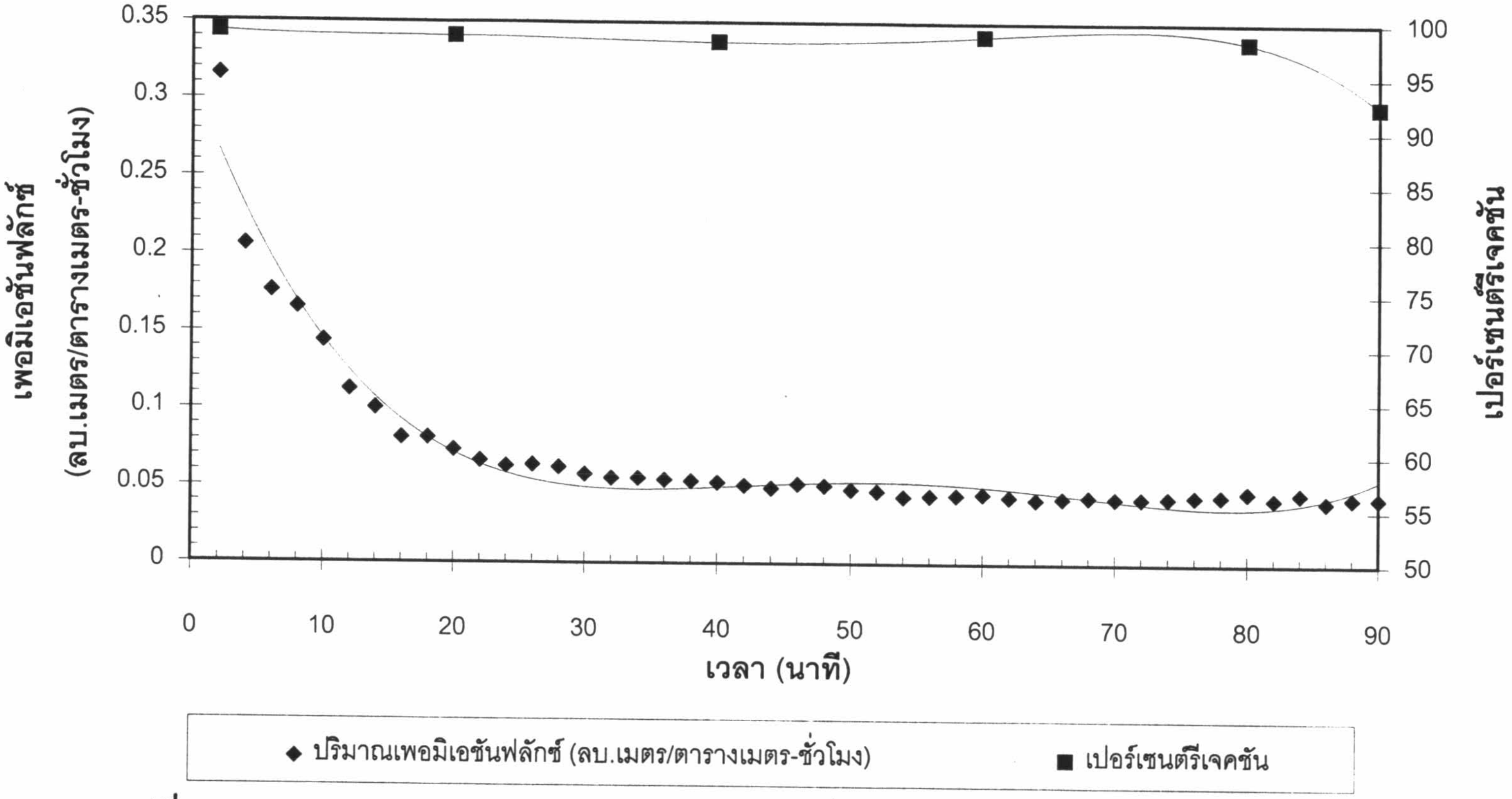
เมื่อทำการทดลองโดยการทำการไหลเวียนเซลล์กลับ ดังแสดงในรูปที่ 5.9 พบว่า เมื่อเริ่มทำการทดลองที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที ความดัน 34 กิโลปาสคาล ทำการทดลองนาน 90 นาที พบว่า สามารถเพิ่มความเข้มข้นเซลล์ได้เป็น 7 กรัมต่อลิตร นั่นคือ เราสามารถทำให้เซลล์เข้มข้นขึ้นได้ประมาณ 3 เท่า

5.5 <u>การศึกษาเปอร์เซนต์การเก็บกักของการกรองเชื้อ Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 ด้วยการกรองชนิดหมุนได้</u>

จากการทดลองทำการเก็บตัวอย่างสายเพอมิเอททุก ๆ 4 นาที นำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสายเพอมิเอท หาเปอร์เซนต์การเก็บกักได้จากสมการที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซนต์การเก็บกักต่อเวลา โดยทำการทดลองที่ 2 กรัมต่อลิตร ความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นเท่ากับ 1500 รอบต่อนาที ความดันเท่ากับ 34 กิโลปาสคาล และมีการเวียนเซลล์กลับ จากรูปที่ 5.9 พบว่าค่าเปอร์เซนต์การเก็บกักเพิ่มขึ้นตามเวลาในช่วงแรก และเมื่อเวลาผ่านไปค่าเปอร์เซนต์การเก็บกักลดลงเล็กน้อยจนเกือบคงที่ เนื่องจากในช่วงแรกยังไม่เกิดการอุด



รูปที่ 5.8 แสดงค่าความต้านทานการกรองที่ความเข้มข้นเซลล์ต่าง ๆ



รูปที่ 5.9 แสดงค่าเพอมิเอชันฟลักซ์และเปอร์เซนต์รีเจคชันต่อเวลา ที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที และมีการเวียนเซลล์กลับ

ตันอนุภาคขนาดเล็กสามารถผ่านเยื่อแผ่นไปได้บางส่วน แต่เมื่อเวลาผ่านไปความต้านทานการกรองจะมีค่ามากขึ้น และชั้นเจลหนาพอ จะถูกแรงเหวี่ยงให้กลับสู่สารละลายอีกครั้ง ทำให้ชั้นเจลบนผิวเยื่อแผ่นบางลงอีก ค่าเปอร์เซนต์การเก็บกักจึงลดลง

5.6 <u>เปรียบเทียบผลทดลองการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้กับการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นชนิดเยื่อแผ่นอยู่กับที่</u>

จากผลการทดลองการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ นำไปเปรียบเทียบกับผลทดลองการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นทั่วไป ในงานวิจัยเรื่องการผลิตพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซี-บิวทิเรต โดย <u>Alcaligenes</u> <u>eutrophus</u> ATCC 17697 ในถังปฏิกรณ์ชีวมวลร่วมกับไมโครฟิลเตรชัน (30) ภาวะการกรองโดยใช้เครื่องกรองที่แตกต่างกัน 2 ชนิดแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงภาวะการกรองโดยวิธีเครื่องกรองชนิดหมุนได้กับการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น

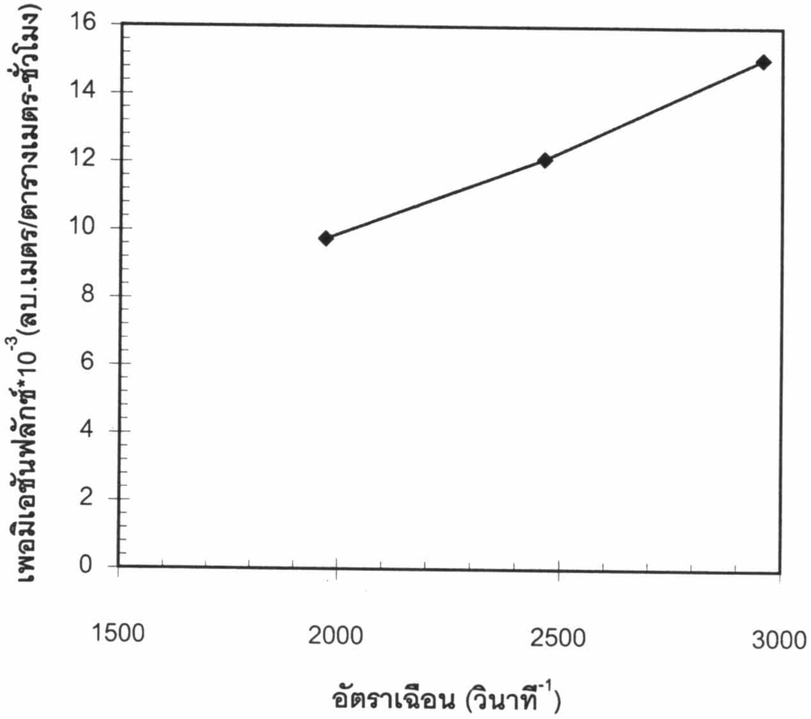
ภาวะการกรอง	การกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น (ก)	การกรองแบบไหลขนานโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ (ข)
ชนิดของเยื่อแผ่นและโมดุล	เซรามิกแบบหลายท่อ	เซรามิกแบบท่อเดี่ยว
ขนาดรูพรุนของเยื่อแผ่น	0.2 ไมโครเมตร	0.2 ไมโครเมตร
พื้นที่การกรอง	2030 ตารางเซนติเมตร	343.8 ตารางเซนติเมตร
อัตราการป้อนสาร	0.4, 0.5, 0.6 ล.บ.เมตร/ชม.	0.013 ล.บ.เมตร/ชม.
ความเร็วรอบในการหมุนของเยื่อแผ่น	เยื่อแผ่นอยู่กับที่	ความเร็วรอบของการหมุนของเยื่อแผ่น 500, 900, 1200, 1500 รอบต่อนาที
ความดันขาเข้า	60 กิโลปาสคาล	34 กิโลปาสคาล
ความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อน	2.57 กรัมต่อลิตร	2 กรัมต่อลิตร

จากตารางข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบภาวะการกรองทั้งสองภาวะแล้ว พบว่าที่ภาวะการกรองทั้งสองใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของเซลล์ในสารป้อนใกล้เคียงกัน อาจกล่าวได้ว่าสารละลายมีคุณสมบัติไม่ต่างกันมากนัก ส่วนตัวกรองนั้นเป็นตัวกรองที่ทำจากเซรามิกและมีขนาดของรูพรุนเท่ากัน ผลทดลองเปรียบเทียบการกรองโดยใช้เครื่องกรองทั้ง 2 ชนิดแสดงในรูปของการเปรียบเทียบระหว่างค่าเพอมิเอชันฟลักซ์กับอัตราการเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 5.10 พบว่าการกรองเซลล์ที่

ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ ดีกว่าการกรองด้วยเครื่องกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น เนื่องจากค่าอัตราการเฉือนของเครื่องกรองชนิดหมุนได้ (มีค่าประมาณ 3,000 ถึง 15,000 วินาที $^{-1}$) มีค่ามากกว่าอัตราการเฉือนของเครื่องกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น (มีค่าประมาณ 1,900 ถึง 2,900 วินาที $^{-1}$) ประมาณ 2 ถึง 7 เท่า และค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของเครื่องกรองชนิดหมุนได้ (มีค่าประมาณ 0.05 ถึง 0.22 ล.บ.เมตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง) มีค่ามากกว่าค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ของเครื่องกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น (มีค่าประมาณ 0.009 ถึง 0.015 ล.บ.เมตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง) ประมาณ 5 ถึง 15 เท่า จากตารางที่ 5.3 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น และการใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ พบว่าค่าเพอมิเอชันฟลักซ์ต่อการใช้พลังงานของเครื่องกรองชนิดหมุนได้มีค่ามากกว่าของเครื่องกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น ประมาณ 10 ถึง 26 เท่า เนื่องจากการที่เยื่อแผ่นสามารถหมุนได้ทำให้อัตราการเฉือนมาก ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าเพอมิเอชันฟลักซ์มากด้วย ดังนั้นเราจึงมีแนวความคิดที่จะนำเครื่องกรองชนิดหมุนได้นี้มาทดแทนการใช้เครื่องกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น (รูปที่ 5.11) ต่อไปได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.12

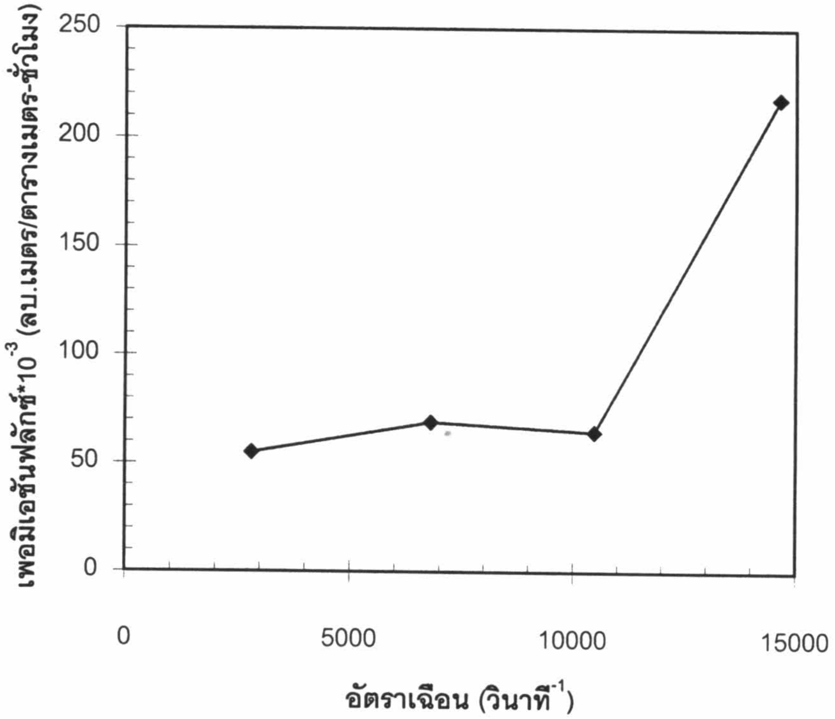
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น และการใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้

สิ่งที่นำมาเปรียบเทียบกัน	การกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น (ก)	การกรองแบบไหลขนานโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ (ข)
อัตราการเฉือน	ประมาณ 1,900 ถึง 2,900 วินาที $^{-1}$	ประมาณ 3,000 ถึง 15,000 วินาที $^{-1}$
เพอมิเอชันฟลักซ์	ประมาณ 0.009 ถึง 0.015 ล.บ. เมตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง	ประมาณ 0.05 ถึง 0.22 ล.บ.เมตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง
การใช้พลังงาน	750 วัตต์	416.5 วัตต์
เพอมิเอชันฟลักซ์ต่อการใช้พลังงาน	ประมาณ $1.2*10^{-5}$ ถึง $2*10^{-5}$ ล.บ. เมตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง-วัตต์	ประมาณ $12*10^{-5}$ ถึง $52.8*10^{-5}$ ล.บ.เมตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง-วัตต์



ก. ที่ภาวะการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น

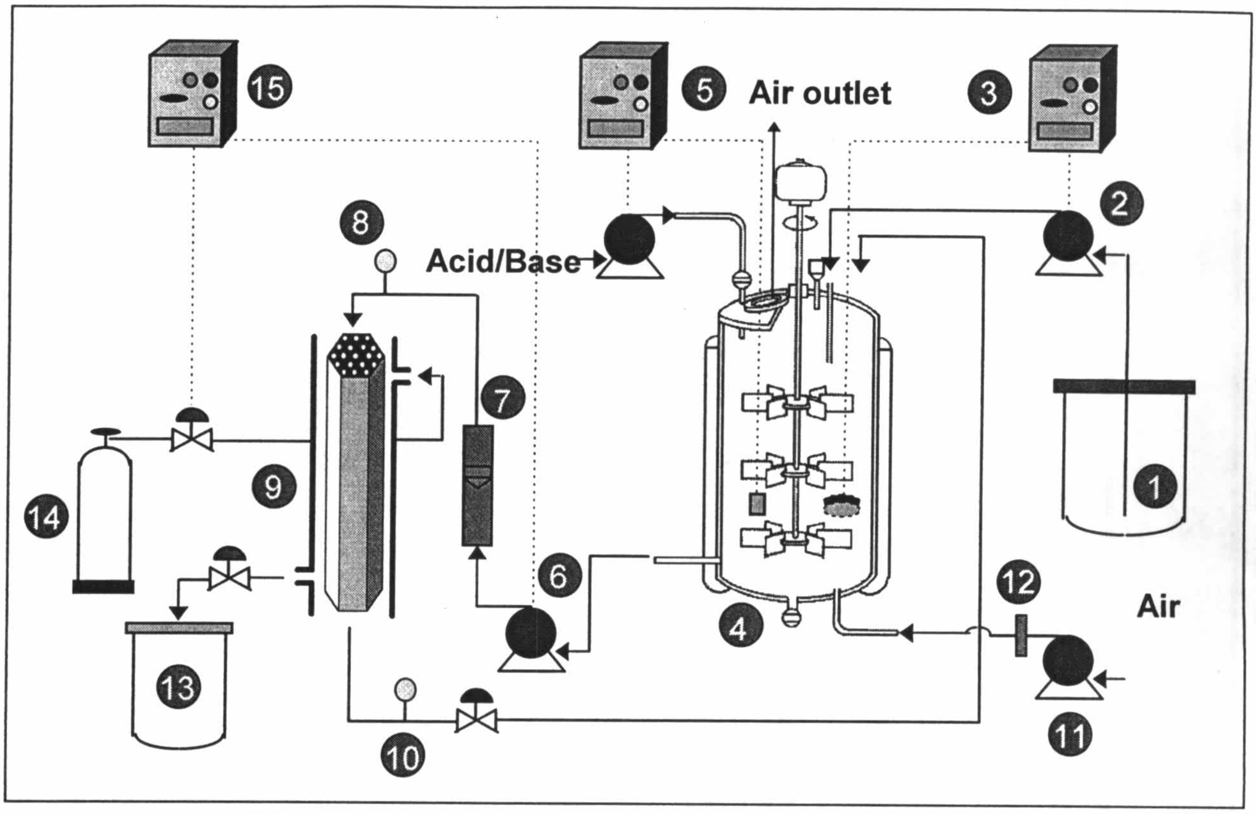
(ตามตารางที่ 5.2)



ข. ที่ภาวะการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น โดยใช้

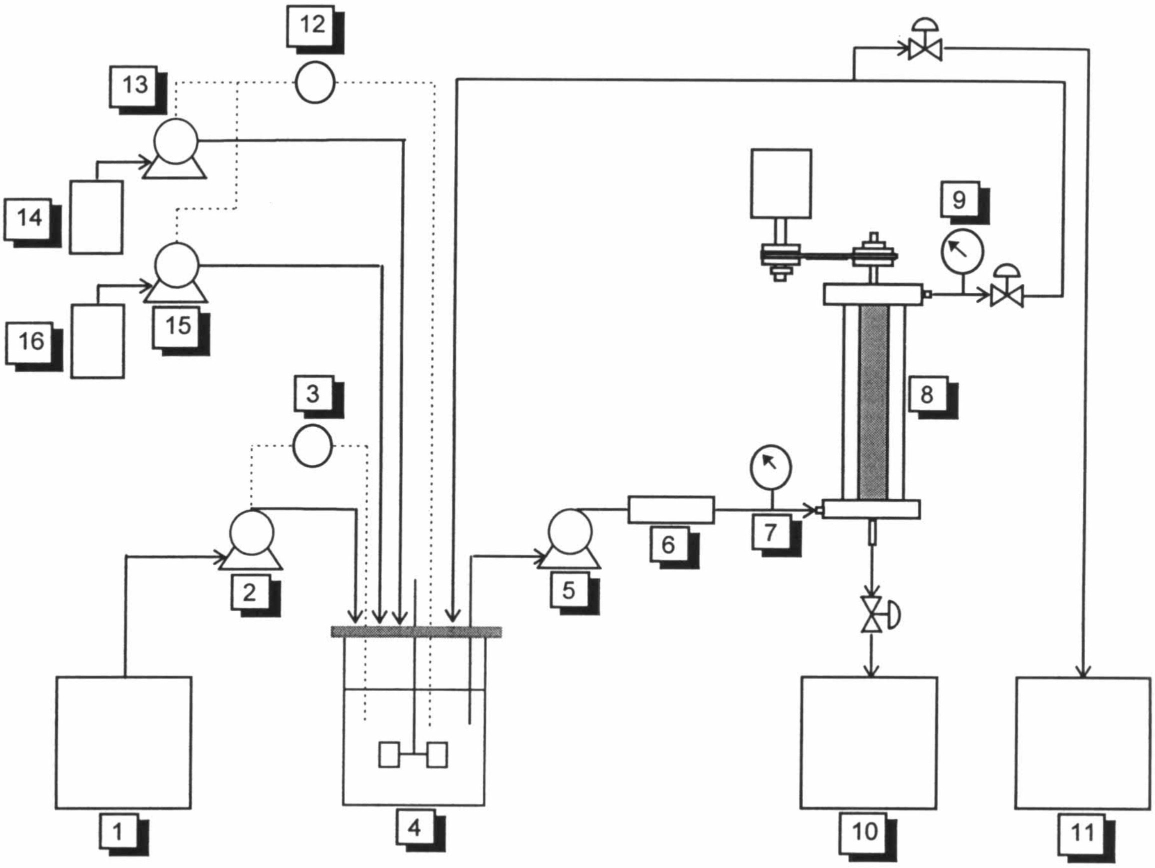
เครื่องกรองชนิดหมุนได้ (ตามตารางที่ 5.2)

รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมิเอชันฟลักซ์กับค่าอัตราการเฉือน



รูปที่ 5.11 แสดงแผนภาพของการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นที่มีกระบวนการหมักจริง

1. ถังเก็บสารป้อน	2. ปั๊มสารอาหาร
3. ตัวควบคุมระดับ	4. ถังหมัก
5. ตัวควบคุมกรด-ด่าง	6. ปั๊มสายเวียนกลับ
7. ตัววัดปริมาณ	8. เกจวัดความดันขาเข้า
9. เยื่อแผ่นชนิดไหลขนาน	10. เกจวัดความดันขาออก
11.ถังเก็บอากาศ	12. เครื่องกรองอากาศ
13. ถังเก็บเพอมิเอท	14. ถังเก็บไนโตรเจน



รูปที่ 5.12 แสดงการนำเครื่องกรองชนิดหมุนได้มาประยุกต์ใช้แทนเครื่องกรองชนิดไหลขนาน

1.ถังสารอาหาร 2.ปั๊ม 3.ระบบควบคุมระดับ 4.ถังหมัก 5. ปั๊ม 6.ท่อหน่วงการไหลของสารอาหาร 7.มาตรวัดความดันขาเข้า 8.เครื่องกรองชนิดหมุนได้ 9. มาตรวัดความดันขาออก 10.ถังเก็บเพอมิเอท 11.ถังเก็บเซลล์ที่ดึงออก 12 .ระบบควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง 13. ปั๊ม 14..ด่าง 15. ปั๊ม 16. กรด