การกำจัดแป้งออกจากน้ำทิ้งในโรงงานทำขนมอบกรอบโดยการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน ด้วยเยื่อแผ่นเซรามิกแบบหมุนได้

นายพงศธร ศิริศักดิ์กมล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ 2539
ISBN 974-634-320-3
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STARCH REMOVAL FROM WASTE WATER IN A SNACK FACTORY BY MICROFILTRATION WITH ROTATING CERAMIC MEMBRANE

MR. PONGSATHORN SIRISAKKAMON

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 974-634-320-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดแป้งออกจากน้ำทิ้งในโรงงานทำขนมอบกรอบโดยการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่นเซรามิกแบบหมุนได้
โดย	นายพงศธร ศิริศักดิ์กมล
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์

.....

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตรจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตรจารย์ ดร. เกริกชัย สุกาญจนัจที)

.....กรรมการ
(รองศาสตรจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

พงศธร ศิริศักดิ์กมล : การกำจัดแป้งออกจากน้ำทิ้งในโรงงานทำขนมอบกรอบโดยการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่นเซรามิกแบบหมุนได้ (STARCH REMOVAL FROM WASTE WATER IN A SNACK FACTORY BY MICROFILTRATION WITH ROTATING CERAMIC MEMBRANE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์, 142 หน้า
ISBN 974-634-320-3

วิทยานิพนธ์นี้ ศึกษาการนำระบบการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่นเซรามิกแบบหมุนได้มาใช้ในการกำจัดแป้งออกจากน้ำทิ้งที่มาจากโรงงานทำขนมอบกรอบ ซึ่งมีน้ำทิ้งออกมา 3 ส่วนด้วยกัน คือ น้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าว (มีความสกปรกมากที่สุด มีปริมาณ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) น้ำทิ้งที่มาจากกระบวนการผลิต (มีความสกปรกไม่มาก แต่มีปริมาณถึง 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) และน้ำทิ้งที่มาจากบ่อพักซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่รวมน้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าวและกระบวนการผลิตเข้าด้วยกัน

ส่วนที่ทำการวิจัยในครั้งนี้ ได้วิจัยน้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าวเป็นหลักโดยเปรียบเทียบกับน้ำทิ้งที่มาจากกระบวนการผลิตและจากบ่อพักพบว่า น้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าวนั้น เมื่อกรองโดยใช้เครื่องกรองที่ใช้เยื่อแผ่นชนิดหมุนได้ที่ความเร็วรอบการหมุน 2000 รอบต่อนาที ระยะช่องว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังด้านใน 2.65 มิลลิเมตร ความดัน 6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัตราการไหลที่เหมาะสมคือ 36 ลิตรต่อชั่วโมง ได้ค่า บีโอดี ซีโอดี และทีเอสเอส รีเจคชันที่ 91.9% 91% และ 97.6% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเครื่องกรองที่ใช้เยื่อแผ่นชนิดหมุนได้นี้ สามารถลดค่า บีโอดี ซีโอดี และทีเอสเอส ได้สูงมากโดยดูจากค่ารีเจคชันและที่ภาวะการทดลองเดียวกันนี้จะได้ค่าเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งที่มาจากกระบวนการผลิตและจากบ่อพักมีค่าสูงกว่าน้ำทิ้งจากการแช่ข้าว 43% และ 49% ตามลำดับ แต่ปริมาณน้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าวมีค่าต่ำกว่าน้ำทิ้งที่มาจากกระบวนการผลิตและบ่อพัก 10-15 เท่าด้วยกัน

ดังนั้น จะเห็นว่า การกำจัดแป้งออกจากน้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าวโดยใช้เครื่องกรองที่ใช้เยื่อแผ่นชนิดหมุนได้ มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำทิ้งเดิมของบริษัท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C416694 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: STARCH REMOVAL / WASTE WATER / SNACK FACTORY / MICROFILTRATION / ROTATING CERAMIC MEMBRANE
PONGSATHORN SIRISAKKAMON : STARCH REMOVAL FROM WASTE WATER IN A SNACK FACTORY BY MICROFILTRATION WITH ROTATING CERAMIC MEMBRANE
THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. CHIRAKARN MUANGAPOH,Dr.Ing 142 pp.
ISBN 974-634-320-3

Rotating ceramic membrane was applied to solve the problem of starch removal from waste water for instance waste water from rice tank which has the highest BOD and quantity is 10 cubic meter per day, waste water from process line which has less BOD than the waste water from rice tank but quantity is 150 cubic meter per day and waste water from equalizing tank which includes both the above waste water.

This thesis was to study mainly the waste water from rice tank by comparing the permeation flux and rejection of the waste water from process line and equalizing tank. The rotating ceramic membrane, the rotation speed 2000 rpm, gap 2.65 mm., pressure 6 psi and flow rate 36 liter per hours were used with the waste water from rice tank then we got the rejection BOD 91.9%, COD 91% and TSS 97.6%. It was found that the microfiltration with rotating ceramic membrane can reduce a lot of BOD, COD and TSS. In the same condition of experiment, we still found that the permeation flux of waste water from process line and from the equalizing tank were respectively 43% and 49% higher than the permeation flux of waste water from rice tank. Moreover the quantity of waste water from the process line and equalizing tank were higher than the waste water from rice tank 10-15 times.

From the experiment and studying, we can summerize that the starch removal from waste water of rice tank by using the microfiltration with the rotating ceramic membrane is suitable to apply for waste water treatment in a snack factory.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา CHEMICAL ENGINEERING ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 1995 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการวิจัยและให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆและเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณฐิติ เลิศสัจญาผู้จัดการโรงงานบริษัท SMTC ที่ได้ให้ความร่วมมือในด้านข้อมูลและการเตรียมตัวอย่างในการการทดลองเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย สุกาญจนัจที และรองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความกรุณาให้ใช้ห้องทดลองอุปกรณ์การทดลองในการวิเคราะห์ผลและได้ให้ความรู้ในการวิเคราะห์ผล บีโอดี ซีโอดี และทีเอสเอสทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน พี่และน้องๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาของข้าพเจ้าที่ได้ให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าในการศึกษามาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ญ

สัญลักษณ์..... ฐ

บทที่

1. บทนำ

1.1 บทนำทั่วไป..... 2

1.2 สาเหตุของการเลือกการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่นเซรามิกแบบหมุนได้ 4

1.3 วัตถุประสงค์..... 6

1.4 ขอบเขตการศึกษา..... 6

1.5 ขั้นตอนการศึกษา..... 7

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับ..... 7

2. ตรวจเอกสาร..... 8

3. ทฤษฎี

3.1 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน..... 15

3.2 กระบวนการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันโดยใช้เยื่อแผ่นชนิดหมุนได้.. 17

3.3 ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องกรองที่ใช้เยื่อแผ่นชนิดหมุนได้.. 19

3.4 ปรากฏการณ์การลดลงของเพอมิเอชันฟลักส์..... 22

3.5 การคำนวณ..... 24

4. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 32

4.2 น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง..... 34

4.3 เคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดแท่งเซรามิก..... 34

4.4 อุปกรณ์และเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล..... 35

4.5 วิธีการทดลอง..... 36

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ผลการทดลองและวิจารณ์
5.1 การศึกษาผลของการกรองน้ำที่กำจัดแร่ธาตุแล้วที่มีผลต่อ..... 40
เยื่อแผ่น
5.2 การศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ต่อภาวะการแยกสารออกจากน้ำทิ้ง 42
จากการแช่ข้าวโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้
5.3 การศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ต่อภาวะการแยกสารออกจากน้ำทิ้ง 62
ในกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้
5.4 การศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ต่อภาวะการแยกสารออกจากน้ำทิ้ง 68
จากบ่อพักโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้
5.5 การศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำจากการแช่ข้าว 74
จากกระบวนการผลิต และจากบ่อพัก หลังจากผ่านการกรองด้วย
เครื่องกรองชนิดหมุนได้
5.6 แนวทางการประยุกต์ใช้การกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อ 80
แผ่นเซรามิกที่หมุนได้กับระบบบำบัดน้ำทิ้งเดิมของโรงงาน
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 85
เอกสารอ้างอิง..... 87
ภาคผนวก..... 89
ประวัติผู้เขียน..... 142

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงค่าความสกปรกและปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน.....	4
1.2	แสดงการสุ่มตัวอย่างเบื้องต้นเปรียบเทียบค่าความสกปรก (BOD) ของน้ำทิ้งที่ปล่อยหลังจากการแช่ข้าวก่อนผ่านระบบการกรองและหลังผ่านระบบการกรอง	5
2.1	แสดงถึงขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอนุภาคที่ระบบการกรองชนิดต่างๆ สามารถกรองได้	8
2.2	แสดงถึงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างเครื่องกรองชนิดหมุนได้กับ..... เครื่องกรองแบบอัด	11
2.3	แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้กับการกรองแบบไหลขนานเยื่อแผ่นชนิดหมุนไม่ได้	13
4.1	แสดงขนาดของมู่เล่ที่ติดกับมอเตอร์ไฟฟ้าและแท่งเซรามิกที่ความเร็วรอบของการหมุนต่างๆ	34
5.1	แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตและจากบ่อพักเมื่อเทียบกับน้ำทิ้งจากการแช่ข้าว	74
5.2	แสดงการเปรียบเทียบค่า บีโอดี ซีโอดี ทีเอสเอส เริ่มต้นและ % รีเจคชันของน้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ	76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ไดอะแกรมแสดงกระบวนการผลิตขนมที่ทำมาจากข้าว	2
1.2	ไดอะแกรมแสดงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ใช้ในปัจจุบัน	3
2.1	แสดงค่าเพอมิเอชันฟลักส์ของสกิมมิลค์ที่ความเข้มข้นต่างๆหลังจากผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้กับเครื่องกรองแบบไหลขนานเยื่อแผ่น	10
3.1	ก. ลักษณะการกรองแบบไหลผ่านเยื่อแผ่นและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์และความหนาของชั้นฟิลม์กับเวลา ข. ลักษณะการกรองแบบไหลขนานเยื่อแผ่นและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์และความหนาของชั้นฟิลม์กับเวลา	16
3.2	แสดงภาพตัดขวางของเครื่องกรองที่ใช้เยื่อแผ่นชนิดหมุนได้	18
3.3	ก. แสดงภาพตัดขวางลักษณะการหมุนวนของเทย์เลอร์. ข. แสดงทิศทางการไหลของสารละลาย	19
3.4	แสดงภาพการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน	20
3.5	แสดงภาพการเกิดเจลโพลาไรเซชัน	21
3.6	แสดงการลดลงของเพอมิเอชันฟลักส์เทียบกับเวลา	23
4.1	ระบบเครื่องกรองชนิดหมุนได้	33
4.2	แสดงเยื่อแผ่นเซรามิกที่ใช้ในการกรอง	33
4.3	ไดอะแกรมแสดงระบบการกรองด้วยเครื่องกรองที่ใช้เยื่อแผ่นเซรามิกชนิดหมุนได้	37
5.1	แสดงค่าเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำที่ผ่านการกำจัดแร่ธาตุแล้วต่อเวลาที่อัตราการไหลต่างๆของน้ำป้อน	41
5.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความเร็วรอบการหมุนที่อัตราการไหลต่างๆ	43
5.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่น	45
5.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความเร็วรอบการหมุนของเยื่อแผ่น	45
5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับอัตราการไหลป้อน	46

5.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในที่ความเร็วรอบการหมุนต่างๆ	48
5.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในที่ความเร็วรอบการหมุนต่างๆ	49
5.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความดัน	50
5.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % บีโอดี รีเจคชันของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความเร็วรอบการหมุนที่อัตราการไหลต่างๆ	52
5.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ซีโอดี รีเจคชันของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความเร็วรอบการหมุนที่อัตราการไหลต่างๆ	53
5.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ทีเอสเอส รีเจคชันของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความเร็วรอบการหมุนที่อัตราการไหลต่างๆ	54
5.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % บีโอดี รีเจคชันของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความเร็วรอบการหมุนที่ระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในต่างๆ	55
5.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ซีโอดี รีเจคชันของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความเร็วรอบการหมุนที่ระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในต่างๆ	56
5.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ทีเอสเอส รีเจคชันของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความเร็วรอบการหมุนที่ระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในต่างๆ	57
5.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % บีโอดี รีเจคชันของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความดัน	58
5.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ซีโอดี รีเจคชันของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความดัน	59
5.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ทีเอสเอส รีเจคชันของน้ำทิ้งจากการแช่ข้าวกับความดัน	60
5.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตกับอัตราการไหล	63
5.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตกับระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน	64
5.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % บีโอดี ซีโอดี ทีเอสเอส รีเจคชันของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตกับอัตราการไหล	65
5.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % บีโอดี ซีโอดี ทีเอสเอส รีเจคชันของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตกับระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน	67
5.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งจากบ่อพักกับอัตราการไหล	69

5.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักส์ของน้ำทิ้งจากบ่อพักกับระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน	70
5.24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % บีโอดี ซีโอดี ทีเอสเอส รีเจคชันของน้ำทิ้งจากบ่อพักกับอัตราการไหล	71
5.25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % บีโอดี ซีโอดี ทีเอสเอส รีเจคชันของน้ำทิ้งจากบ่อพักกับระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน	73
5.26	แสดงผลการเปรียบเทียบเพอมิเอชันฟลักส์ ของน้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าวจากกระบวนการผลิต จากบ่อพักกับเวลา	75
5.27	แสดงผลการเปรียบเทียบ % บีโอดี รีเจคชัน ของน้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าวจากกระบวนการผลิต จากบ่อพักกับเวลา	77
5.28	แสดงผลการเปรียบเทียบ % ซีโอดี รีเจคชัน ของน้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าวจากกระบวนการผลิต จากบ่อพัก	78
5.29	แสดงผลการเปรียบเทียบ % ทีเอสเอส รีเจคชัน ของน้ำทิ้งที่มาจากการแช่ข้าวจากกระบวนการผลิต จากบ่อพัก	79
5.30	รูปสัญญลักษณ์ในการคำนวณการกรองอย่างง่าย	81
5.31	แสดงแนวทางการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้กับระบบบำบัดน้ำทิ้งเดิมของโรงงาน แบบที่ 1	83
5.32	แสดงแนวทางการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้กับระบบบำบัดน้ำทิ้งเดิมของโรงงาน แบบที่ 2	84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ผิวของเยื่อแผ่น (m^2)
C	=	ความเข้มข้นของสารละลาย (g/l)
C_b	=	ความเข้มข้นของสารละลายในระบบ (g/l)
C_g	=	ความเข้มข้นของเจล (g/l)
C_p	=	ความเข้มข้นของสารละลายในเพอมิเอท (g/l)
C_w	=	ความเข้มข้นของสารละลายที่ผิวเยื่อแผ่น (g/l)
D_h	=	เส้นผ่าศูนย์กลางไฮโดรลิก (m)
D	=	สัมประสิทธิการแพร่ (m^2/s)
J_w	=	เพอมิเอชันฟลักซ์ของน้ำ ($l/hr.m^{-2}$)
J_v	=	เพอมิเอชันฟลักซ์ ($l/hr.m^{-2}$)
J_w	=	เพอมิเอชันฟลักซ์ของน้ำหลังการล้างเยื่อแผ่นที่ใช้แล้วด้วยน้ำกลั่น ($l/hr.m^{-2}$)
ΔP	=	ผลต่างของความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอมิเอท (psi)
K	=	สัมประสิทธิการถ่ายเทมวล (m/s)
n	=	จำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ (rpm)
R	=	รีเจคชัน (-)
R_a	=	ความต้านทานเนื่องจากการดูดซับ (m^{-1})
R_{cp}	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (m^{-1})
R_f	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดสเกล (m^{-1})
R_g	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดเจลโพลาไรเซชัน (m^{-1})
R_m	=	ความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่น (m^{-1})
R_p	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชัน (m^{-1})
R_{pp}	=	ความต้านทานเนื่องจากการอุดตันรูพรุน (m^{-1})
R_t	=	ความต้านทานรวม (m^{-1})

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์ (ต่อ)

R_1 = รัศมีของเยื่อแผ่นเซรามิก (m)

R_2 = รัศมีภายในท่อทรงกระบอก (m)

$R_{e,a}$ = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ตามแนวแกน (-)

$R_{e,l}$ = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ผิวของเยื่อแผ่น (-)

T_a = ค่าเทย์นัมเบอร์ (-)

$T_{a,cri}$ = ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์วิกฤต (-)

ρ = ความหนาแน่นของสารละลาย (kg/m^3)

σ = สัมประสิทธิ์รีเจคชัน (-)

ν = ความเร็วของสารละลาย (m/s)

μ = ความหนืดของสารละลาย (kg/m.s)

τ = ความเค้นแรงเฉือนที่ผิวเยื่อแผ่น (s^{-1})

ω = ความเร็วเชิงมุม (min^{-1})

υ = ความหนืดคิเนมาติก (m^2/s)

α = รีเฟลกชัน โคเอฟฟิเชียล

δ = ความหนาของชั้นขอบเขต (m)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย