

การแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยางด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ในอุตสาหกรรมน้ำ  
ยางชั้น



นายประวิตร พลอยงาม

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

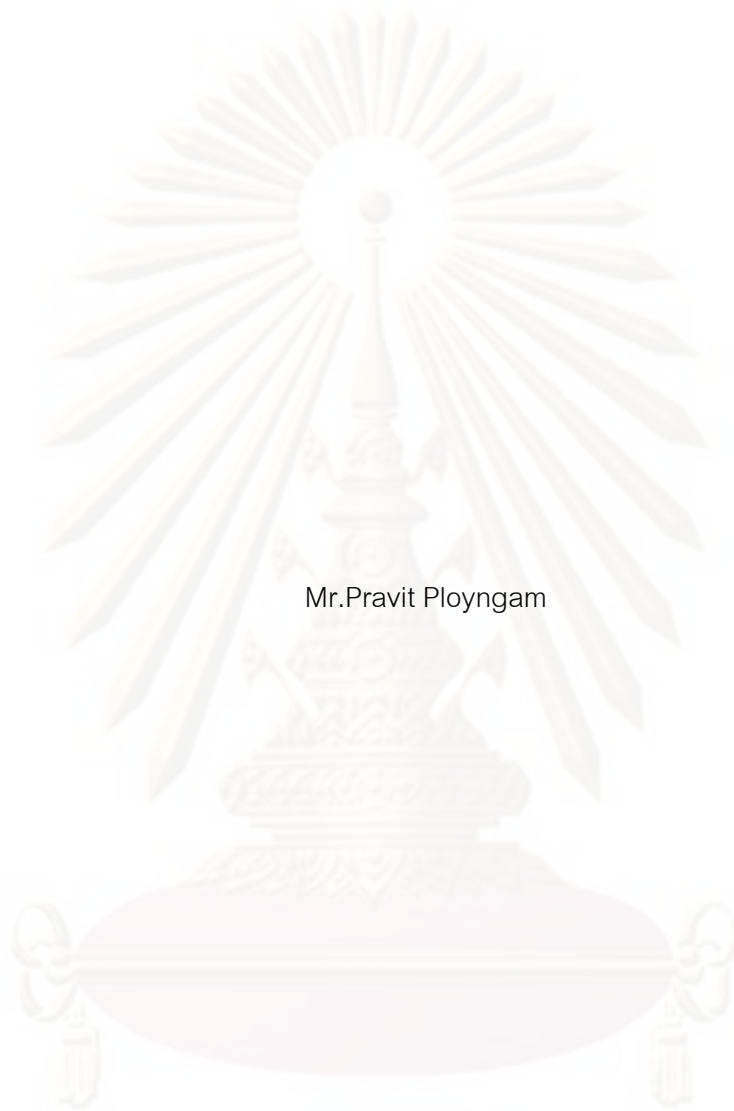
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF RUBBER PARTICLES FROM SKIM LATEX USING ROTATING  
MEMBRANE FILTER IN CONCENTRATED LATEX INDUSTRY



Mr.Pravit Ployngam

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแยกอนุภาคยางออกจากยางน้ำยางด้วยเครื่องกรอง  
ชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

โดย

นายประวิตร พลอยงาม

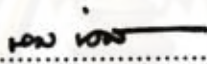
สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

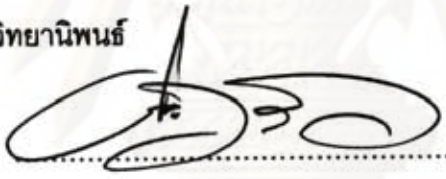
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

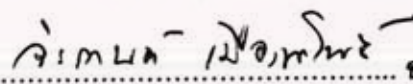
รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

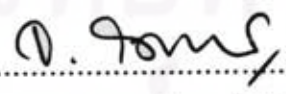
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนिरุญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีวรุฒ รีมดุษิต)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ )

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปริษานนท์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ)

ประวิตร พลอยงาม : การแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยางด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อ  
แผ่นหมุนได้ในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น. (SEPARATION OF RUBBER PARTICLES  
FROM SKIM LATEX USING ROTATING MEMBRANE FILTER IN  
CONCENTRATED LATEX INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.จิรกานต์  
เมืองนาโพธิ์, 102 หน้า.

หางน้ำยางเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยการปั่นเหวี่ยง หางน้ำยาง  
ประกอบไปด้วยเนื้อยางแห้งร้อยละ 3-4 โดยน้ำหนัก อนุภาคยางส่วนมากในหางน้ำยางจะมีขนาด  
ที่ค่อนข้างเล็ก โดยทั่วไปการนำกลับเนื้อยางใช้วิธีเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์  
ที่จะแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยางโดยประยุกต์ใช้เครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ และเพื่อ  
ลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริก ในการทดลองจะศึกษาผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่น ความเร็วรอบ  
ของเยื่อแผ่นและปริมาณกรดซัลฟูริกที่เติมลงไปในหางน้ำยางต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ ปริมาณเนื้อ  
ยางแห้งที่นำกลับได้และค่าความต้านทานรวมทั้งประกอบไปด้วย ความต้านทานของเยื่อแผ่น  
ความต้านทานในเยื่อแผ่นและความต้านทานบนผิวของเยื่อแผ่น ผลการทดลองพบว่าเพอร์มิเอ  
ชันฟลักซ์และค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยางมีค่ามากขึ้นตามความเร็วรอบของเยื่อแผ่นที่  
เพิ่มขึ้น เนื่องจากเค้กที่เกิดขึ้นบนผิวของเยื่อแผ่นถูกกำจัดออกตลอดผิวของเยื่อแผ่น โดยภาวะการ  
กรองที่ดีที่สุดด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ที่อัตราการป้อนคงที่ที่ 36 ลิตรต่อชั่วโมง คือ  
ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.28 บาร์ ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที พบว่าค่าปริมาณเนื้อ  
ยางแห้งในหางน้ำยางเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3 ไปเป็นร้อยละ 17 โดยน้ำหนักและมีค่าร้อยละการกัก  
เก็บเฉลี่ยเท่ากับ 95.96 นอกจากนี้ยังสามารถทำหางน้ำยางก้อนโดยใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกน้อย  
กว่าทางโรงงานถึง 1.3 เท่า ใช้เวลาในการทำหางน้ำยางก้อน 3 ชั่วโมง ขณะที่ทางโรงงานจะใช้  
เวลาประมาณ 4 ถึง 24 ชั่วโมง โดยผลได้จากกระบวนการนี้ให้ค่าผลได้มากกว่าทางโรงงานผลิต  
ถึง 3.3 เท่า



ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....  
ปีการศึกษา.....2552.....

ลายมือชื่อผู้นิสิต.....ประจักษ์.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....จิรกานต์.....

## 5170587021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : RUBBER PARTICLES / SKIM / ROTATING MEMBRANE /  
CONCENTRATED LATEX INDUSTRY

PRAVIT PLOYNGAM: SEPARATION OF RUBBER PARTICLES FROM SKIM  
LATEX USING ROTATING MEMBRANE FILTER IN CONCENTRATED LATEX  
INDUSTRY. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.CHIRAKARN MUANGNAPOH,  
Dr.Ing., 102 pp.

Skim latex is residual latex obtained as a by-product from concentration process of natural rubber by centrifugation. Skim latex contains 3-4% by weight of residual rubber and composes of mainly small rubber particles. The conventional method to recover rubber particles from skim latex is coagulation with concentrated sulfuric acid. The aim of this study are to separate rubber particles from skim latex using rotating membrane filter and to reduce sulfuric acid consumption. In this study, transmembrane pressure ( $\Delta P_{TM}$ ), rotating speed of membrane and concentration of sulfuric acid were investigated in order to compare permeation flux, %DRC (dry rubber content) and total resistance ( $R_t$ ) which consists of membrane resistance ( $R_m$ ), pore-blocking resistance ( $R_p$ ) and cake resistance ( $R_c$ ). Results showed that permeation flux and % DRC increased with the increasing of rotating speed because cake formation will be eliminated along membrane surface. The best condition for separation of rubber particles from skim latex at fixing feed flow rate of 36 L/h was at  $\Delta P_{TM}$  of 0.28 bar, rotating speed of 1200 rpm. It was found that skim latex was concentrated from 3% to 17% DRC with the average rejection of 95.96%. Skim block made by this process shows 1.3 times lower acid consumption than factory process. Moreover, skim block setting time is only 3 hours instead of 4-24 hours as factory did and shows 3.3 times higher yield than factory process.

Department : Chemical Engineering.....

Student's Signature

Pravit

Field of Study : Chemical Engineering.....

Advisor's Signature

C. Muangnapoh

Academic Year : 2009.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับการอบรมสั่งสอนการปฏิบัติงาน คำแนะนำแนวทางในพัฒนางานวิจัยและความช่วยเหลือในอีกหลาย ๆ ด้านมาตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ ริมดุสิต ประธานกรรมการ,รองศาสตราจารย์ ดร. สีรุ่ง ปริษานนท์และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

และเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ บริษัทไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) จำกัด Mr.Lim Chin Hock และพนักงานของโรงงานทุกท่าน สำหรับคำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานภายในบริษัทไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

ขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่และน้อง ๆ สำหรับความช่วยเหลือหลาย ๆ ด้านและให้กำลังใจในการทำวิจัยด้วยดี

และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดาและพี่น้องในครอบครัวทุกคนที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 <sup>๓</sup> น่ายางธรรมชาติ.....	3
2.2 ส่วนประกอบของ <sup>๓</sup> น่ายาง.....	3
2.2.1 ส่วนของ <sup>๓</sup> น่อยาง.....	4
2.2.2 ส่วนที่ไม่ใช่ยาง.....	6
2.3 การกรอง.....	9
2.3.1 ทฤษฎีการกรอง.....	10
2.4 ทฤษฎีไมโครฟิลเตรชัน.....	15
2.5 การกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้.....	20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำ <sup>๓</sup> น่ายางเข้มข้นและการปรับปรุง กระบวนการผลิตทาง <sup>๓</sup> น่ายาง.....	28
2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้.....	29
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 อุปกรณ์.....	32

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 เคมีภัณฑ์.....	32
3.3 การทดลองหาคุณลักษณะของหางน้ำยาง.....	32
3.4 การทดลองหาขนาดอนุภาคยางเมื่อใส่กรดซัลฟูริกในหางน้ำยาง.....	32
3.5 กระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้.....	33
3.6 การหาภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยางโดยใช้เครื่อง กรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้.....	35
3.7 การวิเคราะห์หาคุณลักษณะของหางน้ำยาง.....	35
3.7.1 ความหนาแน่น.....	35
3.7.2 การวิเคราะห์หาความหนืด.....	35
3.7.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยาง.....	37
3.8 ความหมายของค่าต่างๆที่ใช้ในการแปรผลการทดลอง.....	38
3.8.1 %ปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยาง (%DRC).....	38
3.8.2 เปอร์เซ็นต์การกักเก็บ (% Rejection).....	38
3.8.3 ความต้านทาน.....	38
4.ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	39
4.1 ผลการทดลองหาความหนาแน่น ค่าความหนืด ปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำ ยาง (%DRC) และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคยาง.....	39
4.2 ผลของปริมาณกรดซัลฟูริก (%v/v) ต่อขนาดของอนุภาคยาง.....	39
4.3 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่ปริมาณ กรดซัลฟูริก 0.3 0.4 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	40
4.4 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานรวม ความ ต้านทานในเยื่อแผ่นและความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	42
4.5 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งใน หางน้ำยางที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	48
4.6 ผลของความเข้มข้นกรดซัลฟูริกและความเร็วรอบต่อค่าเปอร์เซ็นต์การกักเก็บ...	50

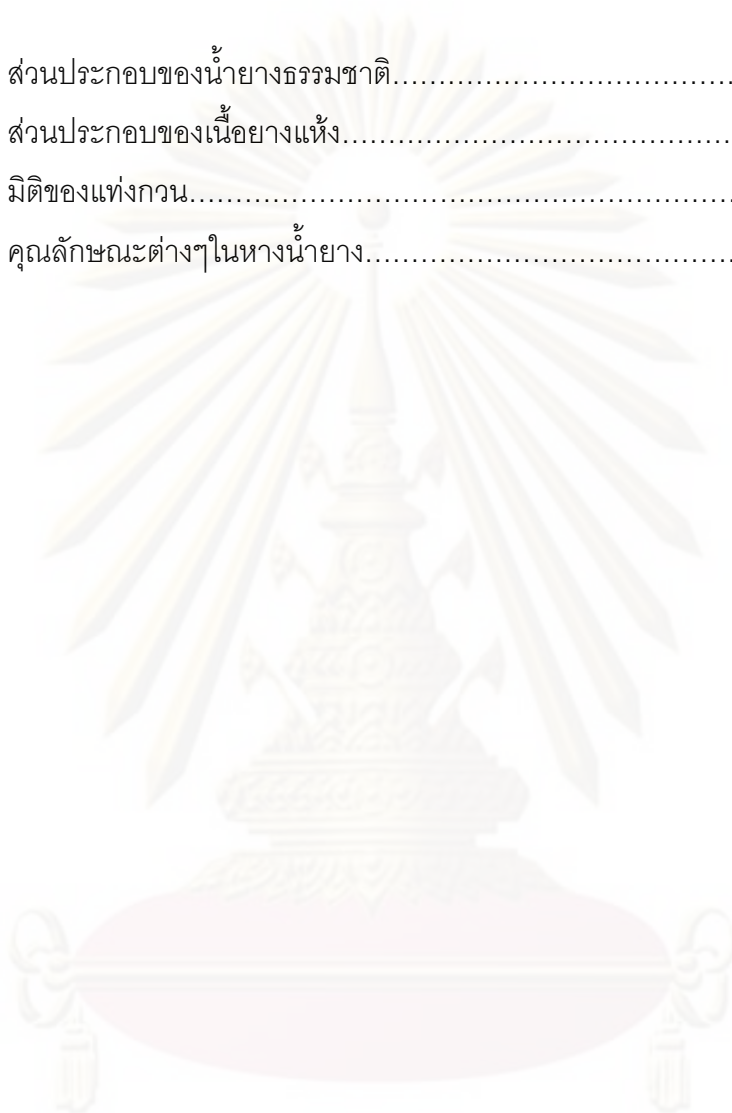


สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.7 การเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคยางในสายรีเทนเททโดยการกรองซ้ำ.....	51
5.สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	53
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
รายการอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	69
ภาคผนวก ค.....	92
ภาคผนวก ง.....	96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	102

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของน้ำยาธรรมชาติ.....	4
2.2	ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง.....	6
3.1	มิติของแท่งกวน.....	37
4.1	คุณลักษณะต่างๆในหางน้ำยา.....	39



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การเก็บน้ำยางด้วยการกรีด.....	3
2.2	อนุภาคยาง.....	5
2.3	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคยางในน้ำยางสดและหางน้ำยาง.....	5
2.4	ลักษณะของยางในส่วนต่างๆหลังการปั่นเหวี่ยง.....	8
2.5	ลักษณะของยางที่ถูกปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง.....	9
2.6	ประเภทการกรองตามทิศทางการไหลของสารแขวนลอย.....	10
2.7	แสดงรูปแบบการเกิดการอุดตันของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น.....	16
2.8	แสดงภาพคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน.....	19
2.9	แสดงภาพเจลาโพลาไรเซชัน.....	20
2.10	ทิศทางการไหลของของไหลในกระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่น หมุนได้.....	21
2.11	การหมุนวนแบบเทย์เลอร์.....	21
2.12	กลไกการไหลของระบบการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้.....	22
2.13	รูปแบบการหมุนวนของเทย์เลอร์ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทย์เลอร์นัม เบอร์และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกน.....	26
3.1	กระบวนการแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยางด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่น หมุนได้.....	33
3.2	เครื่องกรองแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยาง.....	34
3.3	ลักษณะการวางเยื่อแผ่น.....	34
3.4	เข็มวัดความหนืดแบบ L1.....	36
3.5	เครื่องวัดความหนืด.....	36
4.1	ผลของปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใส่ในหางน้ำยางต่อขนาดอนุภาคยาง.....	40
4.2	ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่ ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร...	41
4.3	ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่ ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร...	41



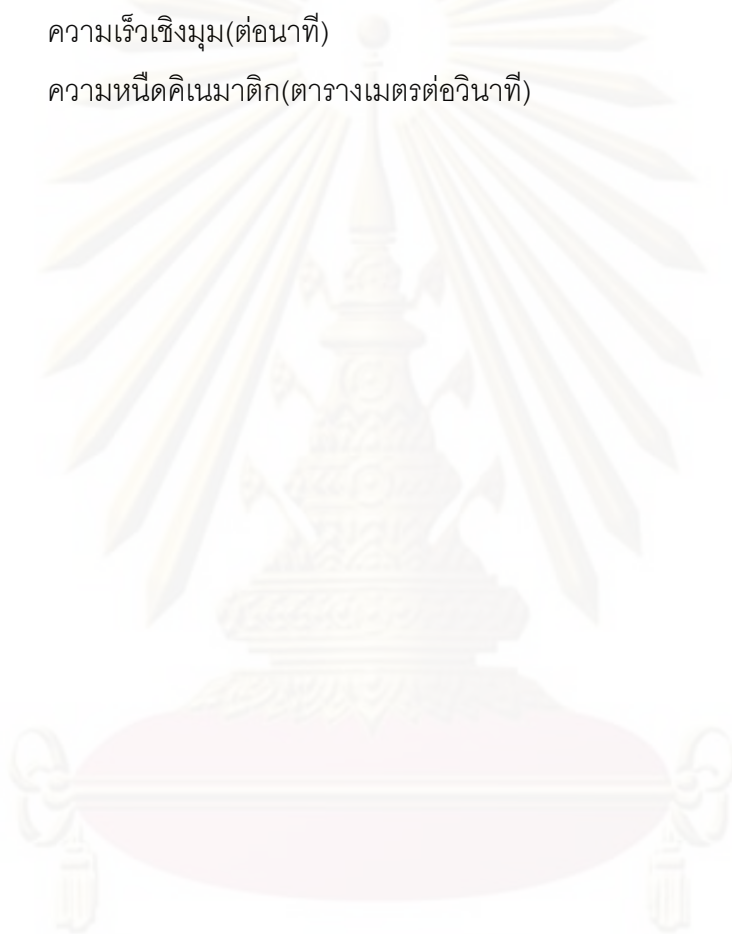
## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.14	ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าปริมาณน้ำอย่างแห้งใน หางน้ำยางที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร.....	49
4.15	ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าปริมาณน้ำอย่างแห้งใน หางน้ำยางที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร.....	49
4.16	ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าปริมาณน้ำอย่างแห้งใน หางน้ำยางที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร.....	50
4.17	ผลของความเข้มข้นกรดซัลฟูริกและความเร็วรอบต่อค่าเปอร์เซ็นต์การกัก เก็บ.....	51
4.18	ผลของจำนวนครั้งที่ทำการกรองต่อค่าปริมาณน้ำอย่างแห้งในหางน้ำยางสายรี เทนเททที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5% โดยปริมาตร ความดันคร่อม 0.28 บาร์และ ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที.....	52

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$A$	พื้นที่การกรอง(ตารางเมตร)
$C$	ความเข้มข้นของสารละลาย(กรัมต่อลิตร)
$C_b$	ความเข้มข้นของสารละลายในระบบ(กรัมต่อลิตร)
$C_g$	ความเข้มข้นของเจล(กรัมต่อลิตร)
$C_p$	ความเข้มข้นของสารละลายในเพอร์มิเอท(กรัมต่อลิตร)
$C_w$	ความเข้มข้นของสารละลายที่ผิวเยื่อแผ่น(กรัมต่อลิตร)
$d_h$	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิก(เมตร)
$J$	เพอร์มิเอชันฟลักซ์(ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง)
$N$	จำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์(รอบต่อนาที)
$P_i$	ความดันขาเข้าของสารละลาย(บาร์)
$P_o$	ความดันขาออกของสารละลาย(บาร์)
$P_f$	ความดันด้านสารละลายเพอร์มิเอท(บาร์)
$\sigma$	ค่าการกักเก็บ(-)
$R_{cp}$	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชัน(ต่อเมตร)
$R_i$	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดจุดตันรูพรุน(ต่อเมตร)
$R_g$	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดเจลโพลาไรเซชัน(ต่อเมตร)
$R_m$	ความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่น(ต่อเมตร)
$R_c$	ความต้านทานการกรองเนื่องจากเกิดโพลาไรเซชัน(ต่อเมตร)
$R_t$	ความต้านทานรวม(ต่อเมตร)
$R_1$	รัศมีของเยื่อแผ่นเซรามิก(เมตร)
$R_2$	รัศมีภายในของท่อทรงกระบอก(เมตร)
$Re_a$	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ตามแนวแกน(-)
$Re_t$	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ผิวของเยื่อแผ่น(-)
$T_a$	ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์(-)
$T_{a,crit}$	ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์วิกฤต(-)
$\Delta$	ระยะห่างระหว่างผิวเยื่อแผ่นกับผนังท่อทรงกระบอกด้านใน(เมตร)
$\Delta P$	ผลต่างของความดันขาเข้าและขาออกของสารละลาย(บาร์)
$\Delta P_{TM}$	ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอร์มิเอท(บาร์)

$\rho$	ความหนาแน่นของสารละลาย(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
$\sigma$	สัมประสิทธิ์รีเฟรคชัน(-)
$V$	ความเร็วของสารละลาย(เมตรต่อวินาที)
$\mu$	ความหนืดของสารละลาย(กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที)
$\tau$	แรงเฉือนที่ผิวเยื่อแผ่น(ต่อวินาที)
$\omega$	ความเร็วเชิงมุม(ต่อวินาที)
$\nu$	ความหนืดคิเนมาติก(ตารางเมตรต่อวินาที)



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ตลาดน้ำยางสดทั่วโลกสามารถผลิตน้ำยางสดได้ประมาณ 6.9 ล้านตันในปี ค. ศ.1998-2000 และคาดว่าจะสามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นถึง 7.9 ล้านตันในปี 2010 อัตราการเติบโตจะเพิ่ม 1.3 เปอร์เซ็นต์ทุกสิบปีโดยน้ำยางสดส่วนมากมาจากประเทศที่กำลังพัฒนาในทวีปเอเชียมีการคาดการณ์ว่าการผลิตน้ำยางสดรวมในทวีปเอเชียจะสูงถึง 6.8 ล้านตันในปี ค. ศ. 2010 คิดเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตส่งออกทั่วโลก (FAQ,2003)

ในปี ค. ศ. 2007 ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตน้ำยางสดที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดในโลกประมาณ 3 ล้านตัน ตามด้วยประเทศอินโดนีเซีย 2.7 ล้านตัน ประเทศมาเลเซีย 1.22 ล้านตัน ตามลำดับ โดยที่ประเทศจีนเป็นประเทศที่นำเข้ายางมากที่สุดในโลกประมาณ 2.6 ล้านตัน ตามด้วยประเทศอเมริกา 1.1 ล้านตัน และประเทศญี่ปุ่น 9 แสนตันตามลำดับ (IRSG ,Rubber statistical Bulletin,2008).

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น เริ่มต้นจากทางโรงงานรับซื้อน้ำยางสดจากชาวสวน นำมาใส่สารเคมีหลายชนิดเพื่อปรับคุณภาพให้อนุภาคยางมีความเสถียรและเพื่อกำจัดปริมาณแมกนีเซียม หลังจากแยกตะกอนแมกนีเซียม (Sludge) ออกโดยวิธีตกตะกอนแล้ว น้ำยางสด (30-37%DRC= Dried rubber content) จะถูกป้อนเข้าเครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) ได้ผลิตภัณฑ์น้ำยางข้น (Latex) ประมาณ 60% DRC (15000ตัน/ปี) และหางน้ำยาง (Skim latex) ที่มียาง 3-4%DRC (มีหางน้ำยางประมาณ15000ตัน/ปี) ปัจจุบันทางโรงงานแยกยางจากหางน้ำยางด้วยการเติมกรดซัลฟูริกเป็นจำนวนมากเพื่อแยกยางสกิมออกจากหางน้ำยาง ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมี ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นภาระต้องบำบัดน้ำทิ้งที่มีซัลเฟตจึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการใหม่

กระบวนการแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยางด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้แบบสายป้อนไหลขนานกับเยื่อแผ่น (Cross-flow rotating membrane filtration) เป็นการคัดขนาดอนุภาคด้วยเยื่อแผ่นโดยใช้ความดันคร่อมเยื่อแผ่น (TMP) (Transmembrane pressure) (ทำให้ไม่ต้องใช้สารเคมี) การแยกอาศัยหลักการการเกิด Taylor vortice เพื่อเพิ่มแรงเฉือน ทำให้สามารถป้อนสารเข้าโมดูลได้อย่างซ้ำๆ ได้ความเข้มข้นขาออกสูง โดยใช้พื้นที่ของเยื่อแผ่นน้อยกว่าเครื่องกรองแบบหมุนไม่ได้



งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะใช้เยื่อแผ่นชนิดหมุนได้เพื่อแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยาง ดังนั้นตัวแปรที่จะศึกษาได้แก่ความดันคร่อมเยื่อแผ่น(TMP) ปริมาณกรดซัลฟูริก ความเร็วรอบของเยื่อแผ่นที่หมุน โดยให้ความเข้มข้นของสายป้อน ระยะห่างระหว่างเยื่อแผ่นกับแฮ็สซิ่ง(Housing) และ ความสูงของโมดูลคองที่ โดยเก็บตัวอย่างตามเวลา เพื่อหาเพอร์มิเอชันฟลักซ์, %DRC ในสายรีเทนเทตและสายเพอร์มิเอท ค่าความต้านทานและค่าการกักเก็บ (%Rejection) ของเยื่อแผ่น จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่า อนุภาคหางน้ำยางมีขนาดประมาณ 0.8 ไมโครเมตร มีประจุที่พื้นผิวเป็นประจุลบ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะใช้เยื่อแผ่นเซรามิค ขนาดรูประมาณ 0.3 ไมโครเมตร ภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยาง จะพิจารณาจาก%DRC ในสายรีเทนเทตที่นำกลับได้มากที่สุด และมีความเข้มข้นของยางสูง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยางโดยใช้เครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาผลของปริมาณกรดซัลฟูริกในการทำให้ยางจับตัวกันเบื้องต้น
- 1.3.2 ศึกษาผลของความเร็วยรอบของเยื่อแผ่น
- 1.3.3 ศึกษาผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่น
- 1.3.4 วิเคราะห์ เพอร์มิเอชันฟลักซ์, %DRC ในสายรีเทนเทตและสายเพอร์มิเอท ค่าความต้านทานและค่าการกักเก็บ (%Rejection) ของเยื่อแผ่น
- 1.3.5 เปรียบเทียบผลการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาจาก %DRC ในสายรีเทนเทตที่นำกลับได้มากที่สุด และมีความเข้มข้นของยางสูง

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1.4.1 ได้ภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยาง โดยใช้เครื่องกรองที่มีเยื่อแผ่นชนิดหมุนได้
- 1.4.2 ได้เครื่องกรองต้นแบบ เพื่อนำข้อมูลไปขยายขนาดให้เหมาะสมกับกำลังการผลิต คาดว่าจะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เนื่องจากใช้กรดน้อยลง ลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำยางธรรมชาติ (natural rubber)

น้ำยางสดที่ได้มาจากการกรีดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวเหมือนนํ้านม ชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* น้ำยางที่กรีดได้จากต้นจะเรียกว่าน้ำยางสด (field latex) มีลักษณะเป็นเม็ดยางเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ (emulsion) ลักษณะเป็นคอลลอยด์ ปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 pH 6.5-7 น้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ (เวท ไทยนุกูล, 2532) น้ำยางที่ถูกกรีดออกมาปริมาณน้ำยางอยู่ในช่วง 100 ถึง 300 มิลลิลิตรในระยะเวลา 1 ถึง 3 ชั่วโมง (Tanaka, 2001). ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเก็บน้ำยางด้วยการกรีด

#### 2.2 ส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางธรรมชาติ เป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ เมื่อกรีดมาจากต้นยาง มีปริมาณของเนื้อยางแห้งอยู่ระหว่าง 25 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งและสารที่เป็นเนื้อยางแห้งประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ (แต่เมื่อนำน้ำยางมาปั่นด้วยเครื่องเซนติฟิวจ์แล้ว, ความแตกต่างจะลดลงเหลือเพียงประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์)

## ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ (เสาวเนียร์ ก่อวุฒิกุลรังสี,2547)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27-48
เนื้อยางแห้ง	25-45
โปรตีน	1-1.5
เรซิน	1-1.25
ซีเถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

### ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยาง(โกศล จริงสูงเนิน,2528)

แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

- |                              |    |             |
|------------------------------|----|-------------|
| 1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง       | 35 | เปอร์เซ็นต์ |
| 2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง          | 65 | เปอร์เซ็นต์ |
| 2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ           | 55 | เปอร์เซ็นต์ |
| 2.2 ส่วนของลูทอยด์และสารอื่น | 10 | เปอร์เซ็นต์ |

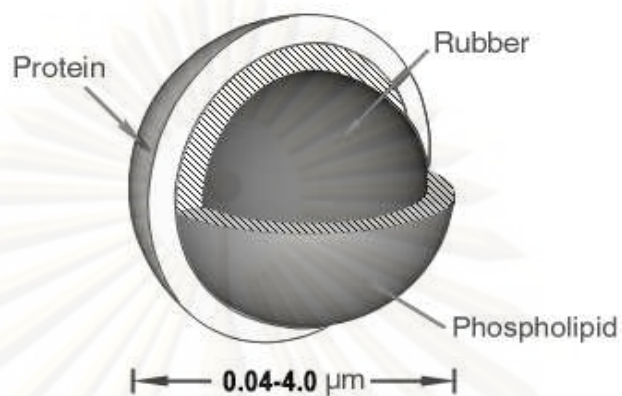
### 2.2.1 ส่วนของเนื้อยาง

#### อนุภาคยาง

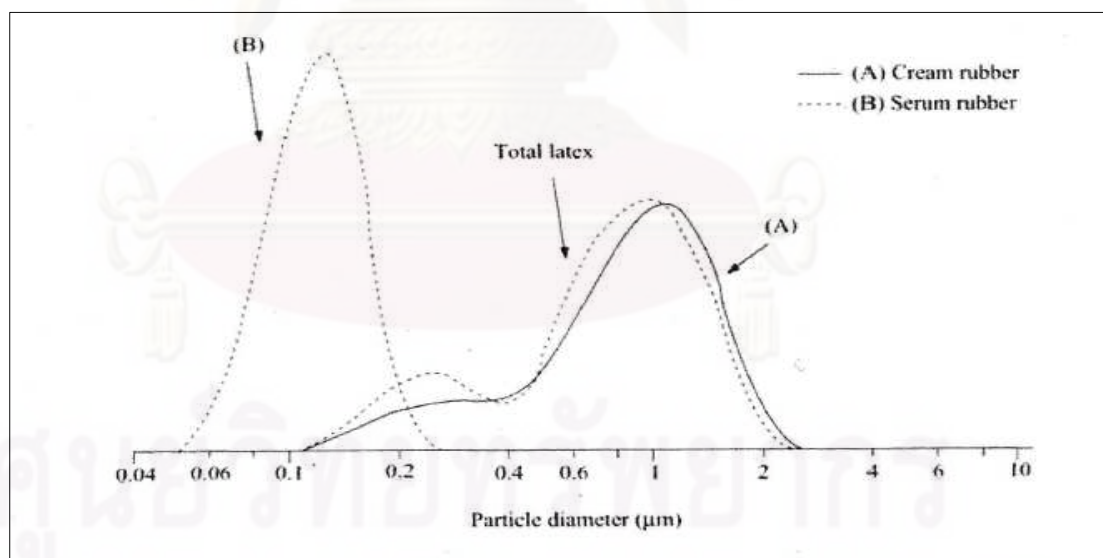
อนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีนดังแสดงในรูป 2.2 โดยโปรตีนนี้อยู่ชั้นนอกและอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โบแทสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ ประกอบด้วยสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน มีชื่อโครงสร้างทางเคมีว่า ไอโซพรีน (cis-1,4 polyisoprene) มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัม ต่อ มิลลิลิตร ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูปค่อนข้างกลม มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมากคือ อยู่ระหว่าง 0.04 ไมครอนจนถึง 4 ไมครอน ( $400\text{Å} - 40,000\text{Å}$ ) อนุภาคยางส่วนใหญ่จะมีขนาดเกิน 0.4 ไมครอน ( $4000\text{Å}$ ) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1.03 ไมครอน โดยอนุภาคยางในทาง

น้ำยางจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.13 ไมครอน (Jitladda Sakdapipanich,1999) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 อนุภาคยาง(Verhaar,1959)



รูปที่ 2.3 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคยางในน้ำยางสดและหางน้ำยาง (Jitladda Sakdapipanich,1999)

## โปรตีน

โปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในชั้นน้ำและอีก 25 เปอร์เซ็นต์ จะปะปนอยู่ในส่วนของลู่ทอยด์

โปรตีนบนผิวของอนุภาคยางนี้ มีส่วนประกอบของกำมะถัน (Cystine disulphide linkage) อยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นขณะที่น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ จะเกิดการบวมเน่า โดยโปรตีนส่วนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน (Merceptan) ทำให้มีกลิ่นเหม็น

## ไขมัน

ไขมันที่อยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด  $\alpha$ -Lecithin เชื่อว่าทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง(เสาวนีย์ ก่อวุฒิ กุลรังสี,2547)

### ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง (บุญธรรม นิธิอุทัย,2539)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
เนื้อยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ กระจายอยู่ในเนื้อยาง	10
โปรตีน	1
ไขมัน	3

### 2.2.2 ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

#### ส่วนที่เป็นน้ำหรือเซรัม

เซรัม (Serum) ของน้ำยาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตรประกอบด้วย สารชนิดต่างๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน

## ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ

### ลูทอยด์

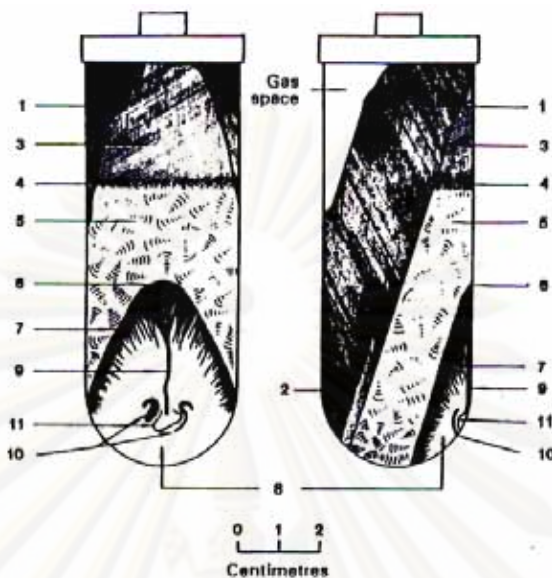
ลูทอยด์ เป็นอนุภาคค่อนข้างกลมมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคยาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ถึง 5 ไมครอน (Pakianathan,1966). ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในเยื่อบางนี้ จะมีทั้งสารละลายและสารที่แขวนลอย มีค่า pH = 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน แมกนีเซียม แคลเซียม (Southren,1968) นอกจากนี้ยังมีส่วนของสารพวกฟอสโฟไลปิดแขวนลอยอยู่ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์และมีสารโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลืองหรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

### อนุภาคเฟรย์ – วิสลิง (frey- wyssling)

อนุภาคเฟรย์-วิสลิง เป็นสารไม่ใช่อยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 ถึง 6 ไมครอน แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น ประกอบไปด้วยสารหลายชนิดมากกว่าลูทอยด์ (Atiya Rattanapittayapron,1998)

หากนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูงจะสามารถแยกน้ำยาง ออกได้ 4 ส่วน เรียงจากด้านบนถึงด้านล่างของภาชนะ ดังนี้ ดังรูปที่ 2.4

1. ส่วนของเนือยาง
2. อนุภาคเฟรย์-วิสลิง
3. เซรัม
4. ตะกอนสีเหลืองหรือขาว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกลูทอยด์



**รูปที่ 2.4** ลักษณะของยางในส่วนต่างๆหลังการปั่นเหวี่ยง ส่วนที่ 1-3: ชั้นยาง, ส่วนที่ 4  
ชั้น ของอนุภาคเฟอรั-วิสลิง, ส่วนที่ 5: ชั้นเซรัม, ส่วนที่ 6-11: ชั้นของลูทอยด์  
(Jitladda Tangpakdee,1998)

ส่วนของเนื้อยาง อยู่ด้านบนสุด มีลักษณะเป็นครีมสีขาว เป็นอนุภาคของยาง อาจมี  
ของแข็งอื่น เช่น อนุมูลของโลหะอื่นเจือปนบ้างเล็กน้อย

ส่วนที่อยู่ติดกับเนื้อยางมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง เป็นอนุภาค  
ของเฟอรั – วิสลิง เวลาปั่นมักปนอยู่ในส่วนของเซรัม

เซรัมจะมีสีใสปนเหลืองเป็นฟองง่าย ส่วนใหญ่ประกอบด้วย โปรตีน ฟอสฟอรัส โปแตส  
เซียม ทองแดง และแมกนีเซียม

ส่วนที่อยู่ชั้นล่าง เป็นตะกอนมีสีเหลือง น้ำตาลคล้ำ หรือสีขาว ส่วนใหญ่เป็นสารพวก  
โลหะหนัก เช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ดังแสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของยางที่ถูกปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง (Kamalin Kanyawararak,2005)

### 2.3 การกรอง

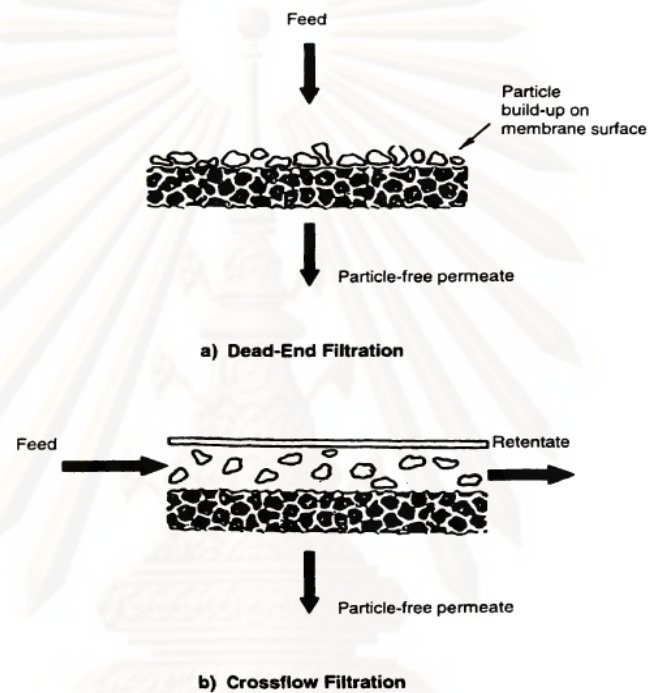
การกรองคือการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวโดยอาศัยแรงขับ (Driving force) ให้สารแขวนลอยไหลผ่านตัวกลางที่มีรูพรุน (Porous medium) ที่สามารถกักอนุภาคของแข็งไว้ได้ อนุภาคของแข็งจะสะสมอยู่บนแผ่นกรองในรูปแบบเค้ก (Cake) ในขณะที่ของเหลวจะไหลผ่านแผ่นกรองเรียกว่าฟิลเตรทหรือของเหลวใส (Clear filtrate)

ประเภทของการกรองแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. การกรองแบบป้อนตั้งฉากกับแผ่นกรอง (dead-end filtration) การกรองแบบdead-end เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อแผ่น ดังรูปที่ 2.6 ทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น ซึ่งเรียกว่า เค้ก (cake) การสะสมของเค้กทำให้ความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้นตามเวลาของการกรอง และทำให้ค่าฟลักซ์ (flux) ผ่านเยื่อแผ่นลดลงอย่างรวดเร็ว การกรองแบบ dead-end เหมาะสำหรับการกรองสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก และมีความเข้มข้นต่ำ งานวิจัยทั่วไปที่ต้องการทดสอบสมบัติของเยื่อแผ่นมักใช้การกรองแบบ dead-end เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้ปริมาตรของสารละลายน้อยและความเข้มข้นของสารละลายต่ำ



2. การกรองแบบป้อนขนานกับแผ่นกรอง (crossflow filtration) เป็นการกรองแบบป้อนสารละลายขนานกับเยื่อแผ่นหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอร์มิเอท ดังรูปที่ 2.6 การกรองแบบนี้มีผลดีคือ เกิดแรงเฉือนทำให้สารละลายกวาดอนุภาคออกจากผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้เกิดการสะสมของเค้กเพียงบางๆ เท่านั้น การลดลงของฟลักซ์ไม่มากเท่ากับการกรองแบบ dead-end จึงเหมาะสำหรับการกรองสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง



รูปที่ 2.6 ประเภทการกรองตามทิศทางการไหลของสารแขวนลอย

### 2.3.1 ทฤษฎีการกรอง

กฎของ Darcy อธิบายความสัมพันธ์ของอัตราการไหล ( $Q$ ) ผ่านเบดพอร์น (Porous bed) ของของแข็ง กับค่าความดันลด (Pressure drop) ดังสมการต่อไปนี้

$$v = \frac{k\Delta P}{\mu l} \quad 2.1$$

โดยที่  $v$  คือ ความเร็วของของเหลว ในหน่วย m/s

$k$  คือ ค่าความสามารถของเบดที่ยอมให้ของเหลวไหลผ่าน ในหน่วย  $m^2$

$\Delta P$  คือ ค่าความดันลด ในหน่วย Pa

$l$  คือ ความหนาของเบด ในหน่วย m

$\mu$  คือ ความหนืดของของเหลว ในหน่วย Pa.s

สำหรับการกรองแบบกะ (batch) สามารถเขียนสมการของความเร็วใหม่ในเทอมต่อไปนี้

$$v = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \quad 2.2$$

โดยที่  $A$  คือ พื้นที่ของเครื่องกรอง ( $m^2$ )

$V$  คือ ปริมาตรรวมของฟิลเตรท ( $m^3$ )

$t$  คือ เวลา (s)

ค่าความต้านทาน ( $l/k$ ) ในหน่วย ( $m^{-1}$ ) เป็นผลรวมของค่าความต้านทานของเค้กและความต้านทานของตัวกลางการกรองเขียนได้ดังนี้

$$\frac{l}{k} = R_M + R_C \quad 2.3$$

โดยที่  $R_M$  คือ ความต้านทานของตัวกลางการกรองที่มีต่อการไหลของฟิลเตรท ( $m^{-1}$ )

$R_C$  คือ ความต้านทานของเค้กที่สะสม ( $m^{-1}$ )

รวมสมการ 2.1, 2.2 และ 2.3 จะได้สมการพื้นฐานสำหรับการกรองดังนี้คือ

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu(R_M + R_C)} \quad 2.4$$

ซึ่งสมการที่ 2.4 สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$Q = \frac{A \Delta P}{\mu(R_M + R_C)} \quad 2.5$$

ในกรณีที่เป็นเค้กตัดตัวไม่ได้ ความต้านทานของเค้กจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเค้กที่สะสมคือ

$$R_C = \alpha w \quad 2.6$$

กำหนดให้  $w$  = มวลของเค้กที่สะสมต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) มีค่าสัมพันธ์กับปริมาตรสะสมของฟิลเตอร์ที่เพิ่มขึ้นกับเวลาโดย

$$wA = cV \quad 2.7$$

โดยที่  $\alpha$  คือ ความต้านทานจำเพาะของเค้ก ( $\text{m}/\text{kg}$ )

$V$  คือ ปริมาตรของฟิลเตอร์ ( $\text{m}^3$ )

แทนค่า  $R_C$  ในสมการที่ 2.5 จะได้

$$Q = \frac{A\Delta P}{\alpha\mu w + \mu R_M} \quad 2.8$$

จากสมการที่ 2.7 นำค่า  $w$  มาแทนค่าในสมการที่ 2.8 จะได้

$$Q = \frac{A\Delta P}{\alpha\mu c \left(\frac{V}{A}\right) + \mu R_M} \quad 2.9$$

จากความสัมพันธ์

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad 2.10$$

ดังนั้นจากสมการที่ 2.9 และ 2.10 สามารถกลับให้อยู่ในรูปส่วนกลับได้เป็น

$$\frac{dt}{dV} = \alpha\mu c \frac{V}{A^2 \Delta P} + \frac{\mu R_M}{A\Delta P} \quad 2.11$$

กำหนดให้  $a_1$  และ  $b_1$  เป็นค่าคงที่

$$a_1 = \alpha \mu c \quad 2.12$$

$$b_1 = \mu R_M \quad 2.13$$

โดยที่  $a_1$  คือค่าคงที่แสดงสมบัติของสารแขวนลอยในสายป้อนและสมบัติอนุภาคของของแข็ง  
 $b_1$  คือค่าคงที่ cloth-filtrate

นำสมการ 2.12 และ 2.13 แทนลงในสมการที่ 2.11 จะได้เป็น

$$\frac{dt}{dV} = a_1 \frac{V}{A^2 \Delta P} + b_1 \frac{1}{A \Delta P} \quad 2.14$$

การกรองที่ความดันคงที่

ในการกรองที่ภาวะความดันคงที่ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของของไหลกับเวลาโดยวิธีอินทิเกรตสมการที่ 2.14 ที่ภาวะเริ่มต้นของการกรอง ( $t=0, V=0$ ) เฉพาะ  $V$  และ  $t$  เท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลง

$$\int_0^t dt = \frac{a_1}{A^2 \Delta P} \int_0^V V dV + \frac{b_1}{A \Delta P} \int_0^V dV \quad 2.15$$

$$t = a_1 \frac{V^2}{2A^2 \Delta P} + b_1 \frac{V}{A \Delta P} \quad 2.16$$

สามารถหาค่า  $\alpha$  และค่า  $R_M$  โดยการจัดสมการที่ 2.16 ให้เป็นสมการเส้นตรง แล้วนำมาทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{t}{V}$  กับ  $V$  จะได้

$$\frac{t}{V} = xV + y \quad 2.17$$

เมื่อ  $x = \frac{a_1}{2A^2 \Delta P}$  และ  $y = \frac{b_1}{A \Delta P}$

โดยที่ ความชันของกราฟ  $x = \frac{a_1}{2A^2 \Delta P}$

จุดตัดแกน y  $y = \frac{b_1}{A \Delta P}$

การกรองที่มีอัตราการไหลคงที่

ในการทดลองที่ภาวะอัตราการไหลคงที่ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดกับเวลา โดยเริ่มจากสมการอัตราการไหล

$$V = Qt \quad 2.18$$

จากสมการที่ 2.9 และสมการที่ 2.18 จะได้เป็น

$$\Delta P = \alpha \mu c \frac{Q^2}{A^2} t + \mu R_M \frac{Q}{A} \quad 2.19$$

จากค่าคงที่ที่กำหนดไว้ในสมการที่ 2.12 และ 2.13 นำมาแทนในสมการที่ 2.19 จะได้

$$\Delta P = a_1 v^2 t + b_1 v \quad 2.20$$

โดย  $v$  คือความเร็วของฟิลเตรท

$$v = \frac{Q}{A} \quad 2.21$$

ในการทดลองจะเก็บข้อมูลค่าความดันลด กับปริมาตรของฟิลเตรท ทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลด ( $\Delta P$ ) กับเวลา ( $t$ )

$$\Delta P = xt + y \quad 2.22$$

โดยที่ ความชันของกราฟ  $x = a_1 v^2$

จุดตัดแกน  $y$   $y = b_1 v$

ในกรณีเค้กที่อัดตัวได้ เมื่อเค้กถูกบีบอัด จะมีผลทำให้อัตราการกรองลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานจำเพาะของเค้ก ( $\alpha$ ) กับค่าความดันลด ( $\Delta P$ ) แสดงด้วยสมการดังนี้

$$\alpha = \alpha' (\Delta P)^s \quad 2.23$$

โดยที่  $\alpha'$  คือค่าคงที่ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของอนุภาคที่ก่อตัวขึ้นในเค้ก

$s$  คือค่าความสามารถในการบีบอัดของเค้ก (มีค่าเป็นศูนย์ในกรณีที่เค้กอัดตัวไม่ได้)

ในทางปฏิบัติ มีค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.8

## 2.4 ทฤษฎีไมโครฟิลเตรชัน

### เพอร์มิเอชันฟลักซ์

ในกระบวนการกรองไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขนานเยื่อแผ่น ค่าฟลักซ์จะเป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการกรองโดยแสดงในรูปปริมาตรของเพอร์มิเอตที่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่นต่อหน่วยพื้นที่ของเยื่อแผ่นต่อเวลา ในการกรองสารละลายแขวนลอยค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารละลายที่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่น สามารถแสดงในรูปของความต้านทานการกรองดังนี้

$$J = \frac{\Delta P_{TM}}{\mu R_t} \quad 2.24$$

เมื่อ  $J$  = เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร ต่อ ตารางเมตร-ชั่วโมง)

$\Delta P_{TM}$  = ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอร์มิเอต (บาร์)

$\mu$  = ความหนืดของสารละลาย (กิโลกรัม ต่อ เมตร-วินาที)

$R_t$  = ความต้านทานรวม (เมตร<sup>-1</sup>)

ในกรณีที่ไม่มีตัวถูกละลาย เฟอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำที่ผ่านรูพรุน จะแสดงในรูปความต้านทานเดียวกับ สมการ 2.23 โดยที่  $R_t = R_m$

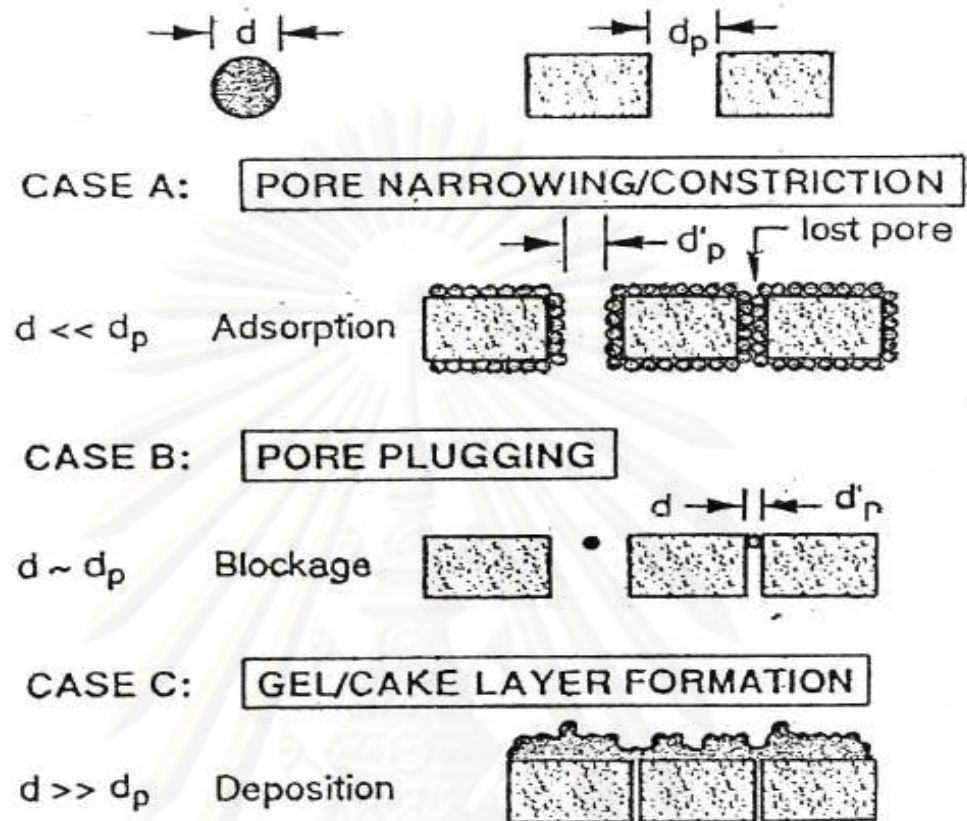
เมื่อ  $R_m$  = ความต้านทานของเยื่อแผ่น ซึ่งขึ้นกับชนิดของเยื่อแผ่น ความหนาแน่นของรูพรุน ขนาดรูพรุน และความหนาของเยื่อแผ่น

ความต้านทานรวม ( $R_t$ ) ในกระบวนการไมโครฟิวเตรชัน เป็นผลมาจากปัจจัยใหญ่ๆ 3 ปัจจัยคือ 1) ความต้านทานของเยื่อแผ่น 2) ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลารไรเซชัน ( $R_c$ ) ซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทานเนื่องจากการเกิดคอนเซนเตรชันโพลารไรเซชัน ( $R_{cp}$ ) และความต้านทานเนื่องจากการเกิดเจลโพลารไรเซชัน ( $R_g$ ) 3) ความต้านทานเนื่องจากการอุดตันรูพรุนของตัวถูกละลาย ( $R_i$ ) ดังสมการ

$$R_t = R_m + (R_{cp} + R_g) + R_i \quad 2.25$$

$$R_t = R_m + R_c + R_i \quad 2.26$$

โดยทั่วไปรูปแบบการเกิดการอุดตันของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น จะมีด้วยกัน 3 ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบการเกิดการอุดตันของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น

ในระบบการกรองไมโครฟิวเตรชัน จะใช้ความดันเป็นแรงขับ(driving force) ซึ่งจะแสดงในรูปของผลต่างของความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอร์มิเอต (transmembrane pressure) ดังสมการ

$$\Delta P_{TM} = \frac{P_i + P_o}{2} - P_f \quad 2.27$$

เมื่อ  $\Delta P_{TM}$  = ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอร์มิเอต(บาร์)

$P_i$  = ความดันขาเข้าของสารละลายป้อน (บาร์)

$P_o$  = ความดันขาออกของสารละลายป้อน (บาร์)

$P_f$  = ความดันขาออกของสารละลายเพอร์มิเอต (บาร์)



โดยทั่วไปเทอมของความดันด้านสารละลายเพอร์มิเอทจะกำหนดให้เท่ากับศูนย์ ( $P_f = 0$ ) ดังนั้นผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอร์มิเอท สามารถลดรูปได้เป็น

$$\Delta P_{TM} = P_i - (\Delta P / 2) \quad 2.28$$

### ค่ารีเจคชัน

ความสามารถในการกักสารของเยื่อแผ่นจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน ซึ่งหมายถึงเปอร์เซ็นต์ของตัวถูกละลายที่ถูกเยื่อแผ่นกักไว้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์รีเจคชัน (rejection coefficient,  $\sigma$ ) ดังสมการ

$$\sigma = 1 - (C_p / C_b) \quad 2.29$$

$$R = \sigma * 100 \quad 2.30$$

เมื่อ  $R$  = ค่ารีเจคชัน

$C_p$  = ความเข้มข้นของสารละลายในเพอร์มิเอท (กรัมต่อลิตร)

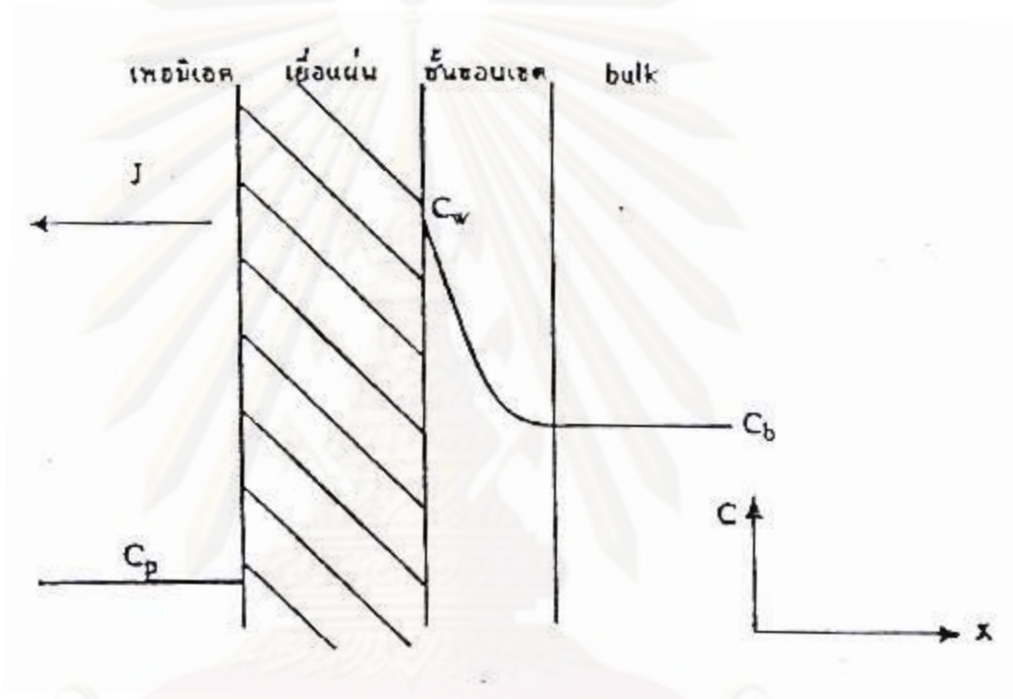
$C_b$  = ความเข้มข้นของสารละลายด้านสายป้อน (กรัมต่อลิตร)

### คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันและเจลโพลาไรเซชัน

ในกระบวนการไมโครฟิวเตรชัน ปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันจะเกิดขึ้นเมื่อตัวทำละลายและตัวถูกละลายที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของเยื่อแผ่น ถูกกรองออกจากระบบอย่างต่อเนื่อง ตัวถูกละลายและสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อแผ่น ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นออกไปได้ จะถูกกักสะสมอยู่บริเวณผิวเยื่อแผ่น ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่บริเวณใกล้ผิวเยื่อแผ่น ( $C_w$ ) สูงกว่าความเข้มข้นบริเวณที่อยู่ห่างเยื่อแผ่น ( $C_b$ ) ออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ตัวถูกละลายที่บริเวณใกล้ผิวเยื่อแผ่นจะเกิดการแพร่กลับ (back diffusion) ไปยังระบบ (bulk) เนื่องจากผลต่างของความเข้มข้น

เมื่อทำการกรองต่อไปจนกระทั่งความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่บริเวณใกล้ผิวเยื่อแผ่น มีค่าสูงถึงขีดจำกัดการละลาย ( $C_g$ ) ของสารนั้น ตัวถูกละลายจะเกิดลักษณะคล้ายเจลที่บริเวณ

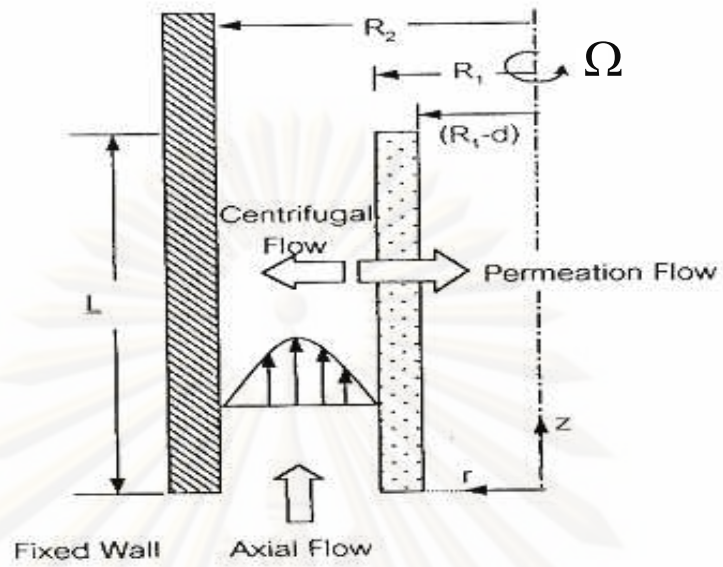
ใกล้ผิวเยื่อแผ่น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เจลโพลาริเซชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ชั้นเจลจะเกิดขึ้น บริเวณผิวเยื่อแผ่นมีลักษณะคล้ายเยื่อแผ่นอีกแผ่นต่ออนุกรมกับเยื่อแผ่นเดิม ทำให้ความต้านทานของเยื่อแผ่นสูงขึ้น ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารละลายจึงมีค่าลดลง และจะทำให้ความสามารถในการกักสารเปลี่ยนไปด้วย



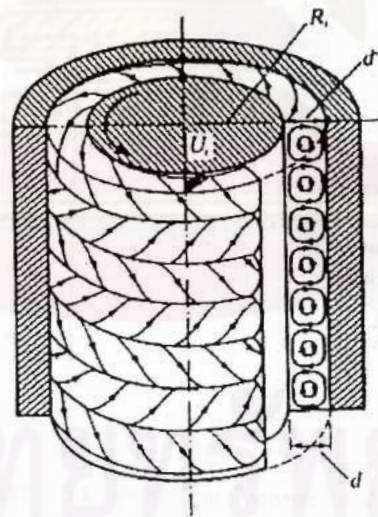
รูปที่ 2.8 แสดงภาพคอนเซนเตรชันโพลาริเซชัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





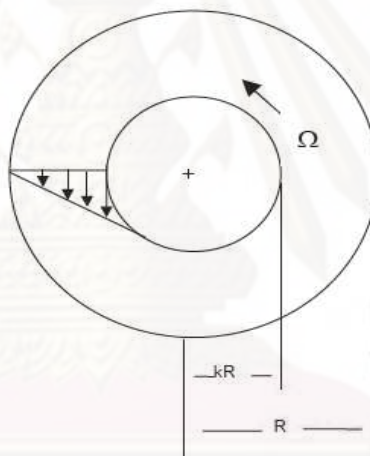
รูปที่ 2.10 ทิศทางการไหลของของไหลในกระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้



รูปที่ 2.11 การหมุนวนแบบเทย์เลอร์ (Taylor vortex) (Hermert van, P.A., 1987)

### แรงเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของตัวกรอง

การหาแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของตัวกรอง สามารถหาได้จากเกรเดียนของความเร็วยกของไหลในแนวแกน  $\theta$  ตามระยะรัศมีของทรงกระบอก โดยกำหนดให้ ของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible fluid) ไหลผ่านปริมาตรวงแหวนของทรงกระบอก 2 ชั้น ทรงกระบอกชั้นในมีรัศมีภายนอกเท่ากับ  $kR$  หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม  $\Omega$  และทรงกระบอกภายนอกมีรัศมีภายในเท่ากับ  $R$  ความยาวของทรงกระบอกชั้นในและชั้นนอกเท่ากับ  $L$  ลักษณะการไหลของไหลเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) (Bird R.B. Stewart W.E. และ Lightfoot E.N., 1960) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กลไกการไหลของระบบการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

สมการความต่อเนื่องของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ จะได้

$$\nabla \cdot v = 0 \quad 2.31$$

สมการการเคลื่อนที่ คือ

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} = -[\nabla \cdot \rho w] - \nabla \cdot p - [\nabla \cdot \tau] + \rho g \quad 2.32$$

จากลักษณะการไหลของของไหลที่เคลื่อนที่หมุนวนระหว่างทรงกระบอกชั้นในและชั้นนอก พิจารณาความเร็วของของไหลและความดันในแนวแกนต่างๆ ในระบบพิกัดทรงกระบอก จะได้  $v_\theta = v_\theta(r)$   $v_r = 0, v_z = 0$  และ  $p = p(r, z)$  ซึ่งความดันจะเปลี่ยนแปลงในแนวแกน  $z$  เนื่องจากแรงโน้มถ่วง และเปลี่ยนแปลงในแนวแกน  $r$  เนื่องจากแรงหมุนเหวี่ยง ดังนั้นจากสมการการเคลื่อนที่ในแนวแกนต่างๆ จะได้

$$\text{ในแนวแกน } r \quad -\rho \frac{v_\theta^2}{r} = -\frac{\partial p}{\partial r} \quad 2.33$$

$$\text{ในแนวแกน } \theta \quad 0 = \frac{d}{dr} \left( \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (rv_\theta) \right) \quad 2.34$$

$$\text{ในแนวแกน } z \quad 0 = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g \quad 2.35$$

สมการ 2.32 แสดงผลของแรงหมุนเหวี่ยงที่มีต่อความดัน สมการ 2.33 แสดงลักษณะความเร็วของของไหล และสมการ 2.34 แสดงผลแรงโน้มถ่วงที่มีต่อความดันในระบบ ดังนั้นการหาความเร็วในแนวแกน  $\theta$  ตามระยะรัศมีของระบบ จึงได้จากการแก้เชิงอนุพันธ์ของสมการ 2.33 จะได้

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (rv_\theta) = c_1 \quad 2.36$$

$$\frac{d}{dr} (rv_\theta) = c_1 r \quad 2.37$$

$$rv_\theta = \frac{1}{2} c_1 r^2 + c_2 \quad 2.38$$

$$v_\theta = \frac{1}{2} c_1 r + \frac{c_2}{r} \quad 2.39$$

ที่ภาวะของเขต

1. ที่  $r = \kappa R$ ,  $v_\theta = \Omega \kappa R$
2. ที่  $r = R$ ,  $v_\theta = 0$

แก้สมการหาค่าคงที่ของการอินทิเกรต  $C_1$  และ  $C_2$  จะได้ความเร็วของของไหลในแนวแกน  $\theta$  ตามระยะรัศมีของระบบ ดังสมการ

$$v_\theta = \Omega k R \frac{\left(\frac{R-r}{r} - \frac{r}{R}\right)}{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} \quad 2.40$$

จากสมการ 2.39 สามารถหาโมเมนต์ตัมฟลักซ์จาก

$$\tau_{r\theta} = -\mu r \frac{d\left(\frac{v_\theta}{r}\right)}{dr} = 2\mu\Omega \frac{k^2}{(1-k^2)} \left(\frac{R}{r}\right)^2 \quad 2.41$$

แรงบิด(Torque)ที่กระทำต่อพื้นที่ผิวภายในทรงกระบอกหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัมฟลักซ์ พื้นที่ผิวของทรงกระบอก และแขนของแรงจะได้

$$T = (-\tau_{r\theta})|_{r=kR} \cdot 2\pi k R L \cdot k R \quad 2.42$$

$$T = \frac{4\pi\mu\Omega(kR)^2 L}{(k^2 - 1)} \quad 2.43$$

การหมุนวนของเทย์เลอร์จะเกิดขึ้นเมื่อของไหลที่อยู่ใกล้ผนังด้านนอกของทรงกระบอกชั้นในหรือบริเวณผิวหน้าของตัวกรองที่มีการหมุน ถูกพาออกไปจากผิวหน้าของตัวกรองโดยการเหวี่ยงโดยแรงหมุนเหวี่ยงที่เกิดขึ้นจากการหมุนของทรงกระบอกชั้นใน ซึ่งรูปแบบการหมุนวนเทย์เลอร์จะกำหนดโดยใช้ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ (Taylor number) โดย

$$Ta = \frac{2\pi R_1 d}{\nu} \left(\frac{2d}{R_1 + R_2}\right)^{0.5} \quad 2.44$$

โดยที่  $Ta$  = ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์(-)

$n$  = ความเร็วรอบในการหมุนของตัวกรอง (ทรงกระบอกชั้นใน (รอบต่อนาที))

- $R_1$  = รัศมีภายนอกของตัวกรอง (kR) (เมตร)  
 $R_2$  = รัศมีภายในของทรงกระบอกชั้นนอก (เมตร)  
 $d$  = ระยะห่างระหว่างผิวของตัวกรองกับทรงกระบอกชั้นนอก (เมตร)  
 $\nu$  = ความหนืดคิเนมาติกของของไหล (Kinematic viscosity)(ตารางเมตรต่อชั่วโมง)

รูปแบบของการหมุนวนของเทย์เลอร์สามารถแบ่งโดยใช้ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์เป็นตัวกำหนดได้ 5 ช่วง ดังนี้

การไหลแบบราบเรียบ	(Laminar flow)	$Ta \leq Ta_{crit}$
การหมุนวนแบบราบเรียบ	(Laminar vortex flow)	$Ta_{crit} < Ta < 800$
ช่วงการเปลี่ยนแปลง	(Transition flow)	$800 < Ta < 2000$
การหมุนวนแบบปั่นป่วน	(Turbulent vortex flow)	$2000 < Ta < 10,000 - 15,000$
การไหลแบบปั่นป่วน	(Turbulent flow)	$Ta > 15,000$
กำหนดให้	$Ta_{crit} = 41.3 + \frac{13.1d}{R_1}$	2.45

เนื่องจากการไหลของของไหลระหว่างทรงกระบอกชั้นในที่มีการหมุนและทรงกระบอกชั้นนอกที่หยุดนิ่ง มีการไหลทั้งในแนวแกน และการไหลที่เกิดจากการหมุนของทรงกระบอกชั้นใน ดังนั้นค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ซึ่งเป็นค่าที่บอกลักษณะการไหลของของไหลจึงมี 2 ค่าคือ ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกน (Axial Reynold number) และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ผิวของเยื่อแผ่น (Tangential Reynold number) ดังสมการ

$$Re_a = \frac{vd_H}{\nu} \quad 2.46$$

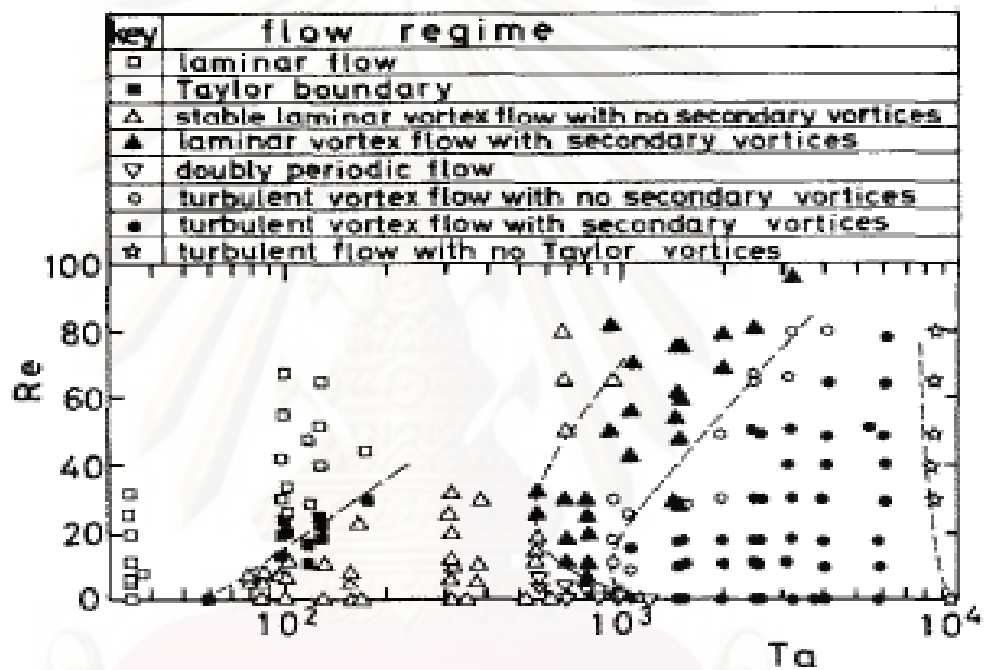
$$Re_t = \frac{\Omega R_1 d_H}{\nu} \quad 2.47$$

- โดย
- $Re_a$  = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกน (-)
  - $Re_t$  = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ผิวของเยื่อแผ่น(-)
  - $v$  = ความเร็วของของไหลตามแนวแกน(เมตรต่อชั่วโมง)
  - $\Omega$  = ความเร็วเชิงมุม =  $2\pi n$  (เรเดียนต่อชั่วโมง)



- $n$  = ความเร็วรอบในการหมุนของตัวกรอง (รอบต่อชั่วโมง)  
 $d_H$  = เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก =  $2d$ (เมตร)

รูปแบบของการเกิดการหมุนวนของเทย์เลอร์ มีความสัมพันธ์กับค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกน ตามรูป



รูปที่ 2.13 รูปแบบการหมุนวนของเทย์เลอร์ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกน (Kataoka และคณะ, 1977)

ดังนั้นการหมุนวนแบบราบเรียบจนถึงการหมุนวนแบบปั่นป่วน จะเกิดที่ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ระหว่างค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์วิกฤตจนถึงค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ไม่เกิน 10000 และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกนไม่เกิน 100 จึงจะทำให้สามารถวาดอนุภาคบริเวณผิวหน้าของตัวกรองได้ดี

จากลักษณะการหมุนวนที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวของตัวกรอง ส่งผลให้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นส่งผลให้อนุภาคที่อยู่บนผิวของตัวกรองลดลง โดยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จาก

$$T = 0.23\sqrt{Ta} \left( \frac{2\pi m R_1}{R_2 - R_1} \right) \quad 2.48$$

จากสมการที่ 2.44 และ 2.48 พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของตัวกรองจะทำให้ค่าเทย์เลอร์ นัมเบอร์สูงขึ้น และทำให้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของตัวกรองมีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งการเพิ่มความเร็วยังจะส่งผลถึงลักษณะการเกิดการหมุนวนด้วย

### ปัจจัยที่มีผลต่อการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

1. อัตราการป้อนสารมีผลต่อลักษณะการไหลของสารละลายที่อยู่ในช่องว่างระหว่างผิวของเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน โดยอยู่ในเทอมของเรย์โนลด์นัมเบอร์ ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 พบว่าการเพิ่มเรย์โนลด์นัมเบอร์ทำให้ลักษณะการไหลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย
2. ความเร็วรอบในการหมุนเยื่อแผ่นจะแปรผันตรงกับเทย์เลอร์นัมเบอร์ดังสมการที่ 2.43 ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มความเร็วยังจะทำให้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ดังสมการที่ 2.47 ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการเกิดเจลบนผิวของเยื่อแผ่นได้ ทำให้ฟลักซ์มีค่าสูงขึ้น
3. ระยะห่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในจะแปรผันกับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของเยื่อแผ่นตามสมการที่ 2.44 เมื่อระยะห่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในลดลงจะทำให้แรงเฉือนบนผิวของเยื่อแผ่นมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้อนุภาคที่อุดตันบนผิวหลุดออกได้มากขึ้น ดังนั้นความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นจึงมีค่าลดลง ฟลักซ์ที่ได้จึงมีค่ามากขึ้น

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำหาน้ำยางเข้มข้นและการปรับปรุงกระบวนการผลิตหาน้ำยาง

ไพบุรณ์ และคณะ, 2548 ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นหาน้ำยางด้วยกระบวนการเยื่อแผ่นเพื่อลดปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการแยกยางสกิมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมสูง การทดลองแบ่งเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการทดลองแบบ dead end โดยใช้เมมเบรนชนิดแผ่นต่างๆ เพื่อหาเมมเบรนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการให้ค่าฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์การแยกที่สูง ความดันไม่สูงเกินไป พบว่าเมมเบรนที่เหมาะสมคือ polysulfone (PSU) 0.1  $\mu\text{m}$  หลังจากนั้นได้ทำการทดลองแบบ cross flow ได้ภาวะที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพการกรองที่ดีที่สุด คือการกรองด้วยเมมเบรนชนิด polysulfone (PSU) 0.1  $\mu\text{m}$  ที่ความดัน 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งสามารถแยกเนื้อยางได้ 63.3%

Nitayapat และคณะ, 2008 ศึกษาการใช้ hydroxypropyl methylcellulose (HMPC) แทนการใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น วิธีนี้ทำให้น้ำทิ้งที่ได้มีความเป็นกรดสูงและยางที่ได้มีคุณภาพต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าระบบที่แยกพอลิเมอร์ (HMPC) ออกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และแบบที่ไม่แยกพอลิเมอร์ออก น้ำทิ้งจากระบบนี้มีความเป็นกรดและซัลเฟตลดลงกว่าการใช้กรดซัลฟูริก แต่ค่าบีโอดีและค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นกว่าการใช้กรดซัลฟูริก ซึ่งค่าบีโอดีและค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นอาจมีประโยชน์ในการผลิตก๊าซชีวภาพให้เพิ่มขึ้นได้

Danwanichakul และคณะ, 2008 ศึกษาการใช้สารละลายโคโคซานเข้มข้น 0.8 % ในน้ำร้อนที่ทำให้ปราศจากประจุเพื่อทำให้อนุภาคยางในหาน้ำยางเกิดการจับตัว พบว่าประสิทธิภาพในการทำให้อนุภาคยางจับตัวโดยไม่ได้ทำการปรับ pH นั้นมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการปรับ pH ให้เป็นกลาง และเมื่อเติมสารละลายโคโคซานที่ผ่านการปรับค่า pH ให้เป็นกลางจนมีปริมาณเนื้อยาง 5.3% wt/vol ความเข้มข้นของสารละลายโคโคซานจะมีการกระจายตัว 0.107% ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่าง ส่วนที่เป็นยางและส่วนที่เป็นเซรัมอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคยางและพบว่าน้ำร้อนที่ทำให้ปราศจากประจุเท่านั้นที่มีผลต่อการแยกอนุภาคยางออกจากหาน้ำยาง

Chaikumpollert และคณะ, 2546 ศึกษากระบวนการผลิตครีมน้ำยางโดยใช้ (*N*-(2-hydroxy) propyl-3-trimethylammonium chitosan chloride (HTACH)) แทนการใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ทำให้เกิดการเสียสภาพ มีคุณภาพต่ำและก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าการใช้ (*N*-(2-hydroxy) propyl-3-trimethylammonium chitosan chloride (HTACH)) ซึ่งเตรียมได้จากโคโตซานที่มาจากเปลือกกุ้ง มีประจุเป็นบวกจะจับกับอนุภาคยางซึ่งมีประจุลบ ทำให้อนุภาคยางจับตัวเป็นกลุ่มใหญ่ขึ้น พบว่าภาวะเหมาะสมคือ HTACH ความเข้มข้น 3.7 กรัมต่อลิตรซึ่งจะเกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นของยางและชั้นของเซรั่มอย่างชัดเจน

Veerasamy และคณะ, 2003 ศึกษาการกรองน้ำยางสดด้วยเมมเบรน PVDF ระดับอัลตราฟิลเตรชันแบบท่อ โดยใช้วิธีการกรองแบบป้อนขนานกับเยื่อแผ่น (Cross flow) พบว่าสามารถทำให้ค่า % ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง (%DRC) เพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 46% ที่ภาวะเหมาะสมคือ ค่าความดันคร่อมเยื่อแผ่น (TMP) 2.5 บาร์ อัตราการป้อนอยู่ในช่วง 180 ถึง 360 มิลลิลิตรต่อวินาที ซึ่งการใช้อัตราการป้อนในช่วงนี้จะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน ส่งผลให้ลดการเกิดชั้นเจลบนผิวของตัวกรอง ทำให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูงขึ้น

Sulaiman และคณะ, 2002 การศึกษาทดลองใช้เทคนิค gas sparging ร่วมกับการกรองแบบป้อนขนานกับเยื่อแผ่นระดับอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อลดการเกิดฟาวลิงพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกรองและสามารถลดปรากฏการณ์ฟาวลิงในระหว่างการกรองได้ เนื่องจากการฉีดก๊าซไนโตรเจน หรือ gas sparging นั้นเป็นการกระตุ้นให้เกิดการปั่นป่วนในสายป้อน เมื่อทำการเปรียบเทียบภาวะที่ไม่ใช้เทคนิค gas sparging และใช้เทคนิค gas sparging พบว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นจาก 8.29% เป็น 145.33% ซึ่งภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบคือ มีค่า TMP เท่ากับ 89 kPa อัตราการป้อน เท่ากับ 1400 ml/min และอัตราการป้อน gas sparging เท่ากับ 500 ml/min

## 2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

Kuzunori และคณะ, 1993 ศึกษาการกรองเซลล์ยีสต์ในภาวะที่มีการให้อากาศและภาวะที่ไม่มีการให้อากาศด้วยเครื่องกรองชนิดตัวกรองเซรามิกซ์หมุนได้ พบว่าการกรองที่ภาวะที่มีการให้อากาศมีค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูงกว่าภาวะที่ไม่มีการให้อากาศ เนื่องจากการกรองแบบที่มีการให้อากาศนั้นจะมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นบนผิวของตัวกรอง ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดชั้นเค้กและ

ส่งผลให้ความต้านทานของการกรองลดลง โดยทดลองมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ *Corynebacterium glutamicum* และ *Propionibacterium freudenreichii* เข้มข้นขึ้น การทดลองนี้ใช้ถังหมักที่ต่อกับเครื่องกรองชนิดตัวกรองเซรามิกซ์หมุนได้ พบว่าไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตัน ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นสุดท้ายของเซลล์ *Corynebacterium glutamicum* และ *Propionibacterium freudenreichii* เท่ากับ 120 และ 53 กรัมเซลล์แห้งต่อลิตรตามลำดับ

Tanja และคณะ, 1999 ศึกษาการถ่ายโอนโปรตีนและปริมาตรของของไหลด้วยกระบวนการกรองแบบไมโครฟิวเตรชัน โดยทำให้ของไหลเกิดการหมุนวนแบบไม่คงที่เรียกว่า การหมุนวนแบบดีน (Dean vortice) ที่ภาวะเพอร์มิเอชันฟลักซ์คงที่ และศึกษาโดยใช้โมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเกลียว (Helical module) และโมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเส้นตรง พบว่าโมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเกลียวมีความสามารถในการกรองสูงกว่าโมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเส้นตรง (Linear module) ถึง 19 เท่า ซึ่งในสายป้อนประกอบไปด้วยโบวีนซีรัมอัลบูมิน (BSA) ที่ความดันคร่อมตัวกรองคงที่ร่วมกับการทำไดอะฟิลเตรชันพบว่าเครื่องกรองที่ใช้โมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเกลียว ให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูงกว่าการกรองที่ใช้โมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเส้นตรงถึงร้อยละ 18-43 และความเข้มข้นของยีสต์ที่ได้จากการกรองมีค่าเท่ากับ 4.5 กรัมของน้ำหนักแห้ง

กิตติพงษ์ รัตนภรณ์, 2544 ศึกษาการแยกโปรตีนออกจากผลเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ โดยมีขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของสารแขวนลอยผลเนื้อในเมล็ดมะขาม ความดันคร่อมตัวกรอง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก ที่อัตราการไหลของสายป้อน 38 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าการกรองสารแขวนลอยผลเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของสารแขวนลอย 20 กรัมต่อลิตร ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง 1700 รอบต่อนาที ความดันคร่อมตัวกรอง 0.16 บาร์และระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอกเท่ากับ 0.008 เมตร ได้ค่าฟิลเตรชันฟลักซ์เท่ากับ 9534 ลิตรต่อตารางเมตรชั่วโมง ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนและค่าร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 74.36 และ 40.36 ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ และปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 9.7, 66.41 และ 5.1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และมีผลได้ของการผลิตผลิตภัณฑ์เท่ากับร้อยละ 29.03 โดยน้ำหนัก

สุชุม ภูมิรินทร์วรากุล, 2546 ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชันเพื่อแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ สำหรับการใช้นี้เทคนิคคอนเซนเตรชันพบว่าพลั๊กซ์ของการกรองมีค่าลดลงเมื่อปริมาตรของสารแขวนลอยลดลง ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไลด์ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์มีค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนที่สูงกว่ากรณีที่ไม่เติมเอนไซม์ 96.7 เทคนิคไดอะฟิลเตรชัน พบว่า พลั๊กซ์ของการกรองมีค่าลดลงและเริ่มคงที่เมื่อเติมในการทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องมากกว่า 3 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และเมื่อเติมน้ำ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไลด์ ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไลด์และร้อยละการกำจัดโปรตีนในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์เท่ากับ 85.98 , 37.15 และ 61.6 และกรณีที่เติมเอนไซม์เท่ากับ 93.35, 47.86 และ 88.12 ตามลำดับ เมื่อนำสองเทคนิคนี้มาผสมกัน จากผงเนื้อในเมล็ดมะขามเริ่มต้น 20 กรัม จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนัก 5.3247 กรัม มีผลได้ของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 26.62 ประกอบด้วยโพลีแซคคาไลด์ 5.0479 กรัม โปรตีน 0.0927 กรัม ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไลด์ร้อยละ 96.17 มีการสูญเสียโพลีแซคคาไลด์ร้อยละ 62.06 และการกำจัดโปรตีนร้อยละ 97.47

Richard และคณะ, 2001 ศึกษาการกรองโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้พบว่าสามารถป้องกันการอุดตันของตัวกรองได้ดีการกรองแบบทั่วไป นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องกรองชนิดหมุนได้จะทำให้เกิดการหมุนวนแบบเทย์เลอร์ ทำให้เกิดแรงเฉือนบนผิวของตัวกรอง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการป้องกันการเกิดการอุดตัน โดยการหมุนวนแบบเทย์เลอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบการหมุนของตัวกรอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดกรองแบบป้อนขนานกับตัวกรองชนิดหมุนได้
2. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizer) รุ่น S long bed Ver. 2.19 ของบริษัท Malvern Instruments Ltd., UK
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (4-digits balance) รุ่น A&D GR-200 ของบริษัท A&D company, Limited, Japan
4. เครื่องวัดยางแผ่น
5. เครื่องวัดความหนืดรุ่น LVDV-II plus ของบริษัท Brookfield Engineering Laboratories, Inc, USA.
6. ตู้อบรุ่น memmert ULE 600 ของบริษัท memmert, Germany

#### 3.2 เคมีภัณฑ์

1. หางน้ำยางจากบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
2. กรดซัลฟูริก จากบริษัท เอส อาร์ แลป จำกัด
3. กรดอะซิติก จากบริษัท เอส อาร์ แลป จำกัด

#### 3.3 การทดลองหาคุณลักษณะของหางน้ำยาง

นำหางน้ำยางมาทำการทดลองหาความหนาแน่น ความหนืด ปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยาง วิธีวิเคราะห์ดูในหัวข้อ 3.7 และขนาดอนุภาคยาง วิธีวิเคราะห์ดูในหัวข้อ 3.4

#### 3.4 การทดลองหาขนาดอนุภาคยางเมื่อใส่กรดซัลฟูริกในหางน้ำยาง

1. เตรียมหางน้ำยางปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่กรดซัลฟูริกเข้มข้น (concentrated sulfuric) ลงในหางน้ำยาง ในอัตราส่วน 0.1 มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตรหางน้ำยาง (0.1%v/v) จนถึง 0.7%v/v
2. กวนหางน้ำยางที่ใส่กรดซัลฟูริกลงไปแล้วประมาณ 1 ชั่วโมงตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

3. นำตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง MASTERSIZER

### 3.5 กระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

เครื่องกรองแยกอนุภาคยางออกจากทางน้ำยางประกอบไปด้วย(แสดงรูปที่ 3.1,3.2,3.3)

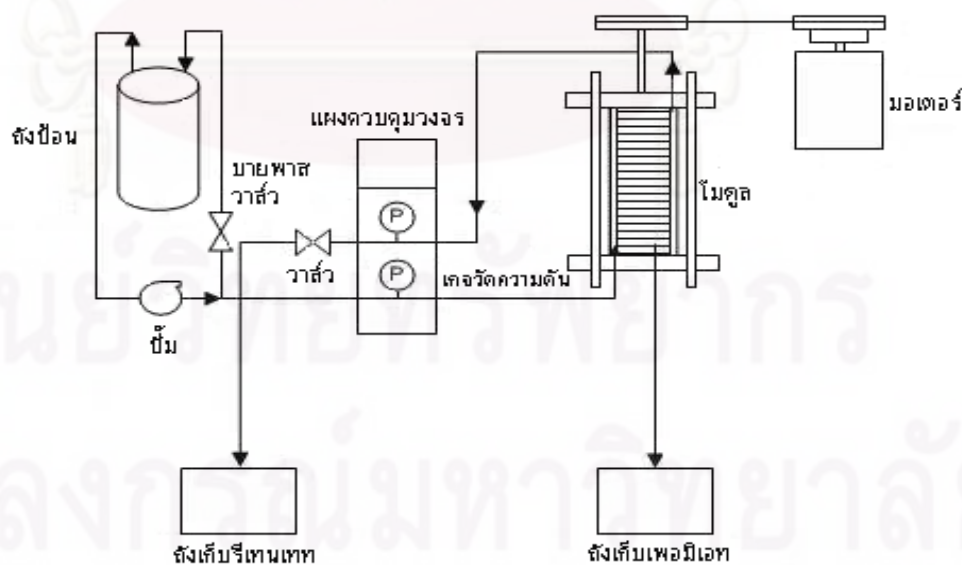
1) ไมคูล ภายในไมคูลประกอบด้วยไส้กรองเซรามิกซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5.1 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.1 เซนติเมตร ยาว 12.4 เซนติเมตร ใสน์ในท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.7 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรอง และผนัง ด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

2) มอเตอร์ขนาด 2850 รอบต่อนาที ติดอินเวอร์เตอร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ สามารถปรับความเร็วรอบอยู่ในช่วง 0-2850 รอบต่อนาที โดยทำสวิตช์แยกสำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์

3) ปัมขนาด 1.6 ลิตรต่อนาที มีบายพาสวาล์วสำหรับปรับอัตราการป้อนโดยทำสวิตช์แยกสำหรับเปิดและปิดปัม

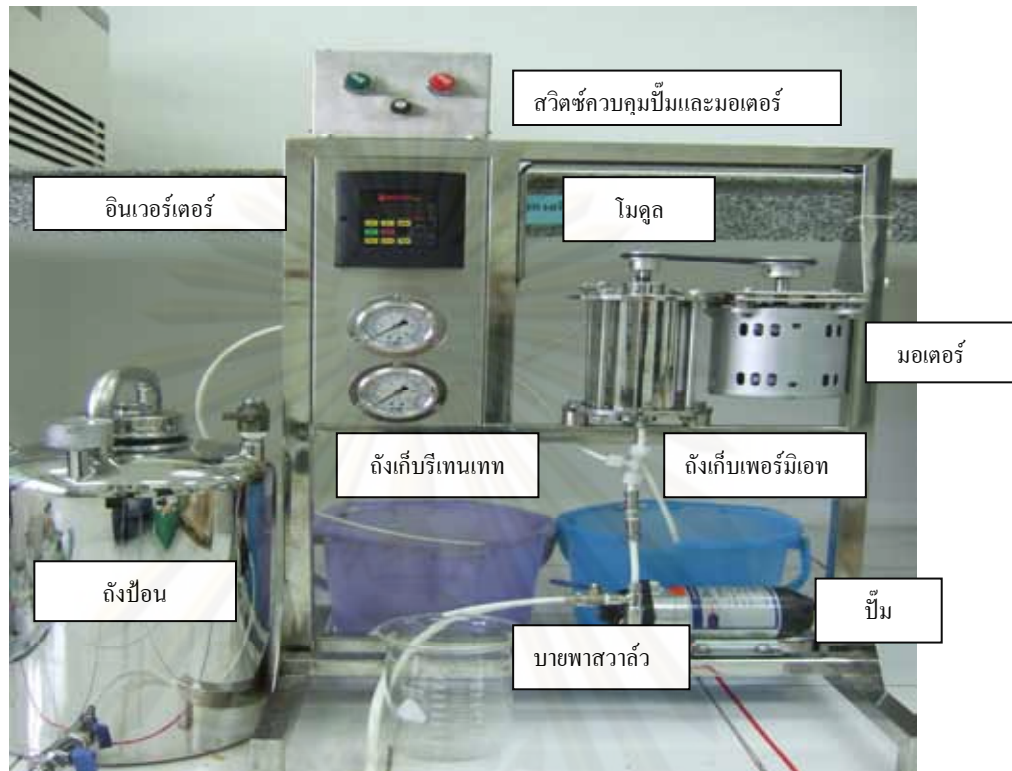
4) ถังป้อนขนาด 30 ลิตร ถังเก็บเพอร์มิเอทและถังเก็บรีเทนเททขนาด 10 ลิตร

5) เกจวัดความดันชนิดน้ำมัน (ความดันสูงสุด 2 บาร์)



รูปที่ 3.1 กระบวนการแยกอนุภาคยางออกจากทางน้ำยางด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้





รูปที่ 3.2 เครื่องกรองแยกอนุภาคยางออกจากหาน้ำยาง



รูปที่ 3.3 ลักษณะการวางเยื่อแผ่น

### 3.6 การหาภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคยางออกจากหางน้ำยางโดยใช้เครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

เริ่มจากนำหางน้ำยางที่ใส่กรดซัลฟูริกในปริมาณต่างๆกันโดยจะพิจารณาจากขนาดอนุภาคยางที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.4 จากนั้นทำการทดลองแยกอนุภาคยางโดยแปรเปลี่ยนความดันคร่อมเยื่อแผ่น และความเร็วรอบของเยื่อแผ่น เก็บตัวอย่างทางสายเพอร์มิเอทในช่วงระยะเวลาต่างๆ เริ่มจาก 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาทีเพื่อหาเพอร์มิเอชันฟลักซ์ และวิเคราะห์หาค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในสายเพอร์มิเอท (%DRC) เก็บตัวอย่างทางสายรีเทนเททเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเนื้อยางแห้งในสายรีเทนเทท (%DRC) และหาค่า % รีเจคชันของเยื่อแผ่น นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาภาวะที่เหมาะสม

เพื่อศึกษาว่าจะสามารถเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคยางในสายรีเทนเททที่อยู่ในถังป้อนได้สูงสุดเท่าไร จึงนำสายรีเทนเททมากรองซ้ำหลายๆครั้งโดยใช้ภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น และทำการเปลี่ยนตัวกรองทุกรอบการกรองซ้ำ หลังจากที่ได้สายรีเทนเททที่เข้มข้นมากที่สุด ใส่กรดซัลฟูริกลงในถังป้อนเพื่อทำหางน้ำยางก้อน (skim block) โดยหาเวลาที่หางน้ำยางจับตัวกันเป็นก้อนและผลได้จากกระบวนการกรองเทียบกับทางโรงงาน

### 3.7 การวิเคราะห์หาคูณลักษณะของหางน้ำยาง

#### 3.7.1 ความหนาแน่น (density)

1. ชั่งขวดความหนาแน่นเปล่าพร้อมจุก บันทึกน้ำหนัก
2. เติมน้ำยางให้ล้นขวด จากนั้นปิดด้วยจุกแก้วโดยไม่ให้มีอากาศอยู่ข้างใน เช็ดภายนอกให้สะอาดนำไปชั่งน้ำหนัก
3. เทน้ำยางทิ้งและทำความสะอาดขวดด้วยน้ำกลั่น
4. เติมน้ำกลั่นให้ล้นขวด จากนั้นปิดด้วยจุกแก้วโดยไม่ให้มีอากาศอยู่ข้างใน เช็ดภายนอกให้สะอาดนำไปชั่งน้ำหนัก
5. นำค่าที่ได้จาก ข้อ 2. มาหาร ข้อ 4. จะได้ความถ่วงจำเพาะของน้ำยาง

#### 3.7.2 การวิเคราะห์หาความหนืด (Determination of Viscosity)

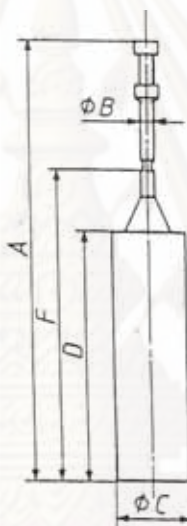
เครื่องมือ/อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนืด (viscometer) ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า มีเพลาชับเคลื่อนแท่งกวนรูปทรงและมิติที่เหมาะสม (รูปที่ 3.4 และ 3.5 ตารางที่ 1) ประกอบติดเข้ากับเพลาลมุนได้ด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งทำให้เกิดแรงที่สมดุลกับสเกลและเข็มวัดบนหน้าปัดที่สอบเทียบหน่วยจาก 0 ถึง 100 เพื่อบ่งชี้ความหนืด สามารถเลือกใช้เครื่องวัดความหนืดได้ 2 แบบ คือ

1.1 แบบ L ใช้วัดความหนืดได้ถึง 2000 มิลลิปาสคาล\*วินาที (mPa\*s) หรือ 2000 เซนติพอยส์

1.2 แบบ R ใช้ความหนืดสูงกว่า 200 มิลลิปาสคาล\*วินาที หรือ 200 เซนติพอยส์

\*ในการทดลองนี้ได้ใช้เข็มวัดความหนืดแบบ L1\*



รูปที่ 3.4 เข็มวัดความหนืดแบบ L1

2. ปีกเกอร์ (beaker) แก้วปริมาตรไม่น้อยกว่า 600 ลูกบาศก์เซนติเมตรและเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า 85 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหนืด

ตาราง 3.1 มิติของแท่งกวน (หน่วย ; มิลลิเมตร)

แบบแท่งกวน	A ± 1.3	B ± 0.03	C ± 0.03	D ± 0.06	E ± 1.3	F ± 0.15
L1	115.1	3.18	18.84	65.10	-	81.0
L2	115.1	3.18	18.72	6.86	25.4	50.0
L3	115.1	3.18	12.70	1.65	25.4	50.0
R1	133.3	3.18	56.26	22.48	27.0	61.1
R2	133.3	3.18	46.93	1.57	27.0	49.2
R3	133.3	3.18	34.69	1.65	27.0	49.2

1. เทตัวอย่างทดสอบประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรในบีกเกอร์
2. เลือกแท่งกวนหมายเลขต่ำสุด ประกอบเข้ากับมอเตอร์เพลลาขับเคลื่อน ประกอบเครื่องป้องกัน (guard) เข้ากับโครงมอเตอร์ของเครื่องวัดความหนืด
3. จุ่มแท่งกวนและเครื่องป้องกัน ให้ระดับผิวหน้าตัวอย่างทดสอบอยู่ตรงกับรอยบากของแท่งกวน กระยะให้แท่งกวนอยู่ตรงกลางของบีกเกอร์ และอยู่ในแนวตั้ง
4. เลือกความเร็วรอบของเครื่องวัดความหนืดสองแบบ ดังนี้
  - 4.1 แบบ L : ใช้ความเร็ว 60 รอบ/นาที ± 0.2 รอบ/นาที
  - 4.2 แบบ R : ใช้ความเร็ว 20 รอบ/นาที ± 0.2 รอบ/นาที
5. เปิดสวิตช์มอเตอร์ให้แท่งกวนหมุน อาจใช้เวลาประมาณ 20 วินาที – 30 วินาที ก่อนเกิดความสะดวก ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำวิธีการใช้เครื่องในการอ่านค่าสเกล

### 3.7.3 การวิเคราะห์หา % DRC ในหางน้ำยาง

1. ชั่งน้ำหนักยางสดที่ทราบ % DRC แล้ว 10 กรัมในถ้วยอลูมิเนียม บันทึกน้ำหนักน้ำยางสด
2. ชั่งน้ำหนักหางน้ำยางที่ต้องการหา % DRC 10 กรัม ในถ้วยอลูมิเนียมข้อ 1 บันทึกน้ำหนักหางน้ำยาง
3. เติมกรดอะซิติก 5% ทั้งหมด 10 มิลลิลิตร
4. ทำให้ร้อนด้วยการนำไปวางบน water bath จนกระทั่งน้ำยางจับตัว
5. นำก้อนยางที่จับตัวไปรีดเป็นแผ่นบาง แล้วล้างด้วยน้ำจนแน่ใจว่าไม่มีกรดติดที่ยาง
6. อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสทั้งหมด 12 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นใน Descicator
7. ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักแห้งรวม

### 3.8 ความหมายของค่าต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 3.8.1 %ปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยาง (%DRC)

$$\% \text{ DRC SKIM} = \{ [\text{นน.แห้งรวม} - (\text{นน.น้ำยางสด} \times \% \text{DRC น้ำยางสด}) / 100 ] / \text{นน.หางน้ำยาง} \} \times 100$$

#### 3.8.2 %การกักเก็บ (% Rejection)

$$\% \text{ Rejection} = 1 - C_p / C_b$$

$C_p$  คือค่าความเข้มข้นในสายเพอร์มิเอท (% DRC สายเพอร์มิเอท)

$C_b$  คือค่าความเข้มข้นทางสายป้อน (% DRC สายป้อน)

#### 3.8.3 ความต้านทาน (Resistance)

$$R_t = R_m + R_c + R_i$$

$R_t$  คือความต้านทานรวม

$R_m$  คือความต้านทานของเยื่อแผ่น

$R_c$  คือความต้านทานบนผิวเยื่อแผ่น

$R_i$  คือความต้านทานในเยื่อแผ่น

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองหาความหนาแน่น ค่าความหนืด ปริมาณเนื้อยางแห้งในยางน้ำยาง (%DRC) และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคยาง

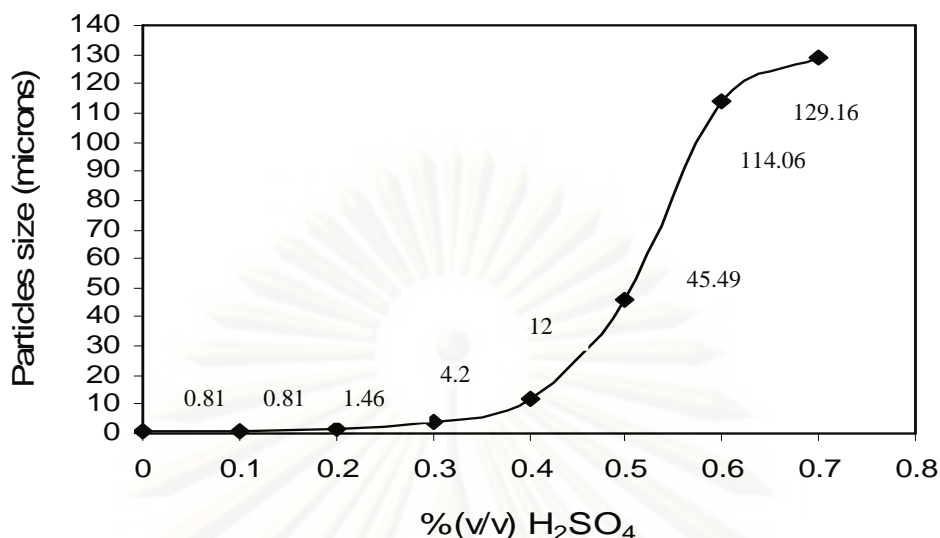
ยางน้ำยางที่ใช้ในการทดลองได้รับจากบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชัน ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณต่างๆ ตามหัวข้อ 3.3 3.4 และ 3.7 ได้ผลการทดลองดังแสดงตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 คุณลักษณะต่างๆในยางน้ำยาง

คุณลักษณะของยางน้ำยาง	ค่าที่วัดได้
ความหนาแน่น	1,015 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ความหนืด	4 เซนติพอยส์
ปริมาณเนื้อยาง (%DRC)	3-4 %
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	0.81 ไมครอน

#### 4.2 ผลของปริมาณกรดซัลฟูริก (%v/v) ต่อขนาดของอนุภาคยาง

การใส่กรดซัลฟูริกเพื่อทำให้อนุภาคยางรวมกันเป็นกลุ่มใหญ่ขึ้นและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกรอง เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใส่ในยางน้ำยางจาก 0.1% (v/v) จนถึง 0.7% (v/v) (ปริมาณกรดซัลฟูริกต่อยางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร) อนุภาคยางจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใส่ลงไป เนื่องจากกรดซัลฟูริกเกิดการแตกตัวให้ประจุบวกและไปจับกับอนุภาคยาง ซึ่งมีพื้นผิวเป็นประจุลบ ทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น ดังนั้นเพื่อลดปริมาณกรดซัลฟูริกการทดลองต่อไปจะเลือกใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกในอัตราส่วน 0.3% (v/v) 0.4% (v/v) และ 0.5% (v/v) ซึ่งมีขนาดอนุภาคยางเท่ากับ 4.2 ไมครอน 12 ไมครอนและ 45.49 ไมครอนตามลำดับ (โดยปกติโรงงานใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกในอัตราส่วน 0.7% (v/v) ถึง 1% (v/v) เพื่อจับอนุภาคยางให้เป็นก้อนลอยขึ้นในบ่อ) ผลของปริมาณกรดซัลฟูริกต่อขนาดของอนุภาคยางแสดงในรูปที่ 4.1

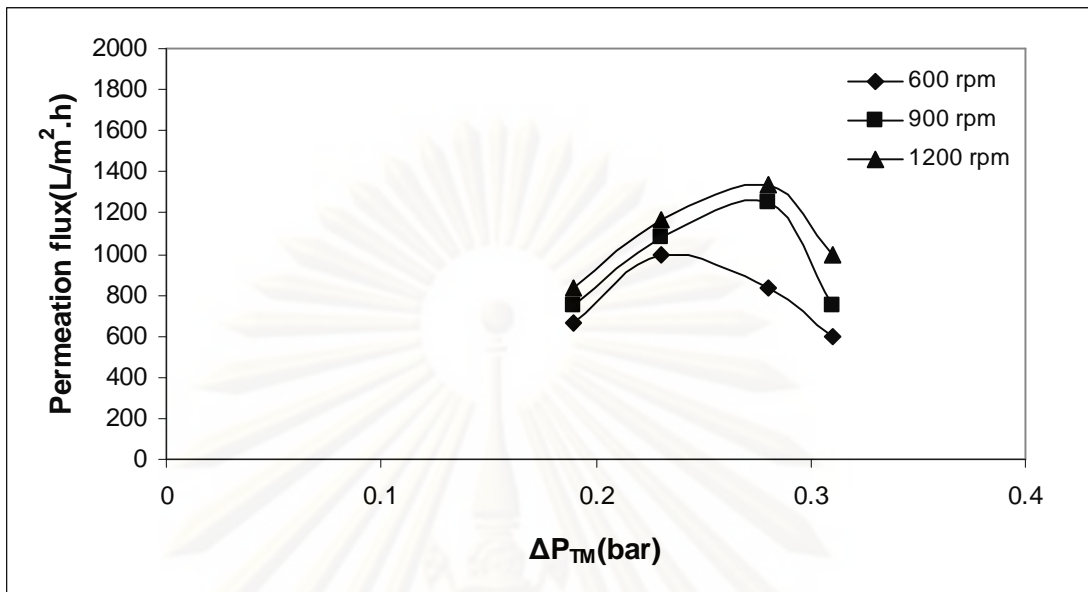


รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใส่ในทางน้ำยางต่อขนาดอนุภาคยาง

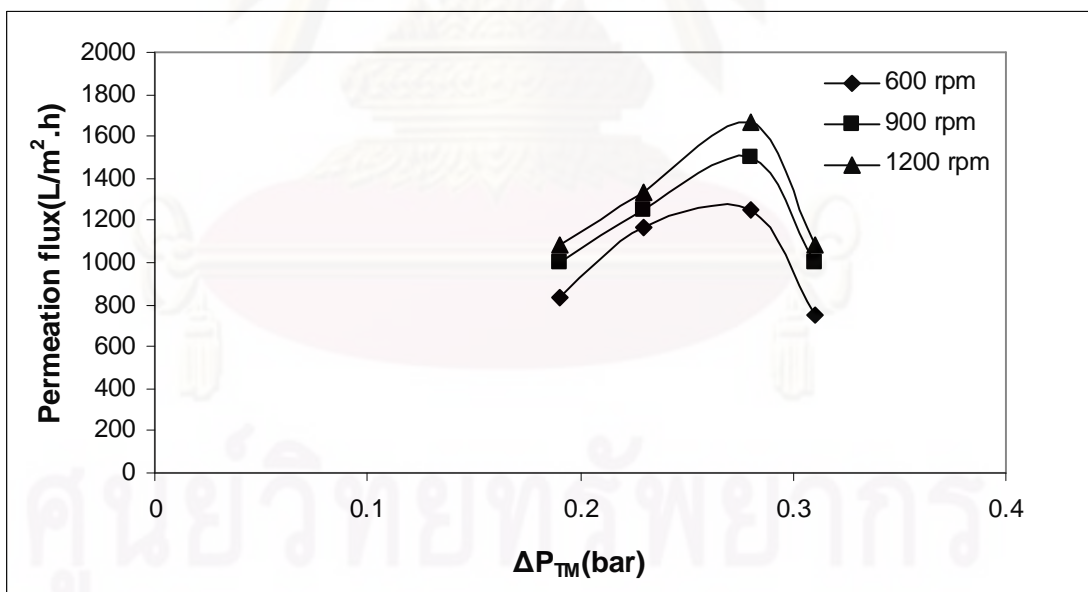
#### 4.3 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบเยื่อแผ่นต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 % 0.4% และ 0.5% โดยปริมาตรต่อทางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร มีอัตราการไหลของสายป้อนเท่ากับ 36 ลิตรต่อชั่วโมง (ค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ในแนวแกน = 28.2) ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 900 และ 1200 รอบต่อนาที โดยมีระยะห่างระหว่างผิวหน้าของเยื่อแผ่นและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอกเท่ากับ 0.008 เมตร

จากรูปที่ 4.2-4.4 แสดงผลการทดลองดังนี้ เมื่อเพิ่มความดันคร่อมเยื่อแผ่นจาก 0.19, 0.23, 0.28 และ 0.31 บาร์ ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 900 และ 1200 รอบต่อนาที พบว่าในช่วงแรกเพอร์มิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันคร่อมเยื่อแผ่น โดยพบว่าที่ความดันคร่อมเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.28 บาร์ ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที (ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์เท่ากับ 3392) จะเกิดการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากการเพิ่มแรงเฉือนในการกรอง (Darko, 2003) และเมื่อเพิ่มความดันคร่อมเยื่อแผ่นมากกว่า 0.28 บาร์ เพอร์มิเอชันฟลักซ์จะลดลงไปเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดการสะสมเค้กบนผิวของเยื่อแผ่น การเพิ่มปริมาณกรดซัลฟูริก ทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์จะมีค่าสูงขึ้น (Shimizu, 1997) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณกรดซัลฟูริก จะทำให้ขนาดอนุภาคยางมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานมีค่าลดลง (ผลของความต้านทานอธิบายในหัวข้อที่ 4.4)

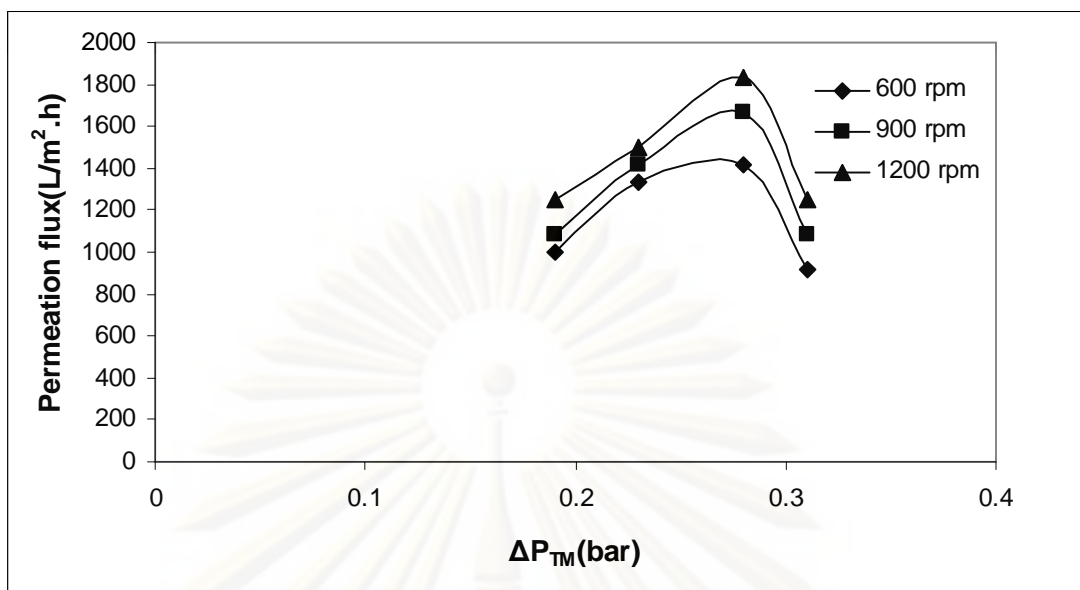


รูปที่ 4.2 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.3 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร



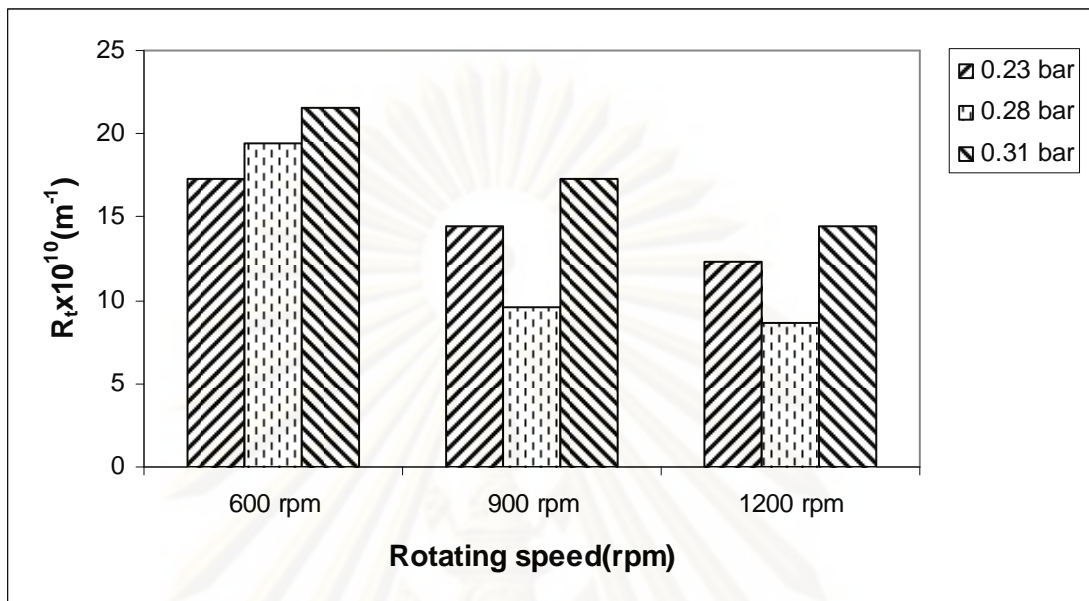


รูปที่ 4.4 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร

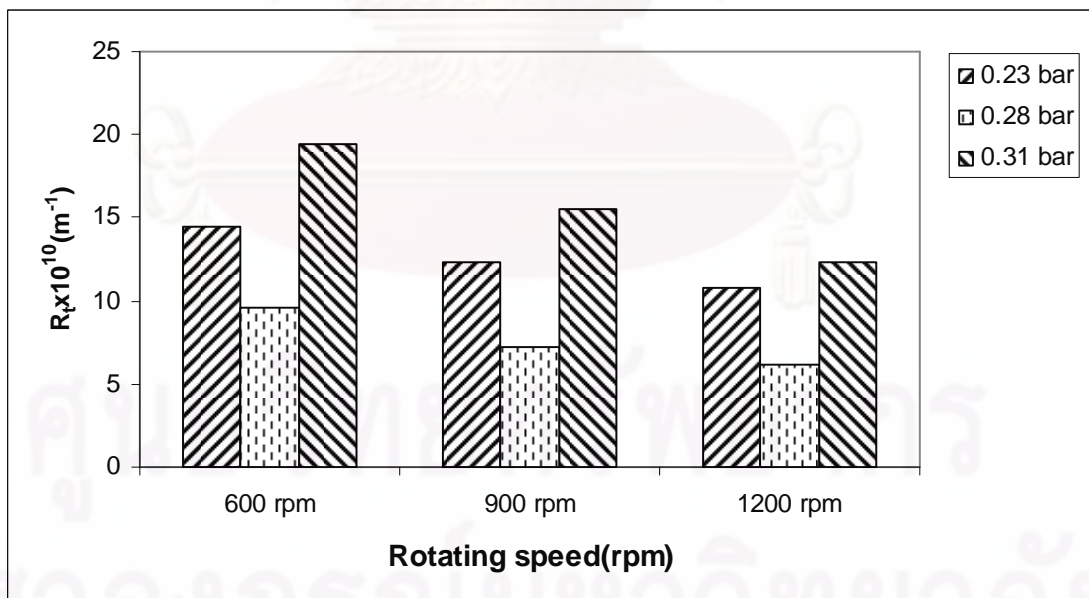
#### 4.4 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่นและความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

จากรูปที่ 4.5-4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานรวม ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตรตามลำดับ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณกรดซัลฟูริกและความเร็วรอบเยื่อแผ่น ค่าความต้านทานรวมจะมีค่าลดลง โดยที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 1200 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.28 บาร์ จะมีค่าความต้านทานรวมน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 8.64 6.17 และ 5.4 ตามลำดับและความต้านทานรวมจะมีค่ามากที่สุด ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.31 บาร์ มีค่าเท่ากับ 21.6 19.44 และ 17.28 ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตรตามลำดับ เนื่องจากอนุภาคยางจะรวมตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ตามปริมาณกรดซัลฟูริกที่มากขึ้นและการทดลองความเร็วรอบเยื่อแผ่นที่สูงขึ้น จะส่งผลให้อนุภาคยางขนาดใหญ่ถูกเหวี่ยงไปได้มากกว่าอนุภาคยางที่มีขนาดเล็ก ความต้านทานรวมจึงมีค่าลดลงทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์และค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยางมีค่าสูงขึ้น โดยความต้านทานรวมประกอบไปด้วยความต้านทานเยื่อแผ่น ความต้านทานในเยื่อ

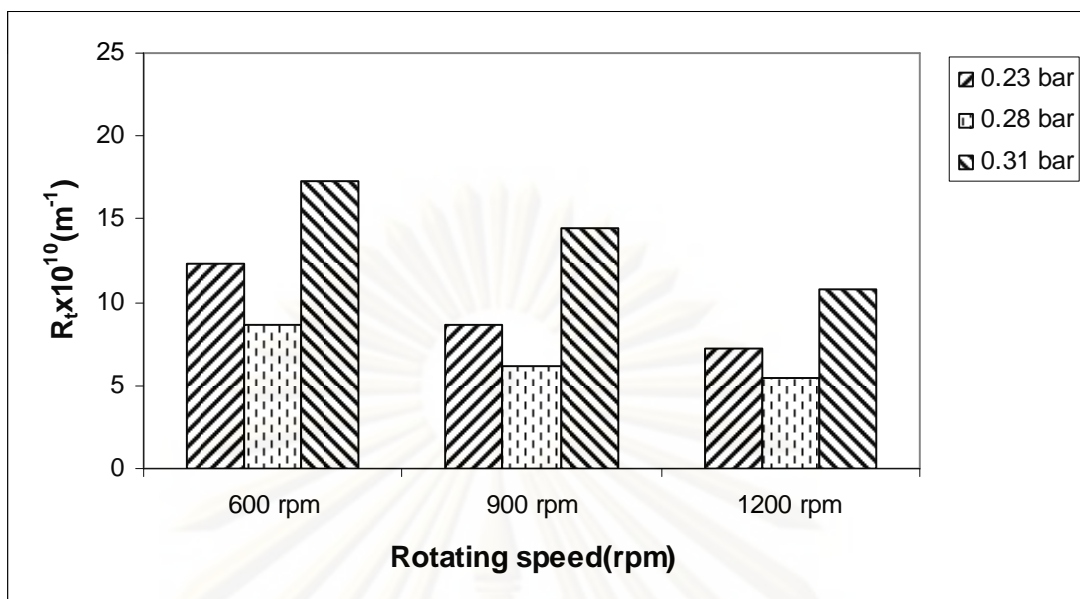
แผ่น และความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นซึ่งเป็นตัวกำหนดถึงปริมาณเพอร์มิเอชันฟลักซ์ (Lin,2009)



รูปที่ 4.5 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานรวมที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร



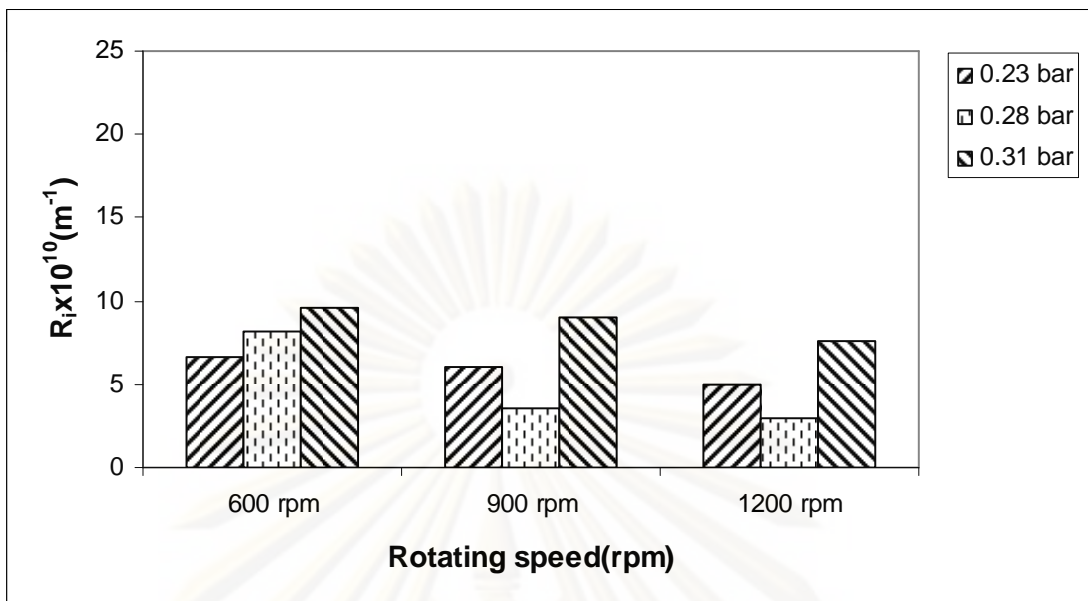
รูปที่ 4.6 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานรวมที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร



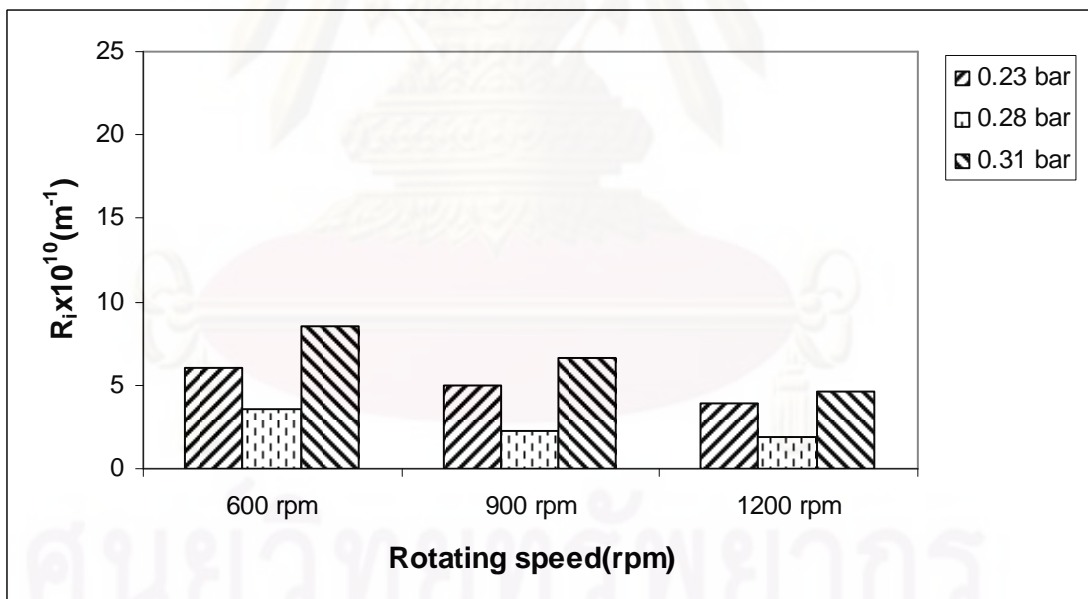
**รูปที่ 4.7** ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานรวมที่มีปริมาตรกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยา 100 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.8-4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานในเยื่อแผ่น ที่มีปริมาตรกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยา 100 มิลลิลิตรตามลำดับ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรกรดซัลฟูริกและความเร็วรอบเยื่อแผ่น ค่าความต้านทานในเยื่อแผ่นจะมีค่าลดลง โดยที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 1200 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.28 บาร์ จะมีค่าความต้านทานในเยื่อแผ่นน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.91 1.89 และ 1.64 ตามลำดับ และความต้านทานในเยื่อแผ่นจะมีค่ามากที่สุด ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.31 บาร์ มีค่าเท่ากับ 9.6 8.52 และ 7.02 ที่ปริมาตรกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยา 100 มิลลิลิตรตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มปริมาตรกรดซัลฟูริก ขนาดอนุภาคยางจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้อนุภาคยางเข้าไปอุดตันในเยื่อแผ่นได้น้อยลงและการเพิ่มความเร็วรอบเยื่อแผ่นจะทำให้อนุภาคยางถูกเหวี่ยงไปได้ในระยะทางที่มากกว่า ทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์และค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยามีค่าสูงขึ้น(แสดงผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.3 และ 4.5)

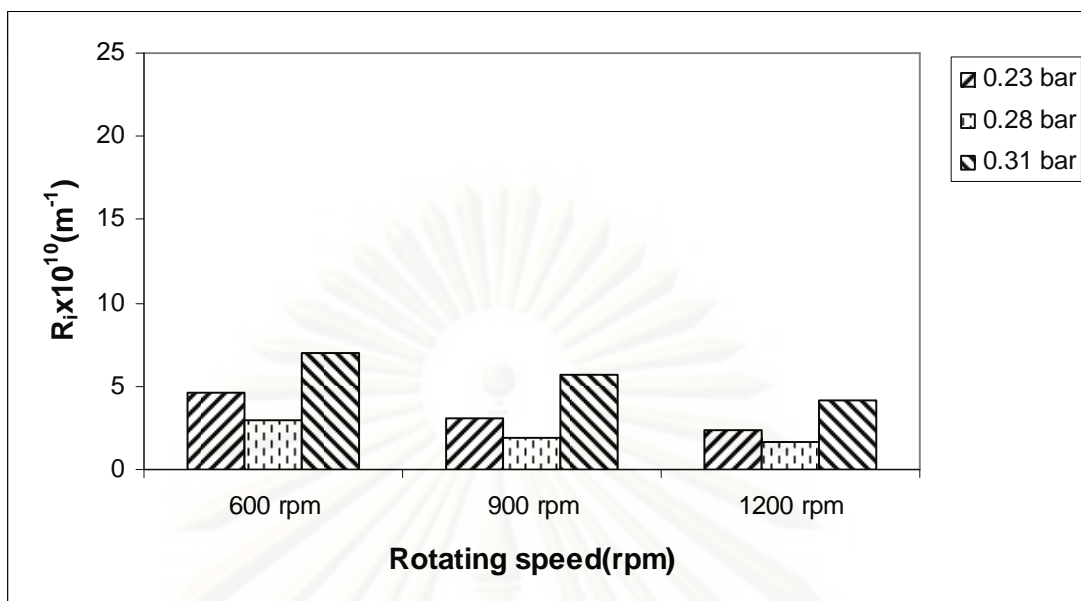
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานในเยื่อแผ่นที่ ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร

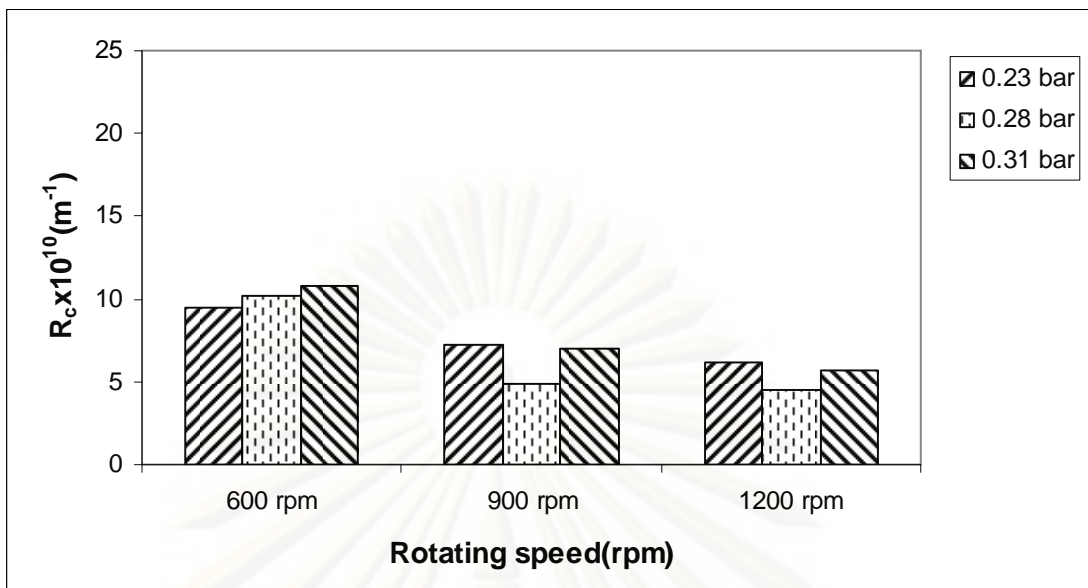


รูปที่ 4.9 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานในเยื่อแผ่นที่ ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร

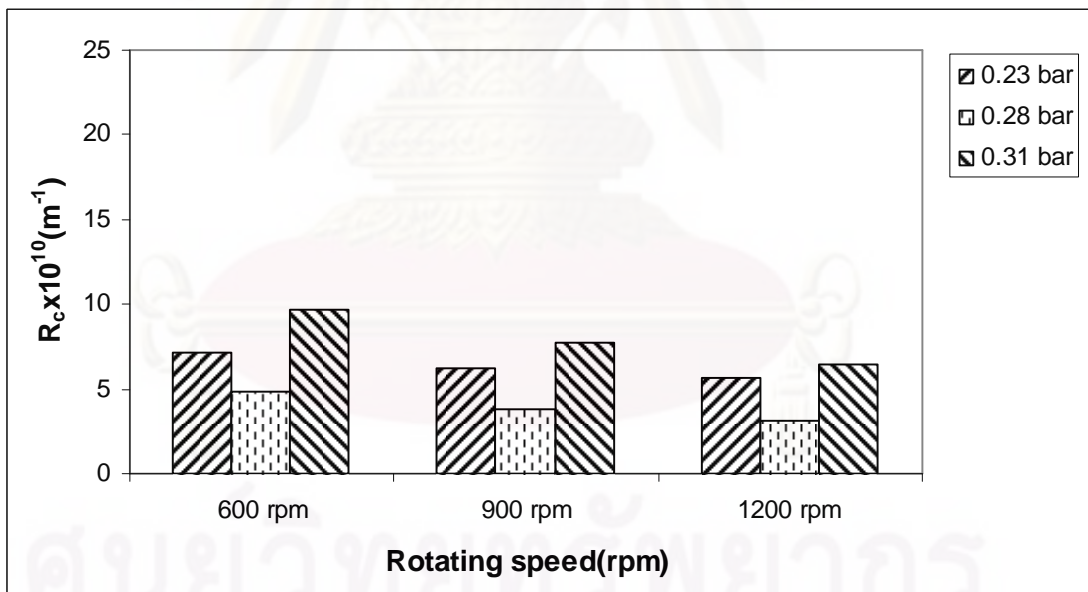


**รูปที่ 4.10** ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานในเยื่อแผ่นที่ ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร

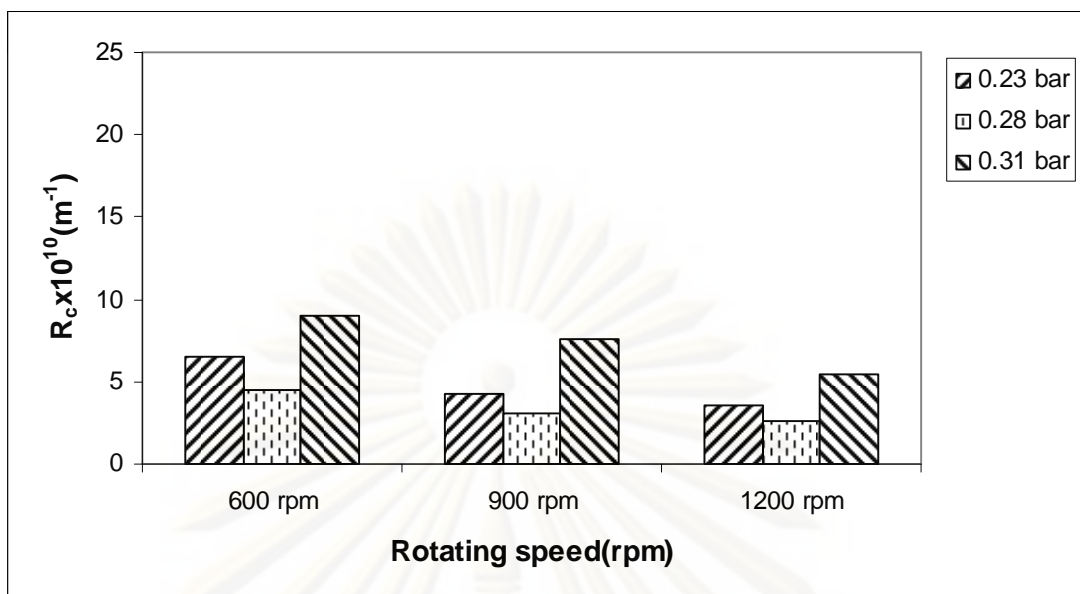
จากรูปที่ 4.11-4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบ ต่อค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่น ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตรตามลำดับ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณกรดซัลฟูริกและความเร็ว รอบเยื่อแผ่น ค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นจะมีค่าลดลง โดยที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 1200 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.28 บาร์จะมีค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่น น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.53 3.08 และ 2.56 ตามลำดับ และความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นจะมีค่า มากสุด ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.31 บาร์ มีค่า เท่ากับ 10.8 9.72 และ 9.06 ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อ หาน้ำยาง 100 มิลลิลิตรตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นมีค่า มากกว่าค่าความต้านทานในเยื่อแผ่นทุกการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าอนุภาคยางส่วนใหญ่ติดที่ ผิวเยื่อแผ่นมากกว่าในเยื่อแผ่น ซึ่งความเร็วรอบเยื่อแผ่นที่สูงขึ้นสามารถกำจัดอนุภาคยางที่ผิวออก ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์และค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยางที่เพิ่มขึ้น (แสดงผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.3 และ 4.5)



รูปที่ 4.11 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นที่ ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร



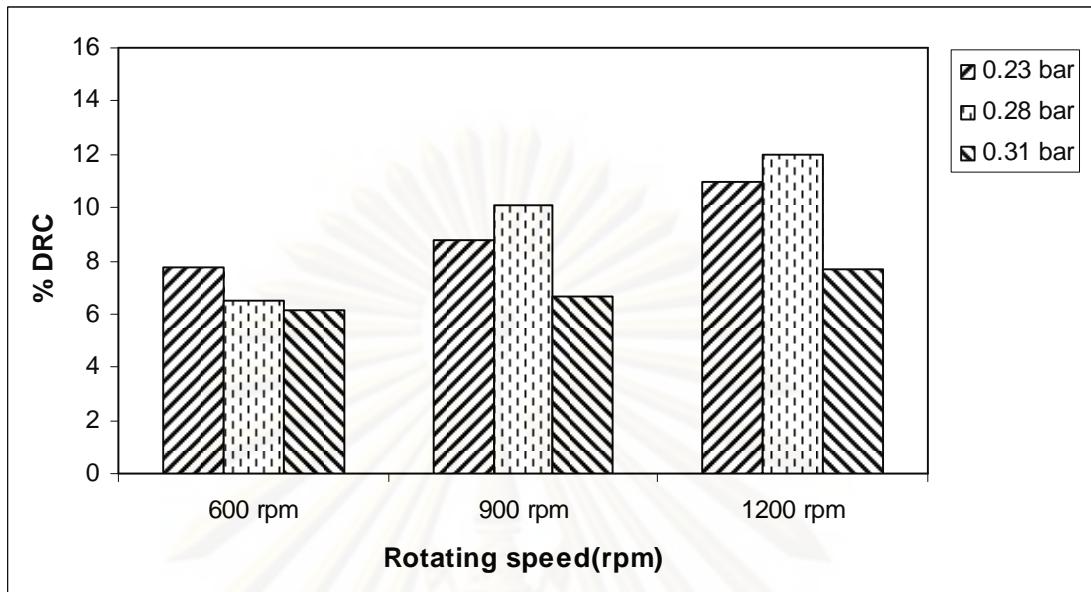
รูปที่ 4.12 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นที่ ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร



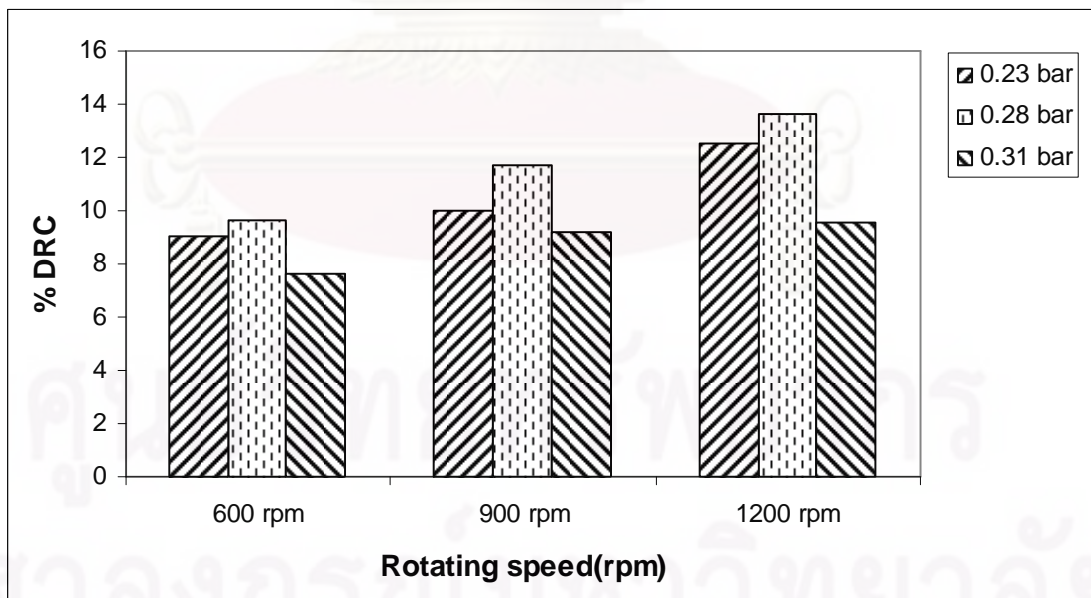
รูปที่ 4.13 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นที่ ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร

#### 4.5 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยางที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

จากรูปที่ 4.14-4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยาง (%DRC) ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตรตามลำดับ เมื่อทำการเพิ่มความเร็วยู่อแผ่นจาก 600 ถึง 1200 รอบต่อนาทีและเพิ่มปริมาณกรดซัลฟูริกจาก 0.3 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์พบว่าค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยางมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหาน้ำยาง 100 มิลลิลิตร จะมีปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยางสูงสุดเท่ากับ 11.98 13.62 และ 14.95 ตามลำดับ ที่ความดันคร่อมเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.28 บาร์ ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที การเพิ่มความเร็วยู่อแผ่นจะทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าสูงขึ้น(สุชุม ภูมิรินทร์วรกุล,2546) เนื่องจากเกิดการหมุนวนของเทย์เลอร์ เกิดการเฉือนคักออกตลอดเยื่อแผ่นทำให้ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยางสูงขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มความดันคร่อมเยื่อแผ่นให้มากกว่า 0.28 บาร์ พบว่าค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยางจะมีค่าลดลงซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.68 9.55 และ 10.23 บาร์ตามลำดับเนื่องมาจากเกิดการสะสมของคักทั้งในและบนผิวของเยื่อแผ่น(แสดงผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.4) ซึ่งส่งผลให้การกรองทำได้ยากขึ้น ทำให้ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหาน้ำยางมีค่าน้อยลง

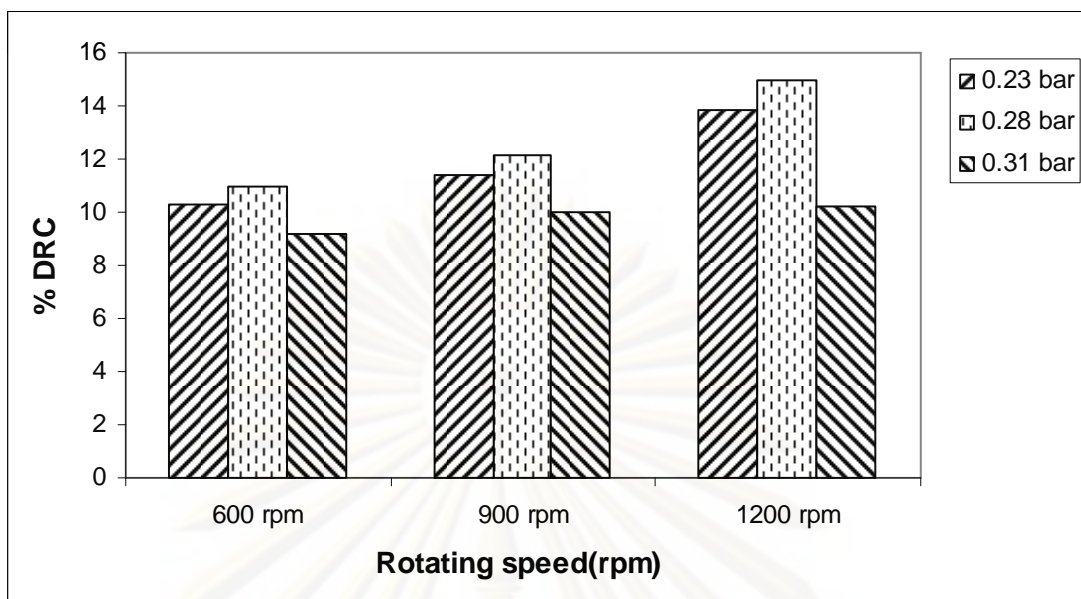


รูปที่ 4.14 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าปริมาณน้ำแข็งในทางน้ำ  
 ยางที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อทางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.15 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าปริมาณน้ำแข็งในทางน้ำ  
 ยางที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อทางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร



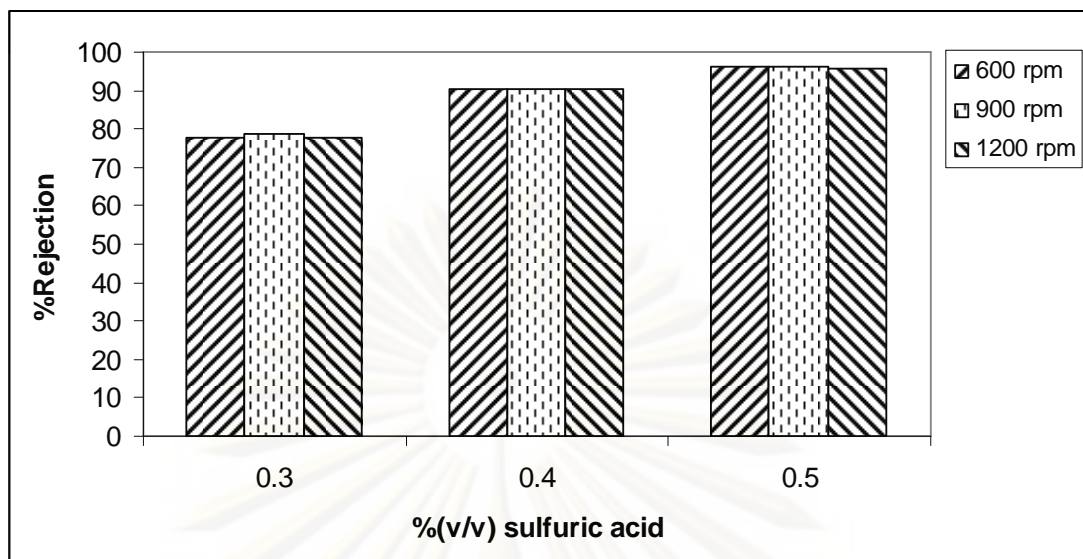


รูปที่ 4.16 ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วรอบต่อค่าปริมาณน้ำแข็งในทางน้ำ  
 ยางที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อทางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร

#### 4.6 ผลของปริมาณกรดซัลฟูริกและความเร็วรอบต่อค่าเปอร์เซ็นต์การกักเก็บ (% Rejection)

เมื่อทำการทดลองที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการป้อนเท่ากับ 36 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเยื่อแผ่นจาก 600 ถึง 1200 รอบต่อนาที พบว่าจะมีค่าการกักเก็บเฉลี่ยเท่ากับ 77.97 90.27 และ 95.96 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เนื่องจากยางซึ่งมีพื้นผิวเป็นประจุลบจะทำปฏิกิริยาสะเทินกับประจุบวกของกรดซัลฟูริกที่แตกตัวออกมา ทำให้ออนุภาคยางในทางน้ำยางมีขนาดใหญ่ขึ้นตามปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใส่ลงไป ดังแสดงในรูปที่ 4.17 การทดลองนี้สามารถแยกทางน้ำยางได้มากกว่าการทดลองของไพบูลย์ถึง 6.64 เท่า(ไพบูลย์ อินนาจิตร,2548)

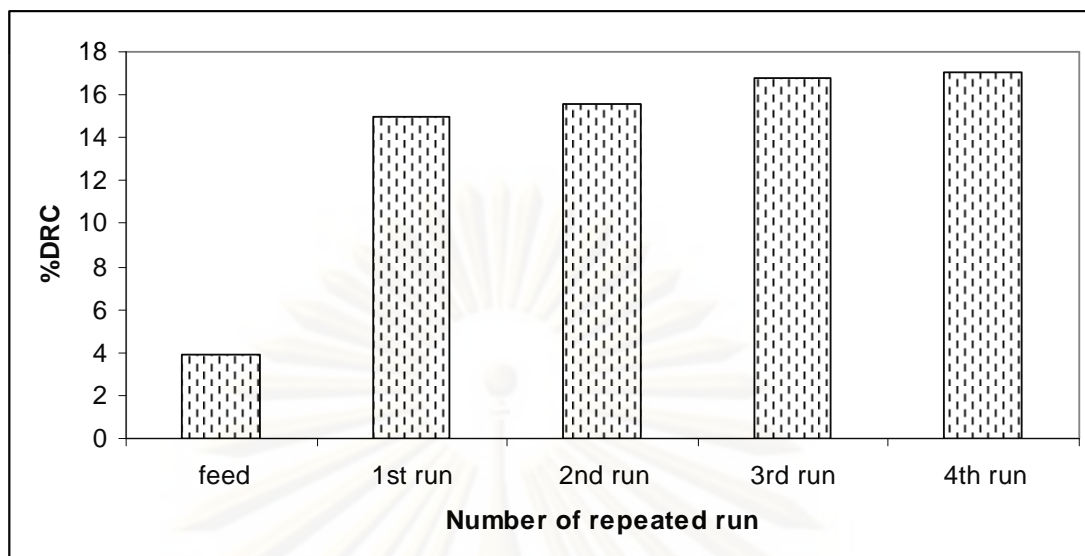
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณกรดซัลฟูริกและความเร็วรอบต่อค่าเปอร์เซ็นต์การกักเก็บ

#### 4.7 การเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคยางในสายรีเทนเทท โดยการกรองซ้ำ

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าภาวะที่ดีที่สุดในการแยกอนุภาคยางจากหางน้ำยางโดยใช้เครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้และได้เนื้อยางแห้งมากที่สุด คือ ใช้ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.28 บาร์ ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที ได้ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยางเท่ากับ 14.95 เปอร์เซ็นต์ (ความเข้มข้นในสายรีเทนเททเพิ่มขึ้น 3.87 เท่า) การทดลองในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคยางในสายรีเทนเทท ดังนั้นจะทำการกรองสายรีเทนเททซ้ำหลายๆครั้งที่ภาวะที่เหมาะสมข้างต้น จากการทดลองพบว่าสามารถทำการกรองได้ถึง 4 ครั้ง โดยปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยางมีค่าเท่ากับ 14.95 15.58 16.78 และ 17.01 (ความเข้มข้นในสายรีเทนเททเพิ่มขึ้น 4.4 เท่า) เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และเมื่อทำการกรองมากกว่า 4 ครั้งพบว่าไม่สามารถทำการกรองได้อีกต่อไป เนื่องจากหางน้ำยางในถังปั่นมีความเข้มข้นสูง ทำให้ความหนืดของหางน้ำยางมีค่าเพิ่มขึ้น(16.4 เซนติพอยส์) ส่งผลให้ไม่สามารถทำการกรองหางน้ำยางต่อไปได้อีก



**รูปที่ 4.18** ผลของจำนวนครั้งที่ทำการกรองต่อค่าปริมาณเนื้ออย่างแห้งในทางน้ำยางสายรีเทนเทท ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5% โดยปริมาตร ความดันคร่อม 0.28 บาร์และความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที

หลังจากการกรองซ้ำแล้วได้สายรีเทนเททในถังป้อนที่มีความเข้มข้นของอนุภาคอย่างมากที่สุด เติมกรดซัลฟูริกลงในถังป้อนอีกเพื่อทำเป็นทางน้ำยางแห้ง (Skim block) ทำการทดลองโดยเติมกรดซัลฟูริกให้ได้ปริมาณ 0.55% โดยปริมาตร พบว่าสามารถทำทางน้ำยางแห้งได้เหมือนกับผลิตภัณฑ์ของโรงงานโดยใช้เวลาในการจับตัวของทางน้ำยางทั้งหมด 3 ชั่วโมงซึ่งทางโรงงานจะใช้เวลาในการจับตัวของทางน้ำยางอยู่ในช่วง 4 ถึง 12 ชั่วโมง และผลได้จากกระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้สามารถให้ค่ามากกว่าทางโรงงานถึง 3.6 เท่า

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. หางน้ำยางที่ใช้ในการทดลอง มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,015 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนืด 4 เซนติพอยส์ ปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยาง (%DRC) 3-4 % และขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.81 ไมครอน

2. การทดลองใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกในอัตราส่วน 0.3% (v/v) 0.4% (v/v) และ 0.5% (v/v) ซึ่งมีขนาดอนุภาคยางเท่ากับ 4.2 ไมครอน 12 ไมครอน และ 45.49 ไมครอนตามลำดับเนื่องจากกรดซัลฟูริกเกิดการแตกตัวให้ประจุบวกและไปจับกับอนุภาคยางซึ่งมีพื้นผิวเป็นประจุลบ ทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น

3. ปริมาณกรดซัลฟูริกที่เติมลงไปมีผลต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ ปริมาณกรดซัลฟูริกที่สูงจะทำให้อนุภาคยางรวมตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้นตามปริมาณกรดซัลฟูริกที่เติมลงไป ส่งผลให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์ มีค่าสูง พบว่าที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร จะได้เพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่ภาวะคงตัวเท่ากับ 1833.33 ลิตร/ เมตร<sup>2</sup>. ชั่วโมง ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์

4. ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยางมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับจากการเพิ่มปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร พบว่าปริมาณเนื้อยางแห้งในหางน้ำยางมีค่าเท่ากับ 11.98 13.62 และ 14.95 ตามลำดับ ที่ความดันคร่อมเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.28 บาร์ ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที

5. ความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่น และค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นจะมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบเยื่อแผ่น พบว่าที่ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.28 บาร์ ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที มีค่าเท่ากับ 5.4 1.64 และ 2.56 ตามลำดับ ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร และความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่นและความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นมีค่ามากที่สุด ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.31 บาร์ มีค่าเท่ากับ 21.6 9.6 และ 10.8 ตามลำดับที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร

6. ค่าการกักเก็บเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับจากการเพิ่มปริมาณกรดซัลฟูริก 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อหางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร อัตราการป้อนเท่ากับ 36 ลิตรต่อชั่วโมง

ความเร็วรอบเยื่อแผ่นจาก 600 ถึง 1200 รอบต่อนาที พบว่าจะมีค่าการกักเก็บเฉลี่ยเท่ากับ 77.97 90.27 และ 95.96 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

7.ภาวะที่ดีที่สุดในการหาปริมาณเนือยงแห้งในทางน้ำยางคือ ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อทางน้ำยาง 100 มิลลิลิตร ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.28 บาร์ ได้ค่าปริมาณเนือยงแห้งในทางน้ำยางเท่ากับ 14.95 เปอร์เซ็นต์ (ความเข้มข้นในสายรีเทนเททเพิ่มขึ้น 3.87 เท่า) ซึ่งการทดลองในหัวข้อนี้จะทำการทดลองโดยใช้ภาวะการทดลองเดิม เพื่อหาปริมาณเนือยงแห้งในทางน้ำยางที่ถูกทำให้มีความเข้มข้นขึ้น จากการทดลองพบว่าสามารถทำการกรองได้ถึง 4 ครั้ง โดยปริมาณเนือยงแห้งในทางน้ำยางมีค่าเท่ากับ 14.95 15.58 16.78 และ 17.01 (ความเข้มข้นในสายรีเทนเททเพิ่มขึ้น 4.4 เท่า) เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.เพิ่มขนาดพื้นที่การกรองของเยื่อแผ่นเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการกรอง
- 2.ทำการทดลองโดยลดขนาดของช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านใน
- 3.ทำการทดลองโดยเปลี่ยนเยื่อแผ่นชนิดที่มีขนาดรูพรุนที่มีขนาดเล็กกลง เพื่อลดปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้
- 4.ศึกษาสารเคมีชนิดใหม่แทนการใช้กรดซัลฟูริกในการทำทางน้ำยางจับตัวกันเบื้องต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กิตติพงษ์ รัตนภรณ์. การแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองหมุนได้.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2544  
บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ.เทคโนโลยีน้ำยางชั้น.คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,2539 หน้า 2-3

ไพบูรณ์ อินนาจิตรและคณะ. การทำหางน้ำยางเข้มข้นโดยการใส่เมมเบรน.การประชุมวิชาการ  
ทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4, 8-9 ธันวาคม 2548 หน้า  
30-37

เวท ไทยนุกูล. การผลิตและการควบคุมคุณภาพยาง.สถาบันวิจัยยาง,2532 หน้า 3

สุขุม ภูมรินทร์วรารกุล. การประยุกต์ใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชันเพื่อแยกโปรตีน  
ออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2546

เสาวณีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. การผลิตยางธรรมชาติ.คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2547 หน้า 67-77

### ภาษาอังกฤษ

Alexander S. Food and Agriculture Organization of the United Nation Medium-term  
prospects for agricultural commodities.2003,Rome,Italy

Danwanichakul P. Water Soluble Chitosan as an Environment-Friendly Coagulant in  
Removal of Rubber Particles from Skim Rubber Latex.J Metal,Material and  
Minerals.18(2008):93-97

Darko et al.The effect of turbulence promoter on cross-flow microfiltration of skim  
milk.J.Membrane Science.208(2002):303-314

IRSG Rubber Statistical Bulletin. World production of NR, vol 62, March/April 2008

Kataoka K. et.al. Heat/mass Transfer in Taylor Vortex Flow with Constant Axial Flow  
Rate.Int.J.Heat Mass Transfer.20(1977):57-63

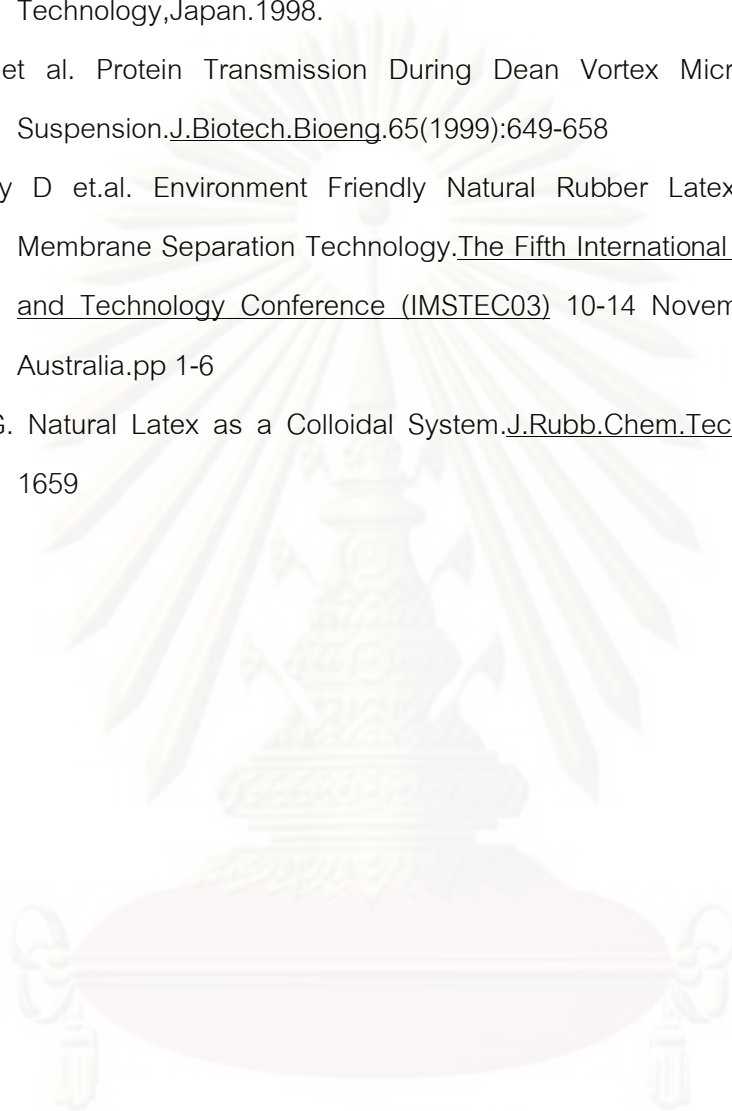
- Kanyawararak K. In vitro rubber Biosynthesis from fresh bottom fraction: Formation of polyprenol and rubber. A master thesis in Department of Polymer science and Technology Thailand; Faculty of Science, Mahidol University. 2005
- Kazunori N et al. Application of a Rotating Ceramic Membrane to Dense Cell Culture. J. Ferment. Bioeng. 76(1993):49-54
- Lin C. et al. Inorganic fouling of pressure-driven membrane processes -A critical review. J. Desalination. 250(2009):236-248
- Nitayapat J et al. The Quality of Wastewater from Creaming Process of Skim Natural Rubber Latex using Hydroxypropyl. The 34 th Congress on Science and Technology of Thailand, 31 October-2 November, 2008. pp 1-5
- Pakianathan, S.W., Boatman, S.G. and Taysum, D.H. Particle aggregation following dilution of Hevea latex: A possible mechanism for the closure of latex vessels after tapping. J. Rub. Res. Inst. Malaya. 19(1966):259
- Rattanapittayapron A. Rubber Biosynthesis by Lutiod Membrane in Hevea Latex. A master thesis in Department of Biochemistry Thailand; Faculty of Science, Mahidol University. 1998
- Richard H. Anti-Fouling Mechanism in Rotating Filtration. 12 th International Couette Taylor Workshop, September 6-8, 2001. USA
- Sakdapipanich J., Suksujaritiporn S and Tanaka Y. Structural Characterisation of the Small Rubber Particle in Fresh Hevea Latex, J. Rubb. Res. (2) 1999:160-168
- Shimizu Y. et al. Effect of Particles Size Distributions of Activated Sludges on Cross-Flow Microfiltration Flux for Submerged Membranes, J. Fermentation and Bioengineering. (86) 1997:583-589
- Southren W.A. and Yip E. Latex flow studies V. rheology of fresh Hevea latex flow in capillaries. J. Rubb. Res. Int. Malaya. 20(1968):236
- Sulaiman H et al. Cake layer reduction by gas sparging cross flow ultrafiltration of skim latex serum, J. Sci. Technology. 24(2002):947-953
- Tanaka Y. and Sakdapipanich J. Chemical structure and occurrence of natural polyisoprenes. Biopolymers Polyisoprenoids, Wiley-VCH. (2) 2001:1-25

Tangpakdee J. Structure Characterization of Natural Rubber : Analysis of Biosynthesis Mechanism, Branching Formation and Role of Rubber in Hevea tree, PhD Thesis on Engineering submitted to the Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan. 1998.

Tanja K et al. Protein Transmission During Dean Vortex Microfiltration of Yeast Suspension. J. Biotech. Bioeng. 65(1999):649-658

Veerasamy D et al. Environment Friendly Natural Rubber Latex Concentration by Membrane Separation Technology. The Fifth International Membrane Science and Technology Conference (IMSTEC03) 10-14 November 2003. Sydney, Australia. pp 1-6

Verhaar G. Natural Latex as a Colloidal System. J. Rubb. Chem. Technol. 32(1959):1627-1659



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก1 การกระจายตัวของอนุภาคยางในหาน้ำยาง



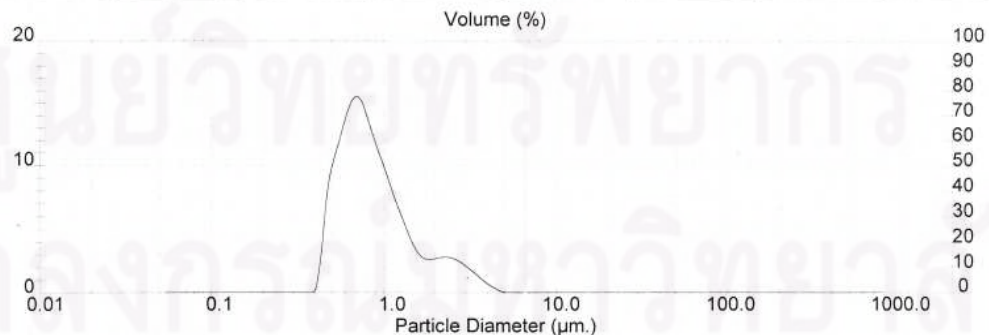
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: skim	Run Number: 3	Measured: Fri Oct 30 2009 10:28AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 623	Analysed: Fri Oct 30 2009 10:28AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet analysis system		
Dispersing medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 12.6 %
Presentation: 30IID	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 4.807 %
Modifications: Active --	Killed Result Channels: < 0.05 um; > 6.63 um.		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0023 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 7.3863 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.52 um	D (v, 0.5) = 0.81 um	D (v, 0.9) = 2.03 um
D [4, 3] = 1.05 um	D [3, 2] = 0.81 um	Span = 1.876E+00	Uniformity = 5.343E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.00	7.72	100.00
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.00	9.00	100.00
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.00	10.48	100.00
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.00	12.21	100.00
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.00	14.22	100.00
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.00	16.57	100.00
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.00	19.31	100.00
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.00	22.49	100.00
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.00	26.20	100.00
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	0.00	30.53	100.00
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	0.00	35.56	100.00
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	0.00	41.43	100.00
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	6.32	0.49	6.32	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	11.13	0.58	17.44	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	14.37	0.67	31.81	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	15.39	0.78	47.20	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	12.91	0.91	60.11	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	10.29	1.06	70.40	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	7.65	1.24	78.04	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	5.30	1.44	83.34	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	3.31	1.68	86.66	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.64	1.95	89.29	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.77	2.28	92.06	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.77	2.65	94.83	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.34	3.09	97.17	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.63	3.60	98.80	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.86	4.19	99.66	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.29	4.88	99.95	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.02	5.69	99.97	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.03	6.63	100.00	754.23	0.00	878.67	100.00



ตาราง ก2 การกระจายตัวของอนุภาคยางในทางน้ำที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร



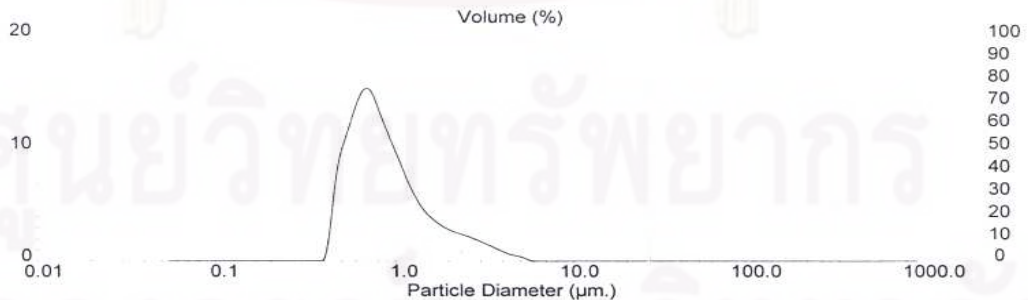
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 0.1%(v/v) H2SO4	Run Number: 2	Measured: Fri Oct 30 2009 8:41AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 532	Analysed: Fri Oct 30 2009 8:41AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet analysis system Dispersing medium : Water Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 14.4 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 5.800 %
Modifications: Active --	Killed Result Channels: < 0.05 um; > 26.20 um.		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0030 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 7.3392 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.52 um	D (v, 0.5) = 0.81 um	D (v, 0.9) = 1.98 um
D [4, 3] = 1.07 um	D [3, 2] = 0.82 um	Span = 1.794E+00	Uniformity = 5.478E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.00	7.72	100.00
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.00	9.00	100.00
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.00	10.48	100.00
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.00	12.21	100.00
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.00	14.22	100.00
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.00	16.57	100.00
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.00	19.31	100.00
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.00	22.49	100.00
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.00	26.20	100.00
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	0.00	30.53	100.00
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	0.00	35.56	100.00
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	0.00	41.43	100.00
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	6.28	0.49	6.28	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	11.00	0.58	17.28	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	14.16	0.67	31.44	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	15.14	0.78	46.58	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	12.71	0.91	59.30	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	10.13	1.06	69.43	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	7.58	1.24	77.01	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	5.47	1.44	82.48	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	4.06	1.68	86.54	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.22	1.95	89.76	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.68	2.28	92.45	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.32	2.65	94.77	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.92	3.09	96.69	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.46	3.60	98.14	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.97	4.19	99.12	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.57	4.88	99.69	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.31	5.69	100.00	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.00	6.63	100.00	754.23	0.00	878.67	100.00



ตาราง ก3 การกระจายตัวของอนุภาคยางในทางน้ำที่มีความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.2 เปอร์เซ็นต์  
โดยปริมาตร

# MALVERN INSTRUMENTS MASTERSIZER

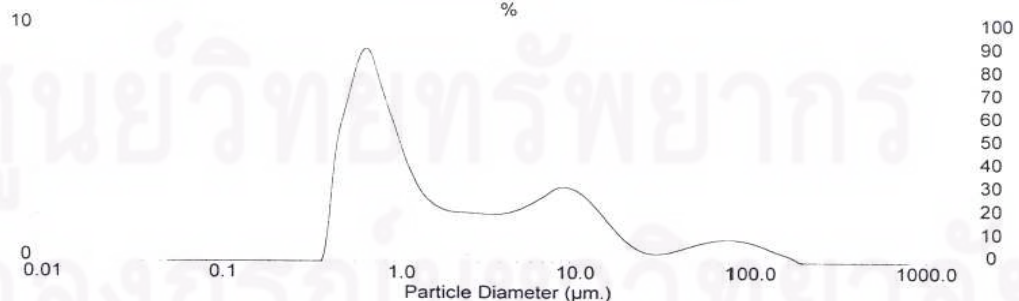
## Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 0.2%(v/v) H2SO4	Run Number: 10	Measured: Fri Oct 30 2009 9:57AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 611	Analysed: Fri Oct 30 2009 9:57AM
Sample Path: C:\SIZER3\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet analysis system Dispersing medium : Water Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 12.3 %
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 3.160 %
Analysis Model: Polydisperse	Modifications: None		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0031 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 4.7060 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.57 um	D (v, 0.5) = 1.46 um	D (v, 0.9) = 19.04 um
D [4, 3] = 10.13 um	D [3, 2] = 1.27 um	Span = 1.261E+01	Uniformity = 6.368E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.80	7.72	74.90
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	3.12	9.00	78.02
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	3.17	10.48	81.20
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	2.97	12.21	84.17
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	2.54	14.22	86.71
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	1.99	16.57	88.70
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	1.41	19.31	90.11
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.91	22.49	91.02
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.57	26.20	91.59
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	0.40	30.53	91.99
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	0.38	35.56	92.37
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	0.48	41.43	92.85
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.62	48.27	93.47
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.78	56.23	94.25
0.42	3.64	0.49	3.64	56.23	0.90	65.51	95.15
0.49	6.51	0.58	10.16	65.51	0.97	76.32	96.12
0.58	8.45	0.67	18.60	76.32	0.98	88.91	97.10
0.67	9.09	0.78	27.69	88.91	0.92	103.58	98.02
0.78	7.66	0.91	35.36	103.58	0.79	120.67	98.80
0.91	6.16	1.06	41.52	120.67	0.59	140.58	99.39
1.06	4.67	1.24	46.19	140.58	0.40	163.77	99.79
1.24	3.47	1.44	49.66	163.77	0.21	190.80	100.00
1.44	2.72	1.68	52.38	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.34	1.95	54.72	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.16	2.28	56.88	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.12	2.65	59.01	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.09	3.09	61.09	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.05	3.60	63.15	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.04	4.19	65.19	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.11	4.88	67.30	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.28	5.69	69.58	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.52	6.63	72.10	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
Malvern, UK  
Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
Serial Number: MAL400016

p. 24  
30 Oct 09 10:03

ตาราง ก4 การกระจายตัวของอนุภาคยางในหาน้ำยางที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์  
โดยปริมาตร

# MALVERN INSTRUMENTS MASTERSIZER

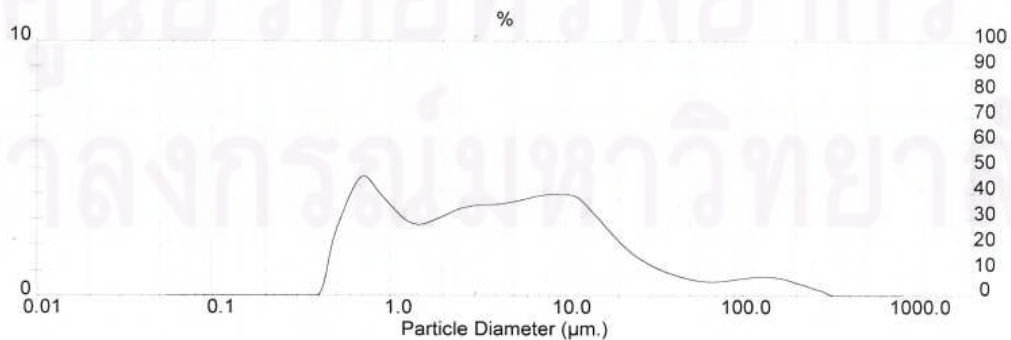
## Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 0.3%(v/v) H2SO4	Run Number: 17	Measured: Fri Oct 30 2009 9:44AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 596	Analysed: Fri Oct 30 2009 9:44AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet analysis system Dispersing medium : Water Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 12.6 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 1.765 %
Analysis Model: Polydisperse Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0044 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 2.9983 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.70 um	D (v, 0.5) = 4.20 um	D (v, 0.9) = 28.67 um
D [4, 3] = 14.87 um	D [3, 2] = 2.00 um	Span = 6.661E+00	Uniformity = 3.147E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	3.89	7.72	64.93
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	3.94	9.00	68.87
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	3.93	10.48	72.80
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	3.87	12.21	76.67
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	3.48	14.22	80.15
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	2.98	16.57	83.13
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	2.47	19.31	85.60
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	2.00	22.49	87.59
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	1.61	26.20	89.20
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.30	30.53	90.51
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	1.07	35.66	91.58
0.27	0.00	0.31	0.00	35.66	0.89	41.43	92.47
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.74	48.27	93.20
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.62	56.23	93.83
0.42	1.55	0.49	1.55	56.23	0.56	65.51	94.39
0.49	3.08	0.58	4.62	65.51	0.55	76.32	94.94
0.58	4.16	0.67	8.78	76.32	0.59	88.91	95.53
0.67	4.62	0.78	13.40	88.91	0.66	103.58	96.18
0.78	4.13	0.91	17.53	103.58	0.72	120.67	96.90
0.91	3.62	1.06	21.14	120.67	0.74	140.58	97.65
1.06	3.14	1.24	24.28	140.58	0.72	163.77	98.36
1.24	2.83	1.44	27.11	163.77	0.63	190.80	98.99
1.44	2.80	1.68	29.91	190.80	0.48	222.28	99.47
1.68	2.96	1.95	32.87	222.28	0.34	258.95	99.81
1.95	3.15	2.28	36.02	258.95	0.19	301.68	100.00
2.28	3.37	2.65	39.39	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.48	3.09	42.87	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.54	3.60	46.41	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.55	4.19	49.96	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.60	4.88	53.56	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.68	5.69	57.24	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.80	6.63	61.04	754.23	0.00	878.67	100.00



ตาราง ก5 การกระจายตัวของอนุภาคยางในหางน้ำยางที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

# MALVERN INSTRUMENTS MASTERSIZER

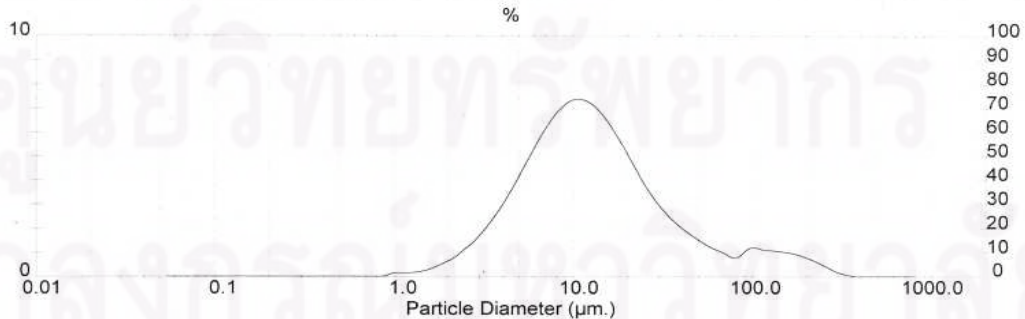
## Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 0.4%(v/v) H2SO4	Run Number: 6	Measured: Fri Oct 30 2009 9:19AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 573	Analysed: Fri Oct 30 2009 9:19AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet analysis system Dispersing medium : Water Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 13.5 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.930 %
Analysis Model: Polydisperse Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0164 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.6783 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 4.28 um	D (v, 0.5) = 12.00 um	D (v, 0.9) = 55.15 um
D [4, 3] = 25.50 um	D [3, 2] = 8.85 um	Span = 4.238E+00	Uniformity = 1.545E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	6.24	7.72	29.29
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	6.89	9.00	36.18
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	7.29	10.48	43.47
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	7.34	12.21	50.81
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	7.06	14.22	57.87
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	6.50	16.57	64.37
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	5.74	19.31	70.11
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	4.88	22.49	74.99
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.98	26.20	78.97
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	3.22	30.53	82.20
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.62	35.56	84.82
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	2.15	41.43	86.97
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	1.76	48.27	88.73
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	1.44	56.23	90.17
0.42	0.00	0.49	0.00	56.23	1.16	65.51	91.32
0.49	0.00	0.58	0.00	65.51	0.94	76.32	92.26
0.58	0.00	0.67	0.00	76.32	0.80	88.91	93.06
0.67	0.00	0.78	0.00	88.91	1.17	103.58	94.23
0.78	0.00	0.91	0.00	103.58	1.13	120.67	95.36
0.91	0.15	1.06	0.15	120.67	1.07	140.58	96.42
1.06	0.16	1.24	0.31	140.58	1.01	163.77	97.43
1.24	0.20	1.44	0.51	163.77	0.91	190.80	98.35
1.44	0.31	1.68	0.82	190.80	0.75	222.28	99.10
1.68	0.50	1.95	1.32	222.28	0.52	258.95	99.63
1.95	0.74	2.28	2.05	258.95	0.27	301.68	99.90
2.28	1.10	2.65	3.15	301.68	0.10	351.46	100.00
2.65	1.53	3.09	4.69	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.11	3.60	6.80	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.78	4.19	9.58	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.58	4.88	13.16	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.48	5.69	17.65	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.41	6.63	23.05	754.23	0.00	878.67	100.00



ตาราง ก6 การกระจายตัวของอนุภาคภายในทางน้ำยางที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์  
โดยปริมาตร



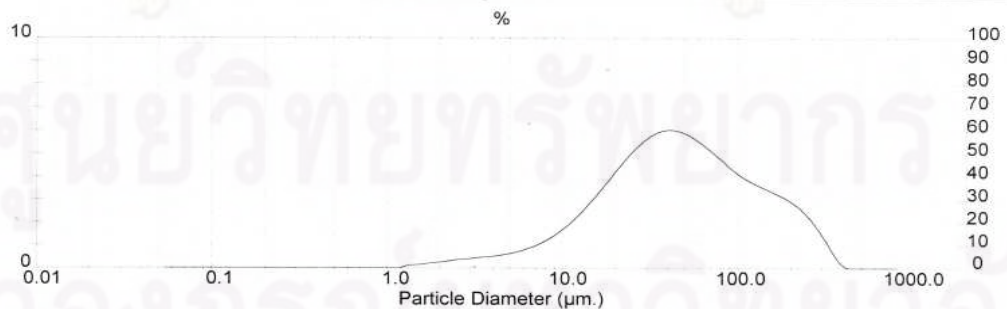
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 0.5%(v/v) H2SO4	Run Number: 3	Measured: Fri Oct 30 2009 9:04AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 560	Analysed: Fri Oct 30 2009 9:04AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet analysis system		
Dispersing medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Samplcr: MS1	Obscuration: 19.5 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 1.043 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0667 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.2544 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 11.76 um	D (v, 0.5) = 45.49 um	D (v, 0.9) = 176.02 um
D [4, 3] = 71.42 um	D [3, 2] = 23.58 um	Span = 3.611E+00	Uniformity = 1.057E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.05	0.00	6.63	1.01	7.72	5.65
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	1.26	9.00	6.92
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	1.60	10.48	8.52
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	2.02	12.21	10.54
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	2.52	14.22	13.06
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	3.09	16.57	16.15
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	3.71	19.31	19.86
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	4.34	22.49	24.19
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	4.93	26.20	29.12
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	5.43	30.53	34.56
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	5.80	35.56	40.35
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	5.98	41.43	46.33
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	5.98	48.27	52.31
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	5.80	56.23	58.11
0.42	0.00	0.49	0.00	56.23	5.49	65.51	63.60
0.49	0.00	0.58	0.00	65.51	5.10	76.32	68.69
0.58	0.00	0.67	0.00	76.32	4.67	88.91	73.36
0.67	0.00	0.78	0.00	88.91	4.22	103.58	77.58
0.78	0.00	0.91	0.00	103.58	3.89	120.67	81.47
0.91	0.00	1.06	0.00	120.67	3.62	140.58	85.09
1.06	0.00	1.24	0.00	140.58	3.39	163.77	88.48
1.24	0.13	1.44	0.13	163.77	3.15	190.80	91.63
1.44	0.17	1.68	0.30	190.80	2.85	222.28	94.48
1.68	0.24	1.95	0.54	222.28	2.42	258.95	96.91
1.95	0.28	2.28	0.82	258.95	1.81	301.68	98.72
2.28	0.36	2.65	1.18	301.68	1.03	351.46	99.75
2.65	0.41	3.09	1.59	351.46	0.25	409.45	100.00
3.09	0.46	3.60	2.05	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.51	4.19	2.56	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.58	4.88	3.14	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.68	5.69	3.82	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.82	6.63	4.64	754.23	0.00	878.67	100.00





ตาราง ก7 การกระจายตัวของอนุภาคยางในหาน้ำยางที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.6 เปอร์เซ็นต์  
โดยปริมาตร



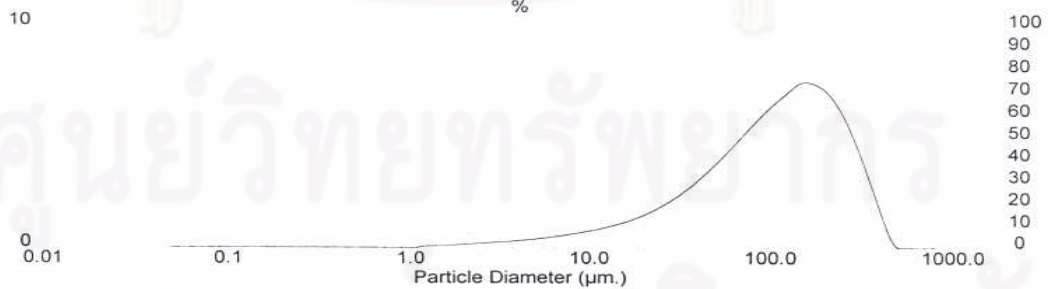
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 0.6%(v/v) H2SO4	Run Number: 7	Measured: Fri Oct 30 2009 8:57AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 555	Analysed: Fri Oct 30 2009 8:57AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet analysis system		
Dispersing medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 14.8 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.878 %
Analysis Model: Polydisperse	Modifications: None		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0893 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1406 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 22.96 um	D (v, 0.5) = 114.06 um	D (v, 0.9) = 275.61 um
D [4, 3] = 133.86 um	D [3, 2] = 42.68 um	Span = 2.215E+00	Uniformity = 6.821E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.52	7.72	3.13
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.60	9.00	3.73
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.69	10.48	4.42
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.79	12.21	5.21
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.91	14.22	6.11
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	1.04	16.57	7.16
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	1.21	19.31	8.37
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	1.42	22.49	9.79
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	1.67	26.20	11.46
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.97	30.53	13.42
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.32	35.56	15.74
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	2.73	41.43	18.47
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	3.19	48.27	21.65
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	3.70	56.23	25.36
0.42	0.00	0.49	0.00	56.23	4.26	65.51	29.62
0.49	0.00	0.58	0.00	65.51	4.85	76.32	34.47
0.58	0.00	0.67	0.00	76.32	5.45	88.91	39.91
0.67	0.00	0.78	0.00	88.91	6.02	103.58	45.93
0.78	0.00	0.91	0.00	103.58	6.53	120.67	52.46
0.91	0.00	1.06	0.00	120.67	6.99	140.58	59.46
1.06	0.00	1.24	0.00	140.58	7.41	163.77	66.86
1.24	0.08	1.44	0.08	163.77	7.39	190.80	74.25
1.44	0.09	1.68	0.17	190.80	7.06	222.28	81.32
1.68	0.12	1.95	0.29	222.28	6.37	258.95	87.69
1.95	0.15	2.28	0.44	258.95	5.31	301.68	93.00
2.28	0.19	2.65	0.63	301.68	3.91	351.46	96.91
2.65	0.23	3.09	0.86	351.46	2.33	409.45	99.24
3.09	0.26	3.60	1.12	409.45	0.76	477.01	100.00
3.60	0.30	4.19	1.42	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.34	4.88	1.77	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.39	5.69	2.16	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.45	6.63	2.61	754.23	0.00	878.67	100.00



ตาราง ก8 การกระจายตัวของอนุภาคภายในทางน้ำยาที่มีความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.7 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

# MALVERN INSTRUMENTS MASTERSIZER

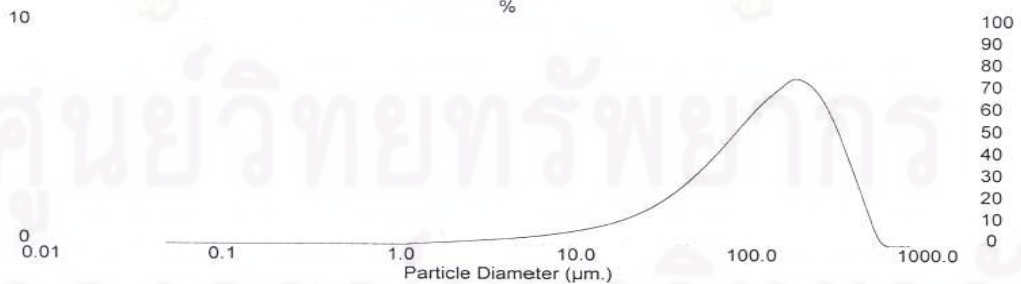
## Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 0.7%(v/v) H2SO4	Run Number: 2	Measured: Fri Oct 30 2009 8:49AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 537	Analysed: Fri Oct 30 2009 8:49AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet analysis system Dispersing medium : Water Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 13.9 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.686 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0951 %Vol	Density = 1.000 g / cub cm	Specific S.A. = 0.1240 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 26.71 um	D (v, 0.5) = 129.16 um	D (v, 0.9) = 309.76 um
D [4, 3] = 151.34 um	D [3, 2] = 48.39 um	Span = 2.191E+00	Uniformity = 6.754E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.44	7.72	2.63
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.51	9.00	3.14
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.59	10.48	3.73
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.68	12.21	4.41
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.78	14.22	5.19
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.90	16.57	6.09
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	1.05	19.31	7.13
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	1.23	22.49	8.36
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	1.44	26.20	9.80
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.70	30.53	11.51
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.02	35.56	13.52
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	2.38	41.43	15.90
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	2.80	48.27	18.71
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	3.28	56.23	21.99
0.42	0.00	0.49	0.00	56.23	3.82	65.51	25.80
0.49	0.00	0.58	0.00	65.51	4.40	76.32	30.20
0.58	0.00	0.67	0.00	76.32	5.01	88.91	35.22
0.67	0.00	0.78	0.00	88.91	5.63	103.58	40.85
0.78	0.00	0.91	0.00	103.58	6.21	120.67	47.06
0.91	0.00	1.06	0.00	120.67	6.73	140.58	53.79
1.06	0.00	1.24	0.00	140.58	7.16	163.77	60.95
1.24	0.06	1.44	0.06	163.77	7.55	190.80	68.50
1.44	0.07	1.68	0.13	190.80	7.45	222.28	75.95
1.68	0.10	1.95	0.23	222.28	6.98	258.95	82.93
1.95	0.13	2.28	0.36	258.95	6.13	301.68	89.06
2.28	0.16	2.65	0.52	301.68	4.91	351.46	93.97
2.65	0.19	3.09	0.71	351.46	3.46	409.45	97.43
3.09	0.22	3.60	0.93	409.45	2.01	477.01	99.44
3.60	0.25	4.19	1.19	477.01	0.56	555.71	100.00
4.19	0.29	4.88	1.47	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.33	5.69	1.81	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.38	6.63	2.19	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
Malvern, UK  
Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
Serial Number: MAL400016

p. 1  
30 Oct 09 08:51



ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข 1 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอต	% Rejection
0.3	2250	10.7184	10.3184	3.7642	0.84	77.95
5	2000	10.3582	10.7683	3.9209	0.83	78.22
10	1666.66	10.6483	10.4264	3.8002	0.82	78.48
15	1000	10.3217	10.5583	3.8499	0.87	77.17
20	1000	10.6585	10.7132	3.9028	0.82	78.47
25	1000	10.7142	10.1182	3.6906	0.82	78.47
30	1000	10.3585	10.7100	3.9032	0.86	77.42

ตาราง ข 2 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอต	% Rejection
0.3	2500	10.7163	10.3581	3.7769	0.82	78.48
5	2083.33	10.6842	10.6433	3.8811	0.85	77.69
10	1833.33	10.4162	10.3564	3.7800	0.88	76.90
15	1166.66	10.6538	10.6481	3.8807	0.83	78.22
20	1083.34	10.7148	10.4481	3.8097	0.83	78.22
25	1083.34	10.6382	10.5881	3.8636	0.88	76.90
30	1083.34	10.7148	10.7981	3.9361	0.85	77.69

ตาราง ข 3 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2666.66	10.7164	10.5581	3.6854	0.82	78.48
5	2333.33	10.3268	10.7234	3.9087	0.87	77.16
10	2000	10.1142	10.5586	3.8498	0.89	76.64
15	1333.33	10.7144	10.1132	3.6877	0.82	78.48
20	1166.66	10.3535	10.2284	3.7324	0.87	77.16
25	1166.66	10.6281	10.3384	3.7714	0.85	77.69
30	1166.66	10.3784	10.7182	3.9007	0.81	78.74

ตาราง ข 4 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2333.33	10.3142	10.7164	3.9052	0.86	77.42
5	2000	10.5684	10.3582	3.7785	0.85	77.69
10	1666.66	10.3155	10.5584	3.8507	0.88	76.90
15	1250	10.7163	10.3155	3.7617	0.82	78.48
20	833.33	10.5584	10.3964	3.7914	0.85	77.69
25	833.33	10.6182	10.7184	3.9042	0.82	78.48
30	833.33	10.3584	10.4184	3.7994	0.86	77.42

ตาราง ข 5 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2583.33	10.6384	10.7163	3.9042	0.83	78.22
5	2250	10.7142	10.4684	3.8148	0.81	78.74
10	2083.33	10.5864	10.3382	3.7688	0.83	78.22
15	1667.67	10.3765	10.7999	3.9342	0.85	77.69
20	1250	10.6485	10.3182	3.7634	0.84	77.95
25	1250	10.3182	10.5164	3.8349	0.87	77.17
30	1250	10.6384	10.7177	3.9041	0.82	78.48

ตาราง ข 6 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2750	10.7184	10.3535	3.7742	0.82	78.48
5	2500	10.6385	10.7477	3.9161	0.83	78.22
10	2250	10.3162	10.6182	3.8712	0.87	77.17
15	1833.33	10.7749	10.8864	3.9675	0.84	77.95
20	1333.33	10.5186	10.1824	3.7133	0.83	78.22
25	1333.33	10.3485	10.2250	3.7274	0.83	78.22
30	1333.33	10.5584	10.5864	3.8575	0.83	78.22

ตาราง ข 7 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรอง และผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	1666.66	10.7864	10.9988	4.0040	0.81	78.74
5	1500	10.6182	10.7132	3.9015	0.82	78.48
10	1166.66	10.3783	10.3248	3.7630	0.83	78.22
15	1000	10.9186	10.6543	3.8794	0.78	79.53
20	600	10.2284	10.3384	3.7676	0.84	77.95
25	600	10.9163	10.2185	3.7253	0.79	79.27
30	600	10.7468	10.5584	3.8446	0.79	79.27

ตาราง ข 8 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรอง และผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	1750	10.3184	10.2188	3.7237	0.82	78.48
5	1583.33	10.5164	10.3588	3.7738	0.81	78.74
10	1250	10.3184	10.4458	3.8060	0.84	77.95
15	1166.66	10.8864	10.5186	3.8310	0.78	79.53
20	750	10.7184	10.3584	3.7725	0.78	79.53
25	750	10.6384	10.7182	3.9068	0.85	77.69
30	750	10.2182	10.6848	3.8923	0.86	77.43

ตาราง ข 9 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	1916.66	10.6384	10.5865	3.8578	0.83	78.22
5	1750	10.7163	10.7182	3.9027	0.80	79.00
10	1333.33	10.6384	10.5184	3.8330	0.82	78.48
15	1250	10.7535	10.5284	3.8355	0.80	79.00
20	1000	10.2186	10.6655	3.9794	0.84	77.95
25	1000	10.3384	10.5999	3.8620	0.85	77.69
30	1000	10.7535	10.4855	3.8193	0.80	79.00

ตาราง ข 10 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2333.33	10.1142	10.3334	3.5884	0.41	89.29
5	1750	10.2362	10.5182	3.6506	0.39	89.81
10	1500	10.7168	10.7163	3.7163	0.35	90.86
15	1250	10.6642	10.5584	3.6669	0.40	89.56
20	1166.66	10.7144	10.1123	3.5126	0.38	90.07
25	1166.66	10.3264	10.2285	3.5494	0.37	90.33
30	1166.66	10.5581	10.3133	3.5805	0.38	90.07



ตาราง ข 11 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2583.33	10.5681	10.6618	3.7026	0.40	89.56
5	2083.33	10.6672	10.7234	3.7211	0.37	90.33
10	1750	10.7144	10.3210	3.5819	0.36	90.60
15	1333.33	10.3242	10.1148	3.5135	0.40	89.56
20	1250	10.1181	10.3133	3.5785	0.38	90.07
25	1250	10.6384	10.4211	3.6141	0.34	91.12
30	1250	10.7132	10.5864	3.6742	0.37	90.33

ตาราง ข 12 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2750	10.6535	10.6384	3.6942	0.40	89.56
5	2250	10.7142	10.7111	3.7183	0.38	90.07
10	1833.33	10.6244	10.6381	3.6921	0.38	90.07
15	1500	10.5585	10.4412	3.6243	0.38	90.07
20	1333.33	10.7142	10.5555	3.6619	0.36	90.60
25	1333.33	10.3535	10.3318	3.5830	0.35	90.86
30	1333.33	10.9144	10.4416	3.6245	0.37	90.33

ตาราง ข 13 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2500	10.6148	10.5582	3.6673	0.40	89.56
5	1916.66	10.3264	10.3132	3.5813	0.39	89.81
10	1750	10.7132	10.4145	3.6151	0.37	90.33
15	1500	10.5582	10.6812	3.7057	0.37	90.33
20	1250	10.4632	10.4654	3.6329	0.38	90.07
25	1250	10.7144	10.7188	3.7196	0.37	90.33
30	1250	10.6548	10.3155	3.5860	0.36	90.60

ตาราง ข 14 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2666.66	10.1112	10.8811	3.7757	0.39	89.81
5	2250	10.2234	10.7364	3.7249	0.38	90.07
10	2083.33	10.4122	10.6142	3.6822	0.37	90.33
15	1750	10.3381	10.3333	3.5855	0.37	90.33
20	1333.33	10.2291	10.7144	3.7193	0.40	89.56
25	1333.33	10.4985	10.5588	3.6650	0.38	90.07
30	1333.33	10.7188	10.9002	3.7814	0.37	90.33

ตาราง ข 15 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2833.33	10.6821	10.8112	3.7535	0.39	89.81
5	2500	10.6742	10.6131	3.6802	0.34	91.12
10	2250	10.5155	10.5533	3.6607	0.36	90.60
15	1833.33	10.3432	10.4231	3.6173	0.38	90.07
20	1500	10.1182	10.5188	3.6484	0.37	90.33
25	1500	10.2291	10.3334	3.5882	0.38	90.07
30	1500	10.3371	10.6188	3.6820	0.35	90.86

ตาราง ข 16 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	1750	10.1114	10.7132	3.7181	0.40	89.56
5	1250	10.2162	10.6822	3.7063	0.38	90.07
10	1166.66	10.5163	10.3348	3.5857	0.36	90.60
15	1000	10.6844	10.1112	3.5122	0.38	90.07
20	750	10.7143	10.6822	3.7066	0.37	90.33
25	750	10.5588	10.8864	3.7761	0.37	90.33
30	750	10.9199	10.3142	3.5807	0.37	90.33

ตาราง ข 17 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	1916.66	10.3142	10.6848	3.7091	0.40	89.56
5	1333.33	10.6248	10.2234	3.5517	0.40	89.56
10	1250	10.3162	10.3182	3.5795	0.38	90.07
15	1166.66	10.7779	10.6665	3.6991	0.35	90.86
20	1000	10.6842	10.1142	3.5113	0.34	91.12
25	1000	10.5584	10.7535	3.7282	0.35	90.86
30	1000	10.3182	10.6342	3.6908	0.39	89.81

ตาราง ข 18 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4% โดยปริมาตรความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2000	10.6188	10.4288	3.6229	0.40	89.56
5	1500	10.7199	10.5585	3.6645	0.37	90.33
10	1333.33	10.6388	10.7144	3.7183	0.38	90.07
15	1250	10.2144	10.6388	3.6922	0.39	89.81
20	1083.33	10.3555	10.7144	3.7162	0.37	90.33
25	1083.33	10.2188	10.3535	3.5943	0.39	89.81
30	1083.33	10.3339	10.6848	3.7068	0.38	90.07

ตาราง ข 19 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2500	10.0895	10.9908	3.8004	0.18	95.33
5	1833.33	10.7111	10.4132	3.6030	0.19	95.07
10	1500	10.6838	10.5582	3.6540	0.20	94.81
15	1416.66	10.5533	10.6411	3.6779	0.15	96.11
20	1333.33	10.6148	10.7113	3.7011	0.15	96.11
25	1333.33	10.7468	10.6848	3.6947	0.16	95.85
30	1333.33	10.5182	10.1131	3.4944	0.14	96.37

ตาราง ข 20 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2666.66	10.7144	10.2144	3.5285	0.13	96.63
5	2250	10.6849	10.3582	3.5787	0.14	96.37
10	1750	10.9981	10.4411	3.6122	0.18	95.33
15	1500	10.6812	10.7212	3.7090	0.19	95.07
20	1416.66	10.7144	10.3584	3.5811	0.16	95.85
25	1416.66	10.5581	10.6868	3.5915	0.17	95.59
30	1416.66	10.6382	10.3132	3.5671	0.17	95.59

ตาราง ข 21 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2883.33	10.6835	10.5584	3.6479	0.14	96.37
5	2500	10.5554	10.6435	3.6775	0.14	96.37
10	2250	10.3132	10.1182	3.4978	0.16	95.85
15	1833.33	10.5482	10.7184	3.7041	0.15	96.11
20	1500	10.7132	10.3189	3.5691	0.17	95.59
25	1500	10.4548	10.8912	3.7671	0.19	95.07
30	1500	10.6132	10.7118	3.7035	0.17	95.59

ตาราง ข 22 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2666.66	10.7148	10.1185	3.4962	0.14	96.37
5	2083.33	10.6899	10.6291	3.6742	0.15	96.11
10	1750	10.9944	10.1142	3.4974	0.16	95.85
15	1500	10.0085	10.1235	3.5019	0.18	95.33
20	1416.66	10.6142	10.2424	3.5384	0.13	96.63
25	1416.66	10.7149	10.6838	3.6897	0.13	96.63
30	1416.66	10.8881	10.7175	3.7046	0.15	96.11

ตาราง ข 23 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2750	10.6935	10.5188	3.6368	0.16	95.85
5	2250	10.6584	10.4538	3.6121	0.14	96.37
10	2083.33	10.6112	10.6188	3.6669	0.12	96.89
15	1666.66	10.7145	10.2175	3.5203	0.14	96.37
20	1666.66	10.2148	10.5581	3.6482	0.15	96.11
25	1666.66	10.1195	10.3548	3.5795	0.16	95.85
30	1666.66	10.8143	10.7148	3.7044	0.16	95.85

ตาราง ข 24 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	3000	10.5581	10.6868	3.6958	0.18	95.33
5	2750	10.5493	10.3132	3.5662	0.17	95.59
10	2250	10.3508	10.5581	3.6498	0.16	95.85
15	2083.33	10.0081	10.1123	3.4951	0.15	96.11
20	1833.33	10.2162	10.4232	3.8810	0.14	96.37
25	1833.33	10.6448	10.5518	3.6507	0.19	95.07
30	1833.33	10.5581	10.7177	3.6940	0.16	95.85

ตาราง ข 25 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรอง และผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	1916.66	10.7555	10.6811	3.6898	0.13	96.63
5	1750	10.6842	10.5495	3.6438	0.13	96.63
10	1250	10.1119	10.7111	3.7014	0.16	95.85
15	1083.33	10.9186	10.6382	3.6772	0.15	96.11
20	916.66	10.4435	10.9191	3.7744	0.16	95.85
25	916.66	10.5582	10.3435	3.5714	0.13	96.63
30	916.66	10.7118	10.2185	3.5324	0.15	96.11

ตาราง ข 26 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรอง และผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2000	10.6565	10.7155	3.7030	0.15	96.11
5	2250	10.2144	10.6384	3.6805	0.19	95.07
10	1666.66	10.5863	10.1185	3.5018	0.19	95.07
15	1250	10.6535	10.9586	3.7883	0.16	95.85
20	1083.33	10.1129	10.8864	3.7624	0.16	95.85
25	1083.33	10.2425	10.7175	3.7017	0.14	96.37
30	1083.33	10.2449	10.3535	3.5790	0.16	95.85



ตาราง ข 27 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายเพอร์มิเอท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตรความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.ทาง น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยาง สด (กรัม)	นน.แห้ง รวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอท	% Rejection
0.3	2250	10.5518	10.4683	3.6206	0.18	95.33
5	2083.33	10.7152	10.7142	3.7040	0.16	95.85
10	1500	10.6384	10.5864	3.6591	0.15	96.11
15	1333.33	10.5591	10.6636	3.6882	0.18	95.33
20	1250	10.0091	10.6212	3.6724	0.18	95.33
25	1250	10.1184	10.7314	3.7112	0.18	95.33
30	1250	10.7171	10.5855	3.6601	0.17	95.59

ตาราง ข 29 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3 % โดยปริมาตร ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ เยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
600	10.7143	10.8164	4.6852	7.78
900	10.5186	10.5186	4.6299	8.74
1200	10.4183	10.4163	4.8805	10.98

ตาราง ข 30 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3 % โดยปริมาตร ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ เยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
600	10.7165	10.7165	4.4910	6.48
900	10.5185	10.7463	4.8901	10.11
1200	10.7164	10.8132	5.1343	11.98

ตาราง ข 31 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3 % โดยปริมาตร ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ เยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
600	10.3132	10.5871	4.4001	6.11
900	10.5463	10.6382	4.4926	6.68
1200	10.8184	10.1174	5.4182	7.68

ตาราง ข 32 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4 % โดยปริมาตร ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ เยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
600	10.2163	10.1183	4.3991	9.06
900	10.3154	10.2164	4.5397	10.01
1200	10.6688	10.7111	5.1206	10.98

ตาราง ข 33 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4 % โดยปริมาตร ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ เยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
600	10.3185	10.7199	4.6748	9.64
900	10.4166	10.8132	4.9350	10.01
1200	10.7342	10.5581	5.0864	10.98

ตาราง ข 34 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4 % โดยปริมาตร ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ เยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
600	10.1109	10.3185	4.3117	7.61
900	10.1235	10.6281	4.5819	9.22
1200	10.4465	10.7485	4.6875	9.55

ตาราง ข 35 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตร ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ เยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
600	10.2163	10.1182	4.5369	10.33
900	10.4163	10.3184	4.7358	11.38
1200	10.5581	10.6382	5.1206	13.88

ตาราง ข 36 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตร ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ เยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
600	10.6352	10.7185	4.8462	11
900	10.5581	10.6832	4.9619	12.18
1200	10.3198	10.9148	5.2985	14.95

ตาราง ข 37 ผลการทดลองที่ภาวะการกรองสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตร ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ เยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
600	10.6482	10.2132	4.4949	9.21
900	10.5583	10.3384	4.6121	9.99
1200	10.6681	10.7131	4.7777	10.23

ตาราง ข 38 ผลการทดลองที่ภาวะเหมาะสมสายรีเทนเทท : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 % โดยปริมาตร ความดัน 0.28 บาร์ ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที และ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

จำนวนครั้งที่ทำการกรอง	นน.หางน้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด (กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC รีเทนเทท
1	10.3198	10.9148	5.2985	14.95
2	10.6481	10.7143	5.3456	15.58
3	10.6485	10.6183	5.4405	16.78
4	10.2143	10.6431	5.3996	17.01

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข 39 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะการกรอง : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตร ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_i$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_f \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
600	416.66	832.32	17.28	6.68	9.43
900	509.19	1018.38	14.4	6	7.2
1200	583.36	1166.66	12.34	4.97	6.17

ตาราง ข 40 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะการกรอง : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตร ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_i$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_f \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
600	666.66	1400	19.44	8.15	10.2
900	750	1500	9.6	3.6	4.8
1200	833.33	1750	8.64	2.91	4.53

ตาราง ข 41 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะการกรอง : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.3% โดยปริมาตร ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_c$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_i \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
600	333.33	600	21.6	10.8	9.6
900	416.66	833.33	17.28	9.06	7.02
1200	500	1050	14.4	7.55	5.65

ตาราง ข 42 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะการกรอง : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4% โดยปริมาตร ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_c$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_i \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
600	509.19	1018.38	14.4	6	7.2
900	583.46	1166.66	12.34	4.97	6.17
1200	666.66	1400	10.8	3.94	5.66

ตาราง ข 43 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะการกรอง : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4% โดยปริมาตร ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_c$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_i \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
600	750	1500	9.6	3.6	4.8
900	1000	2100	7.2	2.23	3.77
1200	1166	2332	6.17	1.89	3.08

ตาราง ข 44 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะการกรอง : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.4% โดยปริมาตร ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_c$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_i \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
600	370.37	740.74	19.44	8.52	9.72
900	463.33	926.66	15.55	6.58	7.77
1200	583.46	1225.26	12.34	4.87	6.47



ตาราง ข 45 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะการกรอง : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5% โดยปริมาตร ความดัน 0.23 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_i$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_i \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
600	583.46	1166.66	12.34	4.67	6.47
900	833.33	1666.66	8.64	3.12	4.32
1200	1000	2000	7.2	2.4	3.6

ตาราง ข 46 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะการกรอง : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5% โดยปริมาตร ความดัน 0.28 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_i$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_i \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
600	833.33	1750	8.64	2.91	4.53
900	1166	2322	6.17	1.89	3.08
1200	1333.33	2533.33	5.4	1.64	2.56

ตาราง ข 47 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะการกรอง : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5% โดยปริมาตร ความดัน 0.31 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_i$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_i \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
600	416.66	874.98	17.28	7.02	9.06
900	500	1000	14.4	5.66	7.54
1200	666.66	1333.32	10.8	4.2	5.4

ตาราง ข 48 ผลการทดลองหาความต้านทานที่ภาวะเหมาะสม : ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5% โดยปริมาตร ความดัน 0.28 บาร์ ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบเยื่อ แผ่น (รอบต่อนาที)	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) ก่อนขูดเค้ก ( $R_i$ )	เพอร์มิเอชัน ฟลักซ์ (ลิตร/ เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง) หลังขูดเค้ก ( $R_{mi}$ )	ความ ต้านทาน รวม $R_c \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ในเยื่อ แผ่น $R_i \times 10^{10}$ (1/m)	ความ ต้านทาน ของชั้นเค้ก $R_c \times 10^{10}$ (1/m)
1	1333.33	2533.33	5.4	1.64	2.56
2	1000	2100	7.2	2.23	3.77
3	750	1500	9.6	3.6	4.8
4	583.46	1225.26	12.34	4.67	6.47



ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ตัวอย่างการคำนวณ

ที่ภาวะการกรอง ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.28 บาร์ อัตราการไหลของสายป้อน 36 ลิตรต่อชั่วโมง และระยะห่างระหว่างผิวหน้าของเยื่อแผ่นกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 0.008 เมตร กำหนดให้

ความหนืดของหางน้ำยาง 4 เซนติพอยส์	$=4 \times 10^{-3}$	กิโลกรัม/เมตร.วินาที
ความหนาแน่นของหางน้ำยาง	$=1,015$	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ความหนืดคิเนมาติก ( $\nu$ )	$=3.94 \times 10^{-6}$	ตารางเมตรต่อวินาที
รัศมีของเยื่อแผ่น ( $R_1$ )	$=0.026$	เมตร
รัศมีของทรงกระบอกชั้นนอก ( $R_2$ )	$=0.034$	เมตร
ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของเยื่อแผ่นกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก ( $d$ )	$=R_2 - R_1$	
	$=0.008$	เมตร
ความเร็วรอบเยื่อแผ่น ( $N$ )	$=1200$	รอบต่อนาที
อัตราการไหลของสายป้อน ( $Q$ )	$=36$	ลิตรต่อชั่วโมง
พื้นที่การกรอง ( $A$ )	$=1.507 \times 10^{-3}$	ตารางเมตร

1. ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ จากความสัมพันธ์ตามสมการ 2.43

$$Ta = \frac{2\pi NR_1 d}{\nu} \left( \frac{2d}{R_1 + R_2} \right)^{0.5}$$

แทนค่าที่กำหนดให้ตามสมการ

$$Ta = \frac{2\pi \times 1200 \times 0.026 \times 0.008}{3.94 \times 10^{-6}} \left( \frac{2 \times 0.008}{0.026 + 0.034} \right)^{0.5}$$

$$Ta = 3424$$

2. ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกน จากความสัมพันธ์ตามสมการ 2.45

$$Re_a = \frac{vd_H}{\nu}$$

แทนค่าที่กำหนดให้ตามสมการ

$$Re_a = \frac{36 \times 2 \times 0.008}{1000 \times 1.507 \times 10^{-3} \times 3.94 \times 10^{-6} \times 3600}$$

$$Re_a = 26.95$$

3. ค่าความต้านทาน จากความสัมพันธ์ตามสมการ 2.23 และ 2.25

$$J = \frac{\Delta P_{TM}}{\mu R_t}$$

$$R_t = R_m + R_c + R_i$$

ความดันคร่อมเยื่อแผ่น	= 0.2	บาร์
ความหนืดของน้ำ 1 เซนติพอยส์	= $1 \times 10^{-3}$	กิโลกรัม/เมตร.วินาที
เพอร์มิเอชันฟลักซ์ก่อนขุดเค้ก( $R_p$ )	= 1333.33	ลิตร/ ตารางเมตร.ชั่วโมง
เพอร์มิเอชันฟลักซ์ก่อนขุดเค้ก( $R_{mi}$ )	= 2533.33	ลิตร/ ตารางเมตร.ชั่วโมง

แทนค่าที่กำหนดให้ตามสมการ

$$\text{ความต้านทานก่อนทำการขุดเค้ก} \quad R_i = \frac{\Delta P_{TM}}{\mu J}$$

$$R_i = \frac{0.2 \times 10^5 \times 1000 \times 3600}{1333.33 \times 1 \times 10^{-3}}$$

$$R_i = 5.4 \times 10^{10} \text{ 1/m}$$

ความต้านทานหลังทำการชุดเค็ก

$$R_{mi} = \frac{\Delta P_{TM}}{\mu J}$$

$$R_{mi} = \frac{0.2 \times 10^5 \times 1000 \times 3600}{2533.33 \times 1 \times 10^{-3}}$$

$$R_{mi} = 2.84 \times 10^{10} \text{ 1/m}$$

โดย  $R_{mi} = R_m + R_i$

( $R_m = 1.2 \times 10^{10} \text{ 1/m}$ )

$$R_i = R_{mi} - R_m$$

$$R_i = 2.84 \times 10^{10} - 1.2 \times 10^{10}$$

$$R_i = 1.64 \times 10^{10} \text{ 1/m}$$

จากสมการ

$$R_i = R_m + R_c + R_i$$

$$R_c = 2.56 \times 10^{10} \text{ 1/m}$$

สามารถสรุปได้ว่า

$$R_i = 5.4 \times 10^{10} \text{ 1/m}$$

$$R_m = 1.2 \times 10^{10} \text{ 1/m}$$

$$R_c = 2.56 \times 10^{10} \text{ 1/m}$$

$$R_i = 1.64 \times 10^{10} \text{ 1/m}$$

ศูนย์วิทยุโทรพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

International conference

Pravit Ployngam, Lim Chin Hock and Chirakarn Muangnapoh, "Separation of Rubber Particles from Skim Latex Using Rotating Microfilter in Concentrated Latex Industry", 16th Asean Regional Symposium on Chemical Engineering, December 1-2, 2009 Manila Hotel, Manila, Philippines.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# PROCEEDINGS

## 16<sup>th</sup> ASEAN Regional Symposium on Chemical Engineering “Chemical Engineering at the forefront of Global Challenges”

December 1-2, 2009  
Manila Hotel  
Manila, Philippines

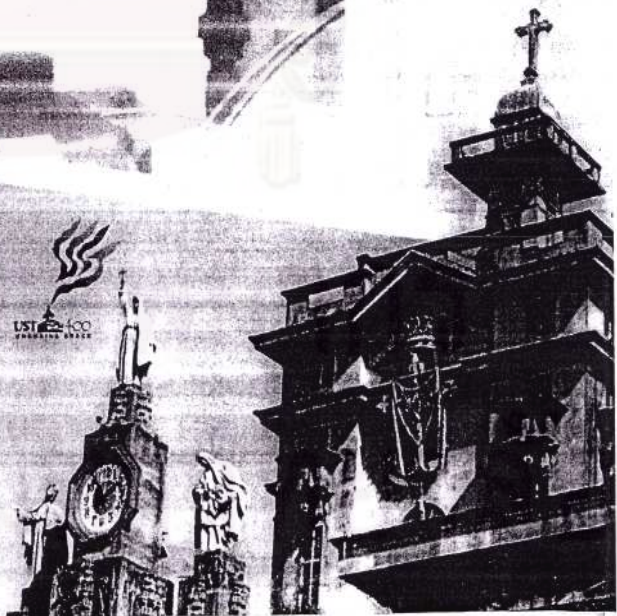
Organized by:



Pontifical and Royal  
**UNIVERSITY OF SANTO TOMAS**  
The Catholic University of the Philippines



In cooperation with:



## Separation of Rubber Particle from Skim Latex Using Rotating Microfilter in Concentrated Latex Industry

Pravit Ployngam<sup>1\*</sup>, Lim Chin Hock<sup>2</sup> and Chirakarn Muangnapoh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand <sup>2</sup> Thai Rubber Latex Corporation (Thailand) Public Company Limited 29 Moo 2 Banbung-Klang Road, Nongyai District, Chonburi 20190

\*E-mail: sesschomaru\_9@hotmail.com

**ABSTRACT:** Skim latex is residual latex obtained as a by-product of concentrating process of natural rubber latex by centrifugation. Skim latex contains 3-4% by weight of residual rubber and composes of mainly small rubber particles. The conventional method to recover rubber particles from skim latex is coagulation with concentrated sulfuric acid. However, the acid content in the coagulated rubber reduces its quality. In addition, the remaining acid leads to the generation of highly acidic effluent which has an impact to environment. Therefore, the aim of this research is to apply a rotating microfiltration system, an alternative method, for recovering rubber particles from skim latex and to reduce sulfuric acid consumption. The ceramic microfilter was used in this study due to its low price and availability. The vortex appearance shows considerable advantages over other methods of filtration in preventing membrane fouling and also extend the resident time by using principle of Taylor vortices. In this study, transmembrane pressure (TMP) and rotating speed of membrane were investigated in order to compare permeation flux and % DRC (dry rubber content). Results showed that permeation flux and % DRC increased with the increasing of TMP and rotational speed because cake formation will be eliminated along membrane surface. The skim latex was concentrated from DRC 3% to 11% at TMP of 0.23 bar, feed flow rate of 36 L/h and rotating speed of 1200 rpm. The suitable flow was occurred in the regime of turbulent vortices. In conclusion separation of rubber particle from skim latex using rotating microfiltration system is promising to recover skim rubber from skim latex.

**Keywords:** rubber particles, skim, rotating membrane, concentrated latex industry

### INTRODUCTION

Natural rubber (NR) latex is milky white opaque fluid derived from the species *Hevea brasiliensis* of the family *Euphorbiaceae* (Blackley et al., 1997).

The product of natural rubber can be classified into two categories i.e. dry and liquid rubber. Dry rubber products has various types such as; rubber sheet, crepe rubber, and crumb rubber, whereas liquid rubber are the latex concentrated product in which the field latex is separated into latex concentrate containing about 60% dry rubber as main product and skim latex as a by-product using centrifugation (Verhaar et al., 1973). Skim rubber produced from skim latex come from the coagulation between 4-5% of dry rubber with cheap grade sulfuric acid that leaves the serum portion contaminated by the acid. The bulk of the contaminated serum by sulfate ion together with the washings is eventually discharged into the effluent pond. This sulfate ion releases hydrogen sulfide gas while undergoing microbial degradation causing malodour which is found to be detrimental to the environment (Ahmad et al., 1979)

Therefore, the objective of this study is to investigate the suitable condition such as TMP and rotating speed of membrane for rubber particles recovery from skim latex by using rotating microfilter and at the same time to reduce sulfuric acid consumption.

### MATERIALS AND METHODS

#### Materials

NR latex and skim latex were obtained from Thai Rubber Latex Corporation (Thailand) Public Company, Nongyai District, Chonburi, Thailand.

#### Methods

An experimental setup is shown in Figure 1. The skim latex was fed via diaphragm pump (1.6 LPM) into the module, which

has two gauge pressure not exceeding 2 bar (oil-filled type). Electric motor with inverter was used for adjusting the membrane speed ranging from 0-2850 rpm. The feed flow rates were varied using the bypass valve. The membrane used in this study was a ceramic tubular type (0.3 microns) of 12.4 cm in length and 3 cm inside diameter with corresponding to an effective area of  $1.44 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  encased in a stainless steel housing unit. A feed tank of 30 liter capacity was used for storing skim latex. Water flux test was done in order to compare an unused membrane water flux and water flux after using the membrane.

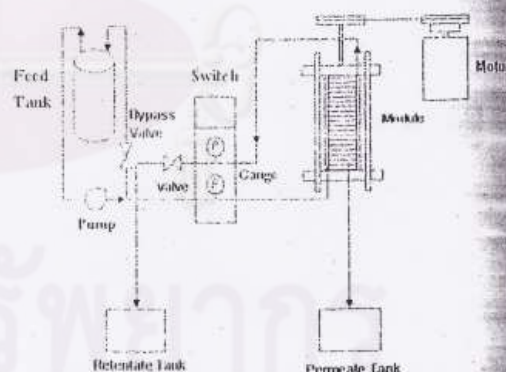


Figure 1. Schematic diagram of rotating microfiltration

In this flow system, the modes of flow can be characterized as a function of two dimensionless parameters: Reynolds number Eq. (1) with respect to the axial flow and Taylor number Eq. (2) involving the rotating speed. These two parameters show the occurrence of different flow regimes (Figure 2.), which has the impact to fouling elimination. In this study, constant axial flow rate ( $Q = 36 \text{ L/h}$ ) was carried out whereas the rotating speed was varied.

$$\text{Reynolds number} = \frac{2vd}{\nu} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\text{Taylor number} = \frac{2\pi NR_1 d}{\nu} \left( \frac{2d}{R_1 + R_2} \right)^{0.5} \quad \text{Eq. (2)}$$

v = velocity of fluid in axial direction (m/min)  
 d = distance from outer surface of membrane to inner surface of cylinder (m)  
 ν = kinematic viscosity (m<sup>2</sup>/min)  
 N = rotating speed number (rpm)  
 R<sub>1</sub> = radius of outer surface membrane from center axis (m)  
 R<sub>2</sub> = radius of inner surface cylinder from center axis (m)

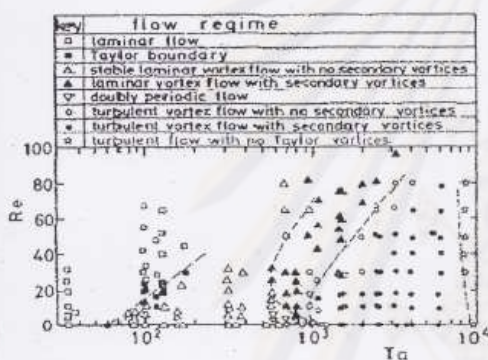


Figure 2. Experimental flow condition for occurrence of different flow regimes.(Kataoka,1976)

In this research, the effect of TMP (0.15, 0.19, 0.23 and 0.29 bar) and rotating speed (300, 600, 900 and 1200 rpm) on permeation flux and %DRC are investigated in rotating microfiltration system in order to determine the suitable separating condition at constant feed flow rate of 36 L/h. The samples of permeate side were taken at different time intervals of 5, 10, 15, 20, 25 and 30 minute for determining permeation flux and that of retentate side for analyzing % DRC. The calculation of percentage of dry rubber content is shown below:

$$\% \text{DRC} = \frac{\{\text{total dry weight} - (\text{weight of fresh latex} \times \% \text{DRC of fresh latex})\} \times 100}{\text{weight of skim latex}} \quad \text{Eq. (3)}$$

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of TMP on permeation flux and % DRC

The increasing of permeation flux at TMP from 0.15, 0.19 to 0.23 bar and at 600 rpm rotating speed demonstrated that the permeation flux is in the pressure dependent period. However, the results show the decreasing of permeation flux at TMP higher than 0.23 bar as shown in Figure 3. It might be the dense cake layer formation accumulated on membrane surface. Table 1 involving % DRC at different TMP shows the similar trend to permeation flux.

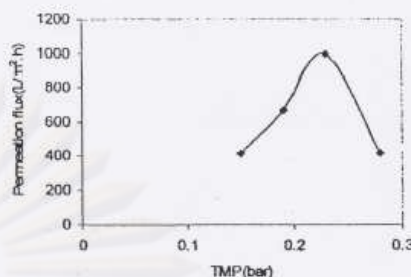


Figure 3. Variation of permeation flux at different TMP

Table 1. Effect of TMP on %DRC at feed flow rate of 36 L/h and rotating speed of 600 rpm

TMP (bar)	% Dry Rubber Content (%DRC)
0.15	6.17
0.19	7.26
0.23	7.91
0.28	4.01

Effect of rotating speed of membrane on permeation flux and % DRC

From Figure 4, the results show the more rotating speed of membrane at TMP of 0.23 bar, the more permeation flux was obtained. This means that cake formation will be eliminated along membrane surface which occurred in the regime of turbulent vortex with secondary vortices (Table 3). The suitable rotating speed of 1200 rpm is in line with Taylor number 3392. % DRC indicated in Table 2 points out that % DRC increases with the increasing of rotating speed (Poommarintaravarakul et al.,2008).

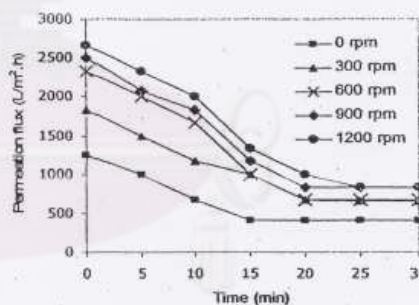


Figure 4. Variation of rotating speed of membrane at TMP of 0.23 bar

Table 2. Effect of rotating speed on % DRC at feed flow rate of 36 L/h and TMP of 0.23 bar

Rotating speed (rpm)	% Dry Rubber Content (%DRC)
0	3.98
300	4.43
600	7.91
900	9.01
1200	11.16

Table 3. Pattern of flow at different rotating speed

Rotating speed (rpm)	Taylor number	Flow regime
0	0	Laminar flow
300	848	Stable laminar vortex flow
600	1696	Turbulent vortex flow
900	2544	Turbulent vortex flow
1200	3392	Turbulent vortex flow

Feed flow rate = 36 L/h ( $Re = 28.2$ ) and TMP of 0.23 bar

### CONCLUSION

The result in this study demonstrates that skim latex could be concentrated from DRC 3% to 11% at the suitable condition of 0.23 bar TMP and rotating speed of 1200 rpm at feed flow rate of 36 L/h. The separation of rubber particle from skim latex by using rotating membrane can reduce membrane fouling and also extend the resident time. In the future studies the feed flow rate will be performed at lower value than 36 L/h for increasing the resident time. Moreover, the higher rotating speed of membrane will be also investigated in order to create highly turbulence vortex flow which has an impact to increase the dry rubber content and permeation flux.

### ACKNOWLEDGEMENTS

Special thanks for Mr. Montri Jirathamawong, Factory manager (Thai Rubber Latex Corporation (Thailand) Public Company Limited.) for the supply of skim latex as raw material. This work was financially supported by the Thailand Research Fund Master Research Grants (TRF-MAG) under grant number MRG-WI515E139

### REFERENCES

- Ahamd Ibarhim, Sethu. S., Mohd. Zin Karim, and Zaid Isa (1979) Anaerobic/Facultative Ponding System for Treatment of Latex Concentrate Effluent. Proc. Of Rubb. Res. Inst. Malaysian First Conference, Kuala Lumpur 1979, 419-435.
- Blackley, D.C. (1997) Polymer latexes: Science and technology. (2nd ed.). New York: Chapman & Hall.
- Kataoka, K., (1976), Heat/Mass transfer in Taylor vortex flow with constant axial flow rate, Int. J. Heat Mass Transfer. Vol. 20, pp. 57-63
- Poommarinvarakul S. and Muangapoh C. Protein Removal from Tamarind Kernel Powder using Rotating filter and Concentration/Diafiltration Technique. 12<sup>th</sup> Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress, August 4-6, 2008 Dalian, China
- Verhaar, G. (1973) Natural Latex as a Colloidal System, Rubb. Chem. Technol. 32, 1959: 1627-1659.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายประวัติร พลอยงาม เกิดวันที่ 19 มีนาคม จังหวัดกรุงเทพมหานคร ศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่ โรงเรียนมัธยมด่านสำโรง สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2550 และศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย