อัตราการโอนถ่ายโปรตีนและกรดอะมิโนในการย่อยสลายตัวเองของสเปนท์บริวเวอร์ยีสต์ และการประยุกต์เครื่องกรองไมโครฟิลเตรชันแบบหมุนได้เพื่อแยกเศษเซลล์

นางสาวพึงใจ บุญยืน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4898-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROTEIN AND AMINO ACID TRANSFER RATE IN SPENT BREWER'S YEAST AUTOLYSIS AND APPLICATION OF ROTATING - MICROFILTRATION FOR CELL DEBRIS REMOVAL

Miss Phungjai Boonyeun

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003
ISBN 974-17-4898-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อัตราการโอนถ่ายโปรตีนและกรดอะมิโนในการย่อยสลายตัวเองของสเปนท์บริวเวอร์ยีสต์และการประยุกต์เครื่องกรองไมโครฟิลเตรชันแบบหมุนได้เพื่อแยกเศษเซลล์
โดย	นางสาวพึงใจ บุญยืน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. มานพ สุพรรณธริกา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานพ สุพรรรณธริกา)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประศาสตร์ ฟูตระกูล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพฤกษ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พึงใจ บุญยืน : อัตราการโอนถ่ายโปรตีนและกรดอะมิโนในการย่อยสลายตัวเองของสเปนท์บริวเวอร์ยีสต์และการประยุกต์เครื่องกรองไมโครฟิลเตรชันแบบหมุนได้เพื่อแยกเศษเซลล์ (PROTEIN AND AMINO ACID TRANSFER RATE IN SPENT BREWER'S YEAST AUTOLYSIS AND APPLICATION OF ROTATING - MICROFILTRATION FOR CELL DEBRIS REMOVAL) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.มานพ สุพรรณธริกา,107 หน้า. ISBN 974-17-4898-1.

การศึกษาการย่อยสลายตัวเองของสเปนท์บริวเวอร์ยีสต์ตามเวลา แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกศึกษาอัตราการผลิตโปรตีนและกรดอะมิโนด้วยครีมยีสต์เข้มข้นร้อยละ 22 โดยน้ำหนักแห้ง ครีมยีสต์เข้มข้นเติมเกลือร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และครีมยีสต์เติมน้ำ (ร้อยละ 11.25 โดยน้ำหนักแห้ง) พบว่าอัตราการผลิตกรดอะมิโนของครีมยีสต์เข้มข้นและครีมยีสต์เติมน้ำมีค่าสูงสุดใน 13 ชั่วโมงแรกของการย่อยสลายตัวเองและมีค่ามากกว่าช่วง 14 ถึง 49 ชั่วโมง อยู่ประมาณ 3 - 5 เท่า ส่วนครีมยีสต์เข้มข้นเติมเกลือจะมีอัตราการผลิตกรดอะมิโนต่ำกว่าทั้งสองกรณีประมาณ 2 เท่า และอัตราการผลิตโปรตีนของครีมยีสต์เติมน้ำมีค่ามากในช่วงแรกของการย่อยสลายตัวเองส่งผลให้อัตราการผลิตกรดอะมิโนในช่วงท้ายของการย่อยสลายมีค่าน้อยกว่าครีมยีสต์เข้มข้น เมื่อทำการศึกษาการย่อยสลายครีมยีสต์เข้มข้นในช่วงแรกแล้วเติมน้ำเป็นร้อยละ 11.25 ย่อยสลายต่อไปจนครบ 49 ชั่วโมง พบว่าจะให้ปริมาณผลได้ของโปรตีนที่เวลา 13 ชั่วโมงและ 49 ชั่วโมงเท่ากับ 0.121 และ 0.135 ตามลำดับ และผลได้ของกรดอะมิโนที่เวลา 13 และ 49 ชั่วโมงเท่ากับ 0.291 และ 0.503 กรัมต่อกรัมยีสต์แห้ง ตามลำดับ

ส่วนที่สองศึกษาการกรองแยกเศษเซลล์ออกจากผลิตภัณฑ์ภายในเซลล์ด้วยเครื่องกรองแบบหมุนได้โดยใช้เยื่อแผ่นเซรามิกที่มีขนาดรูพรุนเท่ากับ 0.9 ไมโครเมตร อัตราการไหลของสายป้อน 30 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วในการหมุนเยื่อแผ่น 1500 รอบต่อนาที ความดัน 0.2 , 0.25 และ0.28 บาร์ พบว่าเมื่อเพิ่มความดันอัตราการไหลเชิงมวลของโปรตีนและกรดอะมิโนจะมีค่าเพิ่ม โดยที่ความดัน 0.28 บาร์จะให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 800 และ 1400 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ตามลำดับ อัตราการผลิตโปรตีนและกรดอะมิโนที่ได้จากการกรองยีสต์ออโตไลเสทเท่ากับ 9.71 และ 16.01 กรัมต่อชั่วโมง ร้อยละการนำกลับของโปรตีนและกรดอะมิโนเมื่อใช้เวลาในการกรอง 60 นาที เท่ากับ 40 และ 32.5 ตามลำดับ ผลการชะโปรตีนและกรดอะมิโนพบว่าการชะในครั้งแรกมีร้อยละการนำกลับรวมของโปรตีนและกรดอะมิโนเป็น 63 และ 52 ตามลำดับ ส่วนการชะครั้งที่ 2 และ 3 ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นน้อยมาก ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนที่ได้จากการกรองครั้งแรกมีค่า 0.339 และ 0.574 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในการชะครั้งที่ 1 มีปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนเท่ากับ 0.346 และ 0.602 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จำนวนครั้งในการชะที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความขมเพิ่มขึ้น

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....พึงใจ บุญยืน.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2546.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....Manop Suphantharika

4370429521:MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD : AUTOLYSIS, MICROFILTRATION, SPENT BREWER'S YEAST

PHUNGJAI BOONYEUN : PROTEIN AND AMINO ACID TRANSFER RATE IN SPENT BREWER'S YEAST AUTOLYSIS AND APPLICATION OF ROTATING - MICROFILTRATION FOR CELL DEBRIS REMOVAL. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.CHIRAKARN MUANGNAPOH, Dr.Ing.,THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF.MANOP SUPHANTHARIKA, Ph.D. 107 pp. ISBN 974-17-4898-1

In the study of spent brewer's yeast autolysis by time, there were two parts of the experiments. First, to investigate the production rate of protein and amino acid by yeast cream, it was found that yeast cream (22% dw) and yeast cream with water (11.25%dw) provided the maximum production rates of amino acid within first 13 hours of autolysis period and these maximum rates were 3-5 times higher than those in 14-49 hours. In case of yeast cream with salt (5%w/w), the production rate was about 2 times lower than the previous ones. Moreover, the result indicated that in the last period of autolysis, the production rate of amino by yeast cream with water was lower than that by yeast cream. This was due to the high production rate of protein by yeast cream with water in the beginning period of autolysis. In addition, the yield of protein and amino acid in the first 13 hours of autolysis of yeast cream was 0.121 and 0.291 g/g dry yeast, respectively. After diluting this yeast autolysate by water to 11.25%dw, the yield of protein and amino acid at 49 hours was 0.135 and 0.503 g/g dry yeast, respectively.

Second, to investigate the separation of cell debris from intracellular product by rotating microfiltration with ceramic membrane (pore size = 0.9 μm), 30 l/h of feed flow rate,1500 rpm of membrane rotation speed and operated pressure at 0.2 ,0.25 and 0.28 bar were performed. It was found that mass flux of protein and amino acid increased with pressure. At 0.28 bar, mass flux of protein and amino acid was maximum and equal to 800 and 1400 $gm^{-2}h^{-1}$, respectively. The production rate of protein and amino acid from yeast autolysate filtration was 9.71 and 16.01 g/h, respectively. Furthermore, within 60 minutes of filtration period, percentage of protein and amino acid recovery was 40 and 32.5, respectively. After the first leaching process, it was found that the percentage of total recovery of protein and amino acid was 63 and 52, respectively, whereas the second and third ones provided percent recoveries not much higher that the first time. The content of protein and amino acid obtained from the first filtration was 0.339 and 0.574 g/g dry weight, respectively, and the content from the first leaching process was 0.346 and 0.602 g/g dry weight ,respectively. The more number of leaching, the more bitterness of product.

Department.....Chemical Engineering....Student's signature Phungjai Boonyeun

Field of study.....Chemical Engineering... Advisor's signature Chirakarn Muangnapoh

Academic year..... 2003..... Co-Advisor's signature Manop Suphantharika

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายท่านด้วยกัน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. มานพ สุพรรณธริกา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำวิธีการทำงานวิจัย ต่างๆจนเสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประศาสตร์ ฟูตระกูล และอาจารย์ ดร. อาทิวรรณ โชติพฤกษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และแก้ไข เพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัทบุญรอด บริวเวอรี่ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบในการทำวิจัย คุณอิสระ และคุณพันธุ์ศักดิ์ รวมทั้งพี่ๆในห้องแลปชั้น 4 ที่อำนวยความสะดวกในการไปรับวัตถุดิบ

ขอขอบพระคุณ บริษัทธนชัย เซลล์ แอนด์ เซอร์วิส ที่เอื้อเฟื้อไส้กรองน้ำเซรามิกและอุปกรณ์สแตนเลสชุดแกนเครื่องกรองในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณสุบิน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยกลึงไส้กรอง และแก้ไขอุปกรณ์การกรอง

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในด้านการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี และห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมเคมีสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย รวมทั้งเพื่อนๆ น้องๆ คนอื่นอีกหลายคนทั้งในและนอกมหาวิทยาลัยนี้ ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา และขอบคุณทุก ๆ คน ในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนทางการศึกษาตลอดจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ญ

สัญลักษณ์..... ฏ

บทที่

1. บทนำ..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

ขอบเขตของการวิจัย..... 4

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 โครงสร้างวิทยาของยีสต์..... 5

2.2 การผลิตยีสต์สกัด..... 5

2.3 การย่อยสลายตัวเองของยีสต์..... 7

2.4 ฮอพ..... 11

2.5 การโอนถ่ายมวล..... 12

2.6 การกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน..... 13

2.7 การกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่นชนิดหมุนได้..... 16

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 23

3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย..... 27

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 27

3.2 เคมีภัณฑ์..... 28

3.3 เชื้อจุลินทรีย์..... 28

3.4 วิธีการทดลอง..... 30

3.5 การวิเคราะห์..... 37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. ผลการทดลอง วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง..... 40
4.1 สมบัติของครีมยีสต์เริ่มต้น..... 40
4.2 ผลการศึกษาอัตราการผลิตกรดอะมิโนและอัตราการโอนถ่ายโปรตีนและ.....
กรดอะมิโนตามเวลาในการย่อยสลายตัวเองของครีมยีสต์ที่ภาวะต่าง ๆ..... 40
4.3 ผลการกรองยีสต์ออโตไลเสทด้วยเยื่อแผ่นเซรามิกแบบหมุนได้ แบบไม่ต่อเนื่อง.... 59
4.4 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองด้วยภาวะต่าง ๆ..... 71
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 73
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 73
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 74
รายการอ้างอิง..... 75
ภาคผนวก..... 80
ภาคผนวก ก..... 81
ภาคผนวก ข..... 88
ภาคผนวก ค..... 93
ภาคผนวก ง..... 104
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 1.1 ข้อดี-ข้อด้อยของแต่ละวิธีในการทำให้เซลล์แตก..... 2

ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองการย่อยสลายตัวเองของยีสต์ขนมปังที่ภาวะต่างๆ..... 25

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของครีมยีสต์เริ่มต้น..... 40

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของเซลล์และส่วนใสที่เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลา..... 43

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลได้ของกรดอะมิโนที่ภาวะต่างๆ..... 57

ตารางที่ 4.4 สมบัติของยีสต์ออโตไลเสท..... 59

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเพอมิเอทที่ภาวะต่าง ๆ..... 71

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนที่ได้จากภาวะต่างๆ..... 73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ขั้นตอนของกระบวนการย่อยสลายตัวเองของยีสต์ 8

2.2 โครงสร้างของเซลล์และการย่อยสลายตัวเองของยีสต์ 9

2.3 แบบจำลองอย่างง่ายของ Hunter และ Asenjo 10

2.4 ขั้นตอนในการย่อยผนังเซลล์ด้วยเอนไซม์โปรติเอสและกลูคาเนส..... 10

2.5 ลักษณะการไหลของสารละลายทั้ง 3 ทิศทาง ในช่องว่างระหว่างเยื่อแผ่นและ.....
ท่อทรงกระบอก..... 18

2.6 ลักษณะการหมุนวนของเทย์เลอร์ในช่องว่างระหว่างผนังท่อทรงกระบอกด้านใน.....
และผนังของเยื่อแผ่นด้านนอก..... 18

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ และเรย์โนลด์นัมเบอร์..... 22

3.1 แผนภาพการเตรียมวัตถุดิบ..... 29

3.2 แผนภาพการหาอัตราการโอนถ่ายโปรตีนและกรดอะมิโน..... 31

3.3 แผนภาพการหาอัตราการโอนถ่ายโปรตีนและกรดอะมิโน..... 32

3.4 แผนภาพชุดเครื่องมือการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้.. 34

3.5 แผนภาพการกรองยีสต์ออโตไลเสทด้วยความดันต่าง ๆ 35

3.6 แผนภาพการทดลองการนำกลับโปรตีนและกรดอะมิโน..... 36

4.1 การเปลี่ยนแปลงของสารภายใน และภายนอกเซลล์..... 42

4.2 ร้อยละของส่วนใสต่อครีมยีสต์เริ่มต้น..... 43

4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของโปรตีน และกรดอะมิโนตามเวลา..... 46

4.4 ปริมาณและอัตราการผลิตกรดอะมิโน..... 47

4.5 ปริมาณและอัตราการถ่ายโอนของกรดอะมิโน..... 48

4.6 ปริมาณและอัตราคงเหลือของกรดอะมิโนในเซลล์..... 49

4.7 ความเข้มข้นของโปรตีน และกรดอะมิโน ตามเวลา..... 50

4.8 ปริมาณและอัตราการผลิตโปรตีน..... 52

4.9 ปริมาณและอัตราการถ่ายโอนโปรตีน..... 53

4.10 ปริมาณและอัตราคงเหลือของโปรตีนในเซลล์..... 54

4.11 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดอะมิโนภายนอกเซลล์ตามเวลาที่ภาวะต่าง ๆ..... 56

4.12 การเปรียบเทียบผลได้ตามเวลาที่ภาวะต่างๆ..... 57

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.13 การเปรียบเทียบอัตราการโอนถ่ายของโปรตีนและกรดอะมิโนที่การกวน 100 และ 300 ... รอบต่อนาที..... 58

4.14 ความสัมพันธ์ของเพอมิเอชันฟลักซ์กับเวลาที่ใช้กรองในการกรองแบบไม่ต่อเนื่อง..... 61

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเพอมิเอชันฟลักซ์กับความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา..... ที่ใช้ในการกรอง..... 61

4.16 ผลของความดันต่อเพอมิเอชันฟลักซ์ตามเวลาที่ใช้ในการกรอง ณ ความดันต่าง ๆ..... 63

4.17 ความเข้มข้นของกรดอะมิโนในเพอมิเอทตามเวลาที่ใช้ในการกรอง ที่ความดันต่าง ๆ..... 65

4.18 ความเข้มข้นของโปรตีนในเพอมิเอทตามเวลาที่ใช้ในการกรอง ที่ความดันต่าง ๆ..... 65

4.19 ความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตกรดอะมิโนตามเวลากับความดันในการกรอง..... 66

4.20 ความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตโปรตีนตามเวลากับความดันในการกรอง..... 66

4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในการกรองและการนำกลับโปรตีนและกรดอะมิโน..... 67

4.22 ผลของการเติมน้ำชะต่อเพอมิเอชันฟลักซ์ตามเวลาที่ใช้ในการกรอง..... 68

4.23 ความเข้มข้นและปริมาณของโปรตีนและกรดอะมิโนในเพอมิเอทตามเวลาที่ใช้ใน..... การกรอง..... 69

4.24 ร้อยละการนำกลับของโปรตีนและกรดอะมิโน ตามเวลาที่กรองได้หลังจากการเติมน้ำชะ.. 70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

A = พื้นที่ผิวของเยื่อแผ่น (ตารางเมตร)

C = ความเข้มข้นของสารละลาย (กรัมต่อลิตร)

C_b = ความเข้มข้นของสารละลายในถังป้อน (กรัมต่อลิตร)

C_g = ความเข้มข้นของเจล (กรัมต่อลิตร)

C_p = ความเข้มข้นของสารละลายในเพอมิเอท (กรัมต่อลิตร)

C_w = ความเข้มข้นของสารละลายในที่ผิวเยื่อแผ่น (กรัมต่อลิตร)

d_h = เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (เมตร)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเมตรต่อวินาที)

J = เพอมิเอชันฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง)

K = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (เมตรต่อวินาที)

n = จำนวนรอบการหมุนของตัวกรอง (รอบต่อวินาที)

R_t = ความต้านทานรวม (ต่อเมตร)

R_1 = รัศมีของเยื่อแผ่นเซรามิก (เมตร)

R_2 = รัศมีภายในของท่อทรงกระบอก (เมตร)

Re_a = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ตามแนวแกน (-)

Re_t = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ผิวของเยื่อแผ่น (-)

T_a = ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ (-)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Δ = ระยะห่างของผิวเยื่อแผ่นกับผนังท่อทรงกระบอกด้านใน (เมตร)

ΔP = ผลต่างของความดันขาเข้าและขาออกของสารละลาย (บาร์)

ΔP_{TM} = ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอมิเอท (บาร์)

ρ = ความหนาแน่นของสารละลาย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ν = ความเร็วของสารละลาย (เมตรต่อวินาที)

μ = ความหนืดของสารละลาย (กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที)

τ = แรงเฉือนที่ผิวเยื่อแผ่น (ต่อวินาที)

ω = ความเร็วเชิงมุม (ต่อนาที)

υ = ความหนืดคิเนมาติก (ตารางเมตรต่อวินาที)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย