

การแยกสารชีวมวลโดยใช้แท่งกรองอะลูมินาที่ทำจากการรีด

นายศุภวัฒน์ ชาวอ่อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-733-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 20 513 706

**BIOMASS SEPARATION USING A TUBULAR ALUMINA FILTER MADE BY  
EXTRUSION**

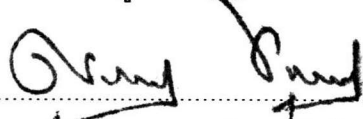
**Mr. Supawat Khao-orn**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Chemical Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University  
Academic Year 1996  
ISBN 974-636-733-1**

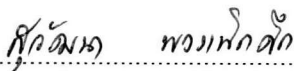
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การแยกสารชีวมวลโดยใช้แท่งกรองอะลูมินาที่ทำจากการรีด  
โดย                              นาย ศุภวัฒน์      ชาวอ่อน  
ภาควิชา                              วิศวกรรมเคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์      เมืองนาโพธิ์

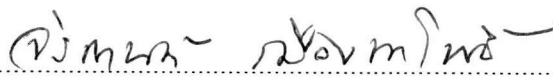
---

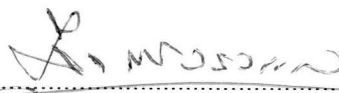
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สุวัฒนา พวงเพิกศึกษา)

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

  
..... กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ กิตติคุณ มรว. อุตตรากร วรารณ)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ผกามาศ สตินธรรมศักดิ์)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์)

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายทุกท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา และแนะนำในการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุวัฒนา พวงเพิกคึก ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ กิตติคุณ มรว. อุตตรางกร วรวรรณ อาจารย์ ผกามาศ สตินธรรมศักดิ์ และอาจารย์ ดร. สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความสนใจ และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้

เนื่องจากทุนที่ใช้ดำเนินงานวิจัยชิ้นนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนงานวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์ในการขึ้นรูปแท่งกรองอะลูมินา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องเตาเผา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเครื่องเคลือบดินเผาที่มหาวิทยาลัยรังสิตที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์ในการขึ้นรูปแท่งกรองอะลูมินา

ขอขอบพระคุณ บริษัท สยามวัสดุทนไฟ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องผงอะลูมินาที่ใช้ในการขึ้นรูป

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนในห้องวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ที่ได้คอยช่วยเหลือให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งคอยให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ด
สัญลักษณ์.....	ต
บทที่	หน้า
1. บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	3
2. ตรวจสอบเอกสาร.....	4
เอกสารงานวิจัย.....	4
3. ทฤษฎี.....	8
อะลูมินา ( $Al_2O_3$ ).....	8
สารช่วยในการขึ้นรูปแท่งกรองอะลูมินา.....	11
การขึ้นรูปเซรามิกส์.....	13
การเผา (Sintering).....	21
การกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน.....	25
4. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	33
เคมีภัณฑ์.....	33

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	33
วิธีการทดลอง.....	36
5. ผลการทดลอง วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง.....	43
การศึกษาผลของภาวะต่างๆ ต่อการสร้างแท่งกรอง.....	43
ผลการทดสอบการกรอง.....	62
6. สรุปผลการทดลอง.....	73
สรุปผลการทดลอง.....	73
ข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก.....	78
ภาคผนวก ข.....	105
ภาคผนวก ค.....	108
ประวัติผู้แต่ง.....	111

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สูตรทางเคมีและรูปแบบผลึกของอะลูมินาชนิดต่างๆ (18) .....	9
3.2 การแปรเปลี่ยนรูปแบบผลึกของอะลูมินา (18).....	9
3.3 คุณสมบัติของอะลูมินา ( $Al_2O_3$ ) (18).....	10
3.4 ตัวอย่างของสารช่วยการยึดเกาะ.....	12
3.5 แสดงตัวแปรที่มีผลต่อวิธีการขึ้นรูปต่างๆ .....	20
3.6 แสดงชนิดและกลไกในการเผา (21).....	22
3.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงจุลโครงสร้างในแต่ละขั้นตอนของการเผา (22).....	23
3.8 แสดงกลไกการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผา (21).....	24
4.1 แสดงตัวแปรที่ศึกษาในการกรอง.....	42
5.1 แสดงขนาดของอนุภาคอะลูมินาที่เตรียมได้.....	43
5.2 แสดงผลของการขึ้นรูปแท่งกรองที่ขนาดอนุภาคต่างๆ กัน.....	44
5.3 แสดงผลของปริมาณน้ำต่อการขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาคต่างๆ กัน.....	45
5.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของขนาดอนุภาคต่างๆ กัน.....	61
5.5 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของการรีดกับการเทแบบ.....	61
5.6 แสดงค่าความเข้มข้นที่นาที่ 50 โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 กรัมต่อลิตร.....	69
5.7 แสดงการเปรียบเทียบผลของการกรองโดยใช้แท่งกรองที่ขนาดอนุภาคต่างๆ กัน ที่อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล.....	70
ก.1 แสดงปริมาตรรูพรุน ที่ขนาดของอะลูมินา 5.52 และ 18.91 ไมโครเมตร และอุณหภูมิในการเผาที่ 1200 1300 และ 1400 องศาเซลเซียส ในหน่วยมิลลิลิตรต่อกรัม.....	79
ก.2 แสดงขนาดรูพรุน ที่ขนาดของอะลูมินา 5.52 และ 18.91 ไมโครเมตร และอุณหภูมิในการเผาที่ 1200 1300 และ 1400 องศาเซลเซียส ในหน่วยอังสตรอม.....	79
ก.3 แสดงความหนาแน่นเชิงมวลรวม ที่ขนาดของอะลูมินา 5.52 และ 18.91 ไมโครเมตร และอุณหภูมิในการเผาที่ 1200 1300 และ 1400 องศาเซลเซียสในหน่วยกรัมต่อมิลลิลิตร.....	79
ก.4 แสดงความพรุนตัว ที่ขนาดของอะลูมินา 5.52 และ 18.91 ไมโครเมตร และอุณหภูมิในการเผาที่ 1200 1300 และ 1400 องศาเซลเซียส ในหน่วยเปอร์เซ็นต์.....	79
ก.5 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิในการเผา 1300 องศาเซลเซียสที่ปริมาณน้ำในการผสมต่างๆ กัน.....	80

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.6 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิในการเผา 1300 องศาเซลเซียสที่ปริมาณน้ำในการผสมต่างๆ กัน.....	80
ก.7 แสดงการกรองน้ำที่อัตราการไหล 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดอนุภาค 18.91 ไมโครเมตร.....	81
ก.8 แสดงการกรองน้ำที่อัตราการไหล 1.86 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดอนุภาค 18.91 ไมโครเมตร.....	82
ก.9 แสดงการกรองน้ำที่อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดอนุภาค 18.91 ไมโครเมตร.....	83
ก.10 แสดงการกรองน้ำที่อัตราการไหล 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดอนุภาค 5.52 ไมโครเมตร.....	84
ก.11 แสดงการกรองน้ำที่อัตราการไหล 1.86 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดอนุภาค 5.52 ไมโครเมตร.....	85
ก.12 แสดงการกรองน้ำที่อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดอนุภาค 5.52 ไมโครเมตร.....	86
ก.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำที่มี อัตราการไหลต่างๆ ขนาดอนุภาค 18.91 ไมโครเมตร.....	87
ก.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำที่มี อัตราการไหลต่างๆ ขนาดอนุภาค 5.52 ไมโครเมตร.....	87
ก.15 ผลของการกรองพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ น้ำหนักโมเลกุล 100000 ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง.....	88
ก.16 ผลของการกรอง <u>Bacillus subtilis</u> TISTR25 ที่อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	89
ก.17 ผลของการกรอง <u>Bacillus subtilis</u> TISTR25 ที่อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	89
ก.18 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	90



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.19 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	90
ก.20 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 1.7 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	91
ก.21 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 6.9 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	91
ก.22 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.86 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 1.7 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	92
ก.23 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.86 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 6.9 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	92
ก.24 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.86 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	93
ก.25 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 1.7 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	93
ก.26 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 6.9 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	94
ก.27 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	94
ก.28 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 1.7 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	95

## สารบัญญัตินี้ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.29 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 6.9 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	95
ก.30 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.86 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 1.7 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	96
ก.31 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.86 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 6.9 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	96
ก.32 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.86 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	97
ก.33 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 1.7 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	97
ก.34 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 6.9 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	98
ก.35 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และ ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	98
ก.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของยีสต์ ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ในอัตราการไหลต่างๆ กัน ของขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	99
ก.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของยีสต์ ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ในอัตราการไหลต่างๆ กัน ของขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	99
ก.38 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชันและเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของยีสต์, <u>Bacillus subtilis</u> TISTR25 และพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ที่ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	100

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.39 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชันและเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของยีสต์, <u>Bacillus subtilis</u> TISTR25 และพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ที่ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	100
ก.40 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	101
ก.41 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 50 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	101
ก.42 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	102
ก.43 ผลของการกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 50 กรัมต่อลิตร, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล และขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	102
ก.44 แสดงปริมาตรและปริมาตรสะสมของยีสต์ที่กรองด้วย ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร.....	103
ก.45 แสดงปริมาตรและปริมาตรสะสมของยีสต์ที่กรองด้วย ความดัน 13.8 กิโลปาสคาล, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	103
ก.46 เปรียบเทียบค่าความแข็งของอะลูมินาขนาด 5.52 และ 18.91 ไมโครเมตร กับอุณหภูมิในการเผา.....	104

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.16 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนแบบส่องกราด ของแท่งกรองอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำ 14.5 เปอร์เซ็นต์ และขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	60
5.17 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนแบบส่องกราด ของแท่งกรองอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำ 14.5 เปอร์เซ็นต์ และขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร.....	60
5.18 แสดงผลการกรองพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ความดัน 13.79 กิโลปาสกาล, อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, ความหนาแน่น 20 กรัมต่อลิตร โดยเปรียบเทียบเวลากับเพอร์มิเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจกชัน (ภาคผนวก ตาราง ก.15).....	63
5.19 เปรียบเทียบค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของการกรองยีสต์ กับ <i>Bacillus subtilis</i> ที่ขนาดอะลูมินา 5.52 ไมโครเมตร (ภาคผนวก ตาราง ก.16 กับ ก.18).....	64
5.20 เปรียบเทียบค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจกชันของการกรองยีสต์ กับ <i>Bacillus subtilis</i> ที่ขนาดอะลูมินา 18.91 ไมโครเมตร (ภาคผนวก ตาราง ก.17 กับ ก.18).....	65
5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของยีสต์กับ ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ของแท่งกรองที่ใช้อะลูมินา ขนาด 5.52 ไมโครเมตร (ภาคผนวก ตาราง ก.36).....	66
5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของยีสต์กับ ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ของแท่งกรองที่ใช้อะลูมินา ขนาด 18.91 ไมโครเมตร (ภาคผนวก ตาราง ก.37).....	67
5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของยีสต์กับ ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร อัตราการไหล 1.92 ลูกบาศก์ต่อชั่วโมง ของแท่งกรองที่ใช้อะลูมินาขนาดต่างๆ กัน (ภาคผนวก ตาราง ก.36-ก.37).....	68
5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ โดยเปรียบเทียบ การกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5, 20 และ 50 กรัมต่อลิตร ของแท่งกรอง ที่ใช้อะลูมินาขนาด 5.52 ไมโครเมตร (ภาคผนวก ตาราง ก.18, ก.40 และ ก.41).....	71

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ โดยเปรียบเทียบ การกรองยีสต์ที่ความเข้มข้น 5,20 และ 50 กรัมต่อลิตร ของแท่งกรอง ที่ใช้อะลูมินาขนาด 18.91 ไมโครเมตร (ภาคผนวก ตาราง ก.19, ก.42 และ ก.43).....	72
ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 690 นาโนเมตรกับความ เข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	106
ข.2 แสดงภาวะการทดลองที่เหมาะสม.....	107

## สัญลักษณ์

C	ความเข้มข้นของสารละลาย (กรัมต่อลิตร)
$C_1, C_2, C_3, C_4$	ค่าคงที่ของรูปทรงช่องว่าง
$C_b$	ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในสารละลายป้อน (กรัมต่อลิตร)
$C_g$	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในชั้นเจล (กรัมต่อลิตร)
$C_p$	ความเข้มข้นของสารที่ต้องการกรองในสายเพอมีเอท (กรัมต่อลิตร)
$C_w$	ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยที่ผิวเยื่อแผ่น (กรัมต่อลิตร)
d	ความสูงของช่องว่างของเหลวเหนือเยื่อแผ่น (เมตร)
$D_v$	ความสามารถในการแพร่ของอนุภาคแขวนลอย (ตารางเมตรต่อวินาที)
f	แฟคเตอร์ที่ขึ้นกับค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ (Reynold number)
J	เพอร์มีเอชันฟลักซ์ (Permeate flux) (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง)
K	ค่าคงที่
L	ความยาวของตัวกรอง (เมตร)
$P_f$	ความดันของสารกรอง (กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที <sup>2</sup> )
$P_i$	ความดันขาเข้า (กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที <sup>2</sup> )
$P_o$	ความดันขาออก (กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที <sup>2</sup> )
Re	เรย์โนลด์ นัมเบอร์ (Reynold number)
$R_G$	ความต้านทานในชั้นเจล (เมตร <sup>-1</sup> )
$R_M$	ความต้านทานในเยื่อแผ่น (เมตร <sup>-1</sup> )
Sc	สมิท นัมเบอร์ (Schmit number)
Sh	เชอร์วูด นัมเบอร์ (Sherwood number)
$\Delta G_B$	การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระสัมพัทธ์ชั้นขอบเขต
$\Delta G_S$	การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระสัมพัทธ์ที่ผิวเกรน
$\Delta G_V$	การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระสัมพัทธ์ปริมาตร
$\Delta G_T$	การลดพลังงานอิสระรวมของระบบ
$\Delta P$	ความดันผ่านเยื่อแผ่น (กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที <sup>2</sup> )
$\mu$	ค่าความหนืด (ปาสคาล-วินาที)
$\delta$	ความหนาชั้นขอบเขต (เมตร)
$\sigma$	สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บของเยื่อแผ่น