

การกรองแบบไมโครฟิลเตรชันโดยใช้เยื่อแผ่นเซรามิกชนิดหมุนได้



นายวุฒิพงศ์ บุญนายวา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-903-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T16843861

**MICROFILTRATION USING A ROTATING CERAMIC MEMBRANE**

**Mr. Wuttipong Boonnaiva**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements**

**for the Degree of Master of Engineering**

**Department of Chemical Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**1996**

**ISBN 974-633-903-6**

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่นเซรามิกชนิดหมุนได้  
โดย                              นาย วุฒิพงศ์ บุญนายวา  
ภาควิชา                              วิศวกรรมเคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสูรธรรม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



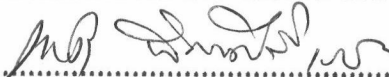
.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)



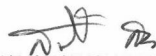
.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)



.....กรรมการ

(ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช)



.....กรรมการ

(ดร. สมประสงค์ ศรีชัย)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

วุฒิพงศ์ บุญนายวา : การกรองแบบไมโครฟิลเตรชันโดยใช้เยื่อแผ่นเซรามิกชนิดหมุนได้  
(MICROFILTRATION USING A ROTATING CERAMIC MEMBRANE)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ. ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์, 146 หน้า,  
ISBN 974-633-903-6



วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารป้อน(6.5, 15 และ 20 กรัมต่อลิตร) ความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่นเซรามิก(0, 500, 1000, 1500 และ 2000 รอบต่อนาที) ความดันในการกรอง(0.136, 0.272, 0.408, 0.544 และ 0.680 บาร์ หรือ 2, 4, 6, 8 และ 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน(2.65, 4.25 และ 5.6 มิลลิเมตร) ทำการกรองโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้เพื่อแยกเซลล์จุลินทรีย์ *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824 ออกจากน้ำหมัก

จากการศึกษาพบว่า การกรองโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นได้ การแยกเซลล์ออกจากน้ำหมักจะมีค่าฟลักซ์และค่าการเก็บกักสูงกว่าการกรองแบบไหลขนานชนิดเยื่อแผ่นอยู่กับที่ เครื่องกรองชนิดหมุนได้นี้จะเกิดปรากฏการณ์การไหลที่เรียกว่า การหมุนวนของเทย์เลอร์ ซึ่งเกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน และปรากฏการณ์นี้จะช่วยลดการเกิดโพลาไรเซชัน นอกจากนี้ยังสามารถทำการกรองได้ที่มีความดันต่ำ เนื่องจากเกิดแรงเฉือนตลอดผิวเยื่อแผ่น การทดลองแสดงถึงประสิทธิภาพในการแยกเซลล์จุลินทรีย์ออกจากน้ำหมักที่ดีกว่า 3-5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นอยู่กับที่

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา ..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต ..... วุฒิพงศ์ บุญนายวา  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



## C617052: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT

KEY WORD: ROTATING CERAMIC FILTER/ROTATING MICROFILTRATION/BIOMASS SEPARATION

WUTTIPONG BOONNAIVA : MICROFILTRATION USING A ROTATING CERAMIC MEMBRANE. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. CHIRAKARN MUANGNAPOH, Dr. Ing. 146 pp. ISBN 974-633-903-6

In this work, the effect of feed concentrations (6.5, 15, and 20 g/l), the rotational speeds of the ceramic membrane (0, 500, 1000, 1500, and 2000 rpm), filtration pressures (0.136, 0.272, 0.408, 0.544, and 0.680 bar or 2, 4, 6, 8, and 10 psi), and distances of annular gap (2.65, 4.25, and 5.60 mm) to filtration were studied using rotating filter for separating Clostridium acetobutylicum ATCC 824 from fermentation broth.

The studies presented in this paper showed that rotating filter could improve the performance in cross-flow microfiltration. For cell separation from fermentation broth the values of flux and rejection, respectively were significantly higher than with non-rotating filter. In this filter, flow phenomena which was called "Taylor vortices" was developed in the annular gap of the filter apparatus and could enhance the reduction of membrane polarization. Furthermore, low pressure operation was suggested for this system because of shear generation over the membrane surface. This experiment, also showed about 3-5 times better performance for cell separation from fermentation broth by comparing with non-rotating filter.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา.....2538

ลายมือชื่อนิสิต..... *Wuttipong Boonnaiva*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Chirakarn Muangnapoh*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิรการต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช และ ดร.สมประสงค์ ศรีชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความสนใจและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

เนื่องจากทุนวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของ บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี จึงขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งคอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดจนสำเร็จการศึกษา



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
สัญลักษณ์.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	3
2. ตรวจสอบเอกสาร.....	4
การกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นในกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ.....	4
การกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	10
3. ทฤษฎี.....	16
เชื้อจุลินทรีย์.....	16
การแยกสารด้วยเยื่อแผ่น.....	16
ข้อดีของการแยกสารด้วยเยื่อแผ่น.....	18
ข้อเสียของการแยกสารด้วยเยื่อแผ่น.....	19
กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน.....	20

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ลักษณะการกรองในระบบไมโครฟิลเตรชัน.....	21
ทฤษฎีไมโครฟิลเตรชัน.....	22
การกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่นชนิดหมุนได้.....	30
ทฤษฎีการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่นชนิดหมุนได้.....	32
4. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	36
เคมีภัณฑ์.....	36
เชื้อจุลินทรีย์.....	36
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	37
วิธีการทดลอง.....	39
5. ผลการทดลอง วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง.....	42
ผลการทดลอง และวิเคราะห์.....	42
สรุปผลการทดลอง.....	72
ข้อเสนอแนะ.....	73
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	77
ประวัติผู้แต่ง.....	146



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงผลทดลองการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น โดยใช้เครื่องกรอง ต่างชนิดกัน.....11
2.2	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรองระหว่างการกรองด้วย เครื่องกรองชนิดหมุนได้กับการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น.....13
3.1	แสดงชนิดกระบวนการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นแบ่งตามแรงขับ.....17
5.1	แสดงภาวะการกรองโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้กับการกรองแบบไหล ขนานกับเยื่อแผ่น.....69

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
3.1	แสดงช่วงของการกรองด้วยเยื่อแผ่นโดยแบ่งตามขนาดอนุภาค.....20
3.2	แสดงลักษณะการกรองแบบไหลผ่านเยื่อแผ่นและการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น.21
3.3	แสดงรูปแบบการเกิดการอุดตันของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น.....24
3.4	แสดงภาพคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน.....27
3.5	แสดงภาพเจลโพลาไรเซชัน.....27
3.6	แสดงลักษณะของเครื่องกรองชนิดหมุนได้.....30
3.7	แสดงลักษณะการหมุนวนของแท่งเลอร์.....31
3.8	แสดงลักษณะการไหลของสารละลายในช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่น กับผนังท่อด้านใน .....32
4.1	แสดงภาพของถังหมักขนาดปริมาตร 15 ลิตร.....37
4.2	แสดงภาพเครื่องกรองชนิดหมุนได้.....38
4.3	แสดงแผนภาพการทดลองการกรองแบบไหลขนานโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้.....40
5.1	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ของน้ำกำจัดแร่ธาตุต่อความดัน.....44
5.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมีเอชันฟลักซ์กับผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้าน สารละลายป้อนกับเพอมีเอท ที่ความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อน 6.5 กรัมต่อลิตร .....47
5.3	แสดงช่วงของค่าฟลักซ์ไม่ขึ้นกับความดัน.....48
5.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการกรองเนื่องจากการอุดตันของ เยื่อแผ่นกับผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอมีเอท

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
	ที่ความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อน 6.5กรัมต่อลิตร.....49
5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมีเอชันฟลักซ์กับความเร็วยรอบ การหมุนของเยื่อแผ่น.....52
5.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วยรอบการหมุนของเยื่อแผ่นกับแรงเฉือน.....53
5.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการกรองเนื่องจากการอุดตันของ เยื่อแผ่นกับแรงเฉือน ที่ความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อน.....54
5.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์กับความเร็วยรอบการหมุน ของเยื่อแผ่น.....55
5.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมีเอชันฟลักซ์กับค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์.....56
5.10	แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ของการกรองด้วยเครื่องกรอง ชนิดหมุนได้ที่ความเร็วยรอบการหมุนของเยื่อแผ่น 1500 รอบต่อนาทีกับการกรอง ขณะเยื่อแผ่นอยู่กับที่ ที่ความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อน 6.5 กรัมต่อลิตร.....57
5.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมีเอชันฟลักซ์กับเวลา เมื่อทำการเปลี่ยน แปลงค่าช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน ที่ความเร็วยรอบการหมุน ของเยื่อแผ่น 1500 รอบต่อนาที ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลาย ป้อนกับเพอมีเอท 0.663 บาร์.....59
5.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมีเอชันฟลักซ์กับเวลา เมื่อทำการเปลี่ยน แปลงค่าช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน ที่ความเร็วยรอบการหมุน ของเยื่อแผ่น 2000 รอบต่อนาที ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลาย

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
	ป้อนกับเพอมีเอท 0.663 บาร์.....60
5.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมีเอชันฟลักซ์กับช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่น กับผนังท่อด้านใน ที่ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอมีเอท 0.663 บาร์.....61
5.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน ที่ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอมีเอท 0.663 บาร์.....62
5.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอชันฟลักซ์กับความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อน ที่ความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่น 2000 รอบต่อนาที.....64
5.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการกรองเนื่องจากการอุดตันของเยื่อแผ่น กับความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อน ความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่น 2000 รอบต่อ นาที.....65
5.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชันกับเวลาที่ความเข้มข้นเซลล์ เท่ากับ 6.5 กรัมต่อลิตร ความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่น 2000 รอบต่อนาที.....67
5.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการกรองและเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน กับ เวลา ที่ความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่น 2000 รอบต่อนาที ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อ แผ่น ด้านสารละลายป้อนกับเพอมีเอท 0.663 บาร์.....68
5.19	แสดงผลการเปรียบเทียบการกรองโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ กับการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นชนิดเยื่อแผ่นอยู่กับที่.....71

## สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ผิวของเยื่อแผ่น ( $m^2$ )
C	=	ความเข้มข้นของสารละลาย (g/l)
$C_b$	=	ความเข้มข้นของสารละลายในระบบ (g/l)
$C_g$	=	ความเข้มข้นของเจล (g/l)
$C_p$	=	ความเข้มข้นของสารละลายในพอลิเมอร์ (g/l)
$C_w$	=	ความเข้มข้นของสารละลายที่ผิวเยื่อแผ่น (g/l)
$d_h$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)
D	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ ( $m^2/s$ )
J	=	พอลิเมอร์ฟลักซ์ ( $l/m^2 \cdot hr$ )
K	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (m/s)
n	=	จำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ (rpm)
$P_i$	=	ความดันขาเข้าของสารละลาย (bar)
$P_o$	=	ความดันขาออกของสารละลาย (bar)
$P_f$	=	ความดันด้านสารละลายพอลิเมอร์ (bar)
R	=	รีเจคชัน (-)
$R_a$	=	ความต้านทานเนื่องจากการอุดตัน ( $m^{-1}$ )
$R_{cp}$	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชัน ( $m^{-1}$ )
$R_f$	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดสเกล ( $m^{-1}$ )
$R_g$	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดเจลโพลาไรเซชัน ( $m^{-1}$ )

## สัญลักษณ์ (ต่อ)

$R_m$	=	ความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่น ( $m^{-1}$ )
$R_p$	=	ความต้านทานการกรองเนื่องจากเกิดโพลาไรเซชัน ( $m^{-1}$ )
$R_{pp}$	=	ความต้านทานการกรองเนื่องจากการอุดตันรูพรุน ( $m^{-1}$ )
$R_t$	=	ความต้านทานรวม ( $m^{-1}$ )
$R_1$	=	รัศมีของเยื่อแผ่นเซรามิก (m)
$R_2$	=	รัศมีภายในของท่อทรงกระบอก (m)
$Re_a$	=	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ตามแนวแกน (-)
$Re_t$	=	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ผิวของเยื่อแผ่น (-)
$T_a$	=	ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ (-)
$T_{a,crit}$	=	ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์วิกฤต (-)
$\Delta$	=	ระยะห่างของผิวเยื่อแผ่นกับผนังท่อทรงกระบอกด้านใน (m)
$\Delta P$	=	ผลต่างของความดันขาเข้าและขาออกของสารละลาย (bar)
$\Delta P_{TM}$	=	ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอมีเอท (bar)
$\rho$	=	ความหนาแน่นของสารละลาย ( $kg/m^3$ )
$\sigma$	=	สัมประสิทธิ์รีเจคชัน (-)
$v$	=	ความเร็วของสารละลาย (m/s)
$\mu$	=	ความหนืดของสารละลาย ( $kg/m.s$ )
$\tau$	=	แรงเฉือนที่ผิวเยื่อแผ่น ( $s^{-1}$ )
$\omega$	=	ความเร็วเชิงมุม ( $min^{-1}$ )
$U$	=	ความหนืดคิเนมาติก ( $m^2/s$ )